



Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Departamento de Engenharia Electrotécnica e Automação

**Metodologia para redução de perdas e aumento de fiabilidade  
em redes de distribuição**



*Pedro Miguel Lopes Torres*  
(Licenciado)

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Electrotécnica – Ramo Energia

Orientador: Professor Doutor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis

Júri: Professor Doutor Victor Manuel Fernandes Mendes  
Professor Doutor João Paulo da Silva Catalão  
Professor Doutor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis

**Setembro de 2010**

Dissertação realizada sob orientação de:

**Professor Doutor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis**

Equiparado a Professor Adjunto do

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Automação do

**Instituto Superior de Engenharia de Lisboa**

*Where there is a Will,  
There is a way.*

*Onde existe uma vontade,  
Existe um caminho.*

## Agradecimentos

Embora uma dissertação seja, pela sua finalidade académica, e um trabalho individual, há diversos contributos que não podem, nem devem deixar de ser destacados.

Em primeiro lugar quero agradecer à EDP Distribuição por me ter apoiado nesta fase da minha vida, permitindo alguma disponibilidade para a frequência da licenciatura e do mestrado, tornando assim possível atingir os objectivos que me predispos.

Agradeço ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e ao Departamento de Engenharia Electrotécnica e Automação, por tornarem possível as aulas em regime pós-laboral e os meios pedagógicos que disponibilizam para a realização do Mestrado em Engenharia Electrotécnica, sendo estes factores a chave para o meu sucesso enquanto aluno.

Desejo expressar os meus sinceros agradecimentos ao meu orientador de dissertação de mestrado, o Professor Doutor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis por ter confiado neste trabalho, bem como, pela orientação e disponibilidade evidenciada para esclarecimento de dúvidas que foram surgindo.

Aos meus pais, por me terem ensinado os valores fundamentais que hoje direccionam a minha vida. Por me terem ensinado a cultivar a perseverança, a busca pelo conhecimento e a suportar as amarguras da vida. Ao meu irmão, pelos incentivos ao logo da licenciatura e mestrado que serviram de veia canalizadora e de motivação adicional. À minha esposa Leonor e aos meus filhos Rúben e Margarida, pelo apoio incondicional nos momentos mais decisivos e por proporcionar as condições necessárias para atingir os objectivos. O mesmo agradecimento se estende aos amigos e colegas que me apoiaram e compreenderam a minha indisponibilidade em determinados momentos.

Por último, não podia deixar de agradecer a todas as pessoas que, directa ou indirectamente, me apoiaram ao longo de todo o meu mestrado e na realização desta dissertação.

## Resumo

Esta dissertação incide na aplicação de uma metodologia para a localização e dimensionamento de dispositivos, que permitem reconfigurações de redes de distribuição (órgãos de corte de rede), tendo por objectivo a minimização de perdas e aumento da fiabilidade incorporando não só aspectos técnicos como também económicos.

Para efectuar a avaliação técnica foram utilizados métodos de redução de perdas e de aumento da fiabilidade. Para elaborar a avaliação económica, foram utilizados os *rácios B/C*, *VAL* e a *TIR* para cada reconfiguração de rede identificada.

Na redução de perdas, foi aplicado um algoritmo que para diferentes níveis de carga identificada a melhor configuração da rede que minimiza as perdas.

Para cada configuração da rede identificada anteriormente foi avaliada a correspondente fiabilidade, tendo por base os indicadores da qualidade de serviço aprovados e definidos por entidades reguladoras.

As configurações finais escolhidas foram avaliadas com base nos ganhos obtidos na redução de perdas e no aumento de fiabilidade.

Estes métodos foram aplicados a uma rede de distribuição real, e a escolha incidiu na rede eléctrica de São Vicente em Cabo Verde. No final foi elaborada uma avaliação económica que serviu de suporte à decisão técnica.

A aplicação dos métodos permitiu evidenciar que com a colocação de órgãos de telecomando da rede em 6 locais, obtém-se uma redução de perdas de cerca de 5,3% e energia não distribuída de 41,1% em cada ano. Analisando o investimento para o período de vida útil dos órgãos de corte de rede (15anos), apresenta um *rácio B/C* = 3,50, *VAL* = 511k€ e uma *TIR* = 69,4%.

## Palavras-chave

Reconfiguração de redes de distribuição, Perdas, Fiabilidade, Telecomando de redes.

## Abstract

This dissertation focuses on the application of a methodology for the location and design of devices that allow reconfiguration of distribution networks (automatic sectionalizing switching devices) with the purpose of minimization of losses and an increase of reliability taking into consideration both technical and economical aspects.

For the technical evaluation it was used methods to reduce losses and increase reliability. For economical evaluation, it was used the *ratios B/C*, *NPV* and *IRR* for each corresponding network topology.

In order to minimize network losses, it was applied an algorithm that for different load levels identifies the best network topologies through the use of switching devices.

For each configuration of the network identified previously it was evaluated the corresponding reliability, based on indicators of quality of service.

The final set of configurations were evaluated and selected based on gains made on reducing losses and increasing reliability.

These methods have been applied to a real distribution network, and the choice focused on the power distribution grid of St. Vincent in Cabo Verde. An economical evaluation was done to support the decision.

The application of the methods that showed that a correct location of six switching devices lead to a potential loss reduction of about 5,3% and a decrease of 41,1% in the energy not distributed in each year. The corresponding investment for a typical lifetime of automatic sectionalizing switching devices (15 years) shows a *B/C ratio* = 3,50, *NPV* = k€ 511 and *IRR* = 69,4%.

## Keywords

Reconfiguration of distribution networks, losses, reliability, remote networks.

# Índice

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Agradecimentos</b> .....   | <b>III</b>  |
| <b>Resumo</b> .....   | <b>IV</b>   |
| <b>Abstract</b> .....   | <b>V</b>    |
| <b>Índice de Figuras</b> .....                                      | <b>VIII</b> |
| <b>Índice de Tabelas</b> .....                                      | <b>X</b>    |
| <b>Lista de Símbolos</b> .....                                      | <b>XI</b>   |
| <b>Lista de Siglas</b> .....  | <b>XIV</b>  |
| <b>1. Introdução</b> .....  | <b>2</b>    |
| 1.1. Enquadramento .....  | 2           |
| 1.2. Motivação .....  | 3           |
| 1.3. Organização do texto .....                                     | 3           |
| <b>2. Perdas em redes de distribuição</b> .....                     | <b>6</b>    |
| 2.1. Introdução .....   | 6           |
| 2.2. Trânsito de energia .....                                      | 7           |
| 2.2.1. Método de Gauss-Seidel .....                                 | 7           |
| 2.2.2. Método de Gauss-Seidel aplicado ao trânsito de energia ..... | 9           |
| 2.3. Metodologia para redução de perdas .....                       | 16          |
| 2.3.1. Definição da metodologia .....                               | 16          |
| 2.3.2. Aplicação da metodologia a uma rede de 33 barramentos .....  | 21          |
| 2.3.3. Resultados obtidos .....                                     | 30          |
| <b>3. Fiabilidade em redes de distribuição</b> .....                | <b>34</b>   |
| 3.1. Introdução .....   | 34          |
| 3.2. Conceitos teóricos de fiabilidade .....                        | 34          |
| 3.3. Regulamento de Qualidade de Serviço (RQS) .....                | 38          |
| 3.3.1. Enquadramento .....  | 38          |
| 3.3.2. Indicadores de qualidade de serviço .....                    | 40          |
| 3.3.3. Compensações por incumprimento do operador de rede .....     | 42          |
| 3.3.4. Aplicabilidade do RQS no estudo de fiabilidade .....         | 45          |
| 3.4. Metodologia para aumentar a fiabilidade .....                  | 46          |
| <b>4. Telecomando em redes de distribuição</b> .....                | <b>54</b>   |
| 4.1. Introdução .....   | 54          |
| 4.2. Equipamentos de telecomando .....                              | 54          |
| 4.2.1. Interruptor Auto-Religador (IAR) .....                       | 54          |
| 4.2.2. Interruptor Aéreo Telecomandado (IAT) .....                  | 55          |
| 4.2.3. Órgãos de Corte de Rede – Tipo 1 (OCR1) .....                | 56          |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 4.2.4.    | Órgãos de Corte de Rede – Tipo 2 (OCR2).....                                  | 57        |
| 4.2.5.    | Disjuntores Auto-Religadores (DAR) .....                                      | 57        |
| 4.2.6.    | Unidade Remota de Rede (URR) .....  | 58        |
| 4.2.7.    | Comparação entre equipamentos telecomandos.....                               | 60        |
| 4.3.      | Manutenção de telecomando.....  | 61        |
| 4.4.      | Localização de telecomando .....  | 62        |
| 4.5.      | Metodologia de aplicação do telecomando .....                                 | 63        |
| <b>5.</b> | <b>Aplicação – Rede de distribuição de São Vicente .....</b>                  | <b>69</b> |
| 5.1.      | Introdução .....  | 69        |
| 5.2.      | Caracterização da rede de distribuição.....                                   | 70        |
| 5.3.      | Metodologia para redução de perdas e aumento de fiabilidade .....             | 73        |
| 5.4.      | Análise técnica .....   | 74        |
| 5.4.1.    | Redução de perdas .....   | 74        |
| 5.4.2.    | Estudo da fiabilidade .....   | 83        |
| 5.5.      | Análise económica.....  | 87        |
| 5.6.      | Decisões.....   | 92        |
| <b>6.</b> | <b>Conclusões.....</b>  | <b>94</b> |
| 6.1.      | Objectivos alcançados.....  | 94        |
| 6.2.      | Perspectivas futuras .....  | 96        |
|           | <b>Bibliografia .....</b>   | <b>97</b> |
|           | <b>Anexos .....</b>   | <b>99</b> |
| A.1.      | Artigo científico [3] .....   | 100       |
| A.2.      | Algoritmo MATLAB para cálculo de redução de perdas.....                       | 107       |
| A.3.      | Algoritmo MATLAB para cálculo de perdas na optimização de configurações ..... | 109       |
| A.4.      | Dados da rede de testes com 33 barramentos .....                              | 110       |
| A.5.      | Resultados dos cálculos com a rede de testes com 33 barramentos.....          | 111       |
| A.6.      | Configuração actual da rede MT de São Vicente.....                            | 112       |
| A.7.      | Dados da rede de São Vicente (cálculo de perdas) .....                        | 113       |
| A.8.      | Resultados dos cálculos de redução de perdas da rede de São Vicente .....     | 117       |
| A.9.      | Configuração optimizada da rede MT de São Vicente .....                       | 128       |
| A.10.     | Configuração proposta para rede MT de São Vicente .....                       | 129       |
| A.11.     | Definição de zonas da rede de São Vicente para o cálculo da fiabilidade.....  | 130       |
| A.12.     | Dados da rede de São Vicente (cálculo de fiabilidade) .....                   | 131       |
| A.13.     | Resultados dos cálculos de fiabilidade da rede de São Vicente.....            | 132       |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 – Sistema com 3 barramentos .....   | 9  |
| Figura 2.2 – Balanço de potências num barramento .....                                     | 10 |
| Figura 2.3 – Bateria de condensadores.....   | 11 |
| Figura 2.4 – Transformador .....   | 12 |
| Figura 2.5 – Modelo em $\pi$ de uma linha .....  | 13 |
| Figura 2.6 – Variação do barramento PV .....   | 14 |
| Figura 2.7 – Variáveis envolvidas no estudo de um feeder (2 barramento) .....              | 17 |
| Figura 2.8 – Fluxograma do método do artigo científico .....                               | 20 |
| Figura 2.9 – Fluxograma do algoritmo em MATLAB .....                                       | 22 |
| Figura 2.10 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos.....                         | 24 |
| Figura 2.11 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Iteração n.º 1) .....       | 25 |
| Figura 2.12 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Iteração n.º 2) .....       | 26 |
| Figura 2.13 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Iteração n.º 3) .....       | 26 |
| Figura 2.14 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Iteração n.º 4) .....       | 27 |
| Figura 2.15 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Iteração n.º 5) .....       | 28 |
| Figura 2.16 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Iteração n.º 6) .....       | 28 |
| Figura 2.17 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Final).....                 | 29 |
| Figura 2.18 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (artigo).....                | 30 |
| Figura 2.19 – Tensões dos barramentos (algoritmo) .....                                    | 31 |
| Figura 2.20 – Comparação das tensões dos barramentos .....                                 | 32 |
| Figura 3.1 – Diagrama de estados de funcionamento de um equipamento .....                  | 35 |
| Figura 3.2 – Evolução da taxa instantânea de falhas de um componente .....                 | 36 |
| Figura 3.3 – Esquema de uma rede exemplo para o cálculo da fiabilidade .....               | 47 |
| Figura 3.4 – Esquema de uma rede exemplo com instalação de protecção em todos os ramais .. | 50 |
| Figura 4.1 – Interruptor Auto-Religador (IAR) .....  | 54 |
| Figura 4.2 – Interruptor Aéreo Telecomandado (IAT) .....                                   | 55 |
| Figura 4.3 – Órgãos de Corte de Rede – Tipo 1 (OCR1).....                                  | 56 |
| Figura 4.4 – Órgãos de Corte de Rede – Tipo 2 (OCR2).....                                  | 57 |
| Figura 4.5 – Disjuntores Auto-Religadores (DAR) .....                                      | 58 |
| Figura 4.6 – Diagrama do equipamento de comando da rede de distribuição .....              | 59 |
| Figura 4.7 – Unidade Remota de Rede (URR) .....  | 59 |
| Figura 4.8 – Informação de preços de mercado de energia (1.º Trimestre 2010) .....         | 66 |
| Figura 5.1 – Mapa do arquipélago de Cabo Verde .....                                       | 69 |
| Figura 5.2 – Mapa da ilha de São Vicente.....  | 70 |
| Figura 5.3 – Diagrama da rede de distribuição de São Vicente .....                         | 71 |
| Figura 5.4 – Diagrama de carga da rede de São Vicente .....                                | 73 |
| Figura 5.5 – Diagrama de geração da central de Matiota e dos aerogeradores.....            | 73 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 5.6 – Metodologia aplicada para a redução de perdas e END na rede MT de São Vicente   | 73 |
| Figura 5.7 – Diagrama da rede de distribuição de São Vicente (redução de perdas) .....       | 78 |
| Figura 5.8 – Diagrama final da rede de distribuição de São Vicente (redução de perdas) ..... | 80 |
| Figura 5.9 – Definição de zonas da rede de distribuição de São Vicente .....                 | 83 |
| Figura 5.10 – Resumo dos indicadores do cálculo de fiabilidade da rede de São Vicente.....   | 86 |
| Figura 5.11 – Avaliação económica do investimento em São Vicente (rácio $B/C$ ).....         | 90 |
| Figura 5.12 - Avaliação económica do investimento em São Vicente (VAL e TIR) .....           | 91 |

## Índice de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 2.1 – Tipos de barramentos .....   | 14 |
| Tabela 2.2 – Comparação de resultados de perdas na rede .....                                 | 30 |
| Tabela 3.1 – Número acumulado de interrupções longas por ano (por cliente) .....              | 43 |
| Tabela 3.2 – Duração acumulada de interrupções longas por ano (por cliente) .....             | 44 |
| Tabela 3.3 – Indicadores máximos para redes de média e baixa tensão.....                      | 45 |
| Tabela 3.4 – Taxa de falhas e MTTR (rede exemplo).....  | 47 |
| Tabela 3.5 – Valores de $\lambda$ , $r$ e $U$ dos clientes ligados ao PT C1 (inicial).....    | 48 |
| Tabela 3.6 – Valores de $\lambda$ , $r$ e $U$ dos clientes ligados ao PT C2 (inicial).....    | 48 |
| Tabela 3.7 – Valores de $\lambda$ , $r$ e $U$ dos clientes ligados ao PT C3 (inicial).....    | 48 |
| Tabela 3.8 – Valores de $\lambda$ , $r$ e $U$ dos clientes ligados ao PT C4 (inicial).....    | 49 |
| Tabela 3.9 – Valores de $\lambda$ , $r$ e $U$ dos clientes ligados ao PT C1 (final).....      | 50 |
| Tabela 3.10 – Valores de $\lambda$ , $r$ e $U$ dos clientes ligados ao PT C2 (final) .....    | 51 |
| Tabela 3.11 – Valores de $\lambda$ , $r$ e $U$ dos clientes ligados ao PT C3 (final) .....    | 51 |
| Tabela 3.12 – Valores de $\lambda$ , $r$ e $U$ dos clientes ligados ao PT C4 (final) .....    | 51 |
| Tabela 3.13 – Variação entre o esquema inicial e o otimizado .....                            | 52 |
| Tabela 4.1 – Características técnicas de equipamentos de corte MT mais aplicados na rede..... | 60 |
| Tabela 4.2 – Possibilidade de aplicação e funções dos equipamentos de corte MT .....          | 60 |
| Tabela 4.3 – Custos totais de instalação de equipamentos de corte MT .....                    | 61 |
| Tabela 5.1 – Evolução do número de população residente em São Vicente .....                   | 70 |
| Tabela 5.2 – Balanço energético 2008 de São Vicente .....                                     | 72 |
| Tabela 5.3 – Resumo dos cálculos de perdas da configuração original da rede de São Vicente... | 76 |
| Tabela 5.4 – Resumo dos cálculos de redução de perdas da rede de São Vicente.....             | 77 |
| Tabela 5.5 – Redução do número de configurações tendo em consideração as perdas .....         | 81 |
| Tabela 5.6 – Resumo da solução óptima e da adaptação para a redução de perdas.....            | 82 |
| Tabela 5.7 – Dados padrão para o cálculo de fiabilidade .....                                 | 84 |
| Tabela 5.8 – Probabilidade de falha e MTTR por zona.....                                      | 84 |
| Tabela 5.9 – Prioridade de instalação de OCR2.....  | 85 |
| Tabela 5.10 – Resumo do cálculo de fiabilidade da rede de São Vicente.....                    | 86 |
| Tabela 5.11 – Variação de END com a instalação de OCR2.....                                   | 88 |
| Tabela 5.12 – Avaliação económica do investimento em São Vicente .....                        | 90 |
| Tabela 5.13 – Resultados da avaliação económica escolhida para São Vicente .....              | 92 |

## Lista de Símbolos

|                 |   |
|-----------------|---|
| $B$             | Benefício com a instalação do equipamento de telecomando                  |
| $C$             | Custos totais com a instalação do equipamento de telecomando              |
| $C_{Dn}$        | Valor da compensação em €, para a duração das interrupções no ano “n”     |
| $C_{END}$       | Custos associados às interrupções   |
| $C_{Nn}$        | Valor da compensação em €, para o número de interrupções no ano “n”       |
| $C_{Int\ kWh}$  | Custos associados as interrupções   |
| $CF_p$          | Custos fixos de acesso e utilização da rede de distribuição em €/kW.Mês   |
| $CV_p$          | Custos variáveis de produção e distribuição da energia eléctrica em €/kWh |
| $DI$            | Duração total das interrupções longas reportadas ao último ano civil      |
| $DI_p$          | Valor padrão de duração das interrupções longas                           |
| $dom$           | Despesas de operação e manutenção   |
| $END$           | Energia eléctrica não distribuída   |
| $FC_n$          | Factor de compensação no ano “n”, para número de interrupções             |
| $i$             | Taxa de actualização  |
| $[\bar{I}]$     | Vector das amplitudes complexas das correntes injectadas em cada nó       |
| $\bar{I}_i$     | Amplitude complexa da corrente injectada no barramento “i”                |
| $\bar{I}_{i,j}$ | Amplitude complexa da corrente entre o barramento “i” e o “j”             |
| $I_{i,j}$       | Módulo da corrente eléctrica entre o barramento “i” e o “j”               |
| $I_{i,j\ max}$  | Valor máximo admissível de corrente entre o barramento “i” e o “j”        |
| $Inv_{OCR1}$    | Investimento em OCR1  |
| $Inv_{OCR2}$    | Investimento em OCR2  |
| $KC_n$          | Factor de compensação no ano “n”, para a duração das interrupções         |
| $Mês_{inicio}$  | Mês de entrada em funcionamento do equipamento de telecomando             |
| $MTBF$          | “Mean Time Between Failure” ou Tempo Médio entre falhas (horas/ano)       |
| $MTTR$          | “Mean Time to Repair” ou Tempo Médio de Reparação (horas/ano)             |
| $nc$            | Número de clientes da rede  |
| $nca$           | Número de clientes afectados pela interrupção                             |
| $NI$            | Número de interrupções longas reportadas ao último ano civil              |
| $NI_p$          | Valor padrão do número de interrupções longas                             |
| $num_{OCR}$     | Número de OCR1 e OCR2 a instalar  |
| $P_{Cn}$        | Potência activa da carga ligada ao barramento “n”                         |
| $P_{Gn}$        | Potência activa de geração ligada ao barramento “n”                       |
| $P_{clt}$       | Potência activa disponibilizada aos clientes no momento da interrupção    |
| $Inv$           | Custos de investimento  |
| $p_{i,j}$       | Potência activa de perdas entre o barramento “i” e o “j”                  |

|                       |   |
|-----------------------|---|
| $P_{inst}$            | Potência activa instalada   |
| $P_n$                 | Potência activa ligada no barramento “n”                            |
| $p_{total}^e$         | Perdas totais da rede na iteração “e”                               |
| $Q_{Cn}$              | Potência reactiva da carga ligada ao barramento “n”                 |
| $Q_{Gn}$              | Potência reactiva de geração ligada ao barramento “n”               |
| $Q_n$                 | Potência reactiva ligada no barramento “n”                          |
| $r$                   | Tempo médio de interrupção por falha (horas/ano)                    |
| $r_{i,j}$             | Resistência do condutor entre o barramento “i” e o “j”              |
| $\overline{S_{Cn}}$   | Potência complexa da carga ligada ao barramento “n”                 |
| $\overline{S_{Gn}}$   | Potência complexa do gerador ligado ao barramento “n”               |
| $\overline{S_{in}}$   | Potência complexa injectada no barramento “n”                       |
| $S_N$                 | Potência nominal  |
| $\overline{S_n}$      | Potência complexa ligada no barramento “n”                          |
| $SAIDI$               | Duração média das interrupções do sistema                           |
| $SAIFI$               | Frequência média de interrupções do sistema                         |
| $t_{int}$             | Tempo de duração de uma interrupção em minutos                      |
| $TIEPI$               | Tempo de interrupção equivalente da potência instalada              |
| $TR$                  | Transformador   |
| $U$                   | Tempo total de interrupção por ano (horas/ano)                      |
| $[\overline{V}]$      | Vector das amplitudes complexas das tensões nodais                  |
| $V_{CC}$              | Tensão de curto-circuito  |
| $\overline{V}_i$      | Amplitude complexa da tensão nodal do barramento “i”                |
| $V_N$                 | Tensão nominal  |
| $V_S$                 | Tensão simples, ou seja, tensão entre uma fase e o neutro           |
| $ \overline{V}_i $    | Módulo da tensão no barramento “i”                                  |
| $V_{max}$             | Tensão máxima   |
| $V_{min}$             | Tensão mínima   |
| $vu$                  | Tempo de vida útil  |
| $x_{i,j}$             | Reactância do condutor entre o barramento “i” e o “j”               |
| $[\overline{Y}]$      | Matriz de admitâncias nodais  |
| $\overline{Y_{BCn}}$  | Admitância da bateria de condensadores                              |
| $\overline{Y_{Ll,j}}$ | Admitância longitudinal de uma linha entre o barramento “i” e o “j” |
| $\overline{Y_{TRn}}$  | Admitância do transformador   |
| $\overline{Y_{Tl,j}}$ | Admitância transversal de uma linha entre o barramento “i” e o “j”  |
| $Z_b$                 | Impedância de base para cálculos em p.u.                            |
| $\alpha_{POT}$        | Taxa anual de evolução das cargas                                   |
| $\Delta_{END}$        | Variação de energia não distribuída em kWh                          |

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| $\Delta_{perdas}$             | Varição entre as perdas iniciais e as finais                                   |
| $\Delta p_{total}^{k,k+1}$    | Varição de perdas totais na rede entre a iteração “k” e a “k+1”                |
| $\Delta P_p$                  | Varição entre a ponta máxima inicial e a final em kW                           |
| $ \Delta \overline{V}_{i,j} $ | Queda de tensão entre o barramento “i” e o “j”                                 |
| $\delta$                      | Ângulo representativo do desfasamento entre a tensão e a corrente eléctrica    |
| $\varepsilon$                 | Condição de paragem para a variação dos valores das incógnitas entre iterações |
| $\lambda$                     | Probabilidade ou taxa de falha (falhas/ano)                                    |

## Lista de Siglas

|                  |  |
|------------------|--|
| AT               | Alta Tensão                                  |
| BC               | Bateria de Condensadores                     |
| DAR              | Disjuntores Auto-Religadores                 |
| DC               | Diagrama de Carga                            |
| DGEG             | Direcção Geral de Energia e Geologia         |
| EN               | Norma Europeia                               |
| ERSE             | Entidade Reguladora dos Serviços Eléctricos  |
| IAR              | Interruptor Auto-Religador                   |
| IAT              | Interruptor Aéreo Telecomandado              |
| KPI              | Key Performance Indicator                    |
| MAT              | Muito Alta Tensão                            |
| MIF              | Máxima Intensidade de Fase                   |
| MIH              | Máxima Intensidade Homopolar                 |
| MT               | Média Tensão                                 |
| NP               | Norma Portuguesa                             |
| OCR1             | Órgãos de Corte de Rede – Tipo 1             |
| OCR2             | Órgãos de Corte de Rede – Tipo 2             |
| p.u.             | Valores por unidade                          |
| PC               | Posto de Corte                               |
| PQ               | Barramento do tipo “Carga” ou “Geração”      |
| PSS/E            | Power System Simulator for Engineering       |
| PT               | Posto de Transformação                       |
| PTC              | Posto de Transformação de Cliente            |
| PTD              | Posto de Transformação de Distribuição       |
| PV               | Barramento do tipo “Tensão controlada”       |
| QEE              | Qualidade de Energia Eléctrica               |
| Ref <sup>a</sup> | Barramento do tipo “Referência” ou “Balanço” |
| RND              | Rede Nacional de Distribuição                |
| RNT              | Rede Nacional de Transporte                  |
| RQS              | Regulamento de Qualidade de Serviço          |
| S.I.             | Sistema Internacional                        |
| SEN              | Serviço Eléctrico Nacional                   |
| TIR              | Taxa Interna de Rentabilidade                |
| VAL              | Valor Actual Líquido                         |

---

# Capítulo

# 1

---

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

Esta dissertação enquadra-se no tema de distribuição de energia eléctrica. Relativamente a este tema serão abordados os seguintes dois subtemas:

- As perdas, que está relacionado com o rendimento de um sistema, visto que a variação deste parâmetro é inversamente proporcional à variação do rendimento. O valor de perdas nas redes de distribuição, são tipicamente 8 a 10% da energia produzida e depende de vários factores, como o perfil de carga, locais de injeção de energia e topologia;
- A fiabilidade, que segundo o dicionário [1] pode-se definir esta palavra como o “grau de confiança que algo merece”. Este parâmetro pode ser alterado consoante a possibilidade de isolar certas zonas problemáticas da rede de distribuição. A variação da fiabilidade pode variar consoante o investimento efectuado em equipamento de telecomando localizado em pontos estratégicos da rede de distribuição.

Estes temas são uma preocupação permanente de todas as empresas de distribuição de energia eléctrica nos últimos anos. Este facto possibilitou a implementar várias actividades destinadas a melhorar a eficiência operacional dos sistemas, identificadas em grupos de trabalho e no âmbito de negócio das mesmas.

Tendo necessidade de encontrar respostas consistentes e compatíveis com o seu equilíbrio económico e financeiro, muitas empresas colocam a “redução de perdas” e o “aumento de fiabilidade” como dois dos seus vectores de actuação prioritária.

Nesta dissertação foram elaborados estudos que conduziram a métodos que foram aplicados a uma rede de distribuição real, e a escolha incidiu na rede eléctrica de São Vicente em Cabo Verde, devido à sua topologia. No final foi elaborada uma avaliação económica que serviu de suporte à decisão técnica.

## 1.2. Motivação

O tema “redução de perdas” tem motivado empresas de distribuição de energia eléctrica a determinar formas de actuação, que devem ser desenvolvidas para reduzir este parâmetro nas redes eléctricas.

O tema “aumento de fiabilidade” tem sido abordado porque as empresas de distribuição de energia eléctrica, necessitam de obter indicadores de qualidade de serviço de acordo com os parâmetros regulamentares. Isto deve-se ao facto da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), efectuar com uma periodicidade anual uma avaliação dos índices do RQS, e aplicar coimas em situações de incumprimentos.

Um outro factor importante para avaliar a fiabilidade de uma rede de distribuição, está relacionado com a necessidade das empresas prestarem um serviço de qualidade aos seus clientes, evitando assim a sua insatisfação, reclamações e as compensações por incumprimento a pagar aos clientes.

Todas as empresas, estão conscientes que a redução de perdas e o aumento de fiabilidade é uma das formas de aumentar os lucros das empresas, e otimizar o negócio.

## 1.3. Organização do texto

O texto da dissertação está organizado em seis Capítulos.

Estes capítulos estão organizados da seguinte forma:

- Capítulo 1: define o enquadramento e motivação da elaboração da presente dissertação;
- Capítulo 2: é elaborado um estudo relacionado com a redução de perdas numa rede de distribuição. É implementada a metodologia proposta num artigo científico, e explicitado o cálculo do trânsito de energia e perdas da rede, baseado no método de Gauss-Seidel. São comparados os valores obtidos a partir do software desenvolvido com os reportados no artigo científico;
- Capítulo 3: é apresentado o RQS, e são estabelecidos métodos de cálculo de fiabilidade baseados nos indicadores do RQS;

- Capítulo 4: são apresentados alguns elementos de telecomando de uma rede, e referidas as principais características técnicas e melhores aplicações;
- Capítulo 5: foi aplicado à rede de distribuição de São Vicente em Cabo Verde metodologias apresentadas no capítulo 2 (para a redução de perdas) e no capítulo 3 (para melhoria da fiabilidade). É igualmente efectuada uma análise técnico-económica;
- Capítulo 6: são analisados os objectivos alcançados com a dissertação e estipuladas algumas perspectivas futuras para desenvolvimento desta dissertação.

---

# Capítulo

# 2

---

## 2. Perdas em redes de distribuição

### 2.1. Introdução

A redução de perdas de energia numa rede de distribuição é um problema que preocupa todos operadores de rede, visto variar consoante o trânsito de energia na rede, e torna-se mais complexo com o aumento do número de barramentos.

A título de exemplo, se for analisada uma rede de distribuição com 33 barramentos, com 32 linhas de energia eléctrica ligadas das 37 existentes, as combinações possíveis de configuração da rede são:

$$C_{32}^{37} = \frac{37!}{32! \times (37 - 32)!} = 435.897 \text{ combinações} \quad 2.1$$

Considerado que o tempo de execução de cada combinação 1 segundos (existem situações que este tempo pode ser alargado), pode-se dizer que para executar todas as combinações o algoritmo de cálculo necessitaria:

$$t_{\text{execução}} = C_{32}^{37} \times \frac{1}{3.600} = 5 \text{ dias } 1 \text{ h } 5 \text{ min} \quad 2.2$$

Pode-se verificar que para uma rede com 33 barramentos, seria necessário cerca de 5 dias, tornando a avaliação de todas as combinações impraticável. Será necessário utilizar algumas simplificações, para obter uma solução técnica exequível do ponto de vista da engenharia.

Mas independentemente das simplificações necessárias, o problema de redução de perdas de energia pode ser definido na forma matemática, com a seguinte expressão:

$$\begin{array}{ll} \text{Minimizar} & f = p_{\text{total}}(x) \\ \text{S. a.} & V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \\ & |I_{i,j}| \leq |I_{i,j \text{ max}}| \end{array} \quad 2.3$$

Onde:  $f$  Função objectivo do problema de redução de perdas totais, sendo o valor função de  $x$  (tensão, topologia, carga, geração, etc.)

$V_i$  Módulo de tensão no barramento "i"

$V_{\min}$  e  $V_{\max}$  Limites da tensão no barramento "i"

$|V_i|$  Módulo de tensão do barramento "i"

$|I_{i,j}|$  Módulo da corrente eléctrica entre o barramento "i" e o "j"

$|I_{i,j \text{ max}}|$  Valor máximo admissível de corrente eléctrica entre o barramento "i" e o "j"

Verifica-se que o valor total das perdas depende das tensões dos barramentos, topologia da rede, diagrama de carga e diagrama de geração, isto é, depende de como é efectuado o trânsito de energia. Relativamente as simplificações, serão limitadas pela população de configurações escolhida para calcular as perdas ou pelo algoritmo que efectuar essa escolha de uma forma iterativa.

## 2.2. Trânsito de energia

### 2.2.1. Método de Gauss-Seidel

O método de Gauss-Seidel é uma homenagem aos matemáticos alemães Carl Friedrich Gauss e Philipp Ludwig von Seidel. A utilização deste método é comum para a resolução de sistemas de equações não lineares. Uma das particularidades para a convergência da sucessão de valores gerados para a solução exacta do sistema de equações, implica que a diagonal principal da matriz seja estritamente dominante.

Uma forma de explicar o método iterativo de Gauss-Seidel, é por analisar um exemplo. O exemplo escolhido foi o seguinte:

Considerando o sistema de equações não lineares: 
$$\begin{cases} 2x_1 + x_1x_2 = 1 \\ 2x_2 - x_1x_2 = -1 \end{cases}$$

O objectivo é determinar a solução do sistema de equações.

Para um método iterativo de cálculo é necessário definir os valores de arranque para

todas as variáveis do sistema. Para este sistema foram escolhidas: 
$$\begin{cases} x_1^0 = 1 \\ x_2^0 = 1 \end{cases}$$

Como num sistema existe sempre uma equação por cada incógnita, deve ser simplificado o sistema, de forma que cada equação esteja em função de cada

uma das incógnitas, neste sistema temos 
$$\begin{cases} x_1^k = \frac{1}{(x_2)^{k-1+2}} \\ x_2^k = \frac{1}{(x_1)^{k-2}} \end{cases}$$

É importante referir que as variáveis  $x_1^k$  e  $x_2^k$  são relativas à actual iteração, e que a variável  $(x_2)^{k-1}$  é relativa à iteração anterior. Um outro aspecto importante, é que numa iteração são utilizados sempre os valores mais actualizados das incógnitas, por esse motivo é que na segunda equação foi colocado o valor de  $(x_1)^k$ , em substituição do valor de  $(x_1)^{k-1}$ .

Relativamente à condição de paragem, ou seja, a variação do valor das incógnitas entre iterações, pode ser considerado  $\varepsilon = 10^{-3}$

É necessário no final de cada iteração verificar a condição de paragem, com a

$$\text{expressão } \begin{cases} \Delta x_1^k = |x_1^{k-1} - x_1^k| \leq \varepsilon \\ \Delta x_2^k = |x_2^{k-1} - x_2^k| \leq \varepsilon \end{cases}$$

Resolução:

$$\text{Iteração 1: } \begin{cases} x_1^1 = \frac{1}{x_2^0 + 2} = \frac{1}{1,000 + 2} = 0,333 \\ x_2^1 = \frac{1}{x_1^1 - 2} = \frac{1}{0,333 - 2} = -0,600 \end{cases}$$

$$\text{Iteração 2: } \begin{cases} x_1^2 = \frac{1}{x_2^1 + 2} = \frac{1}{0,333 + 2} = 0,714 \\ x_2^2 = \frac{1}{x_1^2 - 2} = \frac{1}{0,714 - 2} = -0,778 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \Delta x_1^2 = |x_1^1 - x_1^2| = 0,381 > \varepsilon \\ \Delta x_2^2 = |x_2^1 - x_2^2| = 0,178 > \varepsilon \end{cases}$$

$$\text{Iteração 3: } \begin{cases} x_1^3 = \frac{1}{x_2^2 + 2} = \frac{1}{0,714 + 2} = 0,818 \\ x_2^3 = \frac{1}{x_1^3 - 2} = \frac{1}{0,818 - 2} = -0,846 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \Delta x_1^3 = |x_1^2 - x_1^3| = 0,104 > \varepsilon \\ \Delta x_2^3 = |x_2^2 - x_2^3| = 0,068 > \varepsilon \end{cases}$$

.....

$$\text{Iteração 19: } \begin{cases} x_1^{19} = \frac{1}{x_2^{18} + 2} = \frac{1}{0,971 + 2} = 0,973 \\ x_2^{19} = \frac{1}{x_1^{19} - 2} = \frac{1}{0,973 - 2} = -0,974 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \Delta x_1^{19} = |x_1^{18} - x_1^{19}| = 0,002 > \varepsilon \\ \Delta x_2^{19} = |x_2^{18} - x_2^{19}| = 0,001 = \varepsilon \end{cases}$$

$$\text{Iteração 20: } \begin{cases} x_1^{20} = \frac{1}{x_2^{19} + 2} = \frac{1}{0,973 + 2} = 0,974 \\ x_2^{20} = \frac{1}{x_1^{20} - 2} = \frac{1}{0,974 - 2} = -0,975 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \Delta x_1^{20} = |x_1^{19} - x_1^{20}| = 0,001 = \varepsilon \\ \Delta x_2^{20} = |x_2^{19} - x_2^{20}| = 0,001 = \varepsilon \end{cases}$$

Se para condição de paragem, fosse considerado  $\varepsilon = 10^{-6}$ , conseguia-se obter os seguintes resultados desejados no final da iteração 580:

$$\begin{cases} x_1^{580} = \frac{1}{x_2^{579} + 2} = \frac{1}{0,9991368 - 2} = 0,999137 \\ x_2^{580} = \frac{1}{x_1^{580} - 2} = \frac{1}{0,9991360 - 2} = -0,999138 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \Delta x_1^{580} = |x_1^{579} - x_1^{580}| \cong 10^{-6} = \varepsilon \\ \Delta x_2^{580} = |x_2^{579} - x_2^{580}| \cong 10^{-6} = \varepsilon \end{cases}$$

Pode-se assim concluir que em situações que é exigida uma maior exactidão nos resultados, atribui-se um  $\varepsilon$  muito inferior, sabendo que esta alteração irá penalizar o tempo de cálculo para obtenção dos resultados.

## 2.2.2. Método de Gauss-Seidel aplicado ao trânsito de energia

Primeiro é importante definir que a solução do trânsito de energia (ou “power flow”) é desenvolvida em regime estacionário, isto é, para um determinado cenário de carga, geração e topologia.

O cálculo do trânsito de energia compreende os seguintes passos [2]:

1. Formulação de um modelo matemático, que representa com rigor o sistema físico;
2. Especificação dos tipos de barramentos e das grandezas referentes a cada um;
3. Solução numérica das equações do trânsito de energia, com o valor das amplitudes e argumentos das tensões de todos os barramentos;
4. Cálculo das potências que transitam em todos os ramos.

Para demonstrar o cálculo do trânsito de energia, foi utilizado um exemplo simples com 3 barramentos, representado na Figura 2.1-a. O esquema unifilar aqui representado, serve para evidenciar as características essenciais do trânsito de energia. O sistema apresentado é constituído por 2 barramentos de geração e 1 barramento de carga, o qual é alimentado pelos geradores através de 2 linhas independentes (linha 1-3 e linha 2-3).

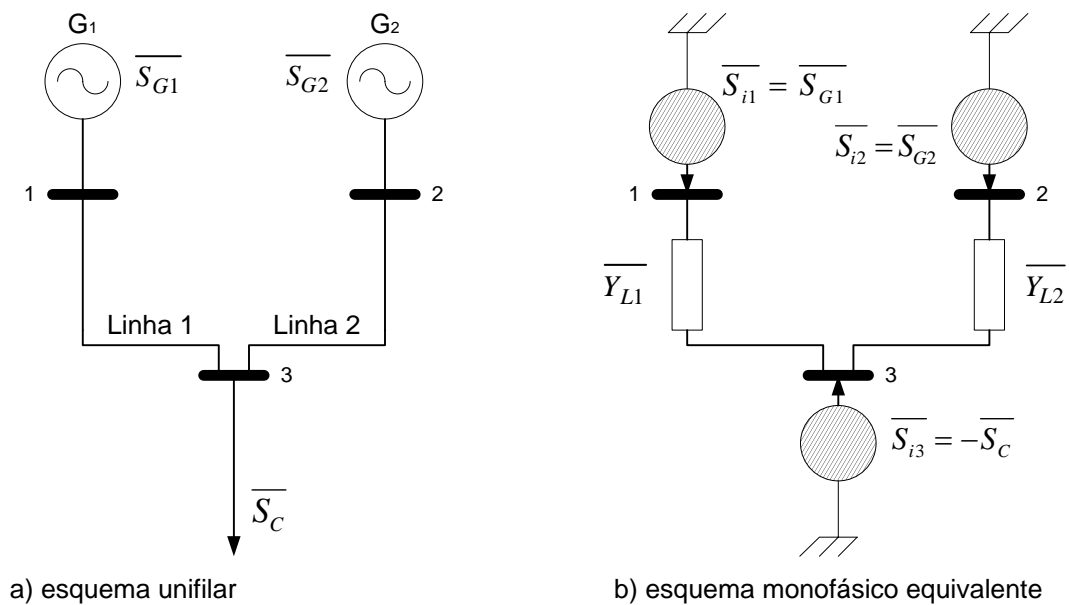


Figura 2.1 – Sistema com 3 barramentos

Após analisar o esquema unifilar, deve ser elaborado o esquema monofásico equivalente indicado na Figura 2.1-b.

O termo denominado “Potência nodal injectada” ( $\overline{S_{in}}$ ), representa o balanço de potências ligadas a um barramento, conforme representado na Figura 2.2.

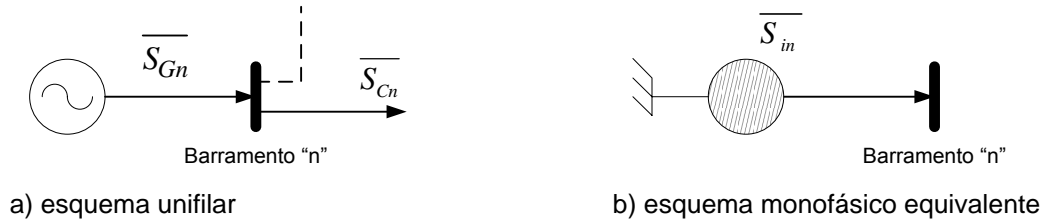


Figura 2.2 – Balanço de potências num barramento

Logo, potência injectada no barramento define-se como:

$$\overline{S_{in}} = \overline{S_{Gn}} - \overline{S_{Cn}} \quad 2.4$$

Onde:  $\overline{S_{in}}$  Potência complexa injectada no barramento “n”

$\overline{S_{Gn}}$  Potência complexa da geração ligada no barramento “n”

$\overline{S_{Cn}}$  Potência complexa da carga ligada no barramento “n” (se for de elasticidade nula, i.e., de potência constante)

Aplicando a primeira lei de Kirchhoff aos 3 barramentos da Figura 2.1-b, obtêm-se as seguintes equações nodais:

$$\begin{cases} \overline{I_{11}} = \overline{I_{1,3}} \\ \overline{I_{12}} = \overline{I_{2,3}} \\ \overline{I_{13}} = \overline{I_{1,3}} + \overline{I_{2,3}} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{\overline{S_{11}}}{\overline{V_1}^*} = \overline{Y_{1,3}} \times (\overline{V_1} - \overline{V_3}) \\ \frac{\overline{S_{12}}}{\overline{V_2}^*} = \overline{Y_{2,3}} \times (\overline{V_2} - \overline{V_3}) \\ \frac{\overline{S_{13}}}{\overline{V_3}^*} = \overline{Y_{1,3}} \times (\overline{V_3} - \overline{V_1}) + \overline{Y_{2,3}} \times (\overline{V_3} - \overline{V_2}) \end{cases} \quad 2.5$$

Onde:  $\overline{I_{in}}$  é a amplitude complexa da corrente nodal injectada no barramento “n”

$\overline{I_{i,j}}$  é a amplitude complexa da corrente entre o barramento “i” e o “j”

$\overline{S_{in}}$  é a potência complexa injectada no barramento “n”

$\overline{V_n}$  é a amplitude complexa tensão nodal do barramento “n”

$\overline{Y_{i,j}}$  é a admitância longitudinal entre o barramento “i” e o “j” (no exemplo da Figura 2.1, considerou-se como modelo de linha apenas o elemento longitudinal)

O sistema de equações 2.5, pode ser escrito na forma matricial, tendo em consideração a topologia da rede da Figura 2.1, da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \overline{I}_{11} \\ \overline{I}_{12} \\ \overline{I}_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Y}_{1,3} & 0 & -\overline{Y}_{1,3} \\ 0 & \overline{Y}_{2,3} & -\overline{Y}_{2,3} \\ -\overline{Y}_{1,3} & -\overline{Y}_{2,3} & \overline{Y}_{1,3} + \overline{Y}_{2,3} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \overline{V}_1 \\ \overline{V}_2 \\ \overline{V}_3 \end{bmatrix} \quad 2.6$$

Este sistema de equações poderá ser definido de forma matricial, conforme a seguinte expressão:

$$[\overline{I}] = [\overline{Y}] \cdot [\overline{V}] \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \overline{S}_l^* \\ \overline{V}^* \end{bmatrix} = [\overline{Y}] \cdot [\overline{V}] \quad 2.7$$

Onde:  $[\overline{I}]$  Vector das amplitudes complexas das correntes injectadas em cada nó  
 $[\overline{Y}]$  Matriz de admitâncias nodais  
 $[\overline{V}]$  Vector das amplitudes complexas das tensões nodais

Esta forma de definir um problema de trânsito de energia tem uma particularidade bastante importante, toda a parte física da rede de distribuição (linhas, cabos, transformadores, baterias de condensadores) está expressa na matriz de admitâncias nodais ( $[\overline{Y}]$ ), sendo considerada constante relativamente às variações das potências injectadas e das tensões nodais em todos os barramentos.

Para inserir uma bateria de condensadores num barramento (Figura 2.3-a), poderia ser contabilizada por somar o seu valor de potência reactiva à potência injectada num barramento, funcionando como um gerador a fornecer reactiva. Mas esse procedimento não seria o mais correcto, porque a potência reactiva gerada por um BC depende do quadrado da tensão aos seus terminais.



Figura 2.3 – Bateria de condensadores

O procedimento neste caso é determinar a admitância correspondente, aplicando a Equação 2.8, e pode ser incluída na matriz de admitâncias nodais.

$$\overline{Y}_{BC} = \frac{\overline{S}_N}{V_N^2} \quad 2.8$$

Onde:  $\overline{S}_N$  Potência complexa nominal  
 $V_N$  Tensão nominal

Normalmente os transformadores são modelizados tendo em consideração a tensão de curto-circuito ( $V_{CC}[\%]$ ), que representa em valores *p.u.* a impedância do transformador, na base da sua potência nominal ( $S_N$ ).

Para inserir um transformador entre dois barramentos (Figura 2.4), bastando determinar a admitância com a equação 2.9, e incluída na matriz de admitâncias.



Figura 2.4 – Transformador

$$\overline{Y}_{TR} = \frac{100}{V_{CC}} \times \frac{S_N}{V_N^2} \quad 2.9$$

Onde:  $S_N$  Potência nominal  
 $V_N$  Tensão nominal  
 $V_{CC}$  Tensão de curto-circuito

Relativamente às linhas e cabos de ligação entre barramentos (Figura 2.5-a) é conveniente utilizar o esquema equivalente em  $\pi$  (Figura 2.5-b), conhecer os parâmetros longitudinais (resistência e reactância) e transversais (susceptância) da linha ou cabo. Para determinar os valores a incluir na matriz de admitâncias nodais basta aplicar as Equações 2.10.

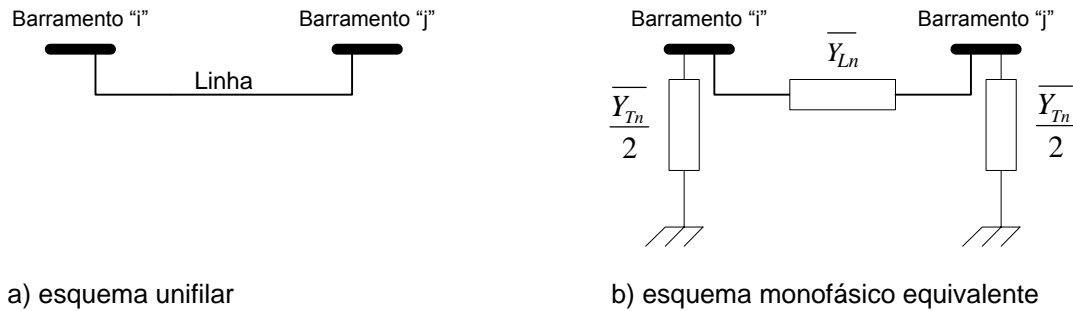


Figura 2.5 – Modelo em  $\pi$  de uma linha

$$\begin{cases} \overline{Y_{Ln}} = \frac{1}{R + jX} \\ \frac{\overline{Y_{Tn}}}{2} = \frac{jB}{2} \end{cases} \quad 2.10$$

Onde:  $\overline{Y_{Ln}}$  Admitância longitudinal da linha ou cabo

$\overline{Y_{Bn}}$  Admitância transversal da linha ou cabo

$R$  Resistência eléctrica do condutor

$X$  Reactância eléctrica do condutor

$B$  Susceptância eléctrica do condutor

Após determinar todas as admitâncias dos elementos constituintes da rede em análise, será necessário elaborar os seguintes cálculos:

- Coeficientes da diagonal principal da matriz: representa a soma de todas as admitâncias ligadas a um nó ou barramento “i”.

$$\overline{y_{ii}} = \sum_{n=1}^k \overline{Y_n} \quad \text{com } k = n^{\circ} \text{ de linhas ligada a um barramento} \quad 2.11$$

Onde:  $\overline{Y_n}$  Admitância ligada a um barramento

- Coeficientes fora da diagonal principal da matriz: representa a admitância que liga dois nós ou barramento “i” com o “j”.

$$\overline{y_{ij}} = \overline{y_{ji}} = -\overline{Y_{i,j}} \quad 2.12$$

Onde:  $\overline{Y_{i,j}}$  Admitância ligada entre o barramento “i” e “j”

Desta forma obtém-se a matriz de admitâncias nodais que estabelece o sistema de equações indicado na Equação 2.7.

Continuando a analisar o esquema da Figura 2.1, verificou-se que existem 2 barramentos com geração e outro com uma carga. Existe a necessidade de caracterizar cada tipo de barramento, estes podem distinguir-se pelas variáveis conhecidas, especificadas e calculadas, conforme sistematizado na Tabela 2.1.

| Tipos de barramento   | Variáveis conhecidas | Variáveis especificadas | Variáveis calculadas |
|-----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| Referência ou Balanço | $P_L$ e $Q_L$        | $V$ e $\delta$          | $P_G$ e $Q_G$        |
| PQ (Carga ou Geração) | $P_L$ e $Q_L$        | $P_G$ e $Q_G$           | $V$ e $\delta$       |
| PV (Geração)          | $P_L$ e $Q_L$        | $P_G$ e $V$             | $Q_G$ e $\delta$     |

Tabela 2.1 – Tipos de barramentos

Num sistema de energia eléctrica, os barramentos de carga (PQ) representa cerca de 80 a 90%, enquanto os barramentos de geração (PV) representa cerca de 10 a 20% dos existentes da rede. Relativamente ao barramento de Referência ou Balanço (Ref<sup>a</sup>) deve existir pelo menos um, para que se seja possível fechar o balanço energético.

Relativamente ao barramento PV, pode ocorrer uma variação, conforme demonstrado na Figura 2.6, o barramento “i” será considerado como PV e as variáveis conhecidas são:

- Potência activa do gerador ( $P_G$ ) ligado ao barramento “i”;
- Tensão complexa ( $\bar{V}$ ) do barramento “j” (é considerado um objectivo a atingir).

Nesta situação é importante actuar na potência reactiva do gerador ( $Q_G$ ), para que a tensão complexa ( $\bar{V}$ ), seja igual ao valor objectivo a atingir. Esta situação é comum quando uma central de produção de energia eléctrica, estabelece ligação com a RND ou RNT, será indicado pelo operador de rede qual o valor de tensão esperada no barramento de interligação.

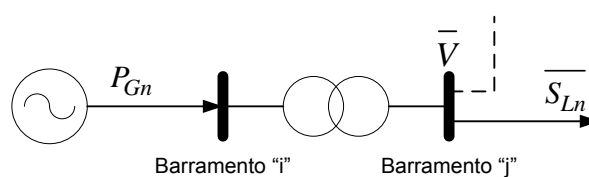


Figura 2.6 – Variação do barramento PV

Conforme pode ser verificado na Tabela 2.1, potência da carga é um dos dados conhecidos em todos os tipos de barramentos, para as restantes variáveis ( $V$ ,  $\delta$ ,  $P_G$  e  $Q_G$ ), muito depende do tipo de barramento.

Com base na Tabela 2.1, e aplicando os tipos de barramento ao esquema da Figura 2.1, é possível definir o seguinte:

- Barramento 1 e 2: poderiam ser de do tipo “Ref<sup>a</sup>” ou PV, como o objectivo é explicar o método de cálculo, será definido que o barramento 1 é do tipo “Ref<sup>a</sup>” e o 2 é “PV”;
- Barramento 3: como não tem potência de geração e só tem potência de carga, este barramento é do tipo “PQ”.

Aplicando estas definições, ficam caracterizados as variáveis conhecidas e especificadas ( $\overline{V}_1$ ,  $\overline{V}_2$ ,  $P_{G2}$  e  $\overline{S}_C$ ) e as variáveis a calcular ( $\overline{V}_3$ ,  $\overline{S}_{G1}$  e  $Q_{G2}$ ).

Convertendo as variáveis da Equação 2.5, para as indicadas no esquema da Figura 2.1, é obtido o sistema de equações 2.13.

$$\begin{cases} \frac{P_{G1} - jQ_{G1}}{\overline{V}_1^*} = \overline{Y}_{L1} \times (\overline{V}_1 - \overline{V}_3) \\ \frac{P_{G2} - jQ_{G2}}{\overline{V}_2^*} = \overline{Y}_{L2} \times (\overline{V}_2 - \overline{V}_3) \\ \frac{-P_C + jQ_C}{\overline{V}_3^*} = \overline{Y}_{L1} \times (\overline{V}_3 - \overline{V}_1) + \overline{Y}_{L2} \times (\overline{V}_3 - \overline{V}_2) \end{cases} \quad 2.13$$

Explicitando as três equações do sistema em função das variáveis a calcular ( $\overline{V}_3$ ,  $\overline{S}_{G1}$  e  $Q_{G2}$ ), foi obtido o sistema equações 2.14.

$$\begin{cases} P_{G1} - jQ_{G1} = [(\overline{V}_1 \times \overline{Y}_{L1} - \overline{V}_3 \times \overline{Y}_{L1}) \times \overline{V}_1^*]^* \\ Q_{G2} = -Im[\overline{V}_2^* \times (\overline{V}_2 \times \overline{Y}_{L2} - \overline{V}_3 \times \overline{Y}_{L2})] \\ \overline{V}_3 = \frac{1}{\overline{Y}_{L1} + \overline{Y}_{L2}} \cdot \left[ \overline{V}_1 \times \overline{Y}_{L1} + \overline{V}_2 \times \overline{Y}_{L2} - \frac{-P_C + jQ_C}{\overline{V}_3^*} \right] \end{cases} \quad 2.14$$

Para resolver o sistema de equações 2.14, pelo método de Gauss-Seidel é necessário seguir os seguintes passos:

#### 1. Considerações iniciais:

- A potência do barramento do tipo “Ref<sup>a</sup>” ( $\overline{S}_{G1}$ ), só é determinada após o final do cálculo de todas as tensões nodais;
- Os valores de arranque para todas as variáveis calcular ( $\overline{V}_3$ );

- Condição de paragem, ou seja, a variação do valor das variáveis a calcular em cada iteração ( $\varepsilon$ );
2. No início de cada iteração ( $k$ ) é calculada a potência reactiva de todos os barramentos do tipo “PV” ( $Q_{G2}$ );
  3. Determina-se o valor complexo de todas as tensões nodais ( $\overline{V}_3$ );
  4. Na primeira iteração salta-se a execução para o passo 2, nas iterações seguinte é verificada a variação das tensões calculadas no passo 3.

$$\Delta|\overline{V}_3|^k = ||\overline{V}_3|^{k-1} - |\overline{V}_3|^k| \quad , \quad \text{sendo} \begin{cases} k-1 = \text{valor da iteração anterior} \\ k = \text{valor da iteração actual} \end{cases}$$

5. Caso a variação de todos os valores calculados no passo 3 satisfaçam a condição  $\Delta|\overline{V}_3|^k < \varepsilon$ , obtêm-se os valores finais das tensões nodais, caso contrário, repete-se o passo 2;
6. Conhecendo todas as tensões nodais da rede é determinada a potência injectada nos barramentos de tipo “Ref<sup>a</sup>” ( $\overline{S}_{G1}$ ).

## 2.3. Metodologia para redução de perdas

### 2.3.1. Definição da metodologia

Na definição de uma metodologia para redução de perdas, foi efectuado um levantamento bibliográfico e seleccionados três artigos científicos, com a seguinte abordagem:

- *A New Heuristic Approach for Optimal Network Reconfiguration in Distribution Systems* (R. Srinivasa Rao, S. V. L. Narasimham) [3]: neste artigo é comparada as diferenças de tensão em todos os barramentos que existe uma linha com um *Seccionador* aberto e estabelecida uma sequência de locais a intervir. Os pressupostos são: a rede deve de ser sempre radial e a aplicação realizada em *MATLAB* calcula a tensão dos barramentos, o trânsito de energia e perdas. Entre cada iteração deve existir uma redução de perdas, caso contrário assume-se a configuração anterior. Este processo repete-se até se atingir o limite das opções periodizadas.
- *A New Heuristic Network Reconfiguration Algorithm for Radial Distribution System* (Jaswanti and T. Thakur) [4]: neste artigo é utilizado um método de comparação entre configurações, sendo escolhida aquela que se obtém melhores indicadores. A aplicação de cálculo é a *ETAP*.

- *A New Approach of Distribution System Reconfiguration for Loss Minimization (M.A. Kashem, G.B. Jasmon, V. Ganapathy)* [5]: neste artigo é utilizada uma abordagem semelhante à do artigo [3], e elaborada uma comparação dos resultados com a de outros artigos.

Destes três artigos foi escolhido o artigo [3], devido ao método utilizado e à explicação clara e sustentada da metodologia implementada, permitindo no final uma análise comparativa.

Analisando o artigo seleccionado, o autor define que o problema de redução de perdas se baseia na reconfiguração iterativa de uma rede, e obter uma configuração com o mínimo de perdas que satisfaça restrições de operação, para um determinado cenário de carga na rede. As restrições usuais são: queda de tensão, capacidade actual e topologia do sistema radial.

Para formulação do problema matemático, tendo em consideração minimizar a função objectivo de perdas e as respectivas restrições, o autor definiu uma equação semelhante à anteriormente indicada com Equação 2.3.

Para demonstração e explicação do método aplicado no artigo [3], será considerado um troço de rede com dois barramentos (Figura 2.7).

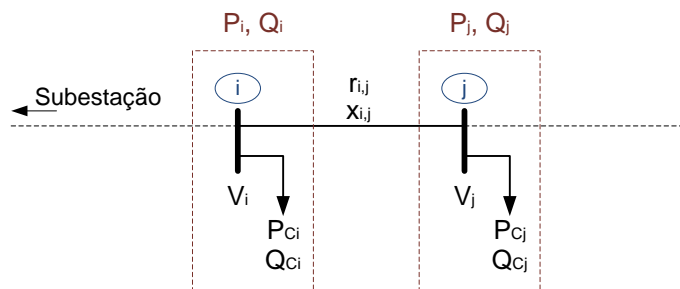


Figura 2.7 – Variáveis envolvidas no estudo de um feeder (2 barramento)

Este método poderá ser aplicado de duas formas, uma delas, é iniciar o cálculo a partir da subestação até às extremidades da rede radial, mas com esta opção existe um problema, o desconhecimento das potências equivalentes em jogo a jusante do barramento “i” (Figura 2.7), portanto a forma mais correcta de aplicar o método será das extremidades da rede até à subestação, conseguindo sempre obter as potências equivalentes, o que facilita os cálculos.

Aplicando o método das extremidades para a subestação, e considerando o diagrama da Figura 2.7, são definidas as seguintes equações de cálculo:

$$\bar{S}_i = (r_{i,j} + jx_{i,j}) \times \frac{P_j^2 + Q_j^2}{|\bar{V}_j|^2} + \bar{S}_{Ci} \quad 2.15$$

$$|\bar{V}_i| = |\bar{V}_j| + |\Delta\bar{V}_{i,j}| \quad 2.16$$

Onde:  $\bar{S}_i$  Potência complexa ligada no barramento “i”

$r_{i,j}$  Resistência do condutor entre o barramento “i” e o “j”

$x_{i,j}$  Reactância do condutor entre o barramento “i” e o “j”

$P_j$  Potência activa ligada ao barramento “j”

$Q_j$  Potência reactiva ligada ao barramento “j”

$|\bar{V}_j|$  Módulo da tensão nodal do barramento “j”

$\bar{S}_{Ci}$  Potência complexa da carga ligada ao barramento “i”

$|\bar{V}_i|$  Módulo da tensão nodal do barramento “i”

$|\Delta\bar{V}_{i,j}|$  Queda de tensão entre o barramento “i” e o “j”

A partir destas duas equações base, foram determinadas as equações utilizadas para todos os cálculos. Com base na Equação 2.15, obtêm-se as potências activas e reactivas (Equações 2.17 e 2.18) e as perdas activas em cada linha (Equação 2.19).

$$P_i = r_{i,j} \cdot \frac{P_j^2 + Q_j^2}{|\bar{V}_j|^2} + P_{Ci} \quad 2.17$$

$$Q_i = x_{i,j} \cdot \frac{P_j^2 + Q_j^2}{|\bar{V}_j|^2} + Q_{Ci} \quad 2.18$$

$$p_{i,j} = r_{i,j} \cdot \frac{P_j^2 + Q_j^2}{|\bar{V}_j|^2} \quad 2.19$$

Onde:  $P_i$  Potência activa ligada ao barramento “i”  
 $r_{i,j}$  Resistência do condutor entre o barramento “i” e o “j”  
 $P_j$  Potência activa ligada ao barramento “j”  
 $Q_j$  Potência reactiva ligada ao barramento “j”  
 $|\bar{V}_j|$  Módulo da tensão nodal do barramento “j”  
 $P_{Ci}$  Potência activa da carga ligada ao barramento “i”  
 $Q_i$  Potência reactiva ligada ao barramento “i”  
 $x_{i,j}$  Reactância do condutor entre o barramento “i” e o “j”  
 $Q_{Ci}$  Potência reactiva da carga ligada ao barramento “i”  
 $p_{i,j}$  Potência activa de perdas entre o barramento “i” e o “j”

Com base na Equação 2.16, e após algumas simplificações obtêm-se a seguinte equação:

$$|\bar{V}_i|^2 = |\bar{V}_j|^2 + 2 \cdot (r_{i,j} \cdot P_j + x_{i,j} \cdot Q_j) + (r_{i,j}^2 + x_{i,j}^2) \cdot \frac{(P_j^2 + Q_j^2)}{|\bar{V}_j|^2} \quad 2.20$$

Após efectuar todos os cálculos de trânsito de energia, para determinar as perdas totais da rede, basta aplicar a seguinte expressão:

$$p_{total} = \sum_{\text{de todas as linhas ligadas}} p_{i,j} \quad 2.21$$

As Equações 2.17 a 2.21, são definidas no artigo [3] para efectuar o cálculo do trânsito de energia, mas existem algumas particularidades com esta forma de cálculo. Como o objectivo é determinar as perdas totais da rede ( $p_{total}$ ), o autor definiu que bastaria efectuar o cálculo do módulo da tensão ( $|\bar{V}_i|$ ), ao contrário do efectuado pelo método de Gauss-Seidel que é calculada a tensão complexa em cada barramento.

No artigo [3], é utilizado um método para seleccionar as linhas a ligar e a desligar para optimização as perdas globais da rede.

Os passos que constituem este método proposto, é ilustrado no fluxograma indicado na Figura 2.8.

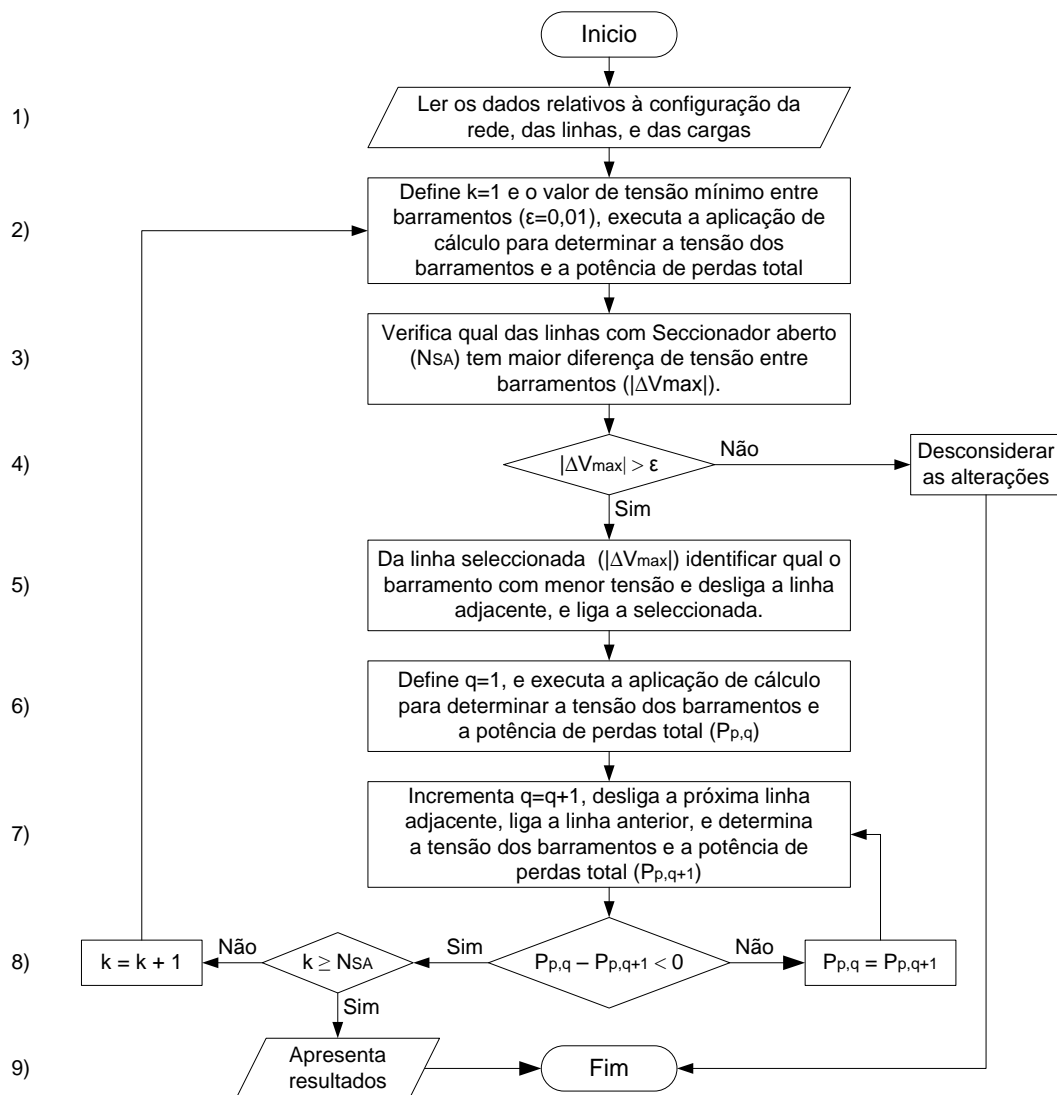


Figura 2.8 – Fluxograma do método do artigo científico

O método proposto no artigo [3] é constituído pelos seguintes passos:

- 1) Lê os dados da configuração inicial da rede, as características técnicas das linhas e cabos e os dados das cargas ligadas aos barramentos;
- 2) Inicia o contador de iterações ( $k = 1$ ) para a primeira execução e define a diferença mínima de tensão entre barramentos ( $\epsilon$ ). Executa a aplicação de cálculo do trânsito de energia da rede, e determina os valores de tensão em cada barramento e os valores de perdas na rede para a configuração;
- 3) Verifica qual das linhas com seccionador aberto ( $N_{SA}$ ) ocorre a maior diferença de tensão ( $|\Delta V_{max}|$ ), e identifica-a como uma possibilidade para mudança de estado de exploração (desligada para ligada);

- 4) Caso na linha identificada no passo 3) a diferença de tensão ( $|\Delta V_{max}|$ ) seja inferior a tensão mínima definida entre barramentos ( $\varepsilon$ ), a execução do método é interrompida, porque todos os valores estão dentro do intervalo de confiança indicado inicialmente. Caso seja superior, continua a execução do algoritmo no passo 5);
- 5) Verifica qual dos barramentos da linha seleccionada no passo 3), tem menor valor de tensão, e marca a linha adjacente como possibilidade para desligar;
- 6) Inicia o contador de iterações nas linhas adjacentes ( $q = 1$ ), e executa a aplicação de cálculo do trânsito de energia da rede, e determina o valor de perdas na rede ( $P_{p,q}$ ) para a nova configuração;
- 7) Incrementa o contador de iterações nas linhas adjacentes ( $q = q + 1$ ), identifica a próxima linha adjacente como possibilidade para desligar e liga a anteriormente considerada para desligar, de seguida executa a aplicação de cálculo do trânsito de energia da rede, e determina o valor de perdas na rede ( $P_{p,q+1}$ ) para a nova configuração;
- 8) Verifica a condição  $P_{p,q} - P_{p,q+1} < 0$ :
  - a) Caso a condição seja verdadeira, e o valor do contador de iterações ( $k$ ) seja inferior ao número de linhas com seccionador aberto ( $N_{SA}$ ), incrementa o contador de iterações ( $k + 1$ ) e salta a execução para o passo 2), caso contrário salta a execução para o passo 9);
  - b) Caso a condição seja falsa, fixa o estado de exploração da linha seleccionada para ligada, define que  $P_{p,q} = P_{p,q+1}$ , e salta a execução para o passo 7);
- 9) Apresenta os resultados e configuração da rede otimizada para a redução de perdas, e interrompe a execução do método.

Com a metodologia apresentada, é possível efectuar uma abordagem técnica, em que o valor das cargas é estático, mas numa rede de distribuição os pontos de entrega da energia têm um comportamento dinâmico. Para elaborar um estudo dinâmico com este método, é necessário considerar vários níveis de carga e para cada um deve ser elaborado um estudo que permitirá obter a correspondente configuração para a redução de perdas.

### 2.3.2. Aplicação da metodologia a uma rede de 33 barramentos

O método de redução de perdas descrita no artigo [3], tem uma aplicação em redes com poucos barramentos, mas quando a rede é complexa é necessário utilizar um algoritmo

computacional para reduzir o tempo de execução dos cálculos e aumentar a exactidão dos resultados.

Usando para o cálculo do trânsito de energia o método de Gauss-Seidel e o método do artigo [3] para alterar a configuração da rede, foi elaborado um algoritmo em MATLAB. As principais etapas que constituem são indicadas de uma forma simplificada no fluxograma da Figura 2.9, que permite um melhor entendimento do processo de cálculo.

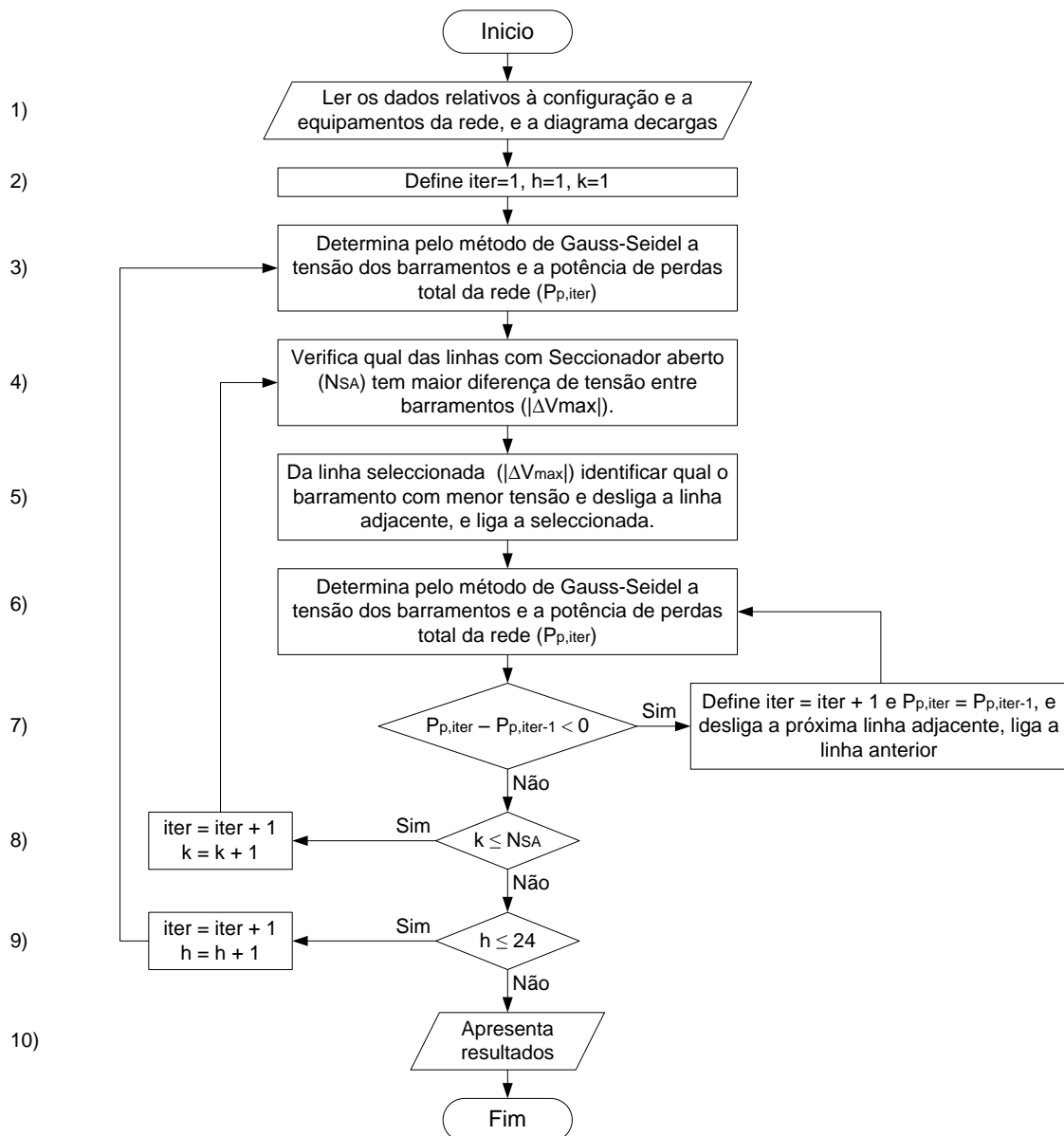


Figura 2.9 – Fluxograma do algoritmo em MATLAB

O algoritmo proposto é constituído pelos seguintes passos:

- 1) Lê os dados da configuração inicial da rede, as características técnicas das linhas/cabos, as características técnicas de outros equipamentos (baterias de condensadores, transformadores) e os diagramas de carga e geração conforme indicado no Anexo A.2;
- 2) Inicia os contadores de iterações ( $iter = 1$ ), de horas ( $h = 1$ ) e de linhas com seccionador aberto ( $k = 1$ );
- 3) Executa o cálculo do trânsito de energia da rede com o método de Gauss-Seidel, e determina os valores de tensão em cada barramento e os valores de perdas na rede para a configuração;
- 4) Verifica qual das linhas com seccionador aberto ( $N_{SA}$ ) ocorre a maior diferença de tensão ( $|\Delta V_{max}|$ ), e identifica-a como uma possibilidade para mudança de estado de exploração (desligada para ligada);
- 5) Verifica qual dos barramentos da linha seleccionada no passo 4), tem menor valor de tensão, e marca a linha adjacente como possibilidade para desligar;
- 6) Executa o cálculo do trânsito de energia da rede com o método de Gauss-Seidel, e determina os valores de tensão em cada barramento e os valores de perdas na rede para a configuração;
- 7) Verifica a condição  $P_{p,iter} - P_{p,iter-1} < 0$ :
  - a) Caso a condição seja verdadeira, incrementa contador de iterações do algoritmo ( $iter = iter + 1$ ) e define que  $P_{p,iter} = P_{p,iter-1}$  para permitir a comparação de valores após o próximo cálculo de trânsito de energia. Identifica a próxima linha adjacente como possibilidade para desligar e liga a anteriormente considerada para desligar, e salta a execução para o passo 6);
  - b) Caso a condição seja falsa, salta a execução para o passo 8);
- 8) Verifica a condição  $k \leq N_{SA}$ :
  - a) Caso a condição seja verdadeira, incrementa os contadores de iterações do algoritmo ( $iter = iter + 1$ ) e o de linhas com seccionador aberto ( $k = k + 1$ ), e salta a execução para o passo 4);
  - b) Caso a condição seja falsa, salta a execução para o passo 9);
- 9) Verifica a condição  $h \leq 24$ :
  - a) Caso a condição seja verdadeira, incrementa os contadores de iterações do algoritmo ( $iter = iter + 1$ ) e o de horas ( $h = h + 1$ ), e salta a execução para o passo 3);
  - b) Caso a condição seja falsa, salta a execução para o passo 10);
- 10) Apresenta os resultados e configuração da rede otimizada para a redução de perdas, e interrompe a execução do método.

Baseado neste método de reconfiguração da rede para redução de perdas, foi elaborado um estudo à mesma rede do artigo [3] (Figura 2.10). Os dados relativos às linhas, cabos e potência de carga de cada barramento, estão incluídos numa tabela no Anexo A.4

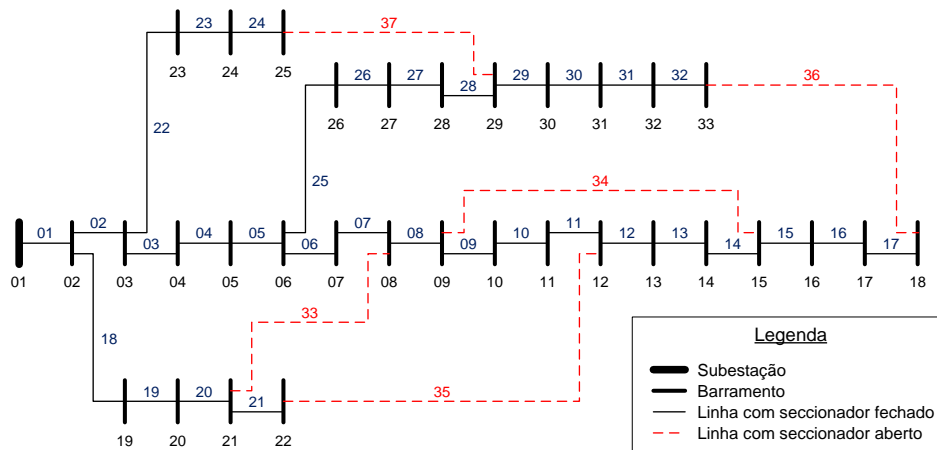


Figura 2.10 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos

Para este estudo foram efectuadas as mesmas considerações que do artigo [3], para tornar possível uma comparação e validação do algoritmo, e foram as seguintes:

- Existe seccionadores em todas as linhas da rede com excepção da linha nº 1;
- Após a reconfiguração é verificado se a rede se mantém a radial e se todos os barramentos são alimentados com energia eléctrica.

Como objectivo de explicar o algoritmo, será indicado seguidamente passo a passo os factos mais relevantes da execução do método:

- Executar o cálculo do trânsito de energia para a configuração da Figura 2.10, os resultados estão registados no Anexo A.5, na coluna da iteração “Inicial”;
- Determinar a diferença de tensão entre as extremidades das linhas com seccionador aberto;

$$\text{Linha nº 33} \rightarrow \Delta V_{08,21}^{\text{Inicial}} = \left| |\overline{V}_{08}| - |\overline{V}_{21}| \right| = |0,941 - 0,992| = 0,051 \text{ p. u.}$$

$$\text{Linha nº 34} \rightarrow \Delta V_{09,15}^{\text{Inicial}} = \left| |\overline{V}_{09}| - |\overline{V}_{15}| \right| = |0,934 - 0,916| = 0,018 \text{ p. u.}$$



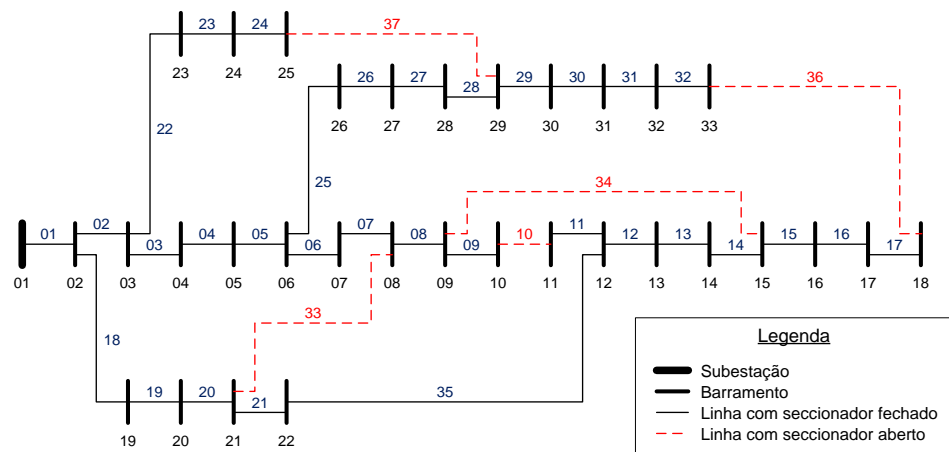


Figura 2.12 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Iteração n.º 2)

g) Executar o cálculo do trânsito de energia para a configuração da Figura 2.12, os resultados estão registados no Anexo A.5, na coluna da iteração “2”;

h) Verifica-se a ocorrência de uma redução de perdas;

$$\Delta p_{\text{totais}}^{1,2} = p_{\text{totais}}^1 - p_{\text{totais}}^2 = 1,436 - 1,410 = 0,026 \text{ p.u.}$$

i) Selecciona-se para ligar a linha nº 10 e para desligar a linha nº 09, porque é a próxima linha adjacente à anteriormente seleccionada. A nova configuração da rede é a seguinte:

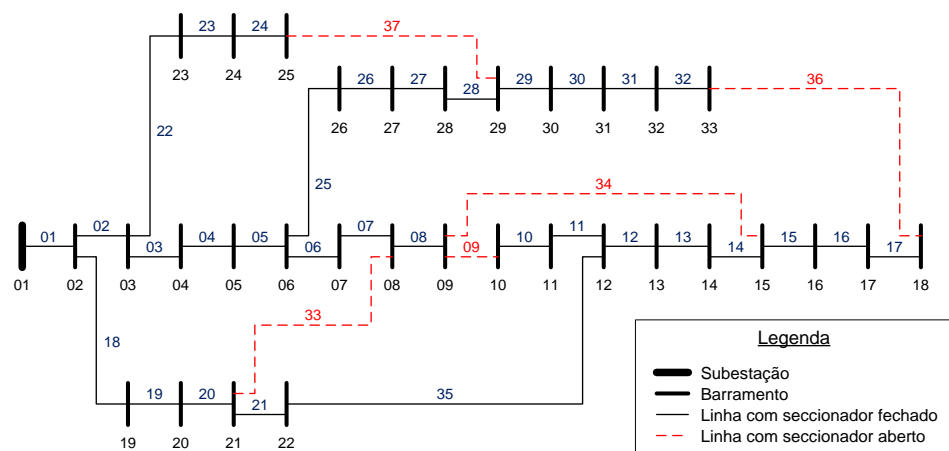


Figura 2.13 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Iteração n.º 3)

j) Executar o cálculo do trânsito de energia para a configuração da Figura 2.13, os resultados estão registados no Anexo A.5, na coluna da iteração “3”;

k) Verifica-se a ocorrência de uma redução de perdas;

$$\Delta p_{totalis}^{2,3} = p_{totalis}^2 - p_{totalis}^3 = 1,410 - 1,386 = 0,024 p. u.$$

l) Selecciona-se para ligar a linha nº 09 e para desligar a linha nº 08, porque é a próxima linha adjacente à anteriormente seleccionada. A nova configuração da rede é a seguinte:

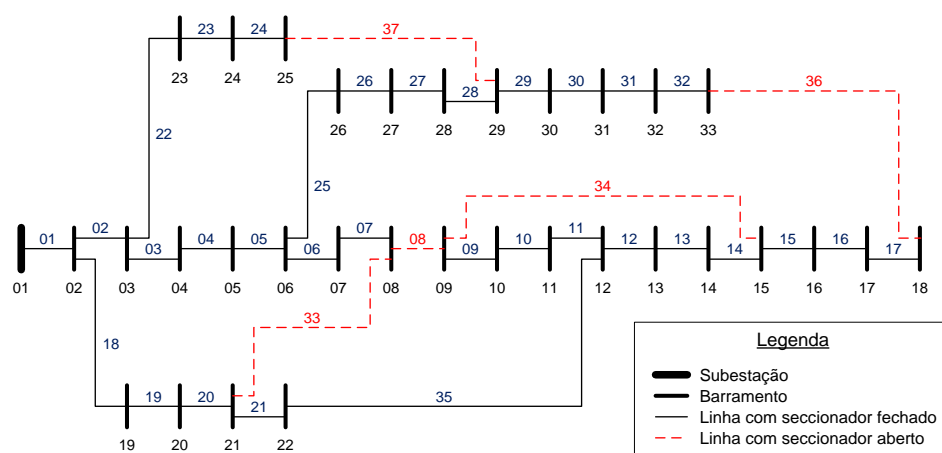


Figura 2.14 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Iteração n.º 4)

m) Executar o cálculo do trânsito de energia para a configuração da Figura 2.14, os resultados estão registados no Anexo A.5, na coluna da iteração “4”;

n) Verifica-se a ocorrência de uma redução de perdas;

$$\Delta p_{totalis}^{3,4} = p_{totalis}^3 - p_{totalis}^4 = 1,386 - 1,368 = 0,018 p. u.$$

o) Selecciona-se para ligar a linha nº 08 e para desligar a linha nº 07, porque é a próxima linha adjacente à anteriormente seleccionada. A nova configuração da rede é a seguinte:

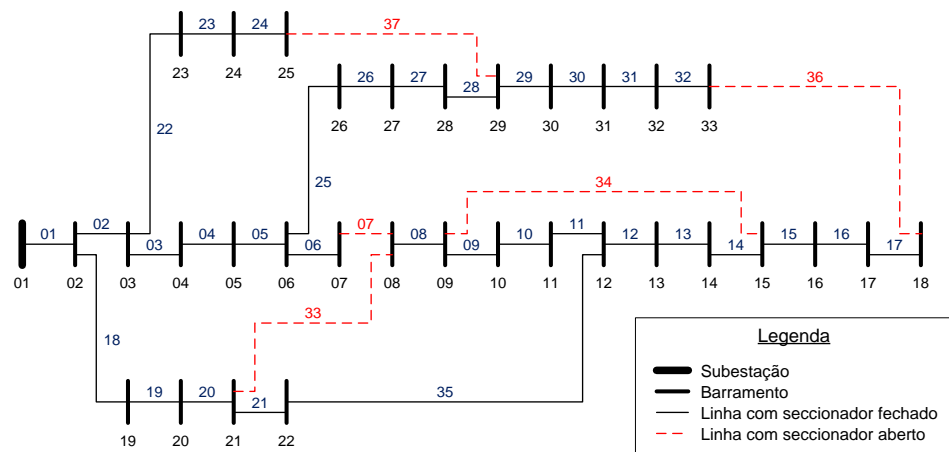


Figura 2.15 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Iteração n.º 5)

- p) Executar o cálculo do trânsito de energia para a configuração da Figura 2.15, os resultados estão registados no Anexo A.5, na coluna da iteração “5”;
- q) Verifica-se a ocorrência de uma redução de perdas;

$$\Delta p_{\text{totais}}^{4,5} = p_{\text{totais}}^4 - p_{\text{totais}}^5 = 1,368 - 1,344 = 0,024 \text{ p. u.}$$

- r) Selecciona-se para ligar a linha nº 07 e para desligar a linha nº 06, porque é a próxima linha adjacente à anteriormente seleccionada. A nova configuração da rede é a seguinte:

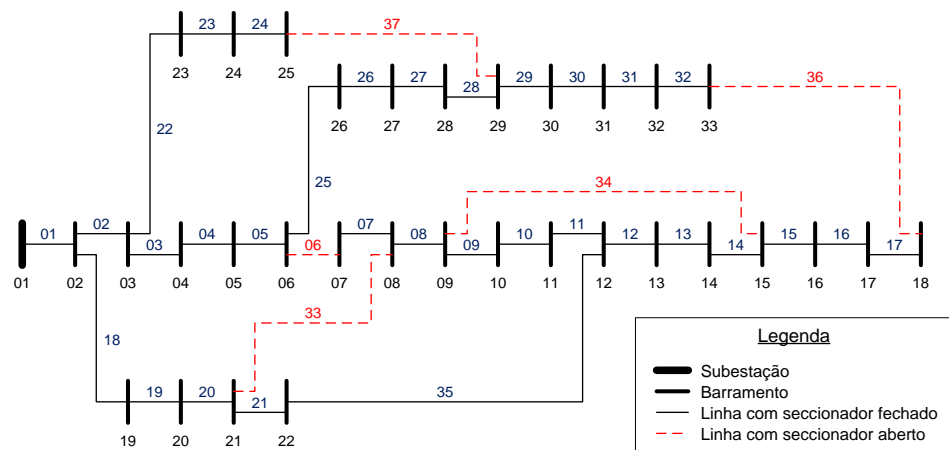


Figura 2.16 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Iteração n.º 6)

s) Executar o cálculo do trânsito de energia para a configuração da Figura 2.16, os resultados estão registados no Anexo A.5, na coluna da iteração “6”;

t) Verifica-se a ocorrência de uma redução de perdas;

$$\Delta p_{\text{totais}}^{5,6} = p_{\text{totais}}^5 - p_{\text{totais}}^6 = 1,344 - 1,393 = -0,049 \text{ p.u.}$$

Verificou-se que não ocorreu uma redução de perdas, define-se que a configuração da Figura 2.15, será um ponto de partida para o próximo cálculo.

Semelhante ao passo b), com base nos resultados da iteração “5” foi calculada a diferença de tensão entre as extremidades das linhas nº 33, 34, 36 e 37. Seguidamente foi verificado a redução de perdas para novas configurações à semelhança do indicado nos passos c) a t)

u) Após todos os cálculos iterativos foi obtida no final a seguinte configuração:

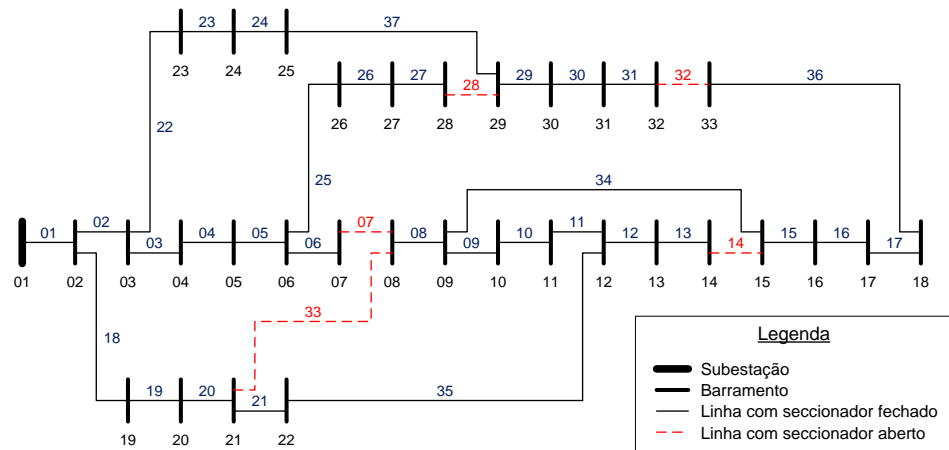


Figura 2.17 – Esquema unifilar de uma rede com 33 barramentos (Final)

Verificou-se que alterado a configuração inicial da rede, desligando as linhas 7, 14, 28 e 32, e ligando as linhas 34, 35, 36 e 37, foi possível reduzir as perdas de 197,8 kW para 130 kW, sendo a variação de perdas na ordem de 32% (67,8 kW).



Confirma-se que o valor obtido no PSS/E para as duas configurações, é um valor aproximado, foi então considerado que o resultado de perdas do algoritmo é inferior ao do artigo [3].

Verificou-se ainda que os resultados obtidos com o algoritmo são mais próximos dos resultados do PSS/E, o mesmo não ocorre com os resultados indicados no artigo [3]. Confirmando-se alguma exactidão nos resultados obtidos pelo algoritmo.

Verificando um gráfico comparativo (Figura 2.19) entre o valor dos módulos das tensões nodais iniciais e finais do algoritmo, é interessante verificar que o valor de tensão máxima é igual em ambas as situações e o valor de tensão mínimo é de 0,912 p.u. na configuração inicial e de 0,937 p.u. na configuração final.

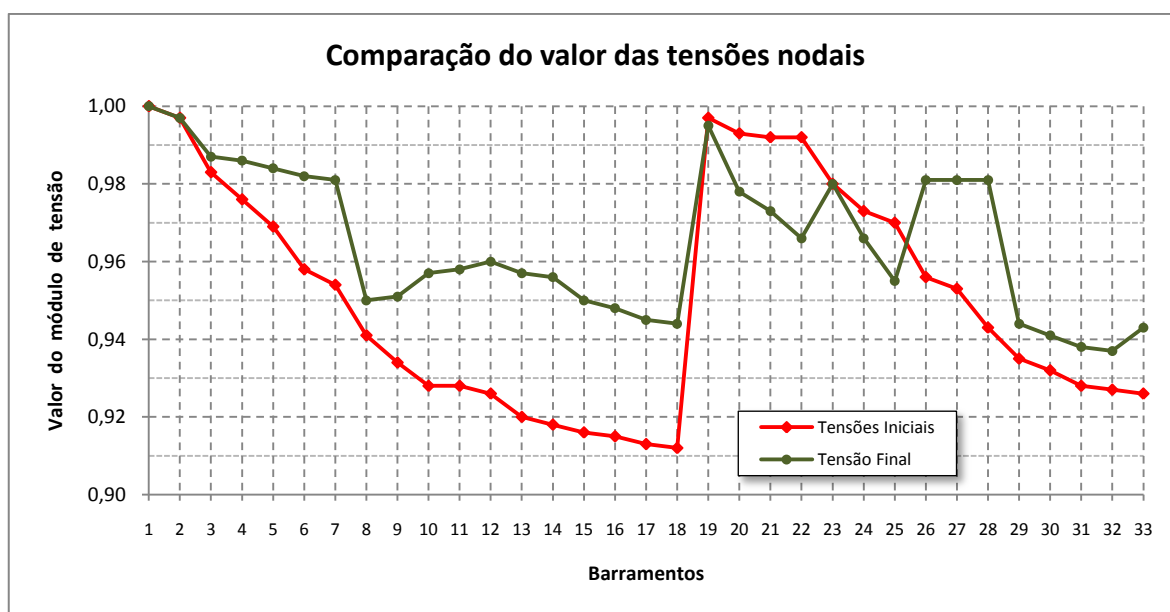


Figura 2.19 – Tensões dos barramentos (algoritmo)

Confrontando os resultados iniciais com os finais obtidos no cálculo efectuado pelo algoritmo, comprova-se um aumento da tensão nodal final nos barramentos que inicialmente tinham um valor mais baixo.

Comparando os resultados do algoritmo com os do artigo e do PSSe, verificaram-se as diferenças indicadas na Figura 2.20.

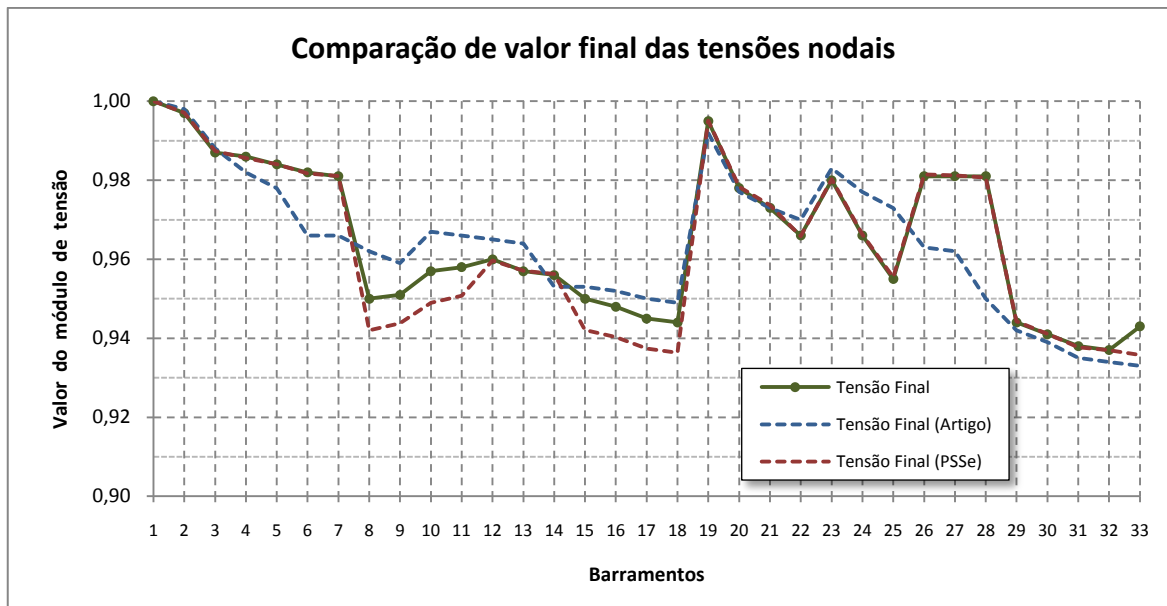


Figura 2.20 – Comparação das tensões dos barramentos

Analisando o gráfico verificou-se que existiram um maior desvio nos valores obtidos entre o algoritmo e o artigo. Isto deve-se ao facto de o artigo utilizar o valor dos módulos de tensão para os cálculos, ao contrário do valor complexo (módulo e ângulo de defasamento da tensão) utilizado pelo algoritmo. Este método utilizado no artigo, repercute um erro cumulativo nos valores obtidos de tensão nodal seguintes.

Relativamente aos valores obtidos entre o algoritmo e o PSSe, verificou-se que existe um desvio 0,1% em 27% dos barramentos.

Esta análise comprova que é correcto o método utilizado para a selecção de linhas a ligar/desligar, por comparação dos valores de tensão dos barramentos. Visto que, reduzindo a diferença de tensão entre dois barramentos, é reduzido o trânsito de energia na linha que interliga-os, e no final as perdas por efeito de joule na linha também são menores.

---

# Capítulo

# 3

---

### **3. Fiabilidade em redes de distribuição**

#### **3.1. Introdução**

Neste capítulo será explicado uma forma de determinar e de melhorar a fiabilidade de uma rede. Para quantificar a fiabilidade, foram utilizados indicadores reconhecidos, quer oficialmente pelas instituições governamentais, quer pelas diversas empresas.

Os indicadores utilizados foram aprovados por despacho governamental, e encontram-se registados no Regulamento de Qualidade de Serviço [9]. A sua importância é reconhecida pelas diversas instituições intervenientes no processo. Os indicadores e as particularidades do RQS serão analisados em pormenor no neste capítulo, e verificadas a sua aplicabilidade no estudo da fiabilidade de uma rede de distribuição.

#### **3.2. Conceitos teóricos de fiabilidade**

Para realizar o estudo de fiabilidade de uma rede de distribuição, é importante antecipar as ocorrências de interrupções ou perturbações na rede. Para realizar este objectivo, o operador de rede tem duas possibilidades:

- Investimento num bom plano de manutenção preventiva e identificar os equipamentos com defeito, para efectuar substituição do equipamento ou de componentes. Esta forma de actuação não evita interrupções ou perturbações fortuitas;
- Realização de uma análise no contexto da probabilidade de ocorrência de uma interrupção ou perturbação numa zona da rede e qual o tempo médio de recuperação da condição do equipamento. Com base nesta análise, actuar de forma a minimizar a influência da interrupção na restante rede de distribuição.

Na Figura 3.1, encontra-se ilustrado o comportamento de um equipamento, e a partir deste conhecimento é possível determinar:

- Probabilidade de ocorrência de interrupção ou taxa de falhas ( $\lambda$ );
- Tempo médio de reparação (*MTTR*);
- Tempo médio entre falhas (*MTBF*).

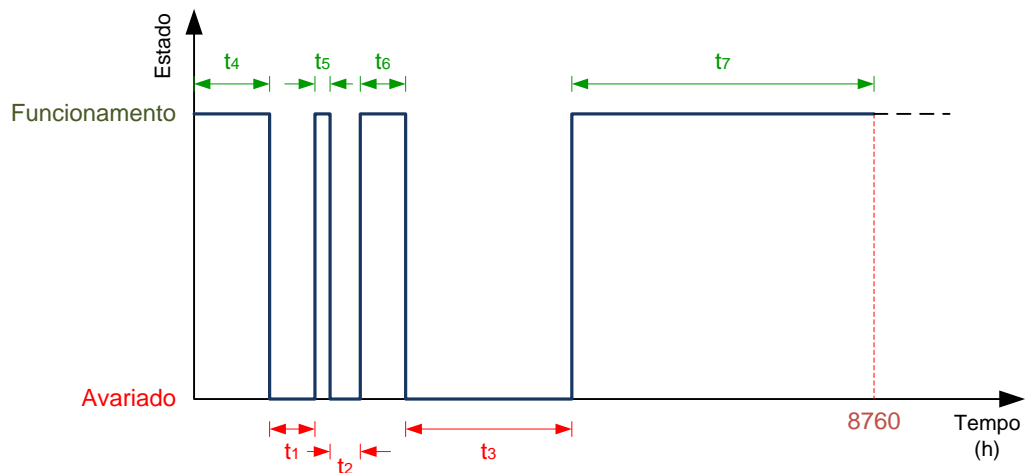


Figura 3.1 – Diagrama de estados de funcionamento de um equipamento

Para a taxa de falhas ( $\lambda$ ), é importante considerar o tipo de falha que pode ocorrer, a sua gravidade, e devem ser classificadas da seguinte forma:

- Falhas temporárias (curto-circuito entre a linha e a terra ou entre duas fases, desde a consequência seja passageira)
- Falhas intermitentes (mau aperto de um borne, este tipo de falha pode no futuro ser uma falha permanente)
- Falha permanentes (lâmpada fundida ou bobina queimada, este tipo de falha exige uma substituição, para alterar a condição do equipamento)

O tempo médio de reparação (*MTTR*), engloba o tempo médio de reposição da condição do equipamento do estado com avaria para um estado de funcionamento.

Para o cálculo do *MTTR*, é necessário contabilizar os seguintes tempos:

- Desde que ocorre a avaria até se iniciar o processo de detecção;
- Detecção da avaria;
- Correção ou reparação do equipamento;
- Testes e validações das intervenções efectuadas (evitar a ocorrência de novas avarias motivadas por uma deficiente correcção desta).

O tempo médio entre falhas (*MTBF*), engloba o tempo médio de funcionamento sem falhas do equipamento.

Relativamente à taxa de falhas ( $\lambda$ ), é importante considerar a idade do equipamento em que ocorrem as falhas, porque tem um comportamento típico ao que consta na Figura 3.2.

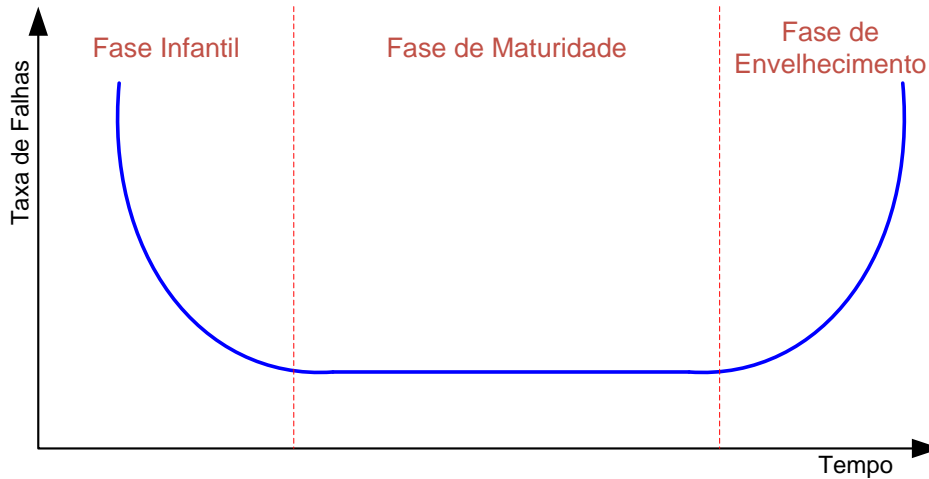


Figura 3.2 – Evolução da taxa instantânea de falhas de um componente

Esta curva é caracterizada por três fases distintas:

- Fase Infantil: Esta fase caracteriza-se por uma taxa de falhas decrescente, também por ser a fase de teste dos equipamentos. Pelo que as avarias que ocorrem podem ser devido a defeito de fabrico de alguns componentes, falhas de inspeção durante e após o fabrico, problemas de desenho, entre outros. Verificando-se que estas ocorrem com mais frequência no início de funcionamento do equipamento, diminuindo à medida que vão sendo corrigidas e optimizadas.
- Fase de Maturidade: Verificando-se neste período a ocorrência de uma taxa de falhas constante. Nesta fase as falhas ocorrem por motivos imprevisíveis, e são aleatórias.
- Fase de Envelhecimento: Corresponde à fase de desgaste do equipamento, período este em que as falhas se tornam inevitáveis. Dado que nesta fase o equipamento se encontra no fim do seu ciclo de vida, e é caracterizada por uma taxa de falhas crescente, que tende a aumentar ao longo do tempo, verificando-se também um aumento dos custos resultantes das avarias.

É importante referir que este comportamento típico de evolução da taxa de falhas se verifica na maioria dos sistemas, no entanto, podem existir excepções quando se efectuam as seguintes considerações:

- Testes rigorosos aos equipamentos após o fabrico, reduzindo de um modo muito significativo as falhas que ocorrem na fase infantil;
- Planeamento de uma boa manutenção preventiva é possível aumentar o intervalo de tempo correspondente à fase de maturidade;
- Uma boa monitorização dos componentes com uma taxa de falhas mais elevada, é possível actuar sobre os componentes críticos do equipamento, alargando o período da fase de maturidade e de envelhecimento.

Com base na Figura 3.1, é possível determinar os seguintes índices:

- Taxa de falhas ( $\lambda$ )

$$\lambda = \frac{n^{\circ} \text{ de falhas}}{\text{Período}} \quad [\text{falhas/ano}] \quad 3.1$$

Com base dos dados indicados na Figura 3.1 o valor seria  $\lambda = 3 \text{ falhas/ano}$ .

- Tempo médio de reparação de uma falha ( $MTTR$ )

$$MTTR = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{\lambda} \quad [\text{horas/ano}] \quad 3.2$$

- Tempo médio entre falhas ( $MTBF$ )

$$MTBF = \frac{t_4 + t_5 + t_6 + t_7}{\lambda} \quad [\text{horas/ano}] \quad 3.3$$

Para determinar os índices ( $\lambda$  e  $MTTR$ ) dos equipamentos de uma rede de distribuição, podem ser utilizados dois métodos:

- Incidentes ocorridos nos últimos anos, e aplica-se as Equações 3.1 e 3.3;

- Pela probabilidade de ocorrência, geralmente são utilizados ao nível da MT os seguintes valores:

- Nas linhas aéreas:

$$\begin{cases} \lambda = 0,15 \text{ falhas/ano} \times km \\ MTTR = 4 \text{ horas/ano} \end{cases} \quad 3.4$$

- Nos cabos subterrâneos:

$$\begin{cases} \lambda = 0,07 \text{ falhas/ano} \times km \\ MTTR = 7 \text{ horas/ano} \end{cases} \quad 3.5$$

- Nos restantes equipamentos (bateria de condensadores, transformadores, elementos de comando e protecção da rede, etc), puderam ser utilizados os indicados pelos fabricantes.

### 3.3. Regulamento de Qualidade de Serviço (RQS)

#### 3.3.1. Enquadramento

A energia eléctrica é essencial para o desenvolvimento da generalidade dos sectores de actividade. Trata-se de um serviço pouco convencional, dada a dificuldade de armazenamento e a necessidade de controlo de qualidade praticamente em “tempo real”.

O conceito de QEE tem vindo a sofrer alterações sucessivas com a evolução tecnológica. Ainda há poucos anos, quando se falava em QEE, a principal preocupação residia na continuidade de serviço, ou seja, na duração e no número de interrupções de tensão. Contudo, para além da continuidade de serviço, têm vindo a assumir importância outros parâmetros de QEE, tais como, a amplitude e a frequência da tensão, o desequilíbrio de tensões e a distorção harmónica.

A proliferação de dispositivos electrónicos ao nível dos sistemas informáticos, Variadores Electrónicos de Velocidade, controladores lógicos programáveis, circuitos de iluminação e electrodomésticos alterou radicalmente a natureza da carga dos sistemas eléctricos. Estes dispositivos electrónicos são frequentemente os grandes causadores e os principais afectados pelas perturbações de QEE.

Para um utilizador industrial, um hospital ou para um grande edifício do sector terciário as múltiplas perturbações na rede de distribuição implicam funcionamentos incorrectos de diferentes

equipamentos, pelo que se torna indispensável caracterizar e definir essas perturbações. Muitos empresários antes de escolherem o local para implementarem uma nova fábrica ou serviço, querem conhecer os índices de QEE de cada local. Desta forma os indicadores de QEE, têm um determinado peso na selecção dos locais.

Apesar dos investimentos para modernizar as redes por parte dos operadores, os clientes necessitam de energia eléctrica com níveis de qualidade superior. Neste sentido, têm surgido várias iniciativas para regulamentar a actividade de fornecedor de energia eléctrica, onde se inclui o RQS [9]. Este regulamento subdivide-se em duas grandes secções:

- Regulamento de Qualidade de Serviço Técnico;
- Regulamento de Qualidade de Serviço Comercial.

A primeira secção (qualidade de serviço técnico), mede os padrões da qualidade da onda de tensão (sistema de tensões simétrico e equilibrado, onda sinusoidal da tensão com valor eficaz constante, frequência de valor estipulado constante, formas de onda sinusoidal pura) e continuidade de serviço (fiabilidade e ausência de interrupções). Para os indicadores da qualidade da onda de tensão, devem ser observados os requisitos indicados na norma NP EN 50160.

A segunda secção (qualidade de serviço comercial), basicamente mede os padrões de Atendimento (presencial, telefónico e Internet), tempos de resposta comercial aos clientes (reclamações, pedidos de intervenção) e Informação ao cliente (tarifário, contrato, reclamações, facturação).

No RQS é destacado os seguintes direitos e deveres dos clientes (artigo 49º [9]):

- Direitos:
  - Possibilidade de ser alimentado com energia eléctrica com a qualidade legalmente estipulada
  - Os operadores de rede devem assumir a responsabilidade quando esta qualidade não é cumprida;
  - Usar a tecnologia adequada à sua actividade.
- Deveres:
  - Assumir a sua responsabilidade (muitas perturbações são originadas na instalação eléctrica do consumidor);
  - Não introduzir perturbações na rede que excedam os valores permitidos;
  - Efectuar operações de manutenção preventiva e correctiva;
  - Escolher criteriosamente o local da instalação.

Quando estes direitos e deveres não são respeitados podem existir penalizações. Os critérios de avaliação dos custos dos prejuízos dos consumidores são os seguintes:

- Directos: avaria, perda de produção, perda de informação, dificuldade na conservação de matéria-prima e produtos acabados, reinicialização do processo, etc.
- Indirectos: produtos defeituosos, incumprimento de prazos, degradação da imagem no mercado, investimento em soluções alternativas, etc.
- Prejuízos não materiais: vários incómodos (serviço indisponível)

De uma forma geral o RQS, estabelece regras, critérios e penalizações regulamentares, para um relacionamento entre um prestador de serviços e um cliente que necessita de um serviço de qualidade.

### 3.3.2. Indicadores de qualidade de serviço

No estudo de fiabilidade de uma rede de distribuição dever ser contabilizada a continuidade de serviço, que tem padrões de classificação e indicadores próprios.

Para efeitos de verificação do cumprimento dos padrões de continuidade de serviço, não são consideradas as seguintes situações, em que a prestação do serviço de transporte e de distribuição de energia eléctrica pode ser interrompida (artigo 14º [9]):

- Casos fortuitos ou de força maior.
- Razões de interesse público.
- Razões de serviço.
- Razões de segurança.
- Acordo com o cliente.
- Facto imputável ao cliente.

As perturbações mais comuns existentes na rede de distribuição, e devem ser consideradas conforme a NP EN 50160. Resumindo algumas das perturbações que se verificam na rede e que estão indicados na norma, podem ser classificados da seguinte forma:

- Interrupções curtas ( $V_S < 1\%$  e  $t < 3min$ );
- Interrupções longas ( $V_S < 1\%$  e  $t > 3min$ );
- Variação de longa duração – subtensão, Sobretensão e cava ( $V_{ef} > |10\%|$  e  $t > 60s$ );
- Variação de curta duração – cava ( $1\% < V_S < 90\%$  e  $t < 60s$ );
- Variação de curta duração – sobretensão ( $V_S > +10\%$  e  $t < 60s$ );

Nestas classificações, as duas primeiras estão associadas a continuidade de serviço e as restantes, à qualidade da onda de tensão. O estudo de fiabilidade vai incidir nas duas primeiras, ou seja, na continuidade de serviço.

Para definir o tipo de perturbação e determinar os indicadores de qualidade de serviço, é importante monitorizar alguns parâmetros da rede, estes são os seguintes:

- Tensão monofásica, durante a perturbação;
- Duração da perturbação;
- Nº de clientes BT e MT afectados;
- Potência activa dos clientes afectados;
- Potência activa instalada na rede MT e BT.

Os operadores das redes de distribuição devem ainda caracterizar a continuidade de serviço das redes que exploram, por nível de tensão e zona geográfica (nº de clientes), segundo o seguinte critério (artigo 8º [9]):

- Zona A: capitais de distrito e a localidades com mais de 25 mil clientes;
- Zona B: localidades com um número de clientes compreendido entre 2500 e 25 000;
- Zona C: todos os restantes locais.

Com base nos valores obtidos, podem ser calculados os seguintes indicadores de qualidade de serviço (artigo 15º [9]):

- Energia Não Distribuída (kWh)

$$END = \sum_{i=1}^{nca} P_{clt_i} \times t_{int_i} \quad 3.6$$

Onde:  $P_{clt}$  Potência activa do cliente afectado pela interrupção

$t_{int}$  Duração da interrupção que afectou o cliente

$nca$  Número de clientes afectados pela interrupção

- Tempo de interrupção equivalente da potência instalada (horas/ano)

$$TIEPI = \frac{END}{\sum_{i=1}^{nc} P_{inst_i}} \quad 3.7$$

Onde:  $P_{inst}$  Potência activa de cada cliente da rede

$nc$  Número de clientes da rede

- Frequência média de interrupções do sistema (*interrupções/cliente*)

$$SAIFI = \frac{\sum_i \text{interrupções nos pontos de entrega}}{n^\circ \text{ total de pontos de entrega}} \quad 3.8$$

- Frequência média de interrupções de pequena duração do sistema (*int./cliente*)

$$MAIFI = \frac{\sum_i \text{interrupções breves nos pontos de entrega}}{n^\circ \text{ total de pontos de entrega}} \quad 3.9$$

- Duração média das interrupções do sistema (*horas/cliente*)

$$SAIDI = \frac{\sum_i \text{duração das interrupções nos pontos de entrega}}{n^\circ \text{ total de pontos de entrega}} \quad 3.10$$

Estes indicadores poderão ser calculados para a rede MT e para a rede BT, só existe uma particularidade, no caso da MT o nº total de pontos de entrega é a soma de PT de clientes e do operador da rede de distribuição, no caso da BT o nº de pontos de entrega é a soma dos clientes finais alimentados a partir da baixa tensão.

### 3.3.3. Compensações por incumprimento do operador de rede

Com a determinação dos indicadores de qualidade de serviço é possível o operador de rede e a Entidade Regulada dos Serviços Eléctricos (ERSE) quantificar a qualidade do serviço prestado aos clientes. Mas estes indicadores também são necessários para definir o valor das compensações a pagar aos clientes de uma forma automática (Artigo 49º [9]), em situações de incumprimento.

O direito à compensação verifica-se sempre que ocorra um dos seguintes incumprimentos:

- Exceder os padrões individuais de qualidade relativos à continuidade de serviço (número e duração das interrupções longas);
- Qualidade de natureza comercial abaixo dos valores padrão individuais.

Apesar do valor das compensações não ser utilizado na determinação da melhoria de fiabilidade, neste capítulo será explicado a forma de cálculo para as compensações relativas a qualidade de serviço técnico (o número e duração de interrupções), conforme artigo 50º do [9].

A compensação por incumprimento, relativamente ao número de interrupções, deve ser determinada com base na seguinte expressão:

$$C_{Nn} = (NI - NI_p) \times FC_n \quad 3.11$$

Onde:  $NI$  Número de interrupções longas reportadas ao último ano civil

$NI_p$  Valor padrão do número de interrupções longas

$FC_n$  Factor de compensação no ano “n”, para número de interrupções

O valor padrão do número de interrupções longas ( $NI_p$ ) em horas, é obtido pela consulta da Tabela 3.1, e depende exclusivamente do tipo de zona que se localiza o cliente e do nível de tensão que o cliente é alimentado.

| Zona | MAT | AT | MT | BT |
|------|-----|----|----|----|
| A    | 3   | 8  | 8  | 12 |
| B    |     |    | 16 | 21 |
| C    |     |    | 25 | 30 |

Tabela 3.1 – Número acumulado de interrupções longas por ano (por cliente)

O valor do factor de compensação ( $FC_n$ ), adopta os seguintes valores em 2006:

- Rede de BTN é de 1€;
- Rede de BTE é de 5€;
- Rede de MT é de 20€;
- Rede de AT e MAT é de 100€.

A compensação por incumprimento, relativamente à duração das interrupções, deve ser determinada com base na seguinte expressão:

$$C_{Dn} = (DI - DI_p) \times P_{Cn} \times KC_n \quad 3.12$$

Onde:  $DI$  Duração total das interrupções longas reportadas ao último ano civil

$DI_p$  Valor padrão de duração das interrupções longas

$P_{Cn}$  Valor médio da potência contratada em kW, durante o ano “n”

$KC_n$  Factor de compensação no ano “n”, para a duração das interrupções

O valor padrão da duração das interrupções longas ( $DI_p$ ) em horas, é obtido pela consulta da Tabela 3.2, e à semelhança do anterior, também depende exclusivamente do tipo de zona que se localiza o cliente e do nível de tensão que o cliente é alimentado.

| Zona | MAT  | AT | MT | BT |
|------|------|----|----|----|
| A    | 0,75 | 4  | 4  | 6  |
| B    |      |    | 8  | 10 |
| C    |      |    | 16 | 20 |

Tabela 3.2 – Duração acumulada de interrupções longas por ano (por cliente)

O valor do factor de compensação ( $KC_n$ ), adopta os seguintes valores em 2006:

- Rede de BTN é de 0,365€;
- Rede de BTE é de 0,313€;
- Rede de MT é de 0,293€;
- Rede de AT é de 0,167€;
- Rede de MAT é de 0,160€.

Os valores dos factores de compensação ( $FC_n$  e  $KC_n$ ) indicados para o ano de 2006, reportam ao cálculo efectuado no ano de 2005. Apesar de não ocorrerem alterações significativas de ano para ano, estes podem ser actualizados conforme as seguintes equações:

$$FC_{n+1} = FC_n \times \left(1 + \frac{IPC}{100}\right) \quad KC_{n+1} = KC_n \times \left(1 + \frac{IPC}{100}\right) \quad 3.13$$

Onde:  $IPC$  Variação média anual do índice de preços no consumidor, verificada em Junho do ano “n”, publicada pelo INE

Após o cálculo das compensações, é importante verificar os seguintes aspectos:

- Sempre que se verifique o incumprimento dos dois padrões, número e duração de interrupções, será paga a compensação mais elevada [10];
- Sempre que o montante for inferior a 0,5€ em Portugal continental, o valor reverte para um fundo de reforço dos investimentos para a melhoria de qualidade de serviço nas zonas afectadas [10];

- As compensações deverão ser pagas na facturação do 1º trimestre do ano civil seguinte (Artigo 52º [9]).

### 3.3.4. Aplicabilidade do RQS no estudo de fiabilidade

Os indicadores do RQS (END, TIEPI, SAIFI e SAIDI), permitem caracterizar a fiabilidade de uma rede de distribuição, e identifica zonas da rede a actuar de forma a optimizar a fiabilidade global da rede. O método utilizado para determinar os indicadores podem ser estabelecidas pelo:

- Operador de rede (indicadores internos);
- Entidade reguladora (indicadores externos).

Os indicadores internos, estão unicamente ligados aos KPI (Key Performance Indicator) da empresa, medem o nível de desempenho de um processo interno.

Relativamente aos indicadores externos, são aqueles permitem quantificar os indicadores do operador de rede e compara-los com os de anos anteriores. Outro tipo de comparação, pode ser realizada pela análise da variação dos indicadores de várias empresas europeias e mundiais, que tenham por base os mesmos critérios de cálculo, sempre com a perspectiva de melhorar e aprender com a experiencia de outros.

Conforme estipulado no artigo 16º do RQS [9], um operador de rede de distribuição não deve exceder os indicadores anuais da Tabela 3.3.

| Indicador              | Zona geográfica | Portugal continental |     |
|------------------------|-----------------|----------------------|-----|
|                        |                 | MT                   | BT  |
| TIEPI (h/ano)          | A               | 2                    | --- |
|                        | B               | 4                    | --- |
|                        | C               | 10                   | --- |
| SAIFI (int./cliente)   | A               | 3                    |     |
|                        | B               | 6                    |     |
|                        | C               | 8                    |     |
| SAIDI (horas/ cliente) | A               | 3                    | 4   |
|                        | B               | 5                    | 7   |
|                        | C               | 10                   | 12  |

Tabela 3.3 – Indicadores máximos para redes de média e baixa tensão

Com base na Tabela 3.3, e com uma perspectiva de melhoria contínua, o operador de rede pode estabelecer um objectivo para os indicadores, e verificar anualmente o grau de cumprimento. Mas também se deve verificar que activo ou equipamento está a afectar os objectivos, e determinar como actuar para mitigar esses efeitos.

Este tipo de actuação implica uma atitude correctiva, ou seja, actuar após as interrupções ocorrerem. Uma outra forma de actuar, é por conhecer o histórico dos activos ou equipamentos da rede, saber a probabilidade de ocorrência de uma falha e o tempo de reparação, e actuar nos que reproduzem piores efeitos na rede.

Na próxima secção será considerado como aplicar o estudo da probabilidade de falha e respectivo tempo médio de reparação numa rede de distribuição.

### **3.4. Metodologia para aumentar a fiabilidade**

Os sistemas eléctricos de energia são constituídos por um número elevado de componentes que podem sofrer uma situação de avaria ou falha. Se considerarmos um rede de distribuição, os componentes a analisar são em maior número.

A análise de fiabilidade de uma rede tem por objectivo fornecer informação quantitativa de todos os componentes, ao nível económico e do risco, que reúna elementos de apoio à decisão. Mas, nem sempre é fácil realizar estes estudos, principalmente devido a insuficiência de dados históricos do sistema.

A finalidade de uma análise de fiabilidade de uma rede é em geral:

- Identificar áreas de menor desempenho do sistema;
- Comparar esquemas alternativos de expansão;
- Propor reforços de rede;
- Analisar os custos de investimento em comparação com os custos associados as interrupções (alguns autores e operadores de rede recomendam 1,5 €/kWh).

Para identificar a ligação da aplicação probabilística da fiabilidade de um elemento com os indicadores da QEE, seguidamente será apresentado um exemplo de cálculo de índices de fiabilidade para a rede indicada na Figura 3.3. Serão igualmente ilustrados os impactos resultantes da introdução de elementos na rede que promovem um aumento de fiabilidade da rede.

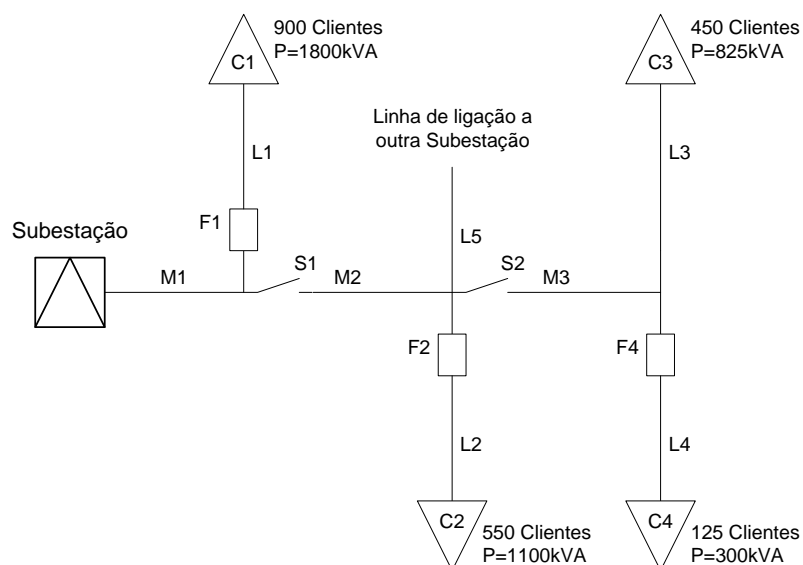


Figura 3.3 – Esquema de uma rede exemplo para o cálculo da fiabilidade

Relativamente à Figura 3.3 considerou-se que:

- “M” são troços de uma linha principal;
- “L” são ramais ou linhas secundárias que alimentam um posto de transformação;
- “S” são seccionadores, que permitem seccionar a rede ( $t_{manobra} = 0,5 h$ );
- “F” são equipamentos de comando, com capacidade de detecção de falhas e protecção da rede, que em situação de defeito isola a rede a jusante;
- “C” são postos de transformação explorados pelo operador de rede, e alimentam uma quantidade de clientes com uma potência média ( $P$ ) com  $\cos\phi = 1$ .

Os dados dos equipamentos que foram considerados encontra-se indicado na Tabela 3.4. Assume-se que os únicos componentes que apresentam falhas são as linhas principais e ramais da rede.

| Componente | Taxa de Falhas ( $\lambda$ ) | MTTR (h) |
|------------|------------------------------|----------|
| M1         | 0,10                         | 4        |
| M2         | 0,25                         | 4        |
| M3         | 0,30                         | 4        |
| L1         | 0,20                         | 3        |
| L2         | 0,40                         | 3        |
| L3         | 0,10                         | 2        |
| L4         | 0,25                         | 2        |
| L5         | 0,10                         | 1        |

Tabela 3.4 – Taxa de falhas e MTTR (rede exemplo)

Para efectuar o cálculo é necessário determinar os valores de  $\lambda$ ,  $r$  e  $U$  associado aos clientes ligados a cada PT:

- Clientes ligados ao PT C1:

| Índices   | Componentes que a probabilidade de falha afecta estes clientes |       |      |      |    |      |    |      | Totais       |
|-----------|--|-------|------|------|----|------|----|------|--------------|
|           | M1   | M2    | M3   | L1   | L2 | L3   | L4 | L5   |              |
| $\lambda$ | 0,10   | 0,25  | 0,30 | 0,20 | -  | 0,10 | -  | 0,10 | <b>1,05</b>  |
| $r$       | 4,00   | 0,50  | 0,50 | 3,00 | -  | 0,50 | -  | 0,50 | <b>1,31</b>  |
| $U$       | 0,40   | 0,125 | 0,15 | 0,60 | -  | 0,05 | -  | 0,05 | <b>1,375</b> |

Tabela 3.5 – Valores de  $\lambda$ ,  $r$  e  $U$  dos clientes ligados ao PT C1 (inicial)

O valor do tempo médio de interrupção por falha ( $r$ ), depende da capacidade ou não da rede isolar o defeito.

Para determinar:

- Tempo total de interrupção por ano ( $U$ ) de cada componente:

$$U = \lambda \times r \quad 3.14$$

- Tempo médio de interrupção por falha ( $r$ ) total:

$$r = \frac{\sum U}{\sum \lambda} \quad 3.15$$

- Clientes ligados ao PT C2:

| Índices   | Componentes que a probabilidade de falha afecta estes clientes |      |      |    |      |      |    |      | Totais      |
|-----------|--|------|------|----|------|------|----|------|-------------|
|           | M1   | M2   | M3   | L1 | L2   | L3   | L4 | L5   |             |
| $\lambda$ | 0,10   | 0,25 | 0,30 | -  | 0,40 | 0,10 | -  | 0,10 | <b>1,25</b> |
| $r$       | 4,00   | 4,00 | 0,50 | -  | 3,00 | 0,50 | -  | 1,00 | <b>2,32</b> |
| $U$       | 0,40   | 1,00 | 0,15 | -  | 1,20 | 0,05 | -  | 0,10 | <b>2,90</b> |

Tabela 3.6 – Valores de  $\lambda$ ,  $r$  e  $U$  dos clientes ligados ao PT C2 (inicial)

- Clientes ligados ao PT C3:

| Índices   | Componentes que a probabilidade de falha afecta estes clientes |      |      |    |    |      |    |      | Totais      |
|-----------|--|------|------|----|----|------|----|------|-------------|
|           | M1   | M2   | M3   | L1 | L2 | L3   | L4 | L5   |             |
| $\lambda$ | 0,10   | 0,25 | 0,30 | -  | -  | 0,10 | -  | 0,10 | <b>0,85</b> |
| $r$       | 4,00   | 4,00 | 4,00 | -  | -  | 2,00 | -  | 1,00 | <b>3,40</b> |
| $U$       | 0,40   | 1,00 | 1,20 | -  | -  | 0,20 | -  | 0,10 | <b>2,90</b> |

Tabela 3.7 – Valores de  $\lambda$ ,  $r$  e  $U$  dos clientes ligados ao PT C3 (inicial)

- Clientes ligados ao PT C4:

| Índices   | Componentes que a probabilidade de falha afecta estes clientes |      |      |    |    |      |      |      | Totais      |
|-----------|--|------|------|----|----|------|------|------|-------------|
|           | M1   | M2   | M3   | L1 | L2 | L3   | L4   | L5   |             |
| $\lambda$ | 0,10   | 0,25 | 0,30 | -  | -  | 0,10 | 0,25 | 0,10 | <b>1,10</b> |
| $r$       | 4,00   | 4,00 | 4,00 | -  | -  | 2,00 | 2,00 | 1,00 | <b>3,10</b> |
| $U$       | 0,40   | 1,00 | 1,20 | -  | -  | 0,20 | 0,50 | 0,10 | <b>3,40</b> |

Tabela 3.8 – Valores de  $\lambda$ ,  $r$  e  $U$  dos clientes ligados ao PT C4 (inicial)

Após obter indicadores relativamente a cada PT, é possível determinar os indicadores da qualidade de energia:

- Energia não distribuída (END):

$$END = \sum_{i=1}^4 U_i \times P_i \quad 3.16$$

$$END = 1,375 \times 1.800 + 2,9 \times (1.100 + 825) + 3,4 \times 300 = 12.723kWh$$

- Frequência média de interrupções do sistema (SAIFI)

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^4 \lambda_i \times Clientes_i}{\sum_{i=1}^4 Clientes_i} \quad 3.17$$

$$SAIFI = \frac{1,05 \times 900 + 1,25 \times 550 + 0,85 \times 450 + 1,1 \times 125}{900 + 550 + 450 + 125} = 1,09 \text{ Int./cliente}$$

- Duração média das interrupções do sistema (SAIDI)

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^4 r_i \times Clientes_i}{\sum_{i=1}^4 Clientes_i} \quad 3.18$$

$$SAIDI = \frac{1,31 \times 900 + 2,32 \times 550 + 3,4 \times 450 + 3,1 \times 125}{900 + 550 + 450 + 125} = 2,95 \text{ horas/cliente}$$

- Tempo de interrupção equivalente da potência instalada (TIEPI)

$$TIEPI = \frac{END}{\sum_{i=1}^4 P_i} \quad 3.19$$

$$TIEPI = \frac{9.073,1}{1.800 + 1.100 + 825 + 300} = 3,16 \text{ horas/ano}$$

- Custos associados às interrupções

$$C_{END} = 1,5 \times END$$

3.20

$$C_{END} = 1,5 \times 12.723 = 19.084 \text{ €}$$

Se for instalado equipamentos do tipo “F” nos ramais “L3” e “L5”, conforme indicado na Figura 3.4, a rede tem um comportamento diferente que deve ser avaliado e analisado.

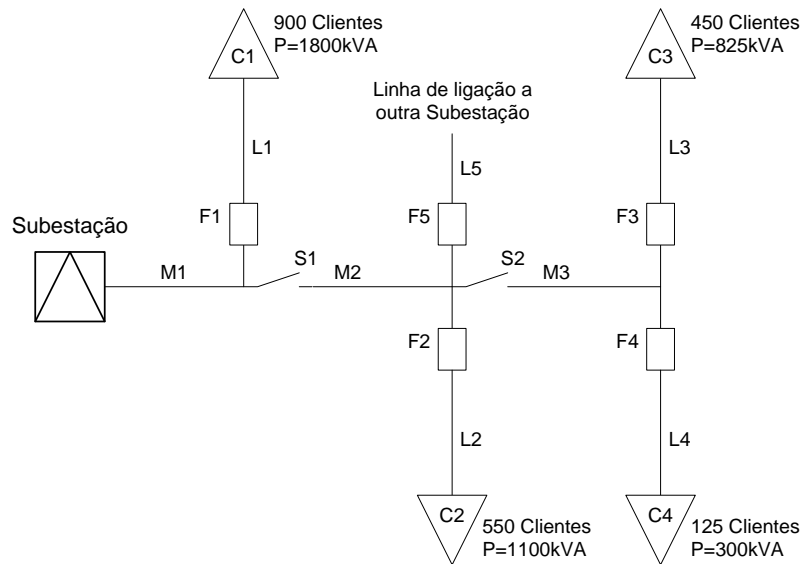


Figura 3.4 – Esquema de uma rede exemplo com instalação de protecção em todos os ramais

Esta análise consiste em efectuar novamente o cálculo dos valores de  $\lambda$ ,  $r$  e  $U$  associado aos clientes ligados a cada PT:

- Clientes ligados ao PT C1:

| Índices   | Componentes que a probabilidade de falha afecta estes clientes |       |      |      |    |    |    |    | Totais       |
|-----------|--|-------|------|------|----|----|----|----|--------------|
|           | M1   | M2    | M3   | L1   | L2 | L3 | L4 | L5 |              |
| $\lambda$ | 0,10   | 0,25  | 0,30 | 0,20 | -  | -  | -  | -  | <b>0,85</b>  |
| $r$       | 4,00   | 0,50  | 0,50 | 3,00 | -  | -  | -  | -  | <b>1,50</b>  |
| $U$       | 0,40   | 0,125 | 0,15 | 0,60 | -  | -  | -  | -  | <b>1,275</b> |

Tabela 3.9 – Valores de  $\lambda$ ,  $r$  e  $U$  dos clientes ligados ao PT C1 (final)

- Clientes ligados ao PT C2:

| Índices   | Componentes que a probabilidade de falha afecta estes clientes |      |      |    |      |    |    |    | Totais      |
|-----------|--|------|------|----|------|----|----|----|-------------|
|           | M1   | M2   | M3   | L1 | L2   | L3 | L4 | L5 |             |
| $\lambda$ | 0,10   | 0,25 | 0,30 | -  | 0,40 | -  | -  | -  | <b>1,05</b> |
| $r$       | 4,00   | 4,00 | 0,50 | -  | 3,00 | -  | -  | -  | <b>2,62</b> |
| $U$       | 0,40   | 1,00 | 0,15 | -  | 1,20 | -  | -  | -  | <b>2,75</b> |

Tabela 3.10 – Valores de  $\lambda$ ,  $r$  e  $U$  dos clientes ligados ao PT C2 (final)

- Clientes ligados ao PT C3:

| Índices   | Componentes que a probabilidade de falha afecta estes clientes |      |      |    |    |      |    |    | Totais      |
|-----------|--|------|------|----|----|------|----|----|-------------|
|           | M1   | M2   | M3   | L1 | L2 | L3   | L4 | L5 |             |
| $\lambda$ | 0,10   | 0,25 | 0,30 | -  | -  | 0,10 | -  | -  | <b>0,75</b> |
| $r$       | 4,00   | 4,00 | 4,00 | -  | -  | 2,00 | -  | -  | <b>3,73</b> |
| $U$       | 0,40   | 1,00 | 1,20 | -  | -  | 0,20 | -  | -  | <b>2,80</b> |

Tabela 3.11 – Valores de  $\lambda$ ,  $r$  e  $U$  dos clientes ligados ao PT C3 (final)

- Clientes ligados ao PT C4:

| Índices   | Componentes que a probabilidade de falha afecta estes clientes |      |      |    |    |    |      |    | Totais      |
|-----------|--|------|------|----|----|----|------|----|-------------|
|           | M1   | M2   | M3   | L1 | L2 | L3 | L4   | L5 |             |
| $\lambda$ | 0,10   | 0,25 | 0,30 | -  | -  | -  | 0,25 | -  | <b>0,90</b> |
| $r$       | 4,00   | 4,00 | 4,00 | -  | -  | -  | 2,00 | -  | <b>3,44</b> |
| $U$       | 0,40   | 1,00 | 1,20 | -  | -  | -  | 0,50 | -  | <b>3,10</b> |

Tabela 3.12 – Valores de  $\lambda$ ,  $r$  e  $U$  dos clientes ligados ao PT C4 (final)

Após obter indicadores relativamente a cada PT, é possível determinar os indicadores de qualidade de energia:

- Energia não distribuída (END):

$$END = 1,275 \times 1.800 + 2,75 \times 1.100 + 2,8 \times 825 + 3,1 \times 300 = 8.560 kWh$$

- Frequência média de interrupções do sistema (SAIFI)

$$SAIFI = \frac{0,85 \times 900 + 1,05 \times 550 + 0,75 \times 450 + 0,9 \times 125}{900 + 550 + 450 + 125} = 0,89 \text{ Int./cliente}$$

- Duração média das interrupções do sistema (SAIDI)

$$SAIDI = \frac{1,5 \times 900 + 2,62 \times 550 + 3,73 \times 450 + 3,44 \times 125}{900 + 550 + 450 + 125} = 2,42 \text{ h/cliente}$$

- Tempo de interrupção equivalente da potência instalada (TIEPI)

$$TIEPI = \frac{8560}{1.800 + 1.100 + 825 + 300} = 2,13 \text{ horas/ano}$$

- Custos associados às interrupções

$$C_{END} = 1,5 \times 8.560 = 12.840 \text{ €}$$

Comparando os resultados entre as duas situações obtêm-se as variações dos indicadores registados na Tabela 3.13.

| Indicadores de QEE     | Sem F3 e F5       | Com F3 e F5       | Varição           |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <i>END</i>             | 12.723 kWh        | 8560 kWh          | -4163 kWh         |
| <i>SAIFI</i>           | 1,09 int./cliente | 0,89 int./cliente | -0,2 int./cliente |
| <i>SAIDI</i>           | 2,95 h/cliente    | 2,42 h/cliente    | -0,53 h/cliente   |
| <i>TIEPI</i>           | 3,16 h/ano        | 2,13 h/ano        | -1,03 h/ano       |
| <i>C<sub>END</sub></i> | 19.084 €          | 12.840 €          | -6.244 €          |

Tabela 3.13 – Variação entre o esquema inicial e o optimizado

Analisando os resultados pode-se constatar uma melhoria significativa na vertente técnica (*END, SAIFI, SAIDI e TIEPI*) e na vertente económica (*C<sub>END</sub>*), com a inclusão de apenas dois equipamentos de comando, com capacidade de detecção de falhas e protecção da rede.

Como nesta instalação não são conhecidas as zonas (A, B e C), por este motivo não pode ser determinado se os valores calculados estão acima dos valores máximos para a rede de média tensão indicados na Tabela 3.3.

Mas apesar desta indefinição, podem ser verificados os valores mínimos das zonas (A, B e C) e comparados com os respectivos indicadores. Por exemplo os indicadores *SAIFI* e *SAIDI*, estão muito abaixo do valor indicado na tabela, que é 3, mas o indicador *TIEPI*, está ligeiramente acima do valor indicado na tabela, que é 2.

---

# Capítulo

# 4

---

## 4. Telecomando em redes de distribuição

### 4.1. Introdução

A inserção de equipamentos de telecomando numa rede de distribuição tem o objectivo de poder flexibilizar a sua exploração, em situação de avarias, isolamento de defeitos e reconfiguração da rede.

Para além da flexibilização da exploração da rede, a inclusão de telecomando em locais estratégicos permite melhorar a qualidade de serviço e aumentar a eficiência dos meios disponíveis para gestão da rede.

Neste capítulo serão analisados os seguintes equipamentos de telecomando mais comuns no mercado e utilizados por operadores de rede:

- Interruptor Auto-Religador (IAR)
- Interruptor Aéreo Telecomandado (IAT)
- Órgãos de Corte de Rede – Tipo 1 (OCR1)
- Órgãos de Corte de Rede – Tipo 2 (OCR2)
- Disjuntores Auto-Religadores (DAR)

### 4.2. Equipamentos de telecomando

#### 4.2.1. Interruptor Auto-Religador (IAR)

Este tipo de equipamento de comando foi um dos primeiros com uma actuação automática a ser instalado na rede aérea MT (Figura 4.1), com o objectivo de redução dos tempos de interrupção, isolando os troços da rede em avaria, sem necessidade de intervenção humana.



Figura 4.1 – Interruptor Auto-Religador (IAR)

O princípio de funcionamento baseia-se numa lógica muito simples, na detecção de ausência e aparecimento de tensão na linha aérea, durante a religação automática do disjuntor de protecção instalado na subestação ou posto de corte. O procedimento de religação automática efectuada pelo disjuntor, deve ser constituído por 2 religações lentas para permitir a detecção do defeito pelo IAR.

Após a religação do disjuntor, um temporizador retarda o fecho do IAR, podendo verificar-se uma de três situações:

- Se o disjuntor voltar a desligar antes de IAR ligar, existe avaria a montante do IAR;
- Com disjuntor ligado, se o IAR ligar e o disjuntor não desligar, ocorreu um defeito fugitivo;
- Com disjuntor ligado, se o IAR ligar e o disjuntor desligar, existe avaria a jusante do IAR.

Com este equipamento não é garantida a distância de seccionamento da linha na posição de aberto por este motivo é necessário a instalação de um seccionador MT associado.

Um equipamento de comando com esta funcionalidade, tem uma aplicação em zonas em que não há cobertura de infra-estruturas de comunicação.

#### 4.2.2. Interruptor Aéreo Telecomandado (IAT)

Um Interruptor Aéreo Telecomandado (Figura 4.2) é semelhante ao IAR, só que em substituição da função de auto-religação, tem uma unidade de comando, supervisão e controlo do órgão de corte tanto localmente como à distância, via telecomando.



Figura 4.2 – Interruptor Aéreo Telecomandado (IAT)

O princípio de funcionamento do interruptor aéreo telecomandado depende do princípio de exploração da rede, podendo funcionar apenas como interruptor permitindo o centro de condução

efectuar manobras de reconfiguração da rede para melhorar a continuidade de serviço, ou pode também funcionar para isolar troços com avaria, fornecendo ao centro de condução informação relativamente à localização da avaria, para isolar o troço ou zona da rede com avaria.

Este equipamento permite ainda a implementação de automatismos com o objectivo de isolar rapidamente defeitos na rede sem intervenção do operador. Esta opção é a junção das funcionalidades do IAR com as do IAT.

#### 4.2.3. Órgãos de Corte de Rede – Tipo 1 (OCR1)

Este tipo de equipamento de comando é semelhante ao IAT. Mas apesar de algumas características semelhantes, o OCR1 (Figura 4.3) é mais utilizado que o IAT devido ao seguinte aspectos relevantes:

- A câmara de corte é constituída por um invólucro integralmente selado, contendo no seu interior hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ) que lhe confere qualidades como meio dieléctrico e de extinção do arco eléctrico;
- O nível de isolamento eléctrico, consegue ser garantida a informação mecânica inequívoca do seu estado (aberto ou fechado);
- Permite a possibilidade de encravamento na posição de aberto, prescindindo assim da montagem de um seccionador associado.



Figura 4.3 – Órgãos de Corte de Rede – Tipo 1 (OCR1)

Quando intercalado numa rede tem a possibilidade de sinalizar a passagem de defeito, enviando informação para o centro de condução, permitindo identificar o local da avaria.

Este aparelho deverá ser preferencialmente instalado nas fronteiras das linhas de MT, uma vez que suporta uma menor corrente de curto-circuito do que o IAR, razão pela qual devem ser evitadas manobras de fecho sobre defeitos.

#### 4.2.4. Órgãos de Corte de Rede – Tipo 2 (OCR2)

A designação Órgão de Corte de Rede – Tipo 2 (Figura 4.4), difere do Tipo1 pelo facto de este suportar correntes de curto-circuito, possuindo características eléctricas muito semelhantes às do IAR.



Figura 4.4 – Órgãos de Corte de Rede – Tipo 2 (OCR2)

Este aparelho na posição de aberto, possui uma distância entre pólos que não lhe confere um nível superior de isolamento, podendo em presença de sobretensões acentuadas, verificarem-se escorvamentos entre os pólos. Necessita estar associado a um seccionador para garantir o corte visível, em intervenções na rede.

Este aparelho não deverá ser instalado nas fronteiras das linhas de MT, em substituição do OCR1. Devido às suas características principais (suporta correntes de curto-circuito, tem poder de corte e de fecho) este equipamento deverá ser aplicado com o objectivo de isolar troços ou zonas da rede com defeito.

#### 4.2.5. Disjuntores Auto-Religadores (DAR)

Os DAR (Figura 4.5) são equipamentos que funcionam de uma forma integrada com uma protecção e uma função de automatismo associada, e que tem a particularidade de promover um ciclo de religações após a detecção de um defeito. Contrariamente ao IAR, este equipamento não necessita de detectar a ausência de tensão para abrir.

Caso após o ciclo de religações (uma rápida e até duas lentas) o defeito permaneça, o DAR fica na posição de aberto e com informação de bloqueio. Se após algum tempo o defeito desapareça (defeito fugitivo), é normalizada a alimentação das cargas a jusante. Desta forma estes equipamentos tiram partido do carácter fugitivo da maior parte dos defeitos em linhas aéreas, limitando a interrupção definitiva da linha no caso de defeitos permanentes.



Figura 4.5 – Disjuntores Auto-Religadores (DAR)

O DAR poderá ser instalado em saídas de subestação. Mas esta só é valorizada, quando nas linhas a jusante e em zonas estratégicas, estão instalados equipamentos com capacidade de seccionamento automático e selectivo em caso de defeito. É assim possível limitar de forma automática e mais restrita a zona com avaria. Com este procedimento, consegue-se reduzir o número de pontos de entrega sem alimentação e a energia não distribuída (END) global.

#### **4.2.6. Unidade Remota de Rede (URR)**

Nas secções anteriores foi descrito o funcionamento dos equipamentos de comando da rede de distribuição (Figura 4.6), mas este pode ser dividido em dois componentes: órgão de corte e a unidade remota de rede (URR).

Com a descrição dos equipamentos de comando da rede, foram referenciadas as principais características do órgão de corte.

Relativamente à URR (Figura 4.7), é um equipamento que está localizado na base poste, normalmente por baixo do órgão de corte, é constituído por módulos de monitorização, controlo e

comunicação da condição da rede. Esta unidade permite ainda incorporar módulos de detecção de máxima intensidade de fase (MIF) e de máxima intensidade homopolar (MIH), estes valores são indicadores do tipo de defeito que ocorreu na rede, a jusante do equipamento de comando.

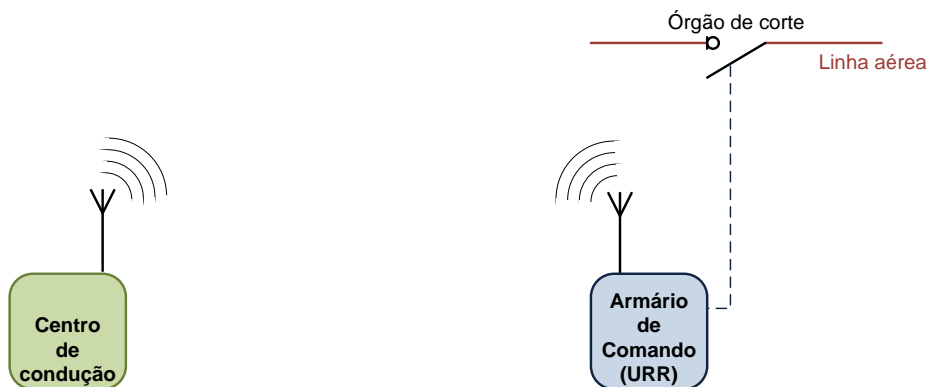


Figura 4.6 – Diagrama do equipamento de comando da rede de distribuição



Figura 4.7 – Unidade Remota de Rede (URR)

Para além dos módulos já indicados, nesta unidade estão incluídos:

- Medidas das grandezas eléctricas com elevada precisão;
- Contagem de energia;
- Supervisão e medida da alimentação auxiliar;
- Registo Cronológico de Eventos;
- Detecção de Defeitos;
- Diagrama de Carga.

Com esta informação que a URR disponibiliza ao centro de condução, será facilitada a gestão da rede em situações de avaria ou de reconfiguração.

#### 4.2.7. Comparação entre equipamentos telecomandados

Nas secções anteriores foi efectuada uma breve descrição de alguns equipamentos de corte MT (IAR, IAT, OCR1, OCR2 e DAR), foi constatado através de algumas características técnicas indicadas, que alguns deles têm funções semelhantes. Por este motivo e devido ao avanço da tecnologia, os equipamentos mais utilizados são: OCR1, OCR2 e DAR.

Mas estes três equipamentos de corte MT têm características bem diferentes, com base no relatório de dissertação [11] foi elaborada a Tabela 4.1, que permitiu a análise de algumas características técnicas, e realçar as grandes diferenças entre os equipamentos.

| Equipamento | $U_e$<br>(kV) | $U_N$<br>(kV) | $I_N$<br>(A) | $I_{CC\ ef}$<br>(kA) | $I_{CC\ ef}$<br>Corte<br>(kA) | $I_{CC\ pico}$<br>fecho<br>(kA) | Câmara<br>de corte | Nº de<br>manobras | Vida útil |
|-------------|---------------|---------------|--------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|-----------|
| OCR1        | 12,0          | 10            | 400          | 8,0 (3 seg.)         | ---                           | 20,0<br>(2 manobras)            | Vácuo<br>ou<br>SF6 | Entre             | 15 anos   |
|             | 17,5          | 15            |              |                      |                               |                                 |                    |                   |           |
|             | 36,0          | 30            |              |                      |                               |                                 |                    |                   |           |
| OCR2        | 15,5          | 10            | 560          | 8,0 (3 seg.)         | 16                            | 30,0                            | Vácuo<br>ou<br>SF6 | 6.000<br>e as     | 15 anos   |
|             | 27,0          | 15            |              |                      | 10                            |                                 |                    |                   |           |
|             | 38,0          | 30            |              |                      | 12                            |                                 |                    |                   |           |
| DAR         | 17,5          | 15            | 400          | 8,0 (3 seg.)         | 6                             | 15,0                            | Óleo               | 6.500             | 15 anos   |
|             | 36,0          | 30            |              |                      |                               |                                 |                    |                   |           |

Tabela 4.1 – Características técnicas de equipamentos de corte MT mais aplicados na rede

A grande diferença nestes equipamentos, reflecte-se na capacidade de manobra em situações de curto-circuito. Conforme se pode verificar na Tabela 4.1, o OCR1 não tem características técnicas para “corte” e está limitada a duas manobras seguidas o “fecho” do circuito em situações de defeito.

Mas analisando as características técnicas e conjugando-as com algumas práticas comuns dos operadores verifica-se que as funções e localizações dos equipamentos também são diferentes, conforme se pode verificar na Tabela 4.2.

| Equipamento | Possibilidade de localização  | Funções  |
|-------------|---|--|
| OCR1        | Nós de interligação de redes adjacentes   | Basculamento de cargas e de recurso em situação de avaria  |
| OCR2        | Em linhas principais ou ramais muito extensos com um número elevado de PT ou cargas elevadas. | Apoio na pesquisa de avarias, com corte automático dos troços com defeito (desde que seja incluído o módulo de religação)          |
| DAR         | Zonas com rede problemática ou em saídas de Subestação  | Pesquisa automática de avarias, reposição de serviço em situações de defeito fugitivo e isolamento de zonas da rede problemáticas. |

Tabela 4.2 – Possibilidade de aplicação e funções dos equipamentos de corte MT

Quando se efectua uma comparação de equipamentos, esta não deve limitar-se a uma abordagem técnica, é importante elaborar também uma análise de custos dos equipamentos. Para determinar este valor deve ser considerado o valor total de instalação do equipamento (material e mão-de-obra), visto ser a melhor forma de efectuar uma comparação e análise. Para elaborar a comparação entre equipamentos de corte MT, foi construída a Tabela 4.3, em que o valor indicado inclui materiais e mão-de-obra para instalação dos equipamentos.

| Equipamento | 15kV    | 30kV    | Inclui  |
|-------------|---------|---------|---|
| OCR1        | 10.610€ | 11.770€ | Telecomando por rádio                         |
| OCR2        | 16.330€ | 18.400€ | Seccionador MT, Toros e Telecomando por rádio |
| DAR         | 27.530€ | 29.340€ | Seccionador MT, Toros e Telecomando por rádio |

Tabela 4.3 – Custos totais de instalação de equipamentos de corte MT

Analisando os dados da Tabela 4.1 à Tabela 4.3, pode-se comprovar que a escolha mais adequada, será a utilização dos equipamentos OCR1 e o OCR2. Relativamente ao DAR, é um equipamento semelhante ao instalado na protecção de saídas de subestação, portanto torna-se necessária a análise ponderada ao instalar este equipamento numa linha MT, evitando a duplicação de protecções e a inexistência de selectividade.

Para além de conhecer os custos com investimentos, também é importante conhecer o tempo de vida útil do equipamento, ou seja, a periodicidade expectável que devem ser efectuados investimentos em equipamentos novos.

### 4.3. Manutenção de telecomando

Este tipo de equipamento é sujeito a algum tipo de degradação, muito devido ao local de instalação. Para assegurar o bom funcionamento e minimizar as avarias, é necessário efectuar com regularidade manutenção de todos os componentes.

Mas estas inspecções de manutenção têm custos, que devem ser considerados quando se elabora o estudo de instalação de um equipamento de corte MT. Na Tabela 4.3, verifica-se que os custos indicados reflectem unicamente os custos de investimento.

Os custos médio de manutenção durante o período de vida útil é cerca de 200 €/ano. Este valor inclui os seguintes procedimentos:

- Ensaio do equipamento de telecomunicações;
- Verificação do equipamento de controlo;
- Ensaio do órgão de corte;
- Verificação e ensaio do sistema de alimentação (substituição de 5 a 5 anos, dependendo do estado e da capacidade de resposta da mesma);
- Verificação do circuito de terra;
- Realização de ensaios de funcionamento do equipamento MT;
- Verificação das condições de acessibilidade.

Esta inspecção deve ser efectuada com alguma regularidade, para que seja assegurado um funcionamento correcto quando solicitado, é aconselhável uma periodicidade de 1 ano.

#### **4.4. Localização de telecomando**

A validação do telecomando da rede aérea de média tensão deve ser baseada em três aspectos importantes:

- Avaliação técnica;
- Avaliação económica;
- Avaliação de fiabilidade.

Mas por ser uma análise simulada, produzirá resultados próximos do óptimo, logo a sua adequação à realidade da rede carece fundamentalmente dos seguintes factores de análise:

- Estrutura topológica e a constituição da rede;
- Fragilidades da rede;
- Representatividade e características das cargas;
- Proximidade de outras redes;
- Qualidade de serviço;
- Existência de comunicações no local;
- Acessibilidade ao local de instalação, para acções de manutenção e manobras locais no caso de falha do telecomando;
- Análise benefício/custo.

Verifica-se que a colocação dos equipamentos de telecomando da rede, não é feita de uma forma aleatória, visto que o objectivo é investir e obter resultados satisfatórios. Mas se a escolha do local for devidamente fundamentada, é esperado obter após a instalação dos equipamentos os seguintes resultados:

- Rápida reposição de energia eléctrica à rede não afectada;
- Diminuir o tempo de localização da zona em avaria;
- Reduzir o número de manobras sob defeito, do disjuntor da saída de subestação;
- Melhoria da QS, por redução do número e a duração de interrupções;
- Reduzir o valor da Energia Não Distribuída (END).

#### 4.5. Metodologia de aplicação do telecomando

Relativamente ao método de escolha do local, deve ser seguido os passos indicados na secção 4.4, visto que não existe uma regra clara de aplicação, mas cada caso deve ser analisado em pormenor.

Para elaborar uma avaliação económica, relativa a instalação do equipamento de telecomando e a quantidade, é necessário verificar o indicador económico  $B/C$ . Este indicador avalia os benefícios de instalação do equipamento quando comparado com os custos para o tempo de vida útil.

Uma forma de calcular os benefícios relacionados com a instalação do equipamento de telecomando, passa pela aplicação do mesmo princípio expresso na Equação 3.20. Nesta equação determina-se os custos com END, se for aplicada na equação a variação de END ( $\Delta_{END}$ ) é possível determinar o ganho relativo à melhoria da fiabilidade e à redução de END.

Neste cálculo não pode deixar de ser considerado a evolução das cargas e a taxa de actualização. Aplicando estas considerações, o cálculo dos benefícios para o tempo de vida útil, pode ser efectuado com a seguinte equação:

$$B = C_{Int\ kWh} \times \Delta_{END} \times \left[ \frac{(13 - Mês_{inicio})}{12} + \sum_{n=1}^{vu} \frac{(1 + \alpha_{POT})^n}{(1 + i)^n} \right] \quad 4.1$$

Onde:  $C_{Int\ kWh}$  Custos associados as interrupções (1,5 €/kWh)

$\Delta_{END}$  Variação de energia não distribuída em kWh

$Mês_{inicio}$  Mês de entrada em funcionamento do equipamento

$\alpha_{POT}$  Taxa anual de evolução das cargas (normalmente é considerado 3%)

- $i$  Taxa de actualização (normalmente é considerado 10%)
- $vu$  Tempo de vida útil (nos equipamentos telecomandados é 15 anos)

A Equação 4.1, não considera os benefícios com a instalação de equipamento de telecomando com o objectivo de redução de perdas. Para considerar este valor, seria necessário acrescentar a seguinte equação:

$$B' = (CF_p \times \Delta P_p + CV_p \times \Delta_{perdas}) \times \left[ \frac{(13 - M\hat{e}S_{inicial})}{12} + \sum_{n=1}^{vu} \frac{(1 + \alpha_{POT})^n}{(1 + i)^n} \right] + B \quad 4.2$$

- Onde:  $CF_p$  Custos fixos de distribuição da energia em €/kW.Ano  
 $\Delta P_p$  Variação entre a ponta de geração máxima inicial e a final em kW  
 $CV_p$  Custos variáveis de produção e distribuição da energia em €/kWh  
 $\Delta_{perdas}$  Variação entre as perdas iniciais e as finais em kWh

Para determinar a variação de ponta de geração máxima ( $\Delta P_p$ ), foi considerada que a potência das cargas é constante, então a variação de potência máxima será igual à variação de perdas máxima. Com base nesta consideração e após elaborar o estudo indicado no Capítulo 2, a variação de ponta máxima ( $\Delta P_p$ ) pode ser determinada da seguinte forma:

$$\Delta P_p = (perdas_{m\acute{a}x})^{inicial} - (perdas_{m\acute{a}x})^{final} \quad 4.3$$

- Onde:  $(perdas_{m\acute{a}x})^{inicial}$  Valor potência máxima de perdas da configuração inicial  
 $(perdas_{m\acute{a}x})^{final}$  Valor potência máxima de perdas da configuração final

Para determinar a variação de perdas ( $\Delta_{perdas}$ ), é necessário elaborar um estudo conforme indicado no Capítulo 2, e depois determinar a variação entre o valor inicial e o final, conforme a seguinte equação:

$$\Delta_{perdas} = (perdas_{total})^{inicial} - (perdas_{total})^{final} \quad 4.4$$

- Onde:  $(perdas_{total})^{inicial}$  Valor de perdas antes de telecomandar a rede  
 $(perdas_{total})^{final}$  Valor de perdas depois de telecomandar a rede

Para determinar os custos relacionados com a produção e distribuição, que será um benefício relacionado com a redução de perdas devido à reconfiguração da rede, é importante considerar os seguintes valores:

- Tarifa de acesso e utilização da rede: estes custos são regulados pela ERSE, e estão indicados no seu sítio da internet [10]. Os valores utilizados são os seguintes:

- Custos fixos (está relacionado com a potência máxima), foi efectuada uma média ponderada entre a hora de ponta e as restantes horas, os valores são:

- Relativo a acesso à rede:

- Horas de ponta: 8,055 €/kW · Mês (corresponde a 5 h do dia)
- Restantes horas: 1,214€/kW · Mês (corresponde a 19 h do dia)

- Relativo à utilização da rede:

- Horas de ponta: 3,719€/kW · Mês (corresponde a 5 h do dia)
- Restantes horas: 0,654€/kW · Mês (corresponde a 19 h do dia)

$$CF_{A.Redde} = 8,055 \times \frac{5}{24} + 1,214 \times \frac{19}{24} \cong 2,639 \text{ €/kW} \cdot \text{Mês} \quad 4.5$$

$$CF_{U.Redde} = 3,719 \times \frac{5}{24} + 0,654 \times \frac{19}{24} \cong 1,293 \text{ €/kW} \cdot \text{Mês} \quad 4.6$$

$$CF_p = (2,639 + 1,293) \times 12 = 47,181 \text{ €/kW} \cdot \text{Ano} \quad 4.7$$

- Custos variáveis, foi efectuada uma média ponderada dos dois horários mais preponderantes, os valores são:

- Relativo a acesso à rede:

- Horas de ponta: 0,0055€/kWh (corresponde a 5 h do dia)
- Hora de Cheia: 0,0051€/kWh (corresponde a 12 h do dia)

- Relativo à utilização da rede:

- Horas de ponta: 0,0021€/kWh (corresponde a 5 h do dia)
- Hora de Cheia: 0,0018€/kWh (corresponde a 12 h do dia)

- Outros custos variáveis:
  - Gestão do Sistema: 0,0021€/kWh
  - Medidas de política energética e ambiental: 0,0063€/kWh
  - Uso global do sistema: 0,0084€/kWh

$$CV_{kWh \text{ A.Red.}} = 0,0055 \times \frac{5}{5+12} + 0,0051 \times \frac{12}{5+12} \cong 0,0052 \text{ €/kWh} \quad 4.8$$

$$CV_{kWh \text{ U.Red.}} = 0,0021 \times \frac{5}{5+12} + 0,0018 \times \frac{12}{5+12} \cong 0,0019 \text{ €/kWh} \quad 4.9$$

$$CV_{kWh} = 0,0052 + 0,0019 + 0,0021 + 0,0063 + 0,0084 \cong 0,0239 \text{ €/kWh} \quad 4.10$$

- Custos de produção: esta análise é complexa, devido ao facto do valor variar com o tipo de central: Termoeléctrica, Ciclocombinado, Hidroeléctrica, Mini-hidrica, Eólica, Fotovoltaica, etc.

Para determinar o valor, foi efectuada a média dos preços do 1º trimestre do mercado diário de venda de energia indicados no sítio da REN [12], e conforme se pode verificar na Figura 4.8 o valor para os custos de produção é 37,02€/MWh.

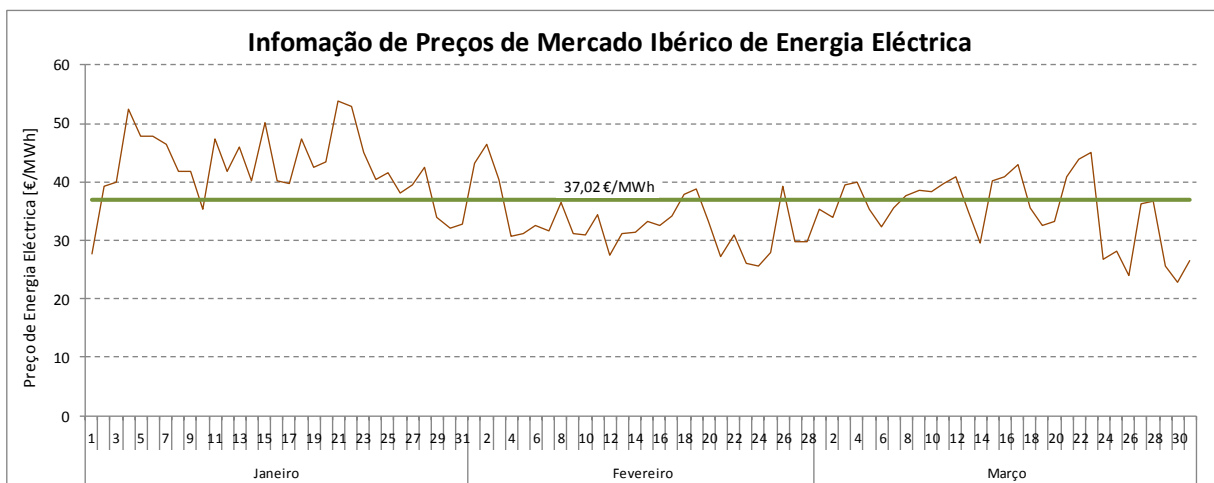


Figura 4.8 – Informação de preços de mercado de energia (1.º Trimestre 2010)

Sendo os custos variáveis relacionados com a produção e distribuição, o valor total por kWh é o seguinte:

$$CV_p = 0,0239 + 0,03702 = 0,0609 \text{ €/kWh} \quad 4.11$$

Para calcular os custos associados à instalação do equipamento de telecomando, deve ser considerado os custos de investimento e de manutenção anual. Semelhante ao efectuado no cálculo no valor dos benefícios, deve ser considerada a taxa de actualização dos custos em cada ano. Deste modo, o cálculo dos custos para o tempo de vida útil, pode ser efectuado com a seguinte equação:

$$C = Inv + \sum_{n=1}^{vu} \frac{dom}{(1+i)^n} \quad 4.12$$

Onde: *Inv* Custos de investimento (ver Tabela 4.3)

*dom* Despesas de operação e manutenção (na secção 4.3 indica 200€)

O indicador económico *B/C* (não considerando os benefícios com a redução de perdas), pode ser determinado com base na seguinte equação:

$$\frac{B}{C} = \frac{C_{Int \text{ kWh}} \times \Delta_{END} \times \left[ \frac{(13 - \text{Mês}_{início})}{12} + \sum_{n=1}^{vu} \frac{(1 + \alpha_{POT})^n}{(1+i)^n} \right]}{Inv + \sum_{n=1}^{vu} \frac{dom}{(1+i)^n}} \quad 4.13$$

Resumindo, se o indicador *B/C* for superior à 1, o investimento tem viabilidade económica, caso contrário, deve ser efectuada uma análise mais cuidada acerca viabilidade deste investimento.

---

# Capítulo

# 5

---

## 5. Aplicação – Rede de distribuição de São Vicente

### 5.1. Introdução

Nos capítulos anteriores analisou-se dois métodos para optimização de uma rede de distribuição, um para a redução de perdas e outro para aumentar a fiabilidade. Nestes métodos foram aplicados a duas redes fictícias como melhor forma de os explicar.

Neste capítulo será efectuada a aplicação destes métodos a um caso real. A rede de distribuição escolhida foi a ilha de São Vicente, pertencente ao arquipélago de Cabo Verde (Figura 5.1).



Figura 5.1 – Mapa do arquipélago de Cabo Verde

Esta ilha é a uma das mais populosas de Cabo Verde, está localizada no grupo do Barlavento, a noroeste do arquipélago. A escolha deve-se ao tipo de configuração da rede, à potência instalada, as cargas existentes e os dados disponíveis.

## 5.2. Caracterização da rede de distribuição

Ao descrever a rede de distribuição, torna-se necessário caracterizar a ilha de São Vicente, a população residente e a sua dispersão, visto estes serem os factores que condicionam a localização da rede de distribuição, índices de carga e evolução de cargas ao longo do dia.

A ilha de São Vicente (Figura 5.2) tem uma superfície de 227 km<sup>2</sup>, é a sétima maior ilha e a segunda com mais população de Cabo Verde. O ponto mais alto da ilha situa-se em Monte Verde com 750 m de altitude.



Figura 5.2 – Mapa da ilha de São Vicente

É a ilha mais urbana de Cabo Verde, com uma taxa de urbanização <sup>(1)</sup> de 97%. A cidade do Mindelo localizada a noroeste é a zona da ilha com maior densidade populacional, com cerca de 81% da população. É importante também realçar outras localidades assinaláveis do concelho que inclui a Baía das Gatas, Calhau, Salamansa e a aldeia piscatória de São Pedro.

Apesar de não ser a ilha com mais população é a que tem a taxa mais elevada de crescimento populacional de Cabo Verde (Tabela 5.1).

| Anos                | 1940   | 1950   | 1960   | 1970   | 1980   | 1990   | 2000   | 2010    |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| População Residente | 15.848 | 19.576 | 20.705 | 31.578 | 41.594 | 51.277 | 67.844 | 102.226 |
| Variação            | --     | 23,5%  | 5,8%   | 52,5%  | 31,7%  | 23,3%  | 32,3%  | 50,7%   |

Tabela 5.1 – Evolução do número de população residente em São Vicente

(1) Taxa de urbanização é a percentagem de uma dada população que habita a zona urbana.

Após referir os aspectos estatísticos mais relevantes da ilha de São Vicente, é importante caracterizar-se a rede de distribuição no que concerne à topologia, carga e geração.

Relativamente à topologia o esquema unifilar simplificado encontra-se ilustrado na Figura 5.3 e o esquema completo no Anexo A.6.

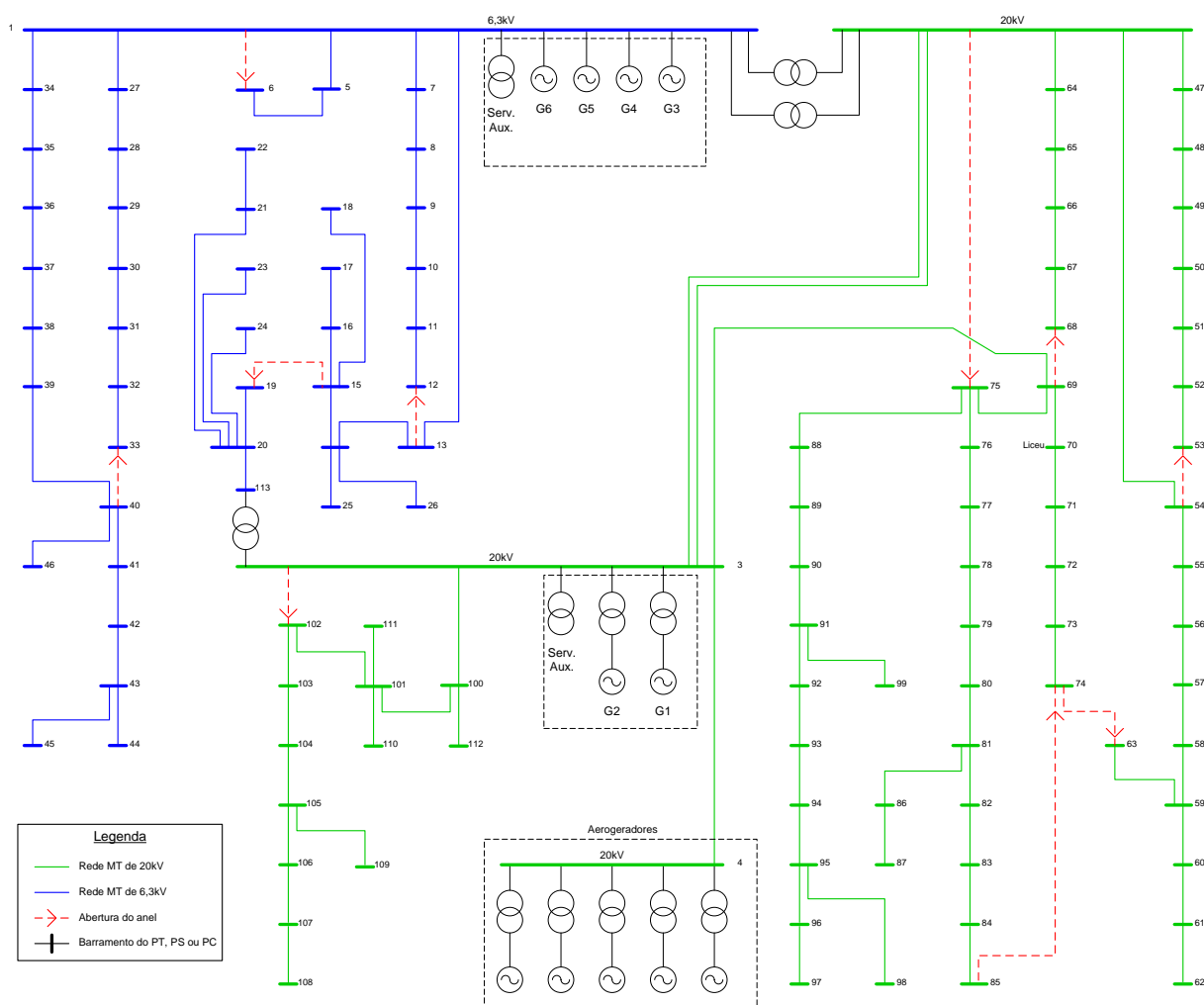


Figura 5.3 – Diagrama da rede de distribuição de São Vicente

A rede de distribuição de São Vicente é constituída pelos seguintes activos técnicos:

- 25 km de linhas aéreas MT;
- 92 km de cabos subterrâneos MT;
- 60 Postos de Transformação de Distribuição com 14,2 MVA de potência instalada;
- 44 Postos de Transformação de Cliente com 14,9 MVA de potência instalada;
- 5 Postos de Corte;

- 2 Subestações (uma com barramentos de 20 kV e 6,3 kV e a outra com barramento de 20 kV), estão localizadas em Matiota e Lazareto junto das centrais de produção de energia, na periferia de Mindelo;
- Parque Eólico com 5 Aerogeradores com 2,1 MW de potência total instalada;
- 2 Centrais de produção de energia eléctrica, utilizando como combustível o gasóleo:
  - Central de Matiota com 4 geradores e uma potência instalada de 13,64 MVA;
  - Central de Lazareto com 2 geradores e uma potência instalada de 9,30 MVA;
- 3 Transformadores integrados na rede de distribuição, que possibilita dois pontos de interligação entre os dois níveis de tensão existentes (20 kV e 6,3 kV);
- 7 Transformadores associados a 7 grupos geradores (5 eólicos e 2 gasóleo);
- A configuração actual da rede consta no Anexo A.6 e as principais características eléctricas no Anexo A.7.

Relativamente à carga e geração, foi analisado o último relatório da Electra de 2008 [14], destacam-se os seguintes dados estatísticos:

- Balanço energético:

| Ano  | Produção              | Consumos com a Produção | Vendas               | Perdas               |
|------|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| 2008 | 60,25 GWh<br>(100,0%) | 9,59 GWh<br>(15,9%)     | 39,35 GWh<br>(65,3%) | 11,31 GWh<br>(18,8%) |

Tabela 5.2 – Balanço energético 2008 de São Vicente

A energia eléctrica indicada para perdas na rede de distribuição, é devido a perdas comerciais e a técnicas.

- Ponta máxima de 10 MVA em 20-08-2008;
- O consumo de electricidade tem um acréscimo de 6% ao ano;
- Relativamente à qualidade de serviço, neste relatório só são caracterizados os “Blackouts”, ou seja, situações em que a ilha ficou sem energia eléctrica. Foram registadas 18 ocorrências com uma duração total de 377 min.

Para o padrão de consumos de clientes e a necessidade de produção de energia eléctrica, foram considerados os diagramas de carga e de geração indicados nas Figura 5.4 e 5.5, que permitem estabelecer 24 patamares de carga e geração que serão objecto de análise.

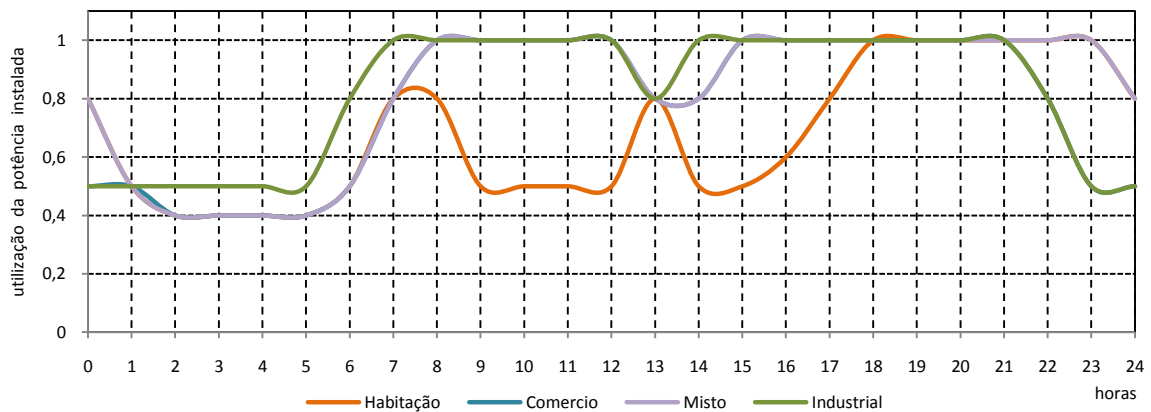


Figura 5.4 – Diagrama de carga da rede de São Vicente

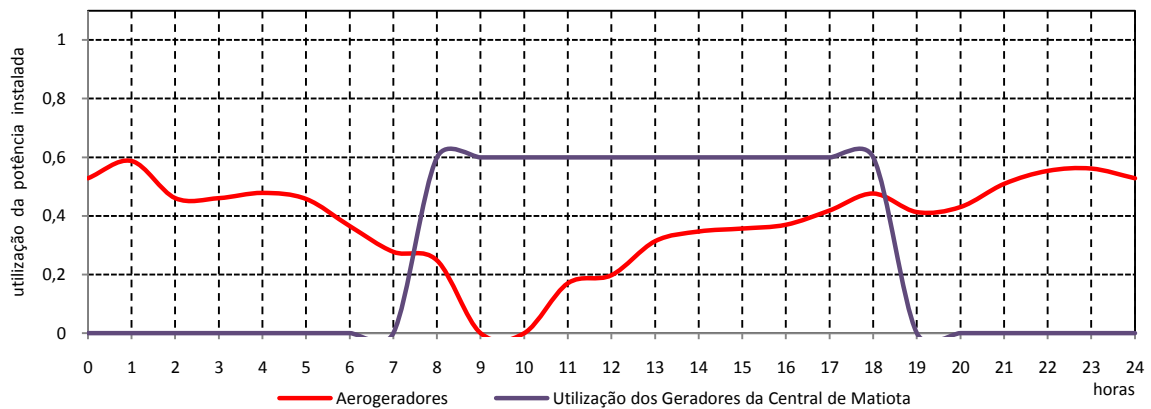


Figura 5.5 – Diagrama de geração da central de Matiota e dos aerogeradores

### 5.3. Metodologia para redução de perdas e aumento de fiabilidade

Para melhorar o desempenho da rede descrita nas secções anteriores, foram utilizados os métodos de redução de perdas e fiabilidade descritos nos capítulos 2 e 3. Mas apesar destes métodos serem independentes, eles complementam-se no objectivo otimizar a rede. Assim sendo, será necessário definir a estratégia de execução (Figura 5.6), para no final efectuar a avaliação do objectivo inicial

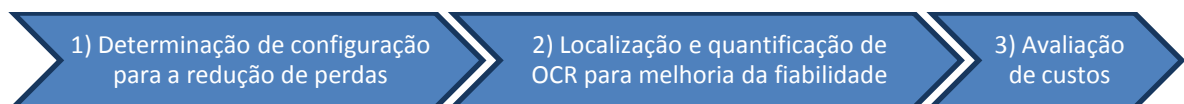


Figura 5.6 – Metodologia aplicada para a redução de perdas e END na rede MT de São Vicente

- 1) Determinação de configurações para a redução de perdas: O algoritmo desenvolvido em MATLAB (Anexo A.2), que partindo da configuração inicial, determina a melhor configuração da rede para 24 cenários de carga e geração. Neste procedimento são localizadas os troços a desligar em cada configuração. Mas como a frequente alteração de configuração não é uma solução tecnicamente exequível do ponto de vista da engenharia, é efectuada uma análise para detectar aspectos em comum nas soluções (por exemplo: locais com OCR em troços adjacentes), e efectua-se uma optimização local do subconjunto de OCR detectado. Uma vez identificada a configuração desejada, determina-se as perdas (Anexo A.3). No final, será efectuada uma comparação dos benefícios relativamente à solução inicial.
  
- 2) Localização e quantificação de OCR para melhoria da fiabilidade: partindo dos resultados obtidos no ponto anterior são definidas zonas da rede, estas zonas consistem em conjuntos de troços da rede sem necessidade de seccionamento. Com base nestas zonas e nas configurações determinadas no ponto anterior, foi efectuada uma análise das zonas da rede que repercutem mais efeitos negativos nos indicadores END, SAIFI MT, SAIDI MT e TIEPI MT, e que influenciam negativamente o desempenho de toda a rede de distribuição MT. Após a escolha das zonas com piores indicadores, define-se a inclusão (localização e número) de OCR para que de uma forma sustentada seja possível melhorar esses indicadores.
  
- 3) Avaliação de custos: neste procedimento é elaborada uma avaliação técnico/económica baseada no indicador  $B/C$  e no valor económico do investimento (VAL e TIR).

## 5.4. Análise técnica

### 5.4.1. Redução de perdas

No capítulo 2 encontra-se definido a aplicação do método de redução de perdas para um único nível de carga na rede. Mas no estudo efectuado à rede de São Vicente, foi necessário considerar a variação de carga ao longo do dia.

Para realizar este estudo foi considerado uma variação de carga de hora a hora com repetição diária de acordo com o indicado na Figura 5.4, correspondendo deste modo a 24 patamares ou níveis de carga e geração diferentes.

Este diagrama é influenciado pelos seguintes tipos de utilização:

- Habitação: PTD localizados em zonas onde existe uma utilização residencial;
- Comércio: PTD que alimentam lojas, zonas de restauração, serviços, etc;
- Misto: zonas de utilização para habitação e comércio;
- Industrial: PTC que alimenta clientes para fins industriais (fabricas).

Para esta análise foram considerados todos os elementos disponíveis.

Relativamente a geração, foi estabelecido um diagrama (Figura 5.5) e pode ser complementado com as seguintes particularidades:

- Central Matiota: para esta central foi definido uma utilização de 60% da sua capacidade máxima de produção durante o período de maior consumo (8h-18h), esta situação ocorre devido aos custos elevados de produção (37% da produção quando comparados com os 5% da Central de Lazareto [14]);
- Central de Lazareto: foi definido que esta central compensava a energia não produzida pelas restantes centrais (Central Matiota e Parque Eólico);
- Parque Eólico: como os custos de produção de energia eólica é praticamente nula, a rede aproveitará toda a energia produzida. Os dados indicados na Figura 5.5 para o aproveitamento eólico, resulta da produção ocorrida no dia 15 de Maio de 2008. A variação desta produção não influencia significativamente os resultados das perdas porque injecta directamente a energia produzida na subestação da Central de Lazareto.

Após serem indicadas as características técnicas e definidas algumas particularidades mais relevantes, foram determinadas as perdas da rede com a configuração original da rede (Figura 5.3 ou no Anexo A.6). Os resultados das perdas que ocorrem em cada hora está discriminado na Tabela 5.3, e o valor total de perdas é 2.919,8 kWh/dia.

| Hora do diagrama de carga | Perdas         |                | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Referência da Configuração |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|                           | [p.u.]         | [kWh]          |                                  |                                |                            |
| 1                         | 0,00068        | 67,92          | 0,05218+0,01936i                 | 0,05150+0,03296i               | Original                   |
| 2                         | 0,00051        | 51,32          | 0,04629+0,01553i                 | 0,04525+0,02913i               | Original                   |
| 3                         | 0,00051        | 51,32          | 0,04629+0,01553i                 | 0,04525+0,02913i               | Original                   |
| 4                         | 0,00052        | 51,51          | 0,04629+0,01554i                 | 0,04525+0,02913i               | Original                   |
| 5                         | 0,00051        | 51,32          | 0,04629+0,01553i                 | 0,04525+0,02913i               | Original                   |
| 6                         | 0,00103        | 102,96         | 0,06625+0,02975i                 | 0,06365+0,04126i               | Original                   |
| 7                         | 0,00214        | 213,95         | 0,09369+0,04909i                 | 0,09050+0,05826i               | Original                   |
| 8                         | 0,00107        | 106,57         | 0,09570+0,04694i                 | 0,09496+0,06097i               | Original                   |
| 9                         | 0,00069        | 69,01          | 0,08277+0,03855i                 | 0,08290+0,05356i               | Original                   |
| 10                        | 0,00069        | 69,01          | 0,08277+0,03855i                 | 0,08290+0,05356i               | Original                   |
| 11                        | 0,00069        | 69,30          | 0,08278+0,03855i                 | 0,08290+0,05356i               | Original                   |
| 12                        | 0,00069        | 69,41          | 0,08278+0,03855i                 | 0,08290+0,05356i               | Original                   |
| 13                        | 0,00087        | 86,87          | 0,08327+0,03912i                 | 0,08240+0,05273i               | Original                   |
| 14                        | 0,00068        | 67,81          | 0,07968+0,03695i                 | 0,07844+0,05085i               | Original                   |
| 15                        | 0,00070        | 70,30          | 0,08279+0,03856i                 | 0,08290+0,05356i               | Original                   |
| 16                        | 0,00081        | 80,65          | 0,08707+0,04133i                 | 0,08692+0,05603i               | Original                   |
| 17                        | 0,00108        | 107,70         | 0,09571+0,04695i                 | 0,09496+0,06097i               | Original                   |
| 18                        | 0,00143        | 143,47         | 0,10443+0,05268i                 | 0,10300+0,06591i               | Original                   |
| 19                        | 0,00284        | 283,81         | 0,10584+0,05747i                 | 0,10300+0,06591i               | Original                   |
| 20                        | 0,00284        | 283,97         | 0,10584+0,05747i                 | 0,10300+0,06591i               | Original                   |
| 21                        | 0,00285        | 284,72         | 0,10585+0,05748i                 | 0,10300+0,06591i               | Original                   |
| 22                        | 0,00236        | 236,12         | 0,09480+0,04937i                 | 0,09465+0,06028i               | Original                   |
| 23                        | 0,00176        | 176,24         | 0,07835+0,03755i                 | 0,08213+0,05184i               | Original                   |
| 24                        | 0,00125        | 124,54         | 0,06780+0,03016i                 | 0,06988+0,04429i               | Original                   |
| <b>Totais</b>             | <b>2.919,8</b> | <b>1.915,8</b> | <b>1,91551+0,90656i</b>          |                                |                            |

p.u. na base de  $|S_{base}|=100\text{MVA}$

Tabela 5.3 – Resumo dos cálculos de perdas da configuração original da rede de São Vicente

Confrontando o valor de perdas da configuração original ( $2.919,8 \text{ kWh/dia}$ ) com o valor indicado no relatório da Electra [14] ( $11,31 \text{ GWh/ano}$ ), verifica-se a seguinte variação:

$$\Delta_{\text{perdas}} = 2.919,8 \times 365 - 11,31 \times 10^6 = -10,24 \text{ GWh/ano} \quad 5.1$$

Este valor é elevado, mas ao analisar o relatório da Electra [14], verifica-se que neste valor estão incluídos os incobráveis de origem comercial.

Comparando o valor total de energia eléctrica produzida de  $191.551 \text{ kWh/dia}$  indicado na Tabela 5.3, com o indicado no relatório da Electra de 2008 [14] devidamente actualizados em 6% ao ano (crescimento das cargas indicado pela Electra), obteve-se a seguinte variação:

$$\Delta_{\text{produção}} = 191.551 \times 365 - 60,25 \times 10^6 \times 1,06 \times 1,06 = 2,22 \text{ GWh/ano} \quad 5.2$$

Como nos cálculos foi considerado um diagrama de carga semelhante para os 7 dias da semana, e como no fim-de-semana se verifica uma redução de carga, pode-se considerar o valor aceitável.

Para as mesmas condições de carga, foram determinadas as reconfigurações necessárias para a redução de perdas, os resultados obtidos encontram-se resumidos na Tabela 5.4.

| Hora do diagrama de carga | Perdas  |                | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Referência da Configuração |
|---------------------------|---------|----------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|                           | [p.u.]  | [kW]           |                                  |                                |                            |
| 1                         | 0,00058 | 58,45          | 0,05208+0,01890i                 | 0,05150+0,03296i               | 1                          |
| 2                         | 0,00044 | 44,24          | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               | 2                          |
| 3                         | 0,00044 | 44,24          | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               | 2                          |
| 4                         | 0,00044 | 44,42          | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               | 2                          |
| 5                         | 0,00044 | 44,24          | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               | 2                          |
| 6                         | 0,00087 | 86,57          | 0,06609+0,02908i                 | 0,06365+0,04126i               | 3                          |
| 7                         | 0,00179 | 178,62         | 0,09333+0,04788i                 | 0,09050+0,05826i               | 2                          |
| 8                         | 0,00097 | 96,81          | 0,09560+0,04688i                 | 0,09496+0,06097i               | 4                          |
| 9                         | 0,00061 | 61,40          | 0,08270+0,03849i                 | 0,08290+0,05356i               | 5                          |
| 10                        | 0,00061 | 61,40          | 0,08270+0,03849i                 | 0,08290+0,05356i               | 5                          |
| 11                        | 0,00062 | 61,68          | 0,08270+0,03849i                 | 0,08290+0,05356i               | 5                          |
| 12                        | 0,00062 | 61,79          | 0,08270+0,03849i                 | 0,08290+0,05356i               | 5                          |
| 13                        | 0,00081 | 80,83          | 0,08321+0,03914i                 | 0,08240+0,05273i               | 6                          |
| 14                        | 0,00061 | 60,69          | 0,07960+0,03689i                 | 0,07844+0,05085i               | 5                          |
| 15                        | 0,00063 | 62,68          | 0,08271+0,03850i                 | 0,08290+0,05356i               | 5                          |
| 16                        | 0,00072 | 72,41          | 0,08699+0,04126i                 | 0,08692+0,05603i               | 5                          |
| 17                        | 0,00098 | 97,94          | 0,09561+0,04689i                 | 0,09496+0,06097i               | 4                          |
| 18                        | 0,00131 | 131,31         | 0,10431+0,05259i                 | 0,10300+0,06591i               | 4                          |
| 19                        | 0,00238 | 237,94         | 0,10538+0,05595i                 | 0,10300+0,06591i               | 2                          |
| 20                        | 0,00238 | 238,11         | 0,10538+0,05595i                 | 0,10300+0,06591i               | 2                          |
| 21                        | 0,00239 | 238,85         | 0,10539+0,05596i                 | 0,10300+0,06591i               | 2                          |
| 22                        | 0,00200 | 200,27         | 0,09444+0,04813i                 | 0,09465+0,06028i               | 1                          |
| 23                        | 0,00154 | 154,06         | 0,07813+0,03670i                 | 0,08213+0,05184i               | 7                          |
| 24                        | 0,00108 | 107,77         | 0,06763+0,02947i                 | 0,06988+0,04429i               | 1                          |
| <b>Total</b>              |         | <b>2.526,7</b> |                                  |                                |                            |

p.u. na base de  $|S_{base}|=100\text{MVA}$

Tabela 5.4 – Resumo dos cálculos de redução de perdas da rede de São Vicente

No diagrama da rede apresentado na Figura 5.7 (ou no Anexo A.9) verifica-se linhas que estão permanentemente com o seccionador no estado aberto, e outras que consoante a configuração indicada na Tabela 5.4 poderão estar com seccionador no estado aberto (linhas com indicação do nº da configuração a vermelho) ou fechado.

Analisando os resultados obtidos e os locais de abertura e fecho das linhas conforme indicado no diagrama apresentado na Figura 5.7 (ou no Anexo A.9), verificou-se que para implementar as 7 reconfigurações diárias, são necessárias 12 mudanças de estado, envolvendo 16 OCR1 (4 de 15kV e 12 de 30kV).

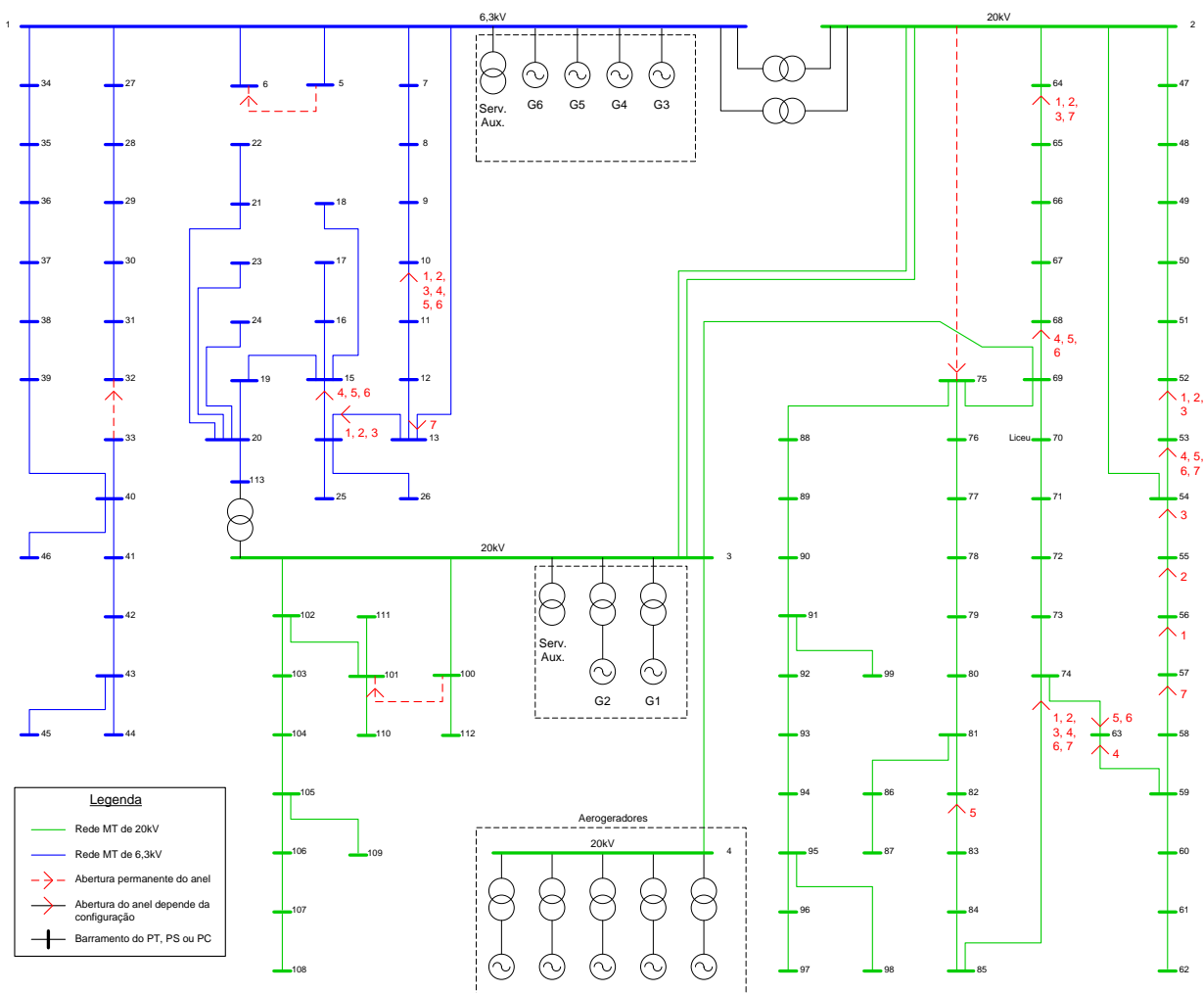


Figura 5.7 – Diagrama da rede de distribuição de São Vicente (redução de perdas)

Após o cálculo da redução de perdas obteve-se as seguintes variações relativamente aos valores originais:

$$\Delta \text{perdas} = (2.919,8 - 2.526,7) \times 365 = 143.481,5 \text{ kWh/ano} \quad 5.3$$

$$\Delta P_p = 284,72 - 238,85 = 45,87 \text{ kW} \quad 5.4$$

Com base nos resultados obtidos, nos custos associados com a produção e distribuição de energia eléctrica indicados na Secção 4.5 ( $CF_p = 47,181 \text{ €/kW} \cdot \text{Ano}$  e  $CV_p = 0,0609 \text{ €/kWh}$ ) e dos custos dos OCR1 indicado na Secção 4.3, verifica-se o seguinte ganho nos primeiros 12 meses (ano do investimento):

$$\begin{aligned} \text{Ganho}_1 &= 143.481,5 \times 0,0609 + 45,87 \times 47,181 - 4 \times 10.610 - 12 \times 11.770 \cong \\ &\cong -172.778 \text{ €} \end{aligned} \quad 5.5$$

Nos anos seguintes ao investimento, é obtido o seguinte ganho após descontar os custos de manutenção:

$$Ganho_2 = 143.481,5 \times 0,0609 + 45,87 \times 47,181 - 16 \times 200 \cong 7.702 \text{ €/ano} \quad 5.6$$

Analisando os ganhos para a vida útil dos OCR1 (15 anos), obteve-se o seguinte resultado:

$$Ganho = Ganho_1 + 15 \times Ganho_2 = -172.778 + 15 \times 7.702 \cong -57.245 \text{ €} \quad 5.7$$

Conforme se pode verificar que estes resultados não são economicamente justificáveis na óptica das perdas. Ao efectuar uma análise técnica, constata-se que esta solução obriga a presença de mais operadores no centro de condução, devido ao aumento do número de intervenções, e ao aumento do número de acções de manutenção nos OCR1, tornando este resultado ainda menos atractivo.

Aproveitando os resultados obtidos, e analisando o diagrama apresentado na Figura 5.7 (ou no Anexo A.9), verificou-se a existência de OCR1 em locais comuns nas diversas configurações e em diversos troços adjacentes.

Com base nestes pressupostos, estabeleceu-se as seguintes regras para efectuar as adaptações:

- Para locais com indicação de OCR1 próximos da subestação, considerou-se que o seccionamento da rede seria efectuado a partir do comando e protecção da saída;
- Em locais com instalação de OCR1 próxima de um PC ou PS, considerou-se que este seria instalado nesta instalação;
- Nos locais com alguns troços adjacentes com OCR1, estabeleceu-se a instalação de um aproximadamente a meio destes, de forma que a potência instalada dos dois conjuntos de troços fosse sensivelmente a mesma;
- Os troços com indicação de instalação de OCR1 em todas as configurações, basta instalar um seccionador no estado de exploração aberto, servindo apenas de recurso em caso de avaria.

Aplicando estas indicações aos resultados calculados, obteve-se o diagrama apresentado na Figura 5.8 (ou no Anexo A.10). Este novo diagrama é constituído apenas por dois tipos de configuração (8 e 9), que deve alternar consoante a necessidade de redução de perdas, e apenas em situações que o ganho seja substancial.

Para alterar a configuração, é necessário actuar nos seccionadores das linhas com indicação do nº da configuração (texto a vermelho), consoante o diagrama de rede desejado.

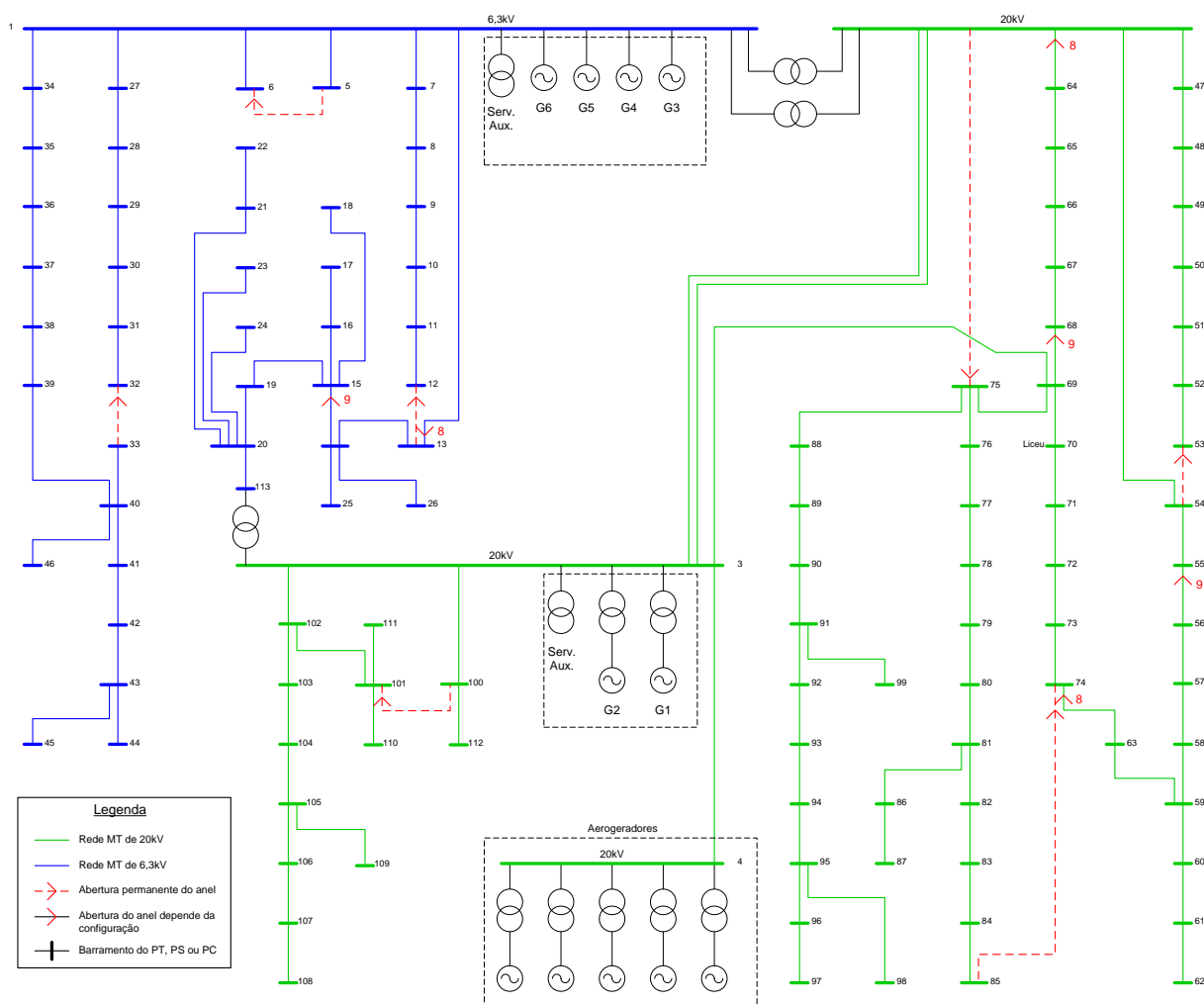


Figura 5.8 – Diagrama final da rede de distribuição de São Vicente (redução de perdas)

Após esta definição foi executado o algoritmo (Anexo A.3) para determinar as perdas hora a hora para cada configuração (8 e 9), e obteve-se os resultados indicados na Tabela 5.5.

| Horas | Perdas das configurações [p.u.] |            |          |          |
|-------|---------------------------------|------------|----------|----------|
|       | Original                        | Optimizada | 8        | 9        |
| 1     | 0,00068                         | 0,00058    | 0,000632 | 0,000610 |
| 2     | 0,00051                         | 0,00044    | 0,000481 | 0,000462 |
| 3     | 0,00051                         | 0,00044    | 0,000481 | 0,000462 |
| 4     | 0,00052                         | 0,00044    | 0,000483 | 0,000464 |
| 5     | 0,00051                         | 0,00044    | 0,000481 | 0,000462 |
| 6     | 0,00103                         | 0,00087    | 0,000955 | 0,000916 |
| 7     | 0,00214                         | 0,00179    | 0,001959 | 0,001888 |
| 8     | 0,00107                         | 0,00097    | 0,001112 | 0,001110 |
| 9     | 0,00069                         | 0,00061    | 0,000769 | 0,000727 |
| 10    | 0,00069                         | 0,00061    | 0,000769 | 0,000727 |
| 11    | 0,00069                         | 0,00062    | 0,000772 | 0,000730 |
| 12    | 0,00069                         | 0,00062    | 0,000773 | 0,000731 |
| 13    | 0,00087                         | 0,00081    | 0,000922 | 0,000953 |
| 14    | 0,00068                         | 0,00061    | 0,000757 | 0,000726 |
| 15    | 0,00070                         | 0,00063    | 0,000782 | 0,000740 |
| 16    | 0,00081                         | 0,00072    | 0,000876 | 0,000847 |
| 17    | 0,00108                         | 0,00098    | 0,001123 | 0,001121 |
| 18    | 0,00143                         | 0,00131    | 0,001454 | 0,001480 |
| 19    | 0,00284                         | 0,00238    | 0,002587 | 0,002501 |
| 20    | 0,00284                         | 0,00238    | 0,002588 | 0,002503 |
| 21    | 0,00285                         | 0,00239    | 0,002596 | 0,002510 |
| 22    | 0,00236                         | 0,00200    | 0,002163 | 0,002092 |
| 23    | 0,00176                         | 0,00154    | 0,001630 | 0,001579 |
| 24    | 0,00125                         | 0,00108    | 0,001153 | 0,001114 |
| Total | [p.u.]                          | 0,029198   | 0,025267 |          |
|       | [kWh]                           | 2.919,8    | 2.526,7  |          |

p.u. na base de  $|S_{base}|=100\text{MVA}$

| Configuração escolhida por ponto horário | Energia de perdas [p.u.] | Módulo da tensão [p.u.] |        |
|--|--------------------------|-------------------------|--------|
|  |                          | Mínima                  | Máxima |
| 9  | 0,000610                 | 0,952                   | 1,003  |
| 9  | 0,000462                 | 0,960                   | 1,002  |
| 9  | 0,000462                 | 0,960                   | 1,002  |
| 9  | 0,000464                 | 0,960                   | 1,002  |
| 9  | 0,000462                 | 0,960                   | 1,002  |
| 9  | 0,000916                 | 0,943                   | 1,002  |
| 9  | 0,001888                 | 0,913                   | 1,001  |
| 8  | 0,001112                 | 0,936                   | 1,001  |
| 8  | 0,000769                 | 0,957                   | 1,000  |
| 8  | 0,000769                 | 0,957                   | 1,000  |
| 8  | 0,000772                 | 0,957                   | 1,001  |
| 8  | 0,000773                 | 0,957                   | 1,001  |
| 8  | 0,000922                 | 0,941                   | 1,002  |
| 8  | 0,000757                 | 0,958                   | 1,002  |
| 8  | 0,000782                 | 0,957                   | 1,002  |
| 8  | 0,000876                 | 0,950                   | 1,002  |
| 8  | 0,001123                 | 0,936                   | 1,002  |
| 8  | 0,001454                 | 0,921                   | 1,002  |
| 9  | 0,002501                 | 0,897                   | 1,002  |
| 9  | 0,002503                 | 0,897                   | 1,002  |
| 9  | 0,002510                 | 0,897                   | 1,003  |
| 9  | 0,002092                 | 0,904                   | 1,003  |
| 9  | 0,001579                 | 0,914                   | 1,003  |
| 9  | 0,001114                 | 0,930                   | 1,003  |
|  | 0,027672                 |                         |        |
|  | 2.767,2                  |                         |        |

Tabela 5.5 – Redução do número de configurações tendo em consideração as perdas

Com estes resultados verifica-se que existe um ligeiro aumento das perdas (2.767,2 kWh/dia) relativamente à solução optimizada (2.526,7 kWh/dia) na ordem dos 9,5%, mas existe uma redução do número de OCR1, de 16 para 5 (2 de 15kV e 3 de 30kV). O telecomando indicado na linha entre os barramentos 2 e 64, será efectuado com o disjuntor da saída da subestação.

Analisando os módulos da tensão, constatou-se que os valores de tensão têm uma variação inferior a  $\pm 0,1$  p.u. relativamente à referência 1 p.u., com excepção do modulo da tensão mínima entre as 19 e as 21 horas, que regista um valor de 0,897 p.u.. Este valor está abaixo dos 0,9 p.u., e pode ser corrigido actuando nas tomadas dos transformadores dos PT.

Comparando as perdas relativamente ao valor da solução original é obtida a seguinte variação:

$$\Delta_{perdas}' = (2.919,8 - 2.767,2) \times 365 = 55.699 \text{ kWh/ano} \quad 5.8$$

$$\Delta P_p' = 284,72 - 251,00 = 33,72 \text{ kW} \quad 5.9$$

Verificou-se o seguinte ganho em END nos primeiros 12 meses (ano do investimento):

$$\begin{aligned} Ganho_1' &= 55.699 \times 0,0609 + 33,72 \times 47,181 - 2 \times 10.610 - 3 \times 11.770 \cong \\ &\cong -51.547 \text{ €} \end{aligned} \quad 5.10$$

Nos anos seguintes ao investimento, é obtido o seguinte ganho após descontar os custos de manutenção:

$$Ganho_2' = 55.699 \times 0,0609 + 33,72 \times 47,181 - 5 \times 200 \cong 3.983 \text{ €/ano} \quad 5.11$$

Analisando os ganhos para a vida útil dos OCR1 (15 anos), obteve-se o seguinte resultado:

$$Ganho' = Ganho_1' + 15 \times Ganho_2' = -51.547 + 15 \times 3.983 \cong 8.198 \text{ €} \quad 5.12$$

Os resultados das duas soluções para redução de perdas, e considerando o número de manobras e o tempo de vida útil (indicada na Tabela 4.1), é ilustrado no seguinte quadro resumo:

| Soluções               | Redução de perdas | Ganhos              |                |                     | Nº Manobras (dos OCR1)  | Vida útil Expectável (dos OCR1) |
|------------------------|-------------------|---------------------|----------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------|
|                        |                   | Ano do investimento | Anos seguintes | No final de 15 anos |                         |                                 |
| Optimização de perdas  | 143.481,5 kWh/ano | -172.778 €          | 7.702 €/ano    | -57.245 €           | 6.205 ano <sup>-1</sup> | 1 ano                           |
| Optimização do nº OCR1 | 55.699 kWh/ano    | -51.547 €           | 3.983 €/ano    | 8.198 €             | 730 ano <sup>-1</sup>   | 9 anos                          |

Tabela 5.6 – Resumo da solução óptima e da adaptação para a redução de perdas

Analisando as duas soluções verificou-se, que na primeira a redução de perdas é cerca de três vezes superior e a vida útil dos OCR1 é 1/9 da segunda solução. Apesar dos valores de vida útil ser inferior ao indicado pelo fabricante (15 anos), consegue-se obter esse valor com uma manutenção rigorosa e proactiva.

Mas como é difícil determinar os custos adicionais da manutenção numa situação de operação mais rigorosa, se forem considerandos os valores de vida útil indicados na Tabela 5.6, verifica-se que na primeira solução seria necessário efectuar a substituição dos OCR1 no final do primeiro ano (ano do investimento).

Analisando as duas soluções por aspectos económicos, verifica-se que só com a segunda solução é que se obtém ganhos no final dos 15 anos. Desta forma, constatou-se que esta solução é técnica e economicamente exequível, pelo que foi a solução adoptada.

### 5.4.2. Estudo da fiabilidade

No capítulo 3 está definido a aplicação do método para o cálculo de fiabilidade a utilizar no estudo da rede de São Vicente.

No caso da rede de São Vicente, será inicialmente determinada a fiabilidade da rede obtida do cálculo da redução de perdas, e depois com a inclusão de cada OCR2 em pontos estratégicos, são efectuados os respectivos cálculos de fiabilidade.

Para elaborar este estudo foram executados os seguintes passos:

- a) Definição das zonas da rede de distribuição conforme Figura 5.9 (ou no Anexo A.11);

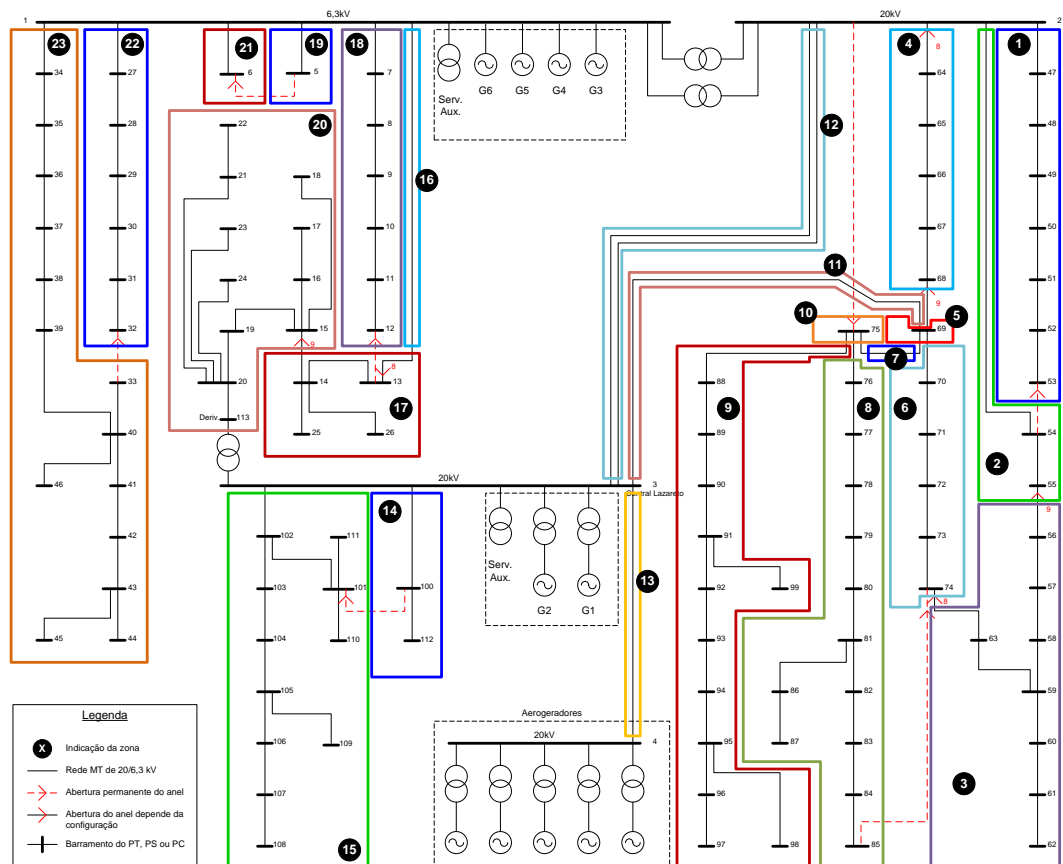


Figura 5.9 – Definição de zonas da rede de distribuição de São Vicente

Para a definição das zonas, foram agregados os barramentos que estão em troços comuns. Desta forma foi possível limitar os locais de instalação de OCR2.

- b) Devido à dificuldade em obter o nº de interrupções e o tempo médio de reparação, foi aplicado os dados típicos (Tabela 5.7) para a probabilidade de falha ( $\lambda$ ) e para o tempo médio de reparação (MTTR), conforme indicado na Secção 3.2;

|                  | $\lambda$<br>[km <sup>-1</sup> ] | MTTR<br>[horas/Interrupção] |
|------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Cabo Subterrâneo | 0,07                             | 7                           |
| Linha Aérea      | 0,15                             | 4                           |

Tabela 5.7 – Dados padrão para o cálculo de fiabilidade

- c) Foi efectuado o cálculo da probabilidade de falha ( $\lambda$ ) e o tempo médio de reparação (MTTR) para cada zona (ou no Anexo A.12), de acordo com o método indicado no capítulo 3;

| Zonas | $\lambda$ total<br>[falhas/ano] | MTTR<br>[h] |
|-------|---------------------------------|-------------|
| 1     | 0,15960                         | 4           |
| 2     | 0,23100                         | 4           |
| 3     | 0,90350                         | 7           |
| 4     | 0,22820                         | 4           |
| 5     | ---                             | ---         |
| 6     | 0,12600                         | 4           |
| 7     | 0,00049                         | 4           |
| 8     | 0,72800                         | 4           |
| 9     | 2,33230                         | 7           |
| 10    | ---                             | ---         |
| 11    | 0,24360                         | 4           |
| 12    | 0,42000                         | 4           |
| 13    | 0,33040                         | 4           |
| 14    | 0,11725                         | 4           |
| 15    | 0,73220                         | 4           |
| 16    | 0,06895                         | 4           |
| 17    | 0,34300                         | 4           |
| 18    | 0,11235                         | 4           |
| 19    | 0,08050                         | 4           |
| 20    | 0,55650                         | 4           |
| 21    | 0,04550                         | 4           |
| 22    | 0,32130                         | 4           |
| 23    | 1,80455                         | 7           |

Tabela 5.8 – Probabilidade de falha e MTTR por zona

Para determinar o MTTR, foi indicado o valor maior da zona.

- d) A sequência na análise de fiabilidade, foi ordenada pelas zonas com maior taxa de falhas e potência média.

| Zonas | Cientes MT | P <sub>média</sub> [kW] | $\lambda$ total [falhas/ano] | Prioridade |
|-------|------------|-------------------------|------------------------------|------------|
| 2     | 2          | 307                     | 0,23100                      | 2          |
| 3     | 8          | 749                     | 0,90350                      | 3          |
| 4     | 5          | 351                     | 0,22820                      | 5          |
| 6     | 5          | 399                     | 0,12600                      | 6          |
| 8     | 12         | 758                     | 0,72800                      | 4          |
| 9     | 10         | 76                      | 2,33230                      | 1          |
| 17    | 4          | 194                     | 0,34300                      | 7          |

Tabela 5.9 – Prioridade de instalação de OCR2

Não foram incluídas algumas zonas, devido aos seguintes motivos:

- Probabilidade de falha nula: 5 e 10;
- Protegidas pela saída de subestação: 1, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22 e 23;
- Linhas de interligação sem clientes: 7, 11, 12, 13 e 16.

A zona 3 deveria ter uma prioridade 2, mas como a zona 2 esta a jusante da 3, foi estabelecido que as zonas a jusante tinham mais prioridade que as zonas a montante. Por esse motivo a zona 2 ficou com prioridade 2 e a zona 3 com prioridade 3.

A zona 17 ficou com prioridade 7, porque tem menor potência média que as zonas com probabilidade de falha semelhante.

Resumindo, foram definidos os seguintes 7 locais com possibilidade de instalação de OCR2:

- 1) Entre a zona 10 e a zona 9;
- 2) Entre a zona 3 e a zona 2;
- 3) Entre a zona 6 e a zona 3;
- 4) Entre a zona 10 e a zona 8;
- 5) Entre a zona 5 e a zona 4;
- 6) Entre a zona 5 e a zona 6;
- 7) Entre a zona 20 e a zona 17.

Após definidos os critérios e os pressupostos, foram elaborados os cálculos de fiabilidade à medida que foi incluído cada OCR2. No final obteve-se o resumo apresentado na Tabela 5.10 e o gráfico da Figura 5.10 (os resultados parciais estão descritos no Anexo A.13).

| nº de OCR2 | END (kWh/ano) | SAIFI MT (Interrupção/Cliente) | SAIDI MT (horas) | TIEPI MT (horas/ano) |
|------------|---------------|--------------------------------|------------------|----------------------|
| 0          | 67.328        | 3,979                          | 10,358           | 9,685                |
| 1          | 37.771        | 2,788                          | 9,660            | 5,433                |
| 2          | 36.881        | 2,770                          | 9,624            | 5,305                |
| 3          | 32.607        | 2,506                          | 9,349            | 4,690                |
| 4          | 29.105        | 2,140                          | 9,533            | 4,187                |
| 5          | 28.658        | 2,085                          | 9,554            | 4,122                |
| 6          | 28.094        | 2,031                          | 9,568            | 4,041                |
| 7          | 29.744        | 2,088                          | 9,566            | 4,278                |

Tabela 5.10 – Resumo do cálculo de fiabilidade da rede de São Vicente

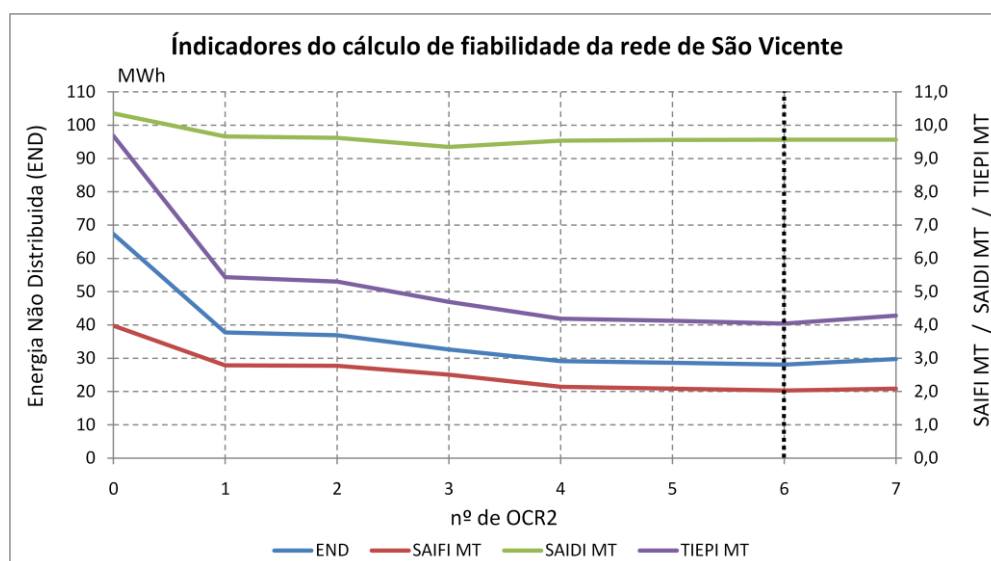


Figura 5.10 – Resumo dos indicadores do cálculo de fiabilidade da rede de São Vicente

Analisando os resultados verifica-se a existência de um mínimo no gráfico com a instalação do 6º OCR2, portanto verifica-se que o número de equipamentos a instalar é 6, quando considerado apenas os aspectos técnicos. Considerando também os aspectos económicos, é expectável que o valor aceitável de equipamentos a instalar, se encontra no intervalo entre 0 e 6 inclusive.

## 5.5. Análise económica

A análise económica de um investimento, é um estudo fundamental para avaliar a rentabilidade do investimento. Neste estudo, analisa-se as condições actuais e futuras, e se os capitais investidos são reembolsados de modo que o retorno seja superior ao investimento.

Para a avaliação técnico-económica de um projecto de investimento, torna-se fundamental o recurso a alguns indicadores, sendo que os mais utilizados são aqueles que assumem a forma de rácios.

Estes rácios apresentam vantagem, na precisão da informação e na facilidade de comparação de resultados. Contudo, convém salientar que os rácios apenas constituem um instrumento de análise, e deve ser complementado com outros cálculos.

O rácio mais comum em análises técnico-económicas, é o benefício-custo ( $B/C$ ). Este rácio já foi analisado na Secção 4.5, e após simplificação das equações 4.1, 4.2 e 4.12, obteve-se a seguinte equação:

$$\frac{B}{C} = \frac{(C_{Int\ kWh} \times \Delta_{END} + CF_p \times \Delta P_p + CV_p \times \Delta_{perdas}) \times \sum_{n=1}^{vu} \left(\frac{1 + \alpha_{POT}}{1 + i}\right)^n}{Inv_{OCR1} + Inv_{OCR2} + num_{OCR} \times \sum_{n=1}^{vu} \frac{dom}{(1 + i)^n}} \quad 5.13$$

Onde:  $C_{Int\ kWh}$  Custos associados as interrupções (1,5 €/kWh)

$CF_p$  Custos fixos de acesso e utilização da rede (47,181€/kW.Ano)

$CV_p$  Custos variáveis de produção e distribuição (0,0609 €/kWh)

$\Delta_{END}$  Variação entre a END inicial e final

$\Delta P_p$  Variação entre a ponta máxima de geração inicial e a final em kW

$\Delta_{perdas}$  Variação entre as perdas iniciais e as finais

$\alpha_{POT}$  Taxa anual de evolução das cargas (6%, indicado pela Electra)

$i$  Taxa de actualização (normalmente é considerado 10%)

$vu$  Tempo de vida útil (nos equipamentos telecomandados é 15 anos)

$Inv_{OCR1}$  Investimento em OCR1 (valores indicados na Tabela 4.3)

$Inv_{OCR2}$  Investimento em OCR2

$num_{OCR}$  Número de OCR1 e OCR2 a instalar

$dom$  Despesas de operação e manutenção (na secção 4.3 indica 200€)

Para determinar a variação de ponta máxima de geração ( $\Delta P_p$ ) conforme é indicado na Secção 4.5, foi considerada que a potência das cargas é constante, e com base nos cálculos elaborados na Secção 5.4.1 e na Equação 4.3, a variação de ponta máxima geração ( $\Delta P_p$ ) pode ser determinada da seguinte forma:

$$\Delta P_p = 284,72 - 251,00 = 33,72 \text{ kW} \quad 5.14$$

Para determinar a variação de perdas ( $\Delta_{perdas}$ ) é necessário aplicar a Equação 4.4, e obtém-se o seguinte valor:

$$\Delta_{perdas} = (2.919,8 - 2.767,2) \times 365 = 55.699 \text{ kWh/ano} \quad 5.15$$

Relativamente ao valor de END inicial, no relatório Electra de 2008 [14] não são indicados valores de END, apenas é indicado o valor do tempo total dos “Blackout” de 377 min/ano. Como o “Blackout” é uma situação muito particular de interrupção de energia eléctrica, não se enquadra no cálculo da END. Desta forma para o cálculo da variação de END ( $\Delta_{END}$ ), foram utilizados os resultados obtidos na Secção 5.4.2 (Tabela 5.10).

Aplicando a Equação 5.16, é possível obter os valores de variação de END ( $\Delta_{END}$ ) indicados na Tabela 5.11.

$$\Delta_{END}_n = END_0 - END_n \quad \text{com } n = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \text{ e } 7 \quad 5.16$$

| nº de OCR2 | END (kWh/ano) | $\Delta$ END (kWh/ano) |
|------------|---------------|------------------------|
| 0          | 67.328        | ---                    |
| 1          | 37.771        | 29.557                 |
| 2          | 36.881        | 30.448                 |
| 3          | 32.607        | 34.722                 |
| 4          | 29.105        | 38.224                 |
| 5          | 28.658        | 38.671                 |
| 6          | 28.094        | 39.235                 |
| 7          | 29.744        | 37.584                 |

Tabela 5.11 – Variação de END com a instalação de OCR2

Para os cálculos complementares ao rácio  $B/C$ , podem ainda ser utilizados os seguintes dois indicadores na análise de viabilidade económica de um projecto de investimento:

- Valor Actual Líquido (VAL): é o valor obtido pela soma de todos os fluxos financeiros do investimento, devidamente descontados à data de início do projecto, utilizando a

taxa de desconto que reflecte o custo do capital. Pode ser calculado com a seguinte equação:

$$VAL = \sum_{n=1}^{vu} \frac{B - num_{OCR} \times dom}{(1 + i)^n} - (Inv_{OCR1} + Inv_{OCR2}) \quad 5.17$$

Onde:  $B$  Benefício com redução de perdas e variação da END em €

$num_{OCR}$  Número de OCR1 e OCR2 a instalar

$dom$  Despesas de operação e manutenção (na secção 4.3 indica 200€)

$i$  Taxa de actualização (normalmente é considerado 10%)

$vu$  Tempo de vida útil (nos equipamentos telecomandados é 15 anos)

$Inv_{OCR1}$  Investimento em OCR1 (valores indicados na Tabela 4.3)

$Inv_{OCR2}$  Investimento em OCR2

- Taxa Interna de Rentabilidade (TIR): é a taxa que o investidor obtém em média em cada ano sobre os capitais que se mantêm investidos no projecto, enquanto o investimento inicial é recuperado progressivamente.

$$\sum_{n=1}^{vu} \frac{B - num_{OCR} \times dom}{(1 + TIR)^n} - (Inv_{OCR1} + Inv_{OCR2}) = 0 \quad 5.18$$

Onde:  $B$  Benefício com redução de perdas e variação da END em €

$num_{OCR}$  Número de OCR1 e OCR2 a instalar

$dom$  Despesas de operação e manutenção (na secção 4.3 indica 200€)

$vu$  Tempo de vida útil (nos equipamentos telecomandados é 15 anos)

$Inv_{OCR1}$  Investimento em OCR1 (valores indicados na Tabela 4.3)

$Inv_{OCR2}$  Investimento em OCR2

Após definir os métodos de cálculo, os pressupostos e com base nos resultados dos cálculos elaborados nas Secções 5.4.1 e 5.4.2, foi possível determinar para a vida útil dos equipamentos o rácio  $B/C$ , VAL e TIR, conforme apresentado na Tabela 5.12 e nos gráficos das Figura 5.11 e 5.12.

| nº<br>OCR1 | nº<br>OCR2 | Benefícios<br>[€] | Investimento [€] |         | Despesas<br>manutenção<br>[€] | Rácio<br>B/C | VAL<br>[€]     | TIR<br>[%]  |
|------------|------------|-------------------|------------------|---------|-------------------------------|--------------|----------------|-------------|
|            |            |                   | OCR1             | OCR2    |                               |              |                |             |
| 5          | 0          | -248.049          | 56.530           | 0       | 7.606                         | -3,87        | -11.037        | ---         |
| 5          | 1          | 252.793           | 56.530           | 18.400  | 9.127                         | 3,01         | 441.534        | 70,3        |
| 4          | 2          | 267.879           | 44.760           | 36.800  | 9.127                         | 2,95         | 449.136        | 66,7        |
| 3          | 3          | 340.303           | 32.990           | 55.200  | 9.127                         | <b>3,50</b>  | 510.831        | <b>69,4</b> |
| 3          | 4          | 399.646           | 32.990           | 73.600  | 10.649                        | 3,41         | 546.893        | 63,2        |
| 2          | 5          | 407.217           | 21.220           | 92.000  | 10.649                        | 3,29         | <b>547.405</b> | 60,4        |
| 2          | 6          | 416.771           | 21.220           | 110.400 | 12.170                        | 2,90         | 536.497        | 53,2        |
| 1          | 7          | 388.811           | 10.610           | 126.730 | 12.170                        | 2,60         | 504.400        | 49,4        |

Tabela 5.12 – Avaliação económica do investimento em São Vicente

Para analisar uma solução conjunta de redução de perdas e aumento de fiabilidade, é necessário conhecer os locais com indicação de instalação de OCR1 (para a redução de perdas) e OCR2 (para aumento da fiabilidade), conforme Tabela 5.12. Esta indicação possibilita a substituição de um OCR1 por um OCR2, quando é necessário a instalação de um OCR2 num local que já existe um OCR1.

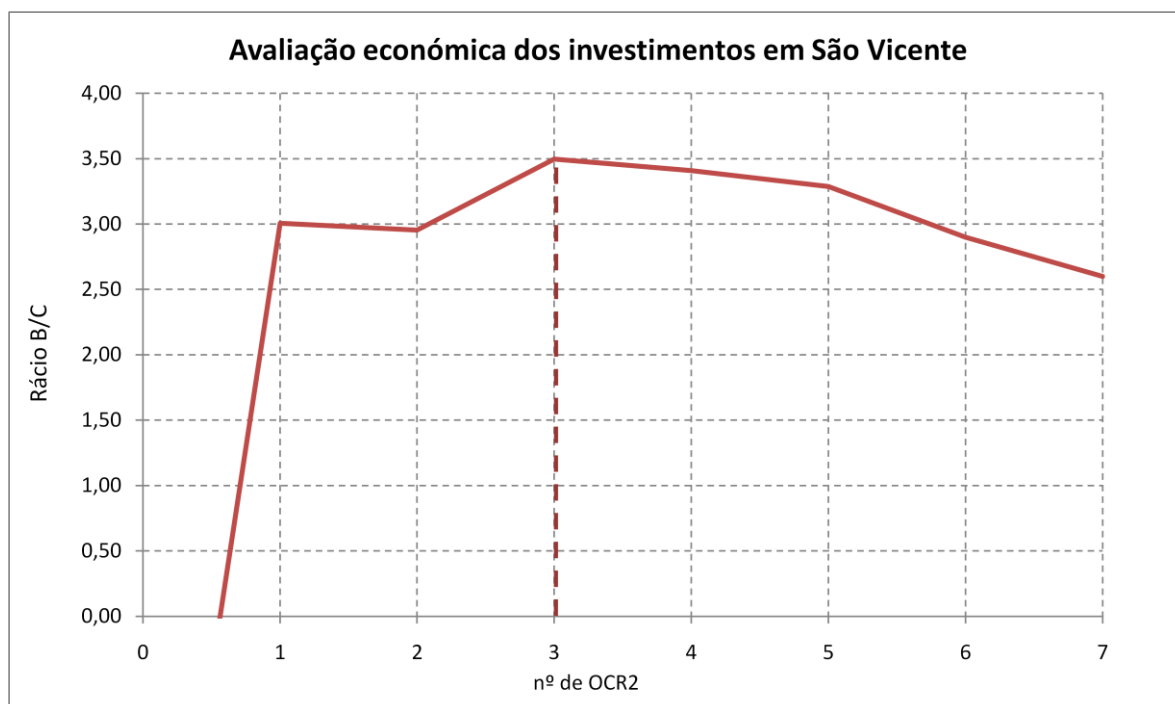


Figura 5.11 – Avaliação económica do investimento em São Vicente (rácio B/C)

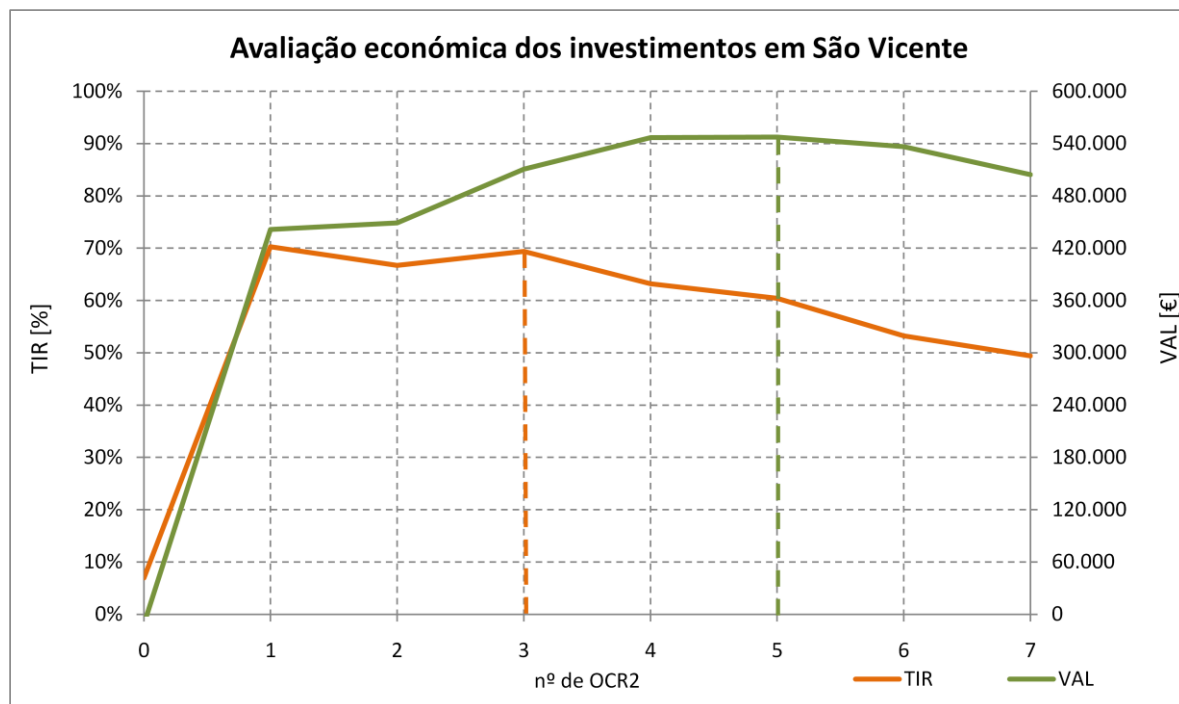


Figura 5.12 - Avaliação económica do investimento em São Vicente (VAL e TIR)

Com a análise da avaliação económica pelo rácio  $B/C$ , VAL e TIR, pode-se verificar a existência de dois resultados possíveis:

- Nos dados e no gráfico do rácio  $B/C$  e da TIR, verifica-se que o valor máximo é atingido para um investimento em 3 OCR1 e 3 OCR2, onde o rácio  $B/C$  é 3,50 e o TIR é 69,4%;
- Nos dados e no gráfico do VAL, verifica-se que o retorno económico máximo é atingido para um investimento em 2 OCR1 e 5 OCR2, onde o VAL é 547.405€.

Apesar de existir duas soluções possíveis e da decisão depender do investidor, a decisão mais viável será aquela onde se obtém uma taxa de rentabilidade mais elevada, ou seja, a solução com 3 OCR1 e 3 OCR2.

Com base na decisão indicada, os valores da avaliação económica do investimento escolhida são os seguintes:

| nº<br>OCR1 | nº<br>OCR2 | Benefícios<br>[€] | Investimento [€] |        | Despesas<br>manutenção<br>[€] | Rácio<br>B/C | VAL<br>[€] | TIR<br>[%] |
|------------|------------|-------------------|------------------|--------|-------------------------------|--------------|------------|------------|
|            |            |                   | OCR1             | OCR2   |                               |              |            |            |
| 3          | 3          | 340.303           | 32.990           | 55.200 | 9.127                         | 3,50         | 510.831    | 69,4       |

Tabela 5.13 – Resultados da avaliação económica escolhida para São Vicente

Para implementar este investimento, serão necessários os seguintes equipamentos:

- 3 OCR1 nas interligações das zonas: 10 para 9, 2 para 3 e 6 para 3;
- 3 OCR2 nas interligações das zonas: 5 para 4, 16 para 17 e 17 para 20.

## 5.6. Decisões

Constatou-se na análise dos gráficos da Figura 5.11 e 5.12, que torna-se necessário instalar OCR2 de uma forma ponderada. Nesta rede verificou-se que inicialmente a necessidade de instalar 7 OCR2, mas uma solução mais realista e igualmente económica consiste na instalação de apenas 3.

Os benefícios desta solução apresentam um potencial retorno económico de 510.831€.

Mas como já referido, todas as empresas procuram obter um resultado final com o menor custo e maior rentabilidade. Estes aspectos estão relacionados com maior eficiência, isto é redução de perdas e aumento de fiabilidade.

Com a solução apresentada conseguem-se alcançar os melhores níveis de redução de perdas e de aumento da fiabilidade para a rede de distribuição da ilha de São Vicente.

---

# Capítulo

# 6

---

## 6. Conclusões

### 6.1. Objectivos alcançados

Numa cultura de empresa cada vez mais competitiva, um dos focos essenciais é a eficiência, podendo esta ser alcançada por aspectos técnicos e económicos.

Neste sentido é usual os temas “redução de perdas” e “aumento da fiabilidade”, serem abordados numa perspectiva técnica. Neste trabalho foram avaliados os ganhos do ponto de vista técnico e económico que uma empresa pode obter, se otimizar a estrutura actual.

Para a obtenção de uma redução de perdas foi elaborado um algoritmo em MATLAB, que, com base num diagrama de carga, pudesse obter a topologia que permite explorar a rede com perdas mais reduzidas, sem colocar em causa o fornecimento de energia eléctrica aos consumidores, evitando sobrecargas em linhas ou perfis de tensão inadequados.

As perdas de cada configuração da rede de distribuição, foram determinadas pelo cálculo do trânsito de energia com o método de Gauss-Seidel. Para definir os critérios de selecção de uma nova configuração da rede, foi utilizado um método definido em [3], o qual consiste nos principais passos, para patamares de carga e geração, seguidamente identificados:

- Selecção da linha com seccionador no estado de exploração aberto, que existe a maior diferença de tensão entre dois barramentos que interliga, e alterar o estado do seccionador para fechado;
- Selecção da linha adjacente ao barramento de menor tensão da linha anterior, e alterar o estado do seccionador desta linha para aberto.
- Depois da execução do método de selecção a rede deverá ser:
  - Radial;
  - Conexa.
- Estes cálculos são efectuados até se obter uma rede com o valor mais reduzido de perdas.

Relativamente à fiabilidade, foi efectuada a avaliação dos ganhos obtidos após a inclusão dos equipamentos de telecomando da rede (OCR2) em ponto estratégicos da rede de distribuição.

Foram utilizados valores típicos de taxa de falhas e tempo médio de reparação (*MTTR*) para cada ramo da rede, e determinados os seguintes índices de qualidade de serviço:

- Energia não distribuída (END);
- Frequência média de interrupção do sistema (SAIFI);
- Duração média de interrupção do sistema (SAIDI);
- Tempo de interrupção equivalente da potência instalada (TIEPI).

Depois de obter os indicadores para todas as configurações resultantes das inserções possíveis de telecomando na rede, foi efectuada uma avaliação técnico-económica, que serviu para avaliar os ganhos entre cada alteração efectuada e identificadas as melhores configurações mais adaptadas a cada nível de carga.

Estes métodos foram aplicados a uma rede de distribuição real, e a escolha incidiu na rede eléctrica da ilha de São Vicente em Cabo Verde. Finalmente foi elaborada uma avaliação económica que serviu de suporte à decisão técnica obtida.

A aplicação dos métodos referidos permitiu evidenciar que a melhor solução seria a colocação de OCR em 6 locais, obtendo uma redução de perdas média de cerca de 5,3% e de energia não distribuída de 41,1% em cada ano. Analisando o investimento para o período de vida útil dos OCR (15anos), apresenta um rácio  $B/C = 3,50$ ,  $VAL = 511k€$  e uma  $TIR = 69,4\%$ .

## 6.2. Perspectivas futuras

Após este trabalho, é possível estabelecer algumas direcções e perspectivas futuras relacionadas com os temas estudados, ou seja, a redução de perdas e a fiabilidade.

Tornando a ferramenta desenvolvida em MATLAB mais completa, salientam-se as seguintes direcções de investigação e implementação:

- Extensão do estudo para situações com 2 Subestações AT/MT;
- Obtenção da melhor estratégia de exploração da rede de distribuição;
- Melhorar a selecção de zonas para o cálculo de fiabilidade.

---

## **Bibliografia**

---

- [1] Dicionário online “Infopédia”: <http://www.infopedia.pt/> (Maio/2010).
- [2] José Pedro Sucena Paiva: Redes de Energia Eléctrica, uma análise sistémica, Instituto Superior Técnico - Press, 2ª Edição (2007).
- [3] R. Srinivasa Rao, S. V. L. Narasimham: A New Heuristic Approach for Optimal Network Reconfiguration in Distribution Systems, International Journal of Applied Science, Engineering and Technology (2009).
- [4] Jaswanti and T. Thakur: A New Heuristic Network Reconfiguration Algorithm for Radial Distribution System, Department of Electrical Engineering, Punjab Engineering College (Deemed University), Chandigarh, India (2005).
- [5] M.A. Kashem, G.B. Jasmon, V. Ganapathy: A New Approach of Distribution System Reconfiguration for Loss Minimization, Electrical Power and Energy Systems, Page 269–276 (2000).
- [6] P. M. S. Carvalho, L. A. F. M. Ferreira and A. J. Cerejo da Silva: A Decomposition Approach to Optimal Remote Controlled Switch Allocation in Distribution Systems, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 20, NO. 2, APRIL (2005).
- [7] A. C. Santos, A. C. B. Delbem, J. B. A. London and N. G. Bretas: Node-Depth Encoding and Multiobjective Evolutionary Algorithm Applied to Large-Scale Distribution System Reconfiguration, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 25(3), Page 1254-1265, AUG (2010).
- [8] G. K. V. Raju, R. R. Bijwe: An efficient algorithm for minimum loss reconfiguration of distribution system based on sensitivity and heuristics, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 23(3), Page 1280-1287, AUG (2008).
- [9] DGEG: Despacho 5255/2006 de 8/Março – Regulamento de Qualidade de Serviço (2006).
- [10] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos – Quadros de Tarifas e Preços de energia eléctrica para 2010: <http://www.erse.pt> (2010)
- [11] Paulo Marques de Sousa: Dissertação com o tema: “Distribuição otimizada dos aparelhos de corte telecomandados numa rede de distribuição de Média Tensão” (Junho/2009)
- [12] Rede Eléctrica Nacional: <http://www.ren.pt> (Maio/2010)
- [13] Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde: <http://www.ine.cv> (Maio/2010)
- [14] Electra: Relatório e Contas (2008)

---

## **Anexos**

---

# A New Heuristic Approach for Optimal Network Reconfiguration in Distribution Systems

R. Srinivasa Rao, S. V. L. Narasimham

**Abstract**—This paper presents a novel approach for optimal reconfiguration of radial distribution systems. Optimal reconfiguration involves the selection of the best set of branches to be opened, one each from each loop, such that the resulting radial distribution system gets the desired performance. In this paper an algorithm is proposed based on simple heuristic rules and identified an effective switch status configuration of distribution system for the minimum loss reduction. This proposed algorithm consists of two parts; one is to determine the best switching combinations in all loops with minimum computational effort and the other is simple optimum power loss calculation of the best switching combination found in part one by load flows. To demonstrate the validity of the proposed algorithm, computer simulations are carried out on 33-bus system. The results show that the performance of the proposed method is better than that of the other methods.

**Keywords**—Distribution system, network reconfiguration, power loss reduction, radial network, heuristic technique.

## I. INTRODUCTION

THIS distribution systems deliver power to the customers from a set of distribution substations and these are normally configured radially for effective co-ordination of their protective systems.

There are two types of switches used in primary distribution systems; sectionalizing switches (normally closed) and tie switches (normally open). They are designed for both protection and configuration management in the system. Under normal operating conditions, feeders are frequently reconfigured by changing the open/closed state of each switch in order to reduce line losses or to avoid the overloading network branches. Since there are many candidate-switching combinations possible in a distribution system, finding the operating network reconfiguration becomes a complicated combinatorial, non-differentiable constrained optimization problem. In such system the possible number of switching combinations is  $3^m$ , where 'm' is the total number of tie switches in the system. However, all possible options are not practicable, as they require long computational time for line

loss calculation.

The radial constraint and discrete nature of the switches prevent the use of classical techniques to solve the reconfiguration problem. Most of the algorithms in the literature are based on heuristic search techniques.

Distribution system reconfiguration for loss reduction was first proposed by Merlin and Back [1]. They employed a blend of optimization and heuristics to determine the minimal-loss operating configuration for the distribution system represented by a spanning tree structure at a specific load condition. Since then, many techniques have been proposed. A branch and bound type heuristic algorithm was suggested by Civanlar, Grainger, Yin, and Lee[2], where a simple formula was developed for determination of change in power loss due to a branch exchange. Shirmohammdi and Hong [3] applied optimal power flow analysis to network reconfiguration for loss minimization. Baran and Wu [4] proposed an algorithm to identify branches to be exchanged using heuristic approach to minimize the search for selecting the switching options. Goswami and Basu [5] reported a heuristic algorithm that was based on the concept of optimum flow pattern. The optimum flow pattern with single loop formed by closing a normally open switch was found out, and this flow pattern was established in the radial network by opening a closed switch. This procedure was repeated until the minimum loss configuration was obtained. McDermott, Drezga, and Broadwater [6] proposed a heuristic constructive algorithm that started with all maneuverable switches open, and at each step, the switch that resulted in the minimum increment in the objective function was closed. The objective function was defined as the ratio of incremental losses to incremental load served. Lin, Chin and Yu [7] designed heuristic based switching indices, by utilizing fuzzy notations for the distribution system loss reduction. Taylor and Lubkeman [8] proposed a switch exchange type heuristic method to determine the network configuration for over loads, voltage problem, and for load balancing simultaneously. Its solution scheme set up a decision tree which represented the various operations available, and a best-first search and heuristic rules were used to find feasible switching operations.

In this paper, a new heuristic search methodology is proposed for determining the minimum loss configuration of a radial distribution system. The proposed solution starts with

R. Srinivasa Rao is with the Department of Electrical and Electronics Engineering, Jawaharlal Nehru Technological University, Kakinada, INDIA. (phone: +919440462814; e-mail: srinivas\_jntueee@yahoo.com).

S. V. L. Narasimham is with the Computer Science and Engineering Department, Jawaharlal Nehru Technological University, Hyderabad, INDIA. (e-mail: svlnarasimham@gmail.com).

initial configuration with all tie switches are in open position. The voltage differences across all tie switches and the two node voltages of each tie switch are computed using load flow analysis. Among all the tie switches, a switch with maximum voltage difference is selected first subject to the condition that the voltage difference is greater than the pre-specified value. The tie switch with the maximum voltage difference is closed and the sectionalize switches are opened in sequence starting from the minimum voltage node of the tie switch. The power losses due to each sectionalize switch are calculated and the opening sectionalize switches are stopped when the power loss obtained due to previous sectionalizing is less than the current one. As the power loss due other sectionalize switches is more than the current, it is not necessary to open the sectionalize switches further in the loop. Based on the above procedure, the best switching combination of the loop is noted. The same procedure is repeated to all the remaining tie switches. This procedure favors the solution with a fewer switching operations. Another advantage with the algorithm is that the number of load flow computations is less and subsequently the computational effort is drastically reduced. The proposed algorithm is tested on a 33-bus system and results are compared with the different methods available in the literature.

The remaining part of the paper is organized as follows: Section II gives the problem formulation, Section III discusses the proposed algorithm, Section IV develops the reconfiguration results and discussions and Section V discusses the conclusions.

## II. FORMULATION OF OPTIMIZATION MODEL FOR LOSS MINIMIZATION

The network reconfiguration problem in a distribution system is to find a configuration with minimum loss while satisfying the operating constraints under a certain load pattern. The operating constraints are voltage drop, current capacity and radial operating structure of the system. The mathematical formulation for the minimization of power loss reconfiguration problems is presented in the literature in different ways. In this paper, the problem formulation is presented as

$$\text{Minimize } f = \min(P_{T, \text{Loss}}) \quad (1)$$

$$\text{Subjected to } V_{\min} \leq |V_i| \leq V_{\max} \quad (2)$$

$$|I_i| \leq |I_{i, \max}| \quad (3)$$

where

$P_{T, \text{Loss}}$  is the total real power loss of the system;

$|V_i|$  Voltage magnitude of bus  $i$ ;

$V_{\min}, V_{\max}$  are bus minimum and maximum voltage limits respectively;

$I_i, I_{i, \max}$  are current magnitude and maximum current limit of branch  $i$  respectively;

A set of simplified feeder-line flow formulations is employed. Considering the single-line diagram depicted in Fig. 1, the recursive equations (4) to (6) are used to compute the power flow [4].

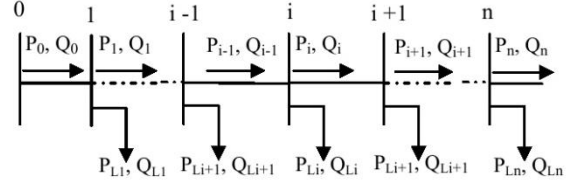


Fig. 1 Single-line diagram of a main feeder

Because of the complexity of the large scale distribution system, network reconfiguration problem is normally assumed as symmetrical system and constant loads. Therefore, the distribution lines are represented as series impedances of the value ( $Z_{i,i+1} = R_{i,i+1} + jX_{i,i+1}$ ) and load demand as constant and balanced power sinks  $S_L = P_L + jQ_L$ . The real and reactive power flows at the receiving end of branch  $i+1$ ,  $P_{i+1}$ , and  $Q_{i+1}$ , and the voltage magnitude at the receiving end,  $|V_{i+1}|$  is expressed by the following set of recursive equations [4]:

$$P_{i+1} = P_i - P_{Li+1} - R_{i,i+1} \cdot \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i|^2} \quad (4)$$

$$Q_{i+1} = Q_i - Q_{Li+1} - X_{i,i+1} \cdot \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i|^2} \quad (5)$$

$$|V_{i+1}|^2 = |V_i|^2 - 2(R_{i,i+1} \cdot P_i + X_{i,i+1} \cdot Q_i) + (R_{i,i+1}^2 + X_{i,i+1}^2) \cdot \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i|^2} \quad (6)$$

Equations (4) – (6) are known as the *Distflow equations*. Hence, if  $P_0, Q_0, V_0$  at the first node of the network is known or estimated, then the same quantities at the other nodes can be calculated by applying the above branch equations successively. This procedure is referred to as a *forward update*.

Similar to forward update, a *backward update* is expressed by the following set of recursive equations [4]:

$$P_{i-1} = P_i + P_{Li} + R_{i,i+1} \cdot \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i|^2} \quad (7)$$

$$Q_{i-1} = Q_i + Q_{Li} + X_{i,i+1} \cdot \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i|^2} \quad (8)$$

$$|V_{i-1}|^2 = |V_i|^2 + 2(R_{i-1,i} \cdot P_i' + X_{i-1,i} \cdot Q_i') + (R_{i-1,i}^2 + X_{i-1,i}^2) \cdot \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i|^2} \quad (9)$$

$$\text{where } P_i' = P_i + P_{Li} \quad \text{and} \quad Q_i' = Q_i + Q_{Li}$$

Note that by applying backward and forward update schemes successively one can get a power flow solution.

The power loss of the line section connecting between buses  $i$  and  $i+1$  is computed as

$$P_{Loss}(i, i+1) = R_{i,i+1} \cdot \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i|^2} \quad (10)$$

The total power loss of the feeder  $P_{F, Loss}$  is determined by summing up the losses of all line sections of the feeder, which is given by

$$P_{F, Loss} = \sum_{i=0}^{n-1} P_{Loss}(i, i+1) \quad (11)$$

where the total system power loss  $P_{T, Loss}$  is the sum of power losses of all feeders in the system.

### III. PROPOSED METHOD

In general, many tie or sectionalize switches are to be closed or opened to obtain the feasible network reconfiguration. If the reconfigured network leaves any branches unconnected or forms a closed loop it will lead to an infeasible switching combination for network reconfiguration. Hence, to avoid the infeasible switching combinations, the connectivity from the source to all the nodes and radial structure of the network must be checked. The optimal switching strategies for network reconfiguration proposed by most of the researchers need to consider every candidate switch to evaluate the effectiveness of loss reduction. Such strategies require extensive numerical computation. In the present work, a simple heuristic rules are formed to select the optimal switches that give the minimum power loss without searching all the candidate switches in the network. The details of the proposed algorithm with heuristic rules are explained in the following section:

For the given radial network with all tie switches open, by running the load flow, the voltage difference ( $[\Delta V_{tie}(i)]$ , for  $i=1, 2, \dots, N_{tie}$ ) across all of the open tie switches are computed. Then, the open tie switch from the vector  $\Delta V_{tie}$  that has the minimum voltage difference is detected. If the maximum voltage difference of any tie switch in the vector is greater than a specified value, then that tie switch is considered first. Because of the largest voltage difference, this switching (closing) of the tie switch will cause maximum loss reduction, improve minimum system voltage and provide the better load balancing. In the next iteration, the same procedure is repeated for the remaining tie-switches and so forth. If, in any iteration, this maximum voltage difference across any tie switch is less than the specified value ( $\epsilon$ ), then that tie-switch operation is discarded and automatically other tie-switch operations are discarded because the voltage difference across all other open tie switches is less than  $\epsilon$ .

The proposed method involves the following steps:

1. read the system input data;
2. run the load flow program for the radial distribution network;
3. compute the Power loss and voltage at various nodes;
4. compute the voltage difference across the open tie switches (i.e.,  $\Delta V_{tie}(i)$ , for  $i=1, 2, \dots, N_{tie}$ ).  $N_{tie}$  represents the total number of tie switches;

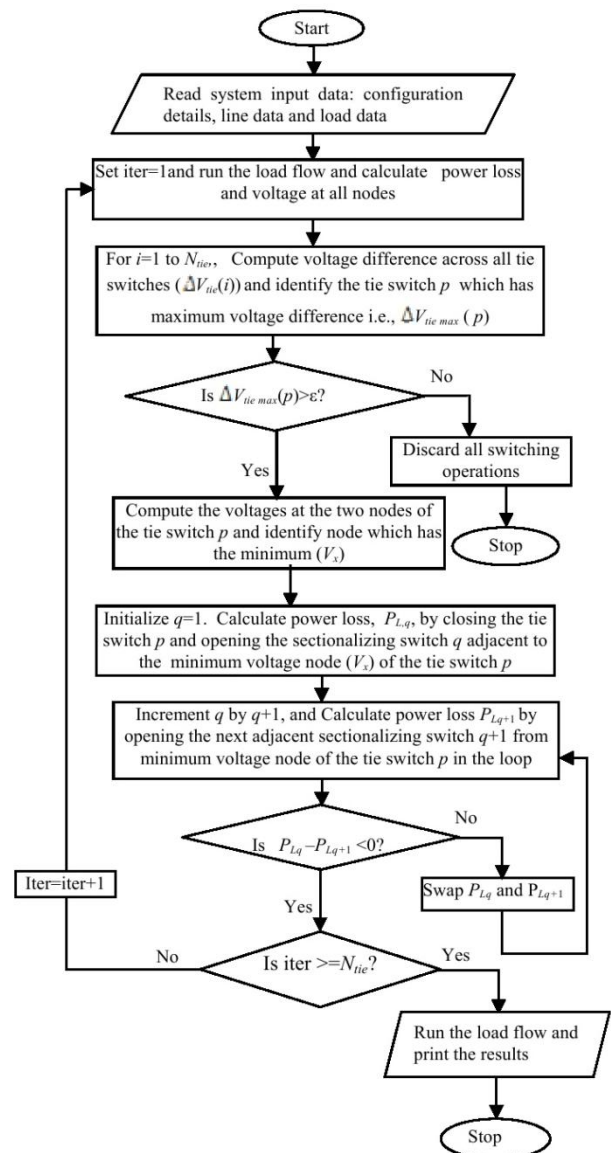


Fig. 2. Flowchart of the solution for loss minimization of the proposed algorithm

5. identify the open tie switch across which the voltage difference is maximum and its code  $p$  (i.e.,  $\Delta V_{tie,max} =$

- $\Delta V_{ie}(p)$ ;
6. if  $\Delta V_{ie,max} > \epsilon$  (a specified a value), go to step 7; otherwise discard all switching operations and go to step13;
  7. pick the two nodes of the tie switch  $p$  and check the node which has the minimum voltage, let it be  $V_x$ ;
  8. close the tie switch  $p$  to form the loop and open the sectionalize switch  $q$  (to retain radiality) adjacent to  $V_x$ . Then, calculate the power loss and store it in  $P_{Lq}$ ;
  9. now close current sectionalize switch  $q$  and open the next adjacent sectionalize switch  $q+1$  in that loop and calculate the power loss and store it in  $P_{Lq+1}$ ;
  10. if  $P_{L,q} - P_{L,q+1} < 0$ , the optimal branch opening in that loop is the sectionalize switch adjacent to node  $V_x$ ; Otherwise swap ( $P_{L,q}, P_{Lq+1}$ ) go to step 9
  11. if the number of iterations ( $n$ ) is less than or equal to number of tie switches ( $N_{tie}$ ), set  $n$  as  $n+1$  and go to step 2 to repeat the program for the rest of the tie switches;
  12. run the load flow and the print the results;
  13. stop.

The flow chart for the proposed algorithm is shown in fig. 2.

#### IV. TEST RESULTS AND DISCUSSIONS

The distribution network presented in [4] is used to demonstrate the validity and effectiveness of the proposed method. The proposed method is programmed in MATLAB on a PC Pentium IV, 3-GHz computer with 0.99 GB RAM. The distribution network for reconfiguration consists of 33-buses and 5 tie lines; the total loads are 5084.26 kW and 2457.32 kVAR. The normally open switches are 33, 34, 35, 36, and 37 represented by the dotted lines and normally open switches 1 to 32 are represented by the solid lines as shown in figure 3.

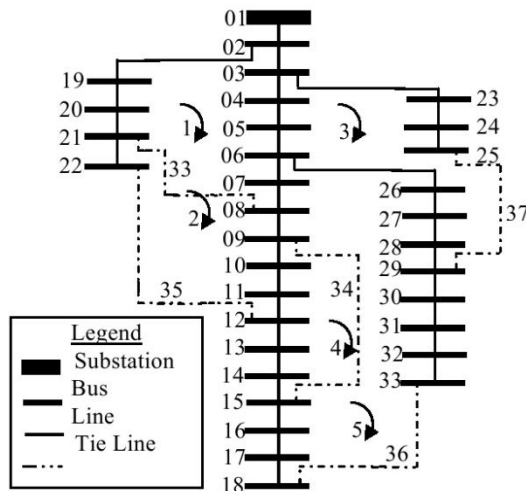


Fig. 3. 33-Bus Initial configuration of the radial distribution system

For this base case, the initial losses are 202.71 kW. The line and load data of 33-bus system are given in Table I.

TABLE I  
NETWORK DATA FOR 33 – BUS SYSTEM

| Line No. | From Bus | To Bus | R (Ω)  | X (Ω)  | Load at Receiving End Bus |                            |
|----------|----------|--------|--------|--------|---------------------------|----------------------------|
|          |          |        |        |        | Real Power Load (kW)      | Reactive Power Load (kVAR) |
| 1        | 1        | 2      | 0.0922 | 0.0477 | 100.0                     | 60.0                       |
| 2        | 2        | 3      | 0.4930 | 0.2511 | 90.0                      | 40.0                       |
| 3        | 3        | 4      | 0.3660 | 0.1840 | 120.0                     | 80.0                       |
| 4        | 4        | 5      | 0.3811 | 0.1941 | 60.0                      | 30.0                       |
| 5        | 5        | 6      | 0.8190 | 0.070  | 60.0                      | 20.0                       |
| 6        | 6        | 7      | 0.1872 | 0.6188 | 200.0                     | 100.0                      |
| 7        | 7        | 8      | 1.7114 | 1.2351 | 200.0                     | 100.0                      |
| 8        | 8        | 9      | 1.0300 | 0.7400 | 60.0                      | 20.0                       |
| 9        | 9        | 10     | 1.0400 | 0.7400 | 60.0                      | 20.0                       |
| 10       | 10       | 11     | 0.1966 | 0.0650 | 45.0                      | 30.0                       |
| 11       | 11       | 12     | 0.3744 | 0.1238 | 60.0                      | 35.0                       |
| 12       | 12       | 13     | 1.4680 | 1.1550 | 60.0                      | 35.0                       |
| 13       | 13       | 14     | 0.5416 | 0.7129 | 120.0                     | 80.0                       |
| 14       | 14       | 15     | 0.5910 | 0.5260 | 60.0                      | 10.0                       |
| 15       | 15       | 16     | 0.7463 | 0.5450 | 60.0                      | 20.0                       |
| 16       | 16       | 17     | 1.2890 | 1.7210 | 60.0                      | 20.0                       |
| 17       | 17       | 18     | 0.7320 | 0.5740 | 90.0                      | 40.0                       |
| 18       | 2        | 19     | 0.1640 | 0.1565 | 90.0                      | 40.0                       |
| 19       | 19       | 20     | 1.5042 | 1.3554 | 90.0                      | 40.0                       |
| 20       | 20       | 21     | 0.4095 | 0.4784 | 90.0                      | 40.0                       |
| 21       | 21       | 22     | 0.7089 | 0.9373 | 90.0                      | 40.0                       |
| 22       | 3        | 23     | 0.4512 | 0.3083 | 90.0                      | 50.0                       |
| 23       | 23       | 24     | 0.8980 | 0.7091 | 420.0                     | 200.0                      |
| 24       | 24       | 25     | 0.8960 | 0.7011 | 420.0                     | 200.0                      |
| 25       | 6        | 26     | 0.2030 | 0.1034 | 60.0                      | 25.0                       |
| 26       | 26       | 27     | 0.2842 | 0.1447 | 60.0                      | 25.0                       |
| 27       | 27       | 28     | 1.0590 | 0.9337 | 60.0                      | 20.0                       |
| 28       | 28       | 29     | 0.8042 | 0.7006 | 20.0                      | 70.0                       |
| 29       | 29       | 30     | 0.5075 | 0.2585 | 200.0                     | 600.0                      |
| 30       | 30       | 31     | 0.9744 | 0.9630 | 150.0                     | 70.0                       |
| 31       | 31       | 32     | 0.3105 | 0.3619 | 210.0                     | 100.0                      |
| 32       | 32       | 33     | 0.3410 | 0.5302 | 60.0                      | 40.0                       |
| 33*      | 21       | 8      | 0.0000 | 2.0000 |                           |                            |
| 34*      | 9        | 15     | 0.0000 | 2.0000 |                           |                            |
| 35*      | 12       | 22     | 0.0000 | 2.0000 |                           |                            |
| 36*      | 18       | 33     | 0.0000 | 2.0000 |                           |                            |
| 37*      | 25       | 19     | 0.0000 | 2.0000 |                           |                            |

\* Tie Lines, Substation Voltage=12.66 kV

The voltage differences across all tie switches are computed for the network shown in fig. 3 and are shown in Table II. It is observed that the maximum voltage difference occurs across tie switch 35 which is greater than the specified value ( $\epsilon$ ). Hence, the tie switch 35 is closed first as the voltage differences across the remaining tie switches are smaller in magnitude.

TABLE II  
VOLTAGE DIFFERENCE ACROSS ALL OPEN TIE SWITCHES AFTER FIRST SWITCHING

| S. No | Tie switch number | Voltage difference across tie switch (pu) |
|-------|-------------------|---|
| 1     | 33                | 0.050963                                  |
| 2     | 34                | 0.017961                                  |
| 3     | 35                | <b>0.064754</b>                           |
| 4     | 36                | 0.003451                                  |
| 5     | 37                | 0.043900                                  |

Now, if the tie switch 35 is closed, a loop will be formed and total number of branches including tie branch in the loop will be 14. These branches are 12-11, 11-10, 10-9, 9-8, 8-7, 7-6, 6-5, 5-4, 4-3, 3-2, 2-19, 19-20, 20-21, 21-22 and 22-12. Opening of each branch in this loop is an option. But opening of some of the branches causes the violation of the constraints and gives the infeasible solution. Also, opening of all branches in the loop in sequence order or in any another order increases the computational burden. In this algorithm, sectionalize branches are opened (to retained the radiality) either left or right of the selected tie switch based on the minimum voltage node of the tie switch. This procedure is explained as follows.

The two node voltages of the tie switch 35 are evaluated and the minimum of two node voltages is noted. In this case, the minimum node voltage of the tie switch 35 is 12. Therefore, one branch at a time in the loop is opened starting from the node 12 and power loss due to each objective is obtained till the power loss ( $P_{Lq+1}$ ) due to current objective is greater than the previous objective ( $P_{Lq}$ ). In this loop, the first sectionalize branch (12-11) is opened as it adjacent to the node 12 and power loss is computed and shown in Table VI. In same manner, next adjacent sectionalize branches 11-10, 10-9, 9-8, and 8-7 are opened one at a time in sequence and power loss is computed and shown in the Table VI. As the power due to sectionalize branch 8-7 is greater than 9-8, the optimal opening branch in the loop is between the nodes 9 and 8. Further opening of the branches beyond the branch 8-7 in the loop, is giving either more power loss than the minimum already obtained at the branch 9-8 or infeasible solution. Hence, the opening of the remaining branches 7-6, 6-5, 5-4, 4-3, 3-2, 2-19, 19-20, 20-21, 21-22 and 22-12 are discarded. The optimal radial loop for the first switching operation is obtained by closing the tie switch 35 and opening the branch between the nodes 9 and 8. The advantage of this procedure is that it is not necessary to visit all the sectionalizing switches in the loop. Therefore, the search space of sectionalizing switches in the loop is drastically reduced. For the second switching operation, the voltage difference across remaining tie switches (discarding tie switch 35) are computed and shown in Table III.

TABLE III  
VOLTAGE DIFFERENCE ACROSS THE TIE SWITCHES  
AFTER SECOND SWITCHING

| S. No    | Tie switch number | Voltage difference across tie switch (pu) |
|----------|-------------------|---|
| 1        | 33                | 0.018891                                  |
| 2        | 34                | 0.008328                                  |
| 4        | 36                | 0.017159                                  |
| <b>5</b> | <b>37</b>         | <b>0.033793</b>                           |

From Table III, it is observed that the maximum voltage difference occurs across tie switch 37 and it is greater than the specified value ( $\epsilon$ ). The minimum voltage node of the tie switch 37 is 29 and is shown in Table VI. Repeating the same procedure as in case of tie switch 35, the optimal radial configuration for the second switching operation is obtained by closing the tie switch 37 and opening the sectionalize

branch between the nodes 28 and 29.

Among the tie switches 33, 34 and 36, the voltage difference across tie switch 36 is greater than remaining two and is shown in Table IV. Therefore, the tie switch 36 is selected for the third switching operation as voltage difference is greater than the specified value. The minimum voltage node of tie switch 36 is 33 and is shown in Table V. Repeating the same procedure as in case of tie switch 35, the optimal radial configuration for third switching operation is obtained by closing the tie switch 36 and open the sectionalize branch between the nodes 33 and 32.

TABLE IV  
VOLTAGE DIFFERENCE ACROSS THE TIE SWITCHES  
AFTER THIRD SWITCHING

| S. No    | Tie switch number | Voltage difference across tie switch (pu) |
|----------|-------------------|---|
| 1        | 33                | 0.004505                                  |
| 2        | 34                | 0.008328                                  |
| <b>4</b> | <b>36</b>         | <b>0.010081</b>                           |

The voltage difference across the remaining two tie switches 34 and 33 are shown in Table V. For fourth switching operation, tie switch 34 is considered as the voltage difference across it is greater than 33 and it is also greater than the specified value. The minimum voltage node of 34 is 15 and is shown in Table VI. In this case the optimal configuration of the loop is obtained by closing the tie switch 34 and opening the sectionalize branch between the nodes 15-14.

TABLE V  
VOLTAGE DIFFERENCE ACROSS THE TIE SWITCHES  
AFTER FORTH SWITCHING

| S. No    | Tie switch number | Voltage difference across tie switch (pu) |
|----------|-------------------|---|
| 1        | 33                | 0.002781                                  |
| <b>2</b> | <b>34</b>         | <b>0.010057</b>                           |

Since the voltage difference across the tie switch 5 is less than the specified value, the closing of it will not cause any reduction in the power loss. Hence this switching operation is discarded. The algorithm is tested on few examples and it was found that a values of  $\epsilon=0.01$  gives the satisfactory results.

TABLE VI  
OPTIMAL POWER LOSS IN EACH LOOP, MINIMUM  
NODE VOLTAGES OF THE SWITCHES, SWITCHES OPEN

| Tie switch (Closed) | Minimum node voltage of the tie switch | Sectionalize switch open between nodes | Power loss (p.u) |
|---------------------|--|--|------------------|
| 35                  | 12                                     | 12-11                                  | 0.0159           |
|                     |  | 11-10                                  | 0.0157           |
|                     |  | 10-9                                   | 0.0156           |
|                     |  | <b>9-8</b>                             | <b>0.0155</b>    |
|                     |  | 8-7                                    | 0.0159           |
| 37                  | 29                                     | <b>29-28</b>                           | <b>0.0157</b>    |
|                     |  | 28-27                                  | 0.0245           |
| 36                  | 33                                     | <b>33-32</b>                           | <b>0.0149</b>    |
|                     |  | 32-31                                  | 0.0150           |
| 34                  | 15                                     | <b>15-14</b>                           | <b>0.0148</b>    |
|                     |  | 14-13                                  | 0.0149           |

The optimal radial configuration of the network after all the switching operations is shown in figure 4. Table VII shows the simulation results of the base configuration and the optimal configuration. The minimum and the maximum voltages of the two configurations are depicted in fig. 5. The power loss before reconfiguration is 202.71 kW and reconfiguration is 135.78 kW. From the results it is observed that reduction in power loss is 66.93 kW which is approximately 33.1 %. The number of all load flow runs required for the entire process is 26.

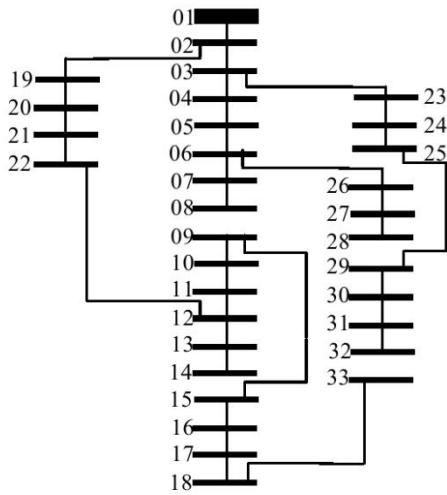


Fig. 4. 33-Bus final radial configuration of distribution system

The voltage profiles before and after reconfiguration is shown in from fig.5. It is observed that the minimum voltage before reconfiguration is 0.9131 p.u and after reconfiguration is 0.9391 p.u. This shows that the minimum voltage in the network is improved by 2.78 % after reconfiguration.

| 33-bus test system                |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| Loss in the base configuration    | 202.71 kW         |
| Loss in the optimal configuration | 135.78 kW         |
| Optimal configuration             | 33, 14, 8, 32, 28 |
| Loss reduction                    | 66.93 kW          |
| Loss reduction [%]                | 33.1              |
| CPU Time                          | 0.42 sec          |
| Number of load flow               | 26                |

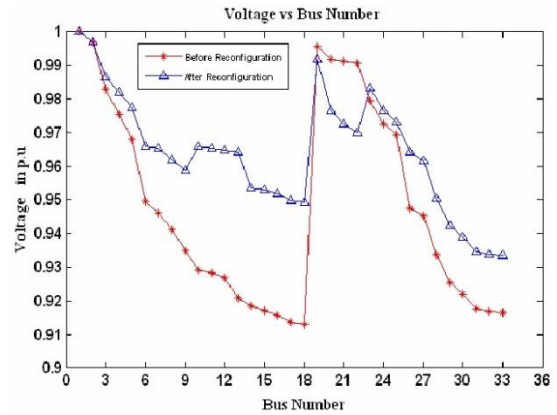


Fig. 5. 33-bus system voltage profile

A. Comparison with other methods

The proposed method is compared with the methods proposed by Goswami [5], Gomes [14], Mcdermott [7] and Kashem[13] for the same 33-bus test system . For effective comparison, the results of the proposed method along with other methods are shown in Table VIII.

| Method       | Final open switches | Total loss savings (%) | CPU Time (s) |
|--------------|---------------------|------------------------|--------------|
| Proposed     | 33,14,8,32,28       | 33.1                   | 0.42         |
| Goswami[5]   | 7,9,14,32,37        | 32.6                   | 0.87         |
| Gomes[14]    | 7,9,14,32,37        | 32.6                   | 1.66         |
| McDermott[7] | 7,9,14,32,37        | 32.6                   | 1.99         |
| Chun Wang[9] | 7,9,14,32,37        | 31.17                  | 0.5          |
| Kashem[13]   | 7,14,11,32,28       | 26.14                  | 4.56         |

The saving in total loss by the proposed method is higher than all other methods. The number of tie switch operations obtained by the proposed method and all other methods except Kashem [13] is 4. The number of switching operations in the method proposed by Kashem is 5. The CPU time taken by the proposed method is approximately the same as Chung Wang [9], half the time of Goswami method [5], 4 to 5 times less than the Gomes[14] and Mcdermott[7] methods and much less than the Kashem method [13]. The number of load flows required to get the optimum solution by the proposed algorithm is only 26, whereas it is 29 in case of Baran and Wu [4].

V. CONCLUSIONS

In this paper, a new heuristic approach is developed to minimize the power loss and improve the voltage profile in the system. This algorithm reduces combinatorial explosive switching problem into a realizable one and reduces the switching combinations to a fewer number. The tie branches

and its neighboring branches are considered to generate the switching combination and the best combination among them is found with less computational effort. It is observed that the switching combinations in each loop of the network are very much nearer the lower potential of the tie switch. The algorithm gives the optimum solution with a few numbers of load flow runs and CPU time needed is very less. Therefore, this method can be effectively used in real time application of the large distribution system under widely varying load conditions.

## REFERENCES

- [1] A. Merlin, H. Back, "Search for a minimal-loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system" Proceedings of 5<sup>th</sup> Power System Computation Conference (PSCC), Cambridge, UK, 1975, pp. 1-18.
- [2] S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, and S. S. H. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 3, no. 3, pp. 1217-1223, Jul. 1988.
- [3] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line loss reduction," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 4, no. 2, pp. 1492-1498, Apr. 1989.
- [4] M. E. Baran and F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 4, no. 2, pp. 1401-1407, Apr. 1989.
- [5] S. K. Goswami and S. K. Basu, "A new algorithm for the reconfiguration of distribution feeders for loss minimization," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 7, no. 3, pp. 1484-1491, Jul. 1992.
- [6] T. E. McDermott, I. Drezga, and R. P. Broadwater, "A heuristic nonlinear constructive method for distribution system reconfiguration," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 14, no. 2, pp. 478-483, May 1999.
- [7] W. M. Lin, H. C. Chin, G. J. Yu, "An effective algorithm for distribution feeder loss by switching operations", *IEEE Trans. on Power delivery*, pp 597 - 602, 1999.
- [8] T. Taylor, D. Lubkeman, "Implementation of heuristic search strategies for distribution feeder reconfiguration", *IEEE Trans. on Power delivery*, vol. 5, No. 1, pp 239 - 246, January 1990.
- [9] Chun Wang and Hao Zhong Cheng, "Optimization of network configuration in large distribution systems using plant growth simulation algorithm", *IEEE trans., Power Syst.*, vol. 23, no. 1, pp. 119-126, Feb. 2008.
- [10] T. P. Wagner, A. Y. Chikhani, and R. Hackam, "Feeder reconfiguration for loss reduction: an application of distribution automation," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 6, no. 4, pp. 1922-1931, Oct. 1991.
- [11] K. Nara, A. Shiose, M. Kitagawoa, and T. Ishihara, "Implementation of genetic algorithm for distribution systems loss minimum reconfiguration," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 7, no. 3, pp. 1044-1051, Aug. 1992.
- [12] Sarfi. R. J, Salama. M. M. and Chikhani. A. Y, "A survey of the state of the art in distribution system reconfiguration for system loss reduction," *Electr. Power Syst. Res.*, pp. 61-70, 1994.
- [13] M. A. Kashem, V. Ganapathy, G.B. Jasmon, and M. I. Buhari, "A Novel model for loss minimization in distribution networks", *IEEE International Power Technologies 2000 Conference on Electric Utility deregulation, restructuring* at City University London, 4-7 April 2000, pp. 251-256.
- [14] Vanderson Gomes et al, "A new heuristic reconfiguration algorithm for large distribution systems", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 3, pp. 1373-1378, Aug. 2005.
- [15] R. P. Broadwater, A. H. Khan, H. E. Shalan, and R. E. Lee, "Time varying load analysis to reduce distribution losses through reconfiguration," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 8, no. 1, pp. 294-300, Jan. 1993.
- [16] G. J. Peponis, M. P. Papadopoulos, and N.D. Hatzigiorgiou, "Distribution network reconfiguration to minimize resistive line losses," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 10, no. 3, pp. 1338-1342, Jul. 1995.
- [17] R. P. Broadwater, A. H. Khan, H. E. Shalan, and R. E. Lee, "Time varying load analysis to reduce distribution losses through reconfiguration," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 8, no. 1, pp. 294-300, Jan. 1993.
- [18] Juan Andre's Martin, Antonio Jose' Gil, "A new heuristic approach for distribution systems loss reduction", *Electr. Power Syst. Res.* 78 1953-1958, 2008.

**R. Srinivasa Rao** is a research scholar in Jawaharlal Nehru Technological University, Kakinada, INDIA. His areas of interest include electric power distribution systems and power systems operation and control.

**S.V.L Narasimham** is Professor of Computer Science and Engineering Department, Jawaharlal Nehru Technological University, Hyderabad, INDIA. His areas of interests include real time power system operation and control, ANN, Fuzzy logic and Genetic Algorithm applications to Power Systems.

## A.2. Algoritmo MATLAB para cálculo de redução de perdas

Este algoritmo permite o cálculo de perdas de uma rede, e a sua reconfiguração com o objectivo de minimização de perdas, segundo o método explicado na Secção 2.3.1.

No início de cada hora é alterada a potência de carga segundo um diagrama de carga pré-definido, reproduzindo a variação de trânsito de energia em toda a rede. Após esta alteração é efectuado o cálculo do trânsito de energia e avaliada a necessidade de alterar a configuração da rede através do indicador perdas.

Depois de efectuar uma reconfiguração o algoritmo verifica se a rede permanece radial e conexa, visto estas serem algumas das condições e pressupostos para realização deste estudo.

Este processo é interrompido, após se obter a configuração otimizada para a hora indicada, e reiniciado para a hora seguinte.

A aplicação de optimização é constituída por 9 ficheiro “M-file” do MATLAB. Estes ficheiros têm a seguinte função:

- “Aplicacao\_OPF.m” é o ficheiro principal para executar a aplicação;
- “DB\_Buses.m” é o ficheiro onde é carregado os dados dos barramentos;
  - Coluna 01: nº do barramento;
  - Coluna 02: Tipo de barramento (1=Refª / 2=PV / 3=PQ / 4=PQV);
  - Coluna 03: Módulo da Tensão;
  - Coluna 04: Ângulo da Tensão de início (graus);
  - Coluna 05: Potência Activa ( $P_g$ ) de geração;
  - Coluna 06: Potência Reactiva ( $Q_g$ ) de geração;
  - Coluna 07: Potência Activa ( $P_c$ ) de carga;
  - Coluna 08: Potência Reactiva ( $Q_c$ ) de carga;
  - Coluna 09: Potência Reactiva ( $Q_{bc}$ ) da bateria de condensadores;
  - Coluna 10: Potência Reactiva mínima ( $Q_{min}$ ) de geração;
  - Coluna 11: Potência Reactiva máxima ( $Q_{max}$ ) de geração;
  - Coluna 12: barramento de tensão de referência remota;
  - Coluna 13: Tipo de Carga (1=Habitação/2=Comercial/3=Misto/4=Industrial).
- “DB\_Lines.m” é o ficheiro onde é carregado os dados das linhas e cabos;
  - Coluna 01: nº do barramento Origem;

- Coluna 02: nº do barramento Destino;
  - Coluna 03: Resistência da Linha;
  - Coluna 04: Reactância da Linha;
  - Coluna 05: Susceptância da Linha;
  - Coluna 06: Seccionador integrado na linha (0=Não / 1=Sim);
  - Coluna 07: Estado operacional do seccionador (0=Aberto / 1=Fechado).
- “DB\_Winding.m” é o ficheiro onde é carregado os dados dos transformadores;
    - Coluna 01: nº do barramento Origem;
    - Coluna 02: nº do barramento Destino;
    - Coluna 03: Tensão de curto-circuito;
    - Coluna 04: Potência do transformador.
- “DB\_DCarga.m” é o ficheiro onde é definido o diagrama de carga;
    - Linha 01: Hora do diagrama de carga e geração;
    - Linha 02 e 03: Coeficiente de P e Q (Carga Habitacional);
    - Linha 04 e 05: Coeficiente de P e Q (Carga Comercial);
    - Linha 06 e 07: Coeficiente de P e Q (Carga Mista);
    - Linha 08 e 09: Coeficiente de P e Q (Carga Industrial);
    - Linha 10 e 11: Coeficiente de P e Q (Geração Energia Eólica);
    - Linha 12 e 13: Coeficiente de P e Q (Geração barramento 1).
- “GSPowerFlow.m” é a função que executa o cálculo do trânsito de energia pelo método iterativo de Gauss-Seidel;
- “ErroConexo.m” é a função que valida se a rede é conexas;
- “ErroRadial.m” é a função que valida se a rede é radial;
- “pol2rect.m” é a função que converte um número complexo polar em rectangular.

### **A.3. Algoritmo MATLAB para cálculo de perdas na optimização de configurações**

Após ser analisadas as soluções obtidas do algoritmo indicado no Anexo A.2, e definido os ajustes necessários, este algoritmo permite o cálculo do trânsito de energia e perdas de uma rede, sem efectuar reconfigurações.

Este algoritmo não avalia a necessidade de alteração da configuração da rede para redução de perdas. A configuração será sempre a mesma, o único elemento que varia é a potência de carga segundo um diagrama de carga pré-definido.

A aplicação de optimização é constituída por 2 ficheiro “M-file” do MATLAB. Estes ficheiros têm a seguinte função:

- “Aplicacao\_p.m” é o ficheiro principal para executar a aplicação;
- “DB\_ConfigNet.m” é o ficheiro onde é indicado o estado operacional das linhas e cabos em cada configuração (0=Desligada / 1=Ligada).

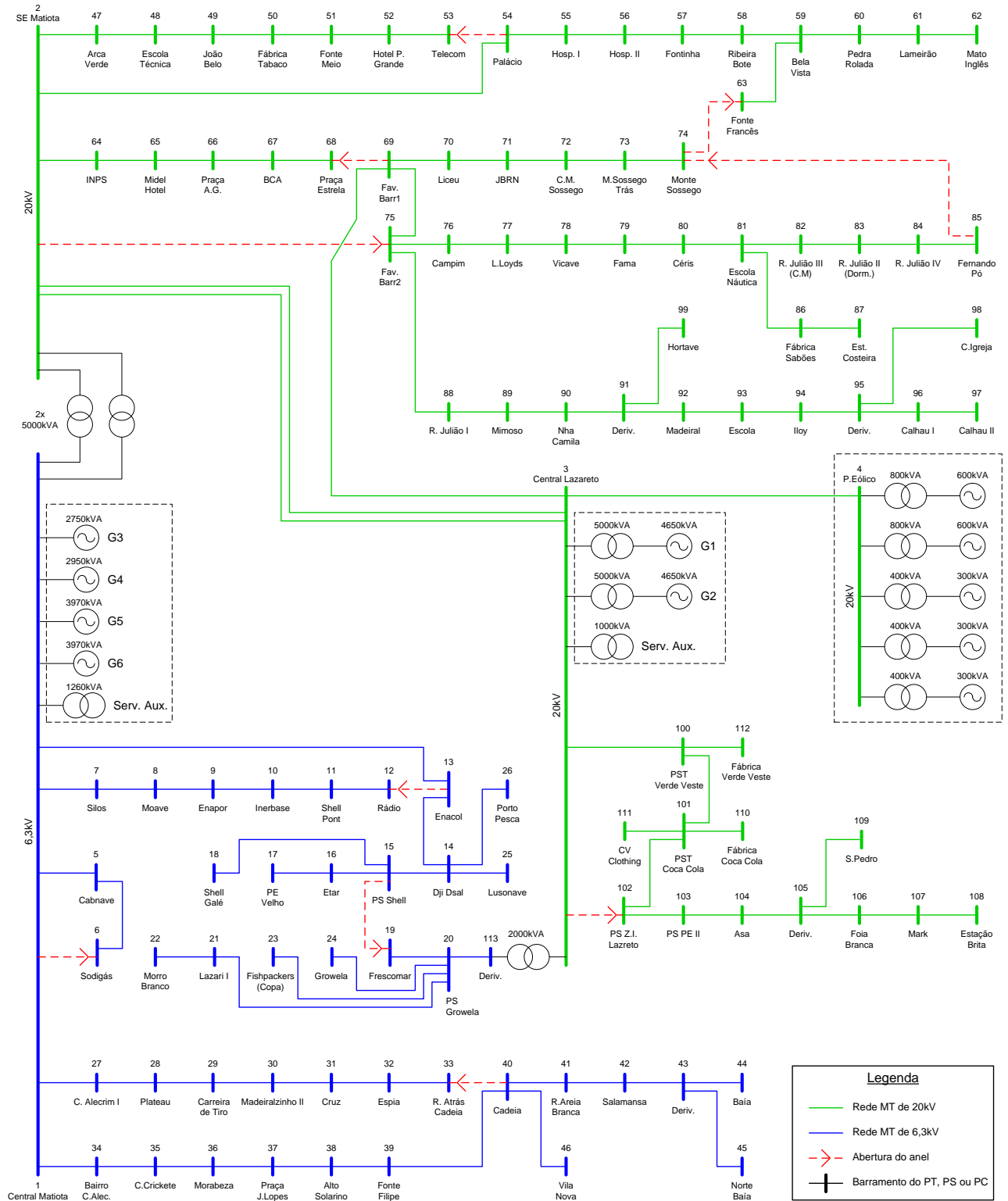
#### A.4. Dados da rede de testes com 33 barramentos

| Barramentos |      | Dados dos condutores |                |        | Switch | Estado Operacional | Potência da carga ligada no Bus Fim |          |
|-------------|------|----------------------|----------------|--------|--------|--------------------|-------------------------------------|----------|
| de          | para | R [ $\Omega$ ]       | X [ $\Omega$ ] | Yb [S] |        |                    | P [kW]                              | Q [kvar] |
| 1           | 2    | 0,0922               | 0,0477         | 0      | 0      | 0                  | 100                                 | 60       |
| 2           | 3    | 0,4930               | 0,2511         | 0      | 1      | 1                  | 90                                  | 40       |
| 2           | 19   | 0,1640               | 0,1565         | 0      | 1      | 1                  | 120                                 | 80       |
| 3           | 4    | 0,3660               | 0,1840         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 30       |
| 3           | 23   | 0,4512               | 0,3083         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 20       |
| 4           | 5    | 0,3811               | 0,1941         | 0      | 1      | 1                  | 200                                 | 100      |
| 5           | 6    | 0,8190               | 0,0700         | 0      | 1      | 1                  | 200                                 | 100      |
| 6           | 7    | 0,1872               | 0,6188         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 20       |
| 6           | 26   | 0,2030               | 0,1034         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 20       |
| 7           | 8    | 1,7114               | 1,2351         | 0      | 1      | 1                  | 45                                  | 30       |
| 8           | 9    | 1,0400               | 0,7400         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 35       |
| 9           | 10   | 1,0400               | 0,7400         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 35       |
| 10          | 11   | 0,1966               | 0,0650         | 0      | 1      | 1                  | 120                                 | 80       |
| 11          | 12   | 0,3744               | 0,1238         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 10       |
| 12          | 13   | 1,4680               | 1,1550         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 20       |
| 13          | 14   | 0,5416               | 0,7129         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 20       |
| 14          | 15   | 0,5910               | 0,5260         | 0      | 1      | 1                  | 90                                  | 40       |
| 15          | 16   | 0,7463               | 0,5450         | 0      | 1      | 1                  | 90                                  | 40       |
| 16          | 17   | 1,2890               | 1,7210         | 0      | 1      | 1                  | 90                                  | 40       |
| 17          | 18   | 0,7320               | 0,5740         | 0      | 1      | 1                  | 90                                  | 40       |
| 19          | 20   | 1,5042               | 1,3554         | 0      | 1      | 1                  | 90                                  | 40       |
| 20          | 21   | 0,4095               | 0,4784         | 0      | 1      | 1                  | 90                                  | 50       |
| 21          | 22   | 0,7089               | 0,9373         | 0      | 1      | 1                  | 420                                 | 200      |
| 23          | 24   | 0,8980               | 0,7091         | 0      | 1      | 1                  | 420                                 | 200      |
| 24          | 25   | 0,8960               | 0,7011         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 25       |
| 26          | 27   | 0,2842               | 0,1447         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 25       |
| 27          | 28   | 1,0590               | 0,9337         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 20       |
| 28          | 29   | 0,8042               | 0,7006         | 0      | 1      | 1                  | 20                                  | 70       |
| 29          | 30   | 0,5075               | 0,2585         | 0      | 1      | 1                  | 200                                 | 600      |
| 30          | 31   | 0,9744               | 0,9630         | 0      | 1      | 1                  | 150                                 | 70       |
| 31          | 32   | 0,3105               | 0,3619         | 0      | 1      | 1                  | 210                                 | 100      |
| 32          | 33   | 0,3410               | 0,5302         | 0      | 1      | 1                  | 60                                  | 40       |
| 8           | 21   | 0,0000               | 2,0000         | 0      | 1      | 0                  |                                     |          |
| 9           | 15   | 0,0000               | 2,0000         | 0      | 1      | 0                  |                                     |          |
| 12          | 22   | 0,0000               | 2,0000         | 0      | 1      | 0                  |                                     |          |
| 18          | 33   | 0,0000               | 2,0000         | 0      | 1      | 0                  |                                     |          |
| 25          | 29   | 0,0000               | 2,0000         | 0      | 1      | 0                  |                                     |          |

## A.5. Resultados dos cálculos com a rede de testes com 33 barramentos

| Iteração                     |           | Inicial        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5              | 6     | 7              | 8     | 9              | 10    | 11             | 12    |
|------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| Linha                        | Ligada    | --             | 35    | 11    | 10    | 9     | 8              | 7     | 37             | 28    | 36             | 32    | 34             | 14    |
|                              | Desligada | --             | 11    | 10    | 9     | 8     | 7              | 6     | 28             | 27    | 32             | 31    | 14             | 13    |
| perdas                       |           | 1,978          | 1,436 | 1,410 | 1,386 | 1,368 | 1,344          | 1,393 | 1,316          | 1,345 | 1,302          | 1,349 | 1,300          | 1,322 |
| Pot. Inj. 1                  |           | 38,13+24,06i   |       |       |       |       | 37,49+24,01i   |       | 37,47+24,26i   |       | 37,45+24,27i   |       | 37,45+24,27i   |       |
| Tensão nodal dos barramentos | 1         | 1,000 < 0,00°  |       |       |       |       | 1,000 < 0,00°  |       | 1,000 < 0,00°  |       | 1,000 < 0,00°  |       | 1,000 < 0,00°  |       |
|                              | 2         | 0,997 < 0,01°  |       |       |       |       | 0,997 < 0,02°  |       | 0,997 < 0,02°  |       | 0,997 < 0,02°  |       | 0,997 < 0,02°  |       |
|                              | 3         | 0,983 < 0,10°  |       |       |       |       | 0,987 < 0,11°  |       | 0,987 < 0,11°  |       | 0,987 < 0,11°  |       | 0,987 < 0,11°  |       |
|                              | 4         | 0,976 < 0,17°  |       |       |       |       | 0,983 < 0,18°  |       | 0,985 < 0,11°  |       | 0,986 < 0,11°  |       | 0,986 < 0,11°  |       |
|                              | 5         | 0,969 < 0,24°  |       |       |       |       | 0,978 < 0,25°  |       | 0,984 < 0,11°  |       | 0,984 < 0,10°  |       | 0,984 < 0,10°  |       |
|                              | 6         | 0,958 < 0,67°  |       |       |       |       | 0,972 < 0,56°  |       | 0,981 < 0,15°  |       | 0,982 < 0,15°  |       | 0,982 < 0,15°  |       |
|                              | 7         | 0,954 < 0,44°  |       |       |       |       | 0,971 < 0,52°  |       | 0,981 < 0,11°  |       | 0,981 < 0,11°  |       | 0,981 < 0,11°  |       |
|                              | 8         | 0,941 < 0,29°  |       |       |       |       | 0,957 < -1,33° |       | 0,957 < -1,33° |       | 0,954 < -1,40° |       | 0,950 < -1,44° |       |
|                              | 9         | 0,934 < 0,22°  |       |       |       |       | 0,958 < -1,31° |       | 0,958 < -1,31° |       | 0,956 < -1,39° |       | 0,951 < -1,42° |       |
|                              | 10        | 0,928 < 0,15°  |       |       |       |       | 0,961 < -1,29° |       | 0,961 < -1,28° |       | 0,958 < -1,36° |       | 0,957 < -1,35° |       |
|                              | 11        | 0,928 < 0,16°  |       |       |       |       | 0,961 < -1,29° |       | 0,961 < -1,29° |       | 0,959 < -1,36° |       | 0,958 < -1,36° |       |
|                              | 12        | 0,926 < 0,17°  |       |       |       |       | 0,962 < -1,30° |       | 0,962 < -1,29° |       | 0,960 < -1,37° |       | 0,960 < -1,37° |       |
|                              | 13        | 0,920 < 0,08°  |       |       |       |       | 0,956 < -1,38° |       | 0,956 < -1,38° |       | 0,953 < -1,46° |       | 0,957 < -1,38° |       |
|                              | 14        | 0,918 < 0,00°  |       |       |       |       | 0,954 < -1,45° |       | 0,954 < -1,45° |       | 0,950 < -1,54° |       | 0,956 < -1,40° |       |
|                              | 15        | 0,916 < -0,03° |       |       |       |       | 0,953 < -1,49° |       | 0,953 < -1,49° |       | 0,948 < -1,58° |       | 0,950 < -1,68° |       |
|                              | 16        | 0,915 < -0,06° |       |       |       |       | 0,951 < -1,51° |       | 0,951 < -1,51° |       | 0,947 < -1,60° |       | 0,948 < -1,71° |       |
|                              | 17        | 0,913 < -0,13° |       |       |       |       | 0,949 < -1,58° |       | 0,949 < -1,58° |       | 0,944 < -1,69° |       | 0,945 < -1,80° |       |
|                              | 18        | 0,912 < -0,14° |       |       |       |       | 0,949 < -1,59° |       | 0,949 < -1,59° |       | 0,943 < -1,70° |       | 0,944 < -1,81° |       |
|                              | 19        | 0,997 < 0,00°  |       |       |       |       | 0,995 < -0,02° |       | 0,995 < -0,02° |       | 0,995 < -0,02° |       | 0,995 < -0,02° |       |
|                              | 20        | 0,993 < -0,06° |       |       |       |       | 0,979 < -0,29° |       | 0,979 < -0,29° |       | 0,978 < -0,29° |       | 0,978 < -0,29° |       |
|                              | 21        | 0,992 < -0,08° |       |       |       |       | 0,975 < -0,40° |       | 0,975 < -0,40° |       | 0,973 < -0,41° |       | 0,973 < -0,41° |       |
|                              | 22        | 0,992 < -0,10° |       |       |       |       | 0,968 < -0,62° |       | 0,968 < -0,62° |       | 0,966 < -0,64° |       | 0,966 < -0,64° |       |
|                              | 23        | 0,980 < 0,07°  |       |       |       |       | 0,984 < 0,08°  |       | 0,980 < 0,16°  |       | 0,980 < 0,16°  |       | 0,980 < 0,16°  |       |
|                              | 24        | 0,973 < -0,02° |       |       |       |       | 0,977 < -0,01° |       | 0,965 < 0,20°  |       | 0,966 < 0,20°  |       | 0,966 < 0,20°  |       |
|                              | 25        | 0,970 < -0,06° |       |       |       |       | 0,974 < -0,05° |       | 0,954 < 0,30°  |       | 0,955 < 0,30°  |       | 0,955 < 0,30°  |       |
|                              | 26        | 0,956 < 0,71°  |       |       |       |       | 0,970 < 0,60°  |       | 0,981 < 0,15°  |       | 0,981 < 0,15°  |       | 0,981 < 0,15°  |       |
|                              | 27        | 0,953 < 0,77°  |       |       |       |       | 0,968 < 0,66°  |       | 0,981 < 0,15°  |       | 0,981 < 0,15°  |       | 0,981 < 0,15°  |       |
|                              | 28        | 0,943 < 0,89°  |       |       |       |       | 0,958 < 0,78°  |       | 0,980 < 0,14°  |       | 0,981 < 0,13°  |       | 0,981 < 0,13°  |       |
|                              | 29        | 0,935 < 1,00°  |       |       |       |       | 0,950 < 0,88°  |       | 0,942 < -0,22° |       | 0,944 < -0,17° |       | 0,944 < -0,17° |       |
|                              | 30        | 0,932 < 1,10°  |       |       |       |       | 0,947 < 0,98°  |       | 0,938 < -0,12° |       | 0,941 < -0,07° |       | 0,941 < -0,07° |       |
|                              | 31        | 0,928 < 1,02°  |       |       |       |       | 0,943 < 0,90°  |       | 0,934 < -0,20° |       | 0,938 < -0,14° |       | 0,938 < -0,14° |       |
|                              | 32        | 0,927 < 0,99°  |       |       |       |       | 0,942 < 0,88°  |       | 0,933 < -0,22° |       | 0,937 < -0,16° |       | 0,937 < -0,16° |       |
|                              | 33        | 0,926 < 0,99°  |       |       |       |       | 0,941 < 0,87°  |       | 0,933 < -0,23° |       | 0,942 < -1,75° |       | 0,943 < -1,86° |       |

## A.6. Configuração actual da rede MT de São Vicente



## A.7. Dados da rede de São Vicente (cálculo de perdas)

Dados relativos às linhas e cabos de interligação dos barramentos:

| Barramentos |      | Descrição física e técnica do condutores |                |            |           |        |          |             |          |          |           |
|-------------|------|--|----------------|------------|-----------|--------|----------|-------------|----------|----------|-----------|
| de          | Para | ℓ [km]                                   | Material Cond. | Isolamento | Tipo      | Secção | Tensão   | Disposição  | R (Ω/Km) | X (Ω/Km) | Y (ms/Km) |
| 1           | 5    | 0,900                                    | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 1           | 6    | 0,650                                    | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 1           | 7    | 0,700                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 1           | 13   | 0,985                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 1           | 27   | 0,600                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 1           | 34   | 0,250                                    | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 2           | 3    | 6,000                                    | Al             | PEX        | monopolar | 240    | 12/20 KV | esteira     | 0,1250   | 0,1900   | 0,0911    |
| 2           | 47   | 0,400                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 2           | 54   | 2,500                                    | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 2           | 64   | 1,300                                    | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 2           | 75   | 2,050                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 3           | 4    | 0,220                                    | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
|             |      | 4,500                                    | Cu             | PEX        | monopolar | 95     | 12/20 KV | esteira     | 0,1930   | 0,1997   | 0,0754    |
| 3           | 69   | 2,880                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
|             |      | 0,600                                    | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 3           | 100  | 0,870                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 3           | 102  | 0,870                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 5           | 6    | 0,250                                    | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 7           | 8    | 0,005                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 8           | 9    | 0,350                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 9           | 10   | 0,100                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 10          | 11   | 0,200                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 11          | 12   | 0,250                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 12          | 13   | 1,700                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 13          | 14   | 0,750                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 14          | 15   | 2,000                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 14          | 25   | 0,300                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 14          | 26   | 0,150                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 15          | 16   | 0,300                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 15          | 18   | 0,600                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 15          | 19   | 0,600                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 16          | 17   | 0,600                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 19          | 20   | 0,600                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 20          | 21   | 0,790                                    | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 20          | 23   | 0,160                                    | Al             | PEX        | monopolar | 70     | 12/20 KV | torçada     | 0,4430   | 0,1290   | 0,0660    |
| 20          | 24   | 0,600                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 20          | 113  | 2,000                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 21          | 22   | 1,700                                    | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 27          | 28   | 0,800                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 28          | 29   | 1,200                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 29          | 30   | 0,450                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 30          | 31   | 0,820                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 31          | 32   | 0,720                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 32          | 33   | 0,950                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 33          | 40   | 0,700                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 34          | 35   | 0,800                                    | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 35          | 36   | 0,200                                    | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 36          | 37   | 0,900                                    | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 37          | 38   | 0,800                                    | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
|             |      | 0,450                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 38          | 39   | 0,450                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 39          | 40   | 0,850                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 40          | 41   | 0,550                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 40          | 46   | 0,450                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 41          | 42   | 1,615                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
|             |      | 2,400                                    | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 42          | 43   | 0,400                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
|             |      | 2,700                                    | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 43          | 44   | 0,500                                    | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
|             |      | 0,450                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 43          | 45   | 1,850                                    | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 47          | 48   | 0,200                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 48          | 49   | 0,500                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 49          | 50   | 0,150                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 50          | 51   | 0,200                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 51          | 52   | 0,480                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 52          | 53   | 0,350                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 53          | 54   | 0,350                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 54          | 55   | 0,450                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 55          | 56   | 0,550                                    | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |

Dados das linhas e cabos de interligação dos barramentos (continuação):

| Barramentos |      | Descrição física e técnica dos condutores |                |            |           |        |          |             |          |          |           |
|-------------|------|---|----------------|------------|-----------|--------|----------|-------------|----------|----------|-----------|
| de          | Para | ℓ [km]                                    | Material Cond. | Isolamento | Tipo      | Secção | Tensão   | Disposição  | R (Ω/Km) | X (Ω/Km) | Y (ms/Km) |
| 56          | 57   | 0,350                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 57          | 58   | 0,600                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 58          | 59   | 0,900                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 59          | 60   | 1,150                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 59          | 63   | 0,500                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 60          | 61   | 1,400                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 61          | 62   | 3,200                                     | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 63          | 74   | 0,600                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 64          | 65   | 0,200                                     | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 65          | 66   | 0,300                                     | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 66          | 67   | 0,480                                     | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 67          | 68   | 0,580                                     | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 68          | 69   | 0,400                                     | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 69          | 70   | 0,250                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 69          | 75   | 0,007                                     | Al             | PEX        | monopolar | 185    | 12/20 KV | esteira     | 0,1640   | 0,2000   | 0,0833    |
| 70          | 71   | 0,300                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 71          | 72   | 0,300                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 72          | 73   | 0,450                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 73          | 74   | 0,500                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 74          | 85   | 0,900                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 75          | 76   | 0,600                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 75          | 88   | 2,000                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 76          | 77   | 0,150                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 77          | 78   | 0,400                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 78          | 79   | 0,150                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 79          | 80   | 0,600                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 80          | 81   | 1,500                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 81          | 82   | 0,750                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 81          | 86   | 0,700                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 82          | 83   | 0,400                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 83          | 84   | 0,700                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 84          | 85   | 1,550                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 86          | 87   | 2,000                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 88          | 89   | 1,020                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 89          | 90   | 0,150                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
|             |      | 0,500                                     | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 90          | 91   | 0,850                                     | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 91          | 92   | 5,300                                     | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 91          | 99   | 0,300                                     | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 92          | 93   | 1,700                                     | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 93          | 94   | 1,650                                     | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 94          | 95   | 1,650                                     | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 95          | 96   | 1,400                                     | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
|             |      | 0,120                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 95          | 98   | 0,150                                     | Al             | Ar         |           | 54,6   | 12/20KV  | Nappe Voute | 0,6080   | 0,3730   | 0,0031    |
| 96          | 97   | 1,100                                     | Cu             | PEX        | tripolar  | 120    | 12/20 KV | tripolar    | 0,1530   | 0,0910   | 0,0722    |
| 100         | 101  | 0,790                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 100         | 112  | 0,015                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 101         | 102  | 0,090                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
|             |      | 0,130                                     | Cu             | PEX        | monopolar | 95     | 12/20 KV | esteira     | 0,1930   | 0,1997   | 0,0754    |
| 101         | 110  | 0,100                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 101         | 111  | 0,350                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 102         | 103  | 0,130                                     | Cu             | PEX        | monopolar | 95     | 12/20 KV | esteira     | 0,1930   | 0,1997   | 0,0754    |
|             |      | 2,200                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 103         | 104  | 2,860                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 104         | 105  | 1,010                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 105         | 106  | 0,620                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 105         | 109  | 1,050                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 106         | 107  | 0,250                                     | Cu             | PE         | tripolar  | 50     | 12/20 KV | tripolar    | 0,3870   | 0,1193   | 0,0503    |
| 107         | 108  | 0,800                                     | Al             | PEX        | monopolar | 70     | 12/20 KV | torçada     | 0,4430   | 0,1290   | 0,0660    |

Dados das potências de geração e carga dos barramentos:

| Barramento |      | Geração         |                       |                       |                         |                         | Carga           |                         |                           |                       |
|------------|------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| nº         | Tipo | Sintalada [kVA] | P <sub>max</sub> [kW] | P <sub>min</sub> [kW] | Q <sub>max</sub> [kvar] | Q <sub>min</sub> [kvar] | Sintalada [kVA] | P <sub>médio</sub> [kW] | Q <sub>médio</sub> [kvar] | Tipo de carga         |
| 1          | PV   | 13.640          | 13.640                | 1.380                 | 13.640                  | -13.640                 | 1.260           | 890                     | 740                       | Serviços Auxiliares   |
| 2          | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Actualmente sem carga |
| 3          | Ref# | 9.300           | 9.300                 | 2.330                 | 9.300                   | -9.300                  | 1.000           | 202                     | 168                       | Serviços Auxiliares   |
| 4          | PV   | 2.100           | 2.100                 | 150                   | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Actualmente sem carga |
| 5          | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 3.600           | 350                     | 215                       | Industrial            |
| 6          | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 50                      | 31                        | Industrial            |
| 7          | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 315             | 166                     | 102                       | Industrial            |
| 8          | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 500             | 258                     | 158                       | Industrial            |
| 9          | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 449                     | 275                       | Industrial            |
| 10         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | 264                     | 162                       | Industrial            |
| 11         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 500             | 166                     | 102                       | Industrial            |
| 12         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 52                      | 32                        | Mista                 |
| 13         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 82                      | 37                        | Industrial            |
| 14         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 56                      | 32                        | Habitacional          |
| 15         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 50              | 7                       | 0                         | Habitacional          |
| 16         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 100             | 42                      | 24                        | Industrial            |
| 17         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 100             | 20                      | 12                        | Mista                 |
| 18         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 50              | 100                     | 75                        | Industrial            |
| 19         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 1.260           | 38                      | 40                        | Industrial            |
| 20         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Actualmente sem carga |
| 21         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 19                      | 11                        | Habitacional          |
| 22         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 50              | 8                       | 5                         | Industrial            |
| 23         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 3                       | 1                         | Habitacional          |
| 24         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Actualmente sem carga |
| 25         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 10                      | 8                         | Industrial            |
| 26         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 500             | 97                      | 69                        | Industrial            |
| 27         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 167                     | 97                        | Habitacional          |
| 28         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 200             | 61                      | 35                        | Habitacional          |
| 29         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 86                      | 22                        | Habitacional          |
| 30         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 97                      | 69                        | Habitacional          |
| 31         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 200             | 122                     | 87                        | Habitacional          |
| 32         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 241                     | 171                       | Habitacional          |
| 33         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 160                     | 113                       | Habitacional          |
| 34         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 74                      | 52                        | Habitacional          |
| 35         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 630             | 121                     | 86                        | Habitacional          |
| 36         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Actualmente sem carga |
| 37         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 39                      | 28                        | Mista                 |
| 38         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 200             | 143                     | 76                        | Habitacional          |
| 39         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 144                     | 92                        | Habitacional          |
| 40         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 200             | 113                     | 72                        | Habitacional          |
| 41         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 135                     | 87                        | Habitacional          |
| 42         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 100             | 42                      | 27                        | Habitacional          |
| 43         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Derivação             |
| 44         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 30                      | 19                        | Habitacional          |
| 45         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 9                       | 6                         | Habitacional          |
| 46         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 129                     | 83                        | Habitacional          |
| 47         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 62                      | 32                        | Industrial            |
| 48         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 100             | 55                      | 29                        | Mista                 |
| 49         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 143                     | 97                        | Mista                 |
| 50         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 166                     | 102                       | Industrial            |
| 51         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 96                      | 65                        | Habitacional          |
| 52         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 139                     | 30                        | Comercial             |
| 53         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 155                     | 95                        | Comercial             |
| 54         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 500             | 293                     | 164                       | Mista                 |
| 55         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 83                      | 18                        | Comercial             |
| 56         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 500             | 110                     | 24                        | Industrial            |
| 57         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 193                     | 134                       | Habitacional          |
| 58         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 220                     | 156                       | Habitacional          |
| 59         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 266                     | 132                       | Habitacional          |
| 60         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 54                      | 38                        | Habitacional          |
| 61         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 15                      | 11                        | Habitacional          |
| 62         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 100             | 10                      | 7                         | Habitacional          |
| 63         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 217                     | 154                       | Habitacional          |
| 64         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 44                      | 31                        | Comercial             |
| 65         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 106                     | 23                        | Comercial             |
| 66         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 72                      | 51                        | Habitacional          |
| 67         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 58                      | 26                        | Comercial             |
| 68         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 170                     | 121                       | Mista                 |
| 69         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 186                     | 133                       | Industrial            |
| 70         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 44                      | 31                        | Comercial             |

Dados das potências de geração e carga dos barramentos (continuação):

| Barramento |      | Geração         |                       |                       |                         |                         | Carga           |                         |                           | Tipo de carga         |
|------------|------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| nº         | Tipo | Sintalada [kVA] | P <sub>max</sub> [kW] | P <sub>min</sub> [kW] | Q <sub>max</sub> [kvar] | Q <sub>min</sub> [kvar] | Sintalada [kVA] | P <sub>médio</sub> [kW] | Q <sub>médio</sub> [kvar] |                       |
| 71         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 10                      | 2                         | Habitacional          |
| 72         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 148                     | 91                        | Habitacional          |
| 73         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 134                     | 95                        | Habitacional          |
| 74         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 249                     | 151                       | Habitacional          |
| 75         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Actualmente sem carga |
| 76         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 99                      | 87                        | Habitacional          |
| 77         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 500             | 166                     | 102                       | Industrial            |
| 78         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 50                      | 31                        | Industrial            |
| 79         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 100             | 83                      | 51                        | Industrial            |
| 80         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 15                      | 11                        | Habitacional          |
| 81         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 55                      | 31                        | Mista                 |
| 82         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 51                      | 23                        | Habitacional          |
| 83         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 34                      | 24                        | Habitacional          |
| 84         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 35                      | 25                        | Habitacional          |
| 85         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 163                     | 116                       | Habitacional          |
| 86         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 400             | 194                     | 119                       | Industrial            |
| 87         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 44                      | 27                        | Industrial            |
| 88         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 7                       | 5                         | Habitacional          |
| 89         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 8                       | 6                         | Habitacional          |
| 90         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 100             | 10                      | 7                         | Habitacional          |
| 91         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Derivação             |
| 92         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 100             | 20                      | 14                        | Habitacional          |
| 93         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 100             | 7                       | 5                         | Habitacional          |
| 94         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 100             | 11                      | 8                         | Habitacional          |
| 95         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Derivação             |
| 96         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 15                      | 11                        | Habitacional          |
| 97         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 15                      | 11                        | Habitacional          |
| 98         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 50              | 10                      | 7                         | Habitacional          |
| 99         | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 100             | 7                       | 5                         | Mista                 |
| 100        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 60                      | 35                        | Industrial            |
| 101        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 116                     | 90                        | Industrial            |
| 102        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Actualmente sem carga |
| 103        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Actualmente sem carga |
| 104        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 300             | 43                      | 39                        | Industrial            |
| 105        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Derivação             |
| 106        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 250             | 70                      | 15                        | Comercial             |
| 107        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 160             | 10                      | 2                         | Comercial             |
| 108        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Actualmente sem carga |
| 109        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 50              | 40                      | 28                        | Habitacional          |
| 110        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 630             | 90                      | 72                        | Industrial            |
| 111        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Actualmente sem carga |
| 112        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | 315             | 32                      | 24                        | Industrial            |
| 113        | PQ   | --              | --                    | --                    | --                      | --                      | --              | --                      | --                        | Derivação             |

Dados dos transformadores de interligação da rede de 20 kV com a de 6,3 kV:

| Barramentos |      | Transformador   |                     |          |
|-------------|------|-----------------|---------------------|----------|
| de          | Para | Sintalada [kVA] | U <sub>cc</sub> [%] | V [kV]   |
| 1           | 2    | 5.000           | 8,0%                | 20 / 6,3 |
| 1           | 2    | 5.000           | 8,0%                | 20 / 6,3 |
| 3           | 113  | 2.000           | 5,0%                | 20 / 6,3 |

## A.8. Resultados dos cálculos de redução de perdas da rede de São Vicente

| Número de iteração | Hora DC | Tempo Cálculo [seg.] | perdas  |       | Potência gerada na rede [p.u.] |                          |               | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Solução optima por hora | Referência da Configuração |
|--------------------|---------|----------------------|---------|-------|--------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                    |         |                      | [p.u.]  | [kW]  | C. Matiota Barramento 1        | C. Lazareto Barramento 3 | Parque Eólico |                                  |                                |                         |                            |
| 1                  | 1       | 44,283               | 0,00068 | 67,92 |                                | 0,03979+0,01936i         | 0,01239       | 0,05218+0,01936i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 2                  | 1       | 44,494               | 0,00066 | 65,87 |                                | 0,03977+0,01931i         | 0,01239       | 0,05216+0,01931i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 3                  | 1       | 43,713               | 0,00065 | 65,21 |                                | 0,03976+0,01923i         | 0,01239       | 0,05215+0,01923i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 4                  | 1       | 43,663               | 0,00065 | 65,37 |                                | 0,03976+0,01921i         | 0,01239       | 0,05215+0,01921i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 5                  | 1       | 43,593               | 0,00065 | 65,21 |                                | 0,03976+0,01923i         | 0,01239       | 0,05215+0,01923i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 6                  | 1       | 44,714               | 0,00064 | 63,64 |                                | 0,03975+0,01917i         | 0,01239       | 0,05214+0,01917i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 7                  | 1       | 46,166               | 0,00062 | 62,27 |                                | 0,03973+0,0192i          | 0,01239       | 0,05212+0,0192i                  | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 8                  | 1       | 46,867               | 0,00062 | 61,53 |                                | 0,03973+0,01912i         | 0,01239       | 0,05212+0,01912i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 9                  | 1       | 47,589               | 0,00061 | 61,17 |                                | 0,03972+0,01905i         | 0,01239       | 0,05211+0,01905i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 10                 | 1       | 48,56                | 0,00061 | 61,20 |                                | 0,03972+0,01908i         | 0,01239       | 0,05211+0,01908i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 11                 | 1       | 47,588               | 0,00061 | 60,69 |                                | 0,03972+0,01902i         | 0,01239       | 0,05211+0,01902i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 12                 | 1       | 47,609               | 0,00060 | 59,80 |                                | 0,03971+0,01901i         | 0,01239       | 0,0521+0,01901i                  | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 13                 | 1       | 47,669               | 0,00060 | 60,15 |                                | 0,03971+0,01901i         | 0,01239       | 0,0521+0,01901i                  | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 14                 | 1       | 48,67                | 0,00059 | 59,38 |                                | 0,0397+0,01906i          | 0,01239       | 0,05209+0,01906i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 15                 | 1       | 49,081               | 0,00059 | 59,33 |                                | 0,0397+0,01902i          | 0,01239       | 0,05209+0,01902i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 16                 | 1       | 49,681               | 0,00059 | 59,20 |                                | 0,0397+0,01895i          | 0,01239       | 0,05209+0,01895i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 17                 | 1       | 50,673               | 0,00059 | 59,13 |                                | 0,0397+0,01891i          | 0,01239       | 0,05209+0,01891i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 18                 | 1       | 51,904               | 0,00059 | 59,38 |                                | 0,0397+0,01927i          | 0,01239       | 0,05209+0,01927i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 19                 | 1       | 50,683               | 0,00059 | 59,13 |                                | 0,0397+0,01891i          | 0,01239       | 0,05209+0,01891i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 20                 | 1       | 51,905               | 0,00059 | 59,38 |                                | 0,0397+0,01927i          | 0,01239       | 0,05209+0,01927i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 21                 | 1       | 50,623               | 0,00059 | 59,13 |                                | 0,0397+0,01891i          | 0,01239       | 0,05209+0,01891i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 22                 | 1       | 51,965               | 0,00059 | 58,60 |                                | 0,0397+0,01893i          | 0,01239       | 0,05209+0,01893i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 23                 | 1       | 52,726               | 0,00059 | 58,60 |                                | 0,0397+0,01893i          | 0,01239       | 0,05209+0,01893i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 24                 | 1       | 52,015               | 0,00059 | 58,54 |                                | 0,0397+0,01892i          | 0,01239       | 0,05209+0,01892i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 25                 | 1       | 51,514               | 0,00059 | 58,59 |                                | 0,0397+0,01894i          | 0,01239       | 0,05209+0,01894i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 26                 | 1       | 50,463               | 0,00059 | 58,54 |                                | 0,0397+0,01892i          | 0,01239       | 0,05209+0,01892i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 27                 | 1       | 50,753               | 0,00060 | 60,39 |                                | 0,03971+0,01886i         | 0,01239       | 0,0521+0,01886i                  | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 28                 | 1       | 50,613               | 0,00059 | 58,54 |                                | 0,0397+0,01892i          | 0,01239       | 0,05209+0,01892i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 29                 | 1       | 50,462               | 0,00059 | 58,50 |                                | 0,0397+0,01892i          | 0,01239       | 0,05209+0,01892i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 30                 | 1       | 50,483               | 0,00059 | 58,50 |                                | 0,0397+0,01892i          | 0,01239       | 0,05209+0,01892i                 | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 31                 | 1       | 50,412               | 0,00058 | 58,48 |                                | 0,03969+0,0188i          | 0,01239       | 0,05208+0,0188i                  | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 32                 | 1       | 50,683               | 0,00058 | 58,45 |                                | 0,03969+0,0189i          | 0,01239       | 0,05208+0,0189i                  | 0,0515+0,03296i                |                         |                            |
| 33                 | 1       | 50,983               | 0,00058 | 58,45 |                                | 0,03969+0,0189i          | 0,01239       | 0,05208+0,0189i                  | 0,0515+0,03296i                | Optima_1                | 1                          |
| 34                 | 2       | 42,661               | 0,00051 | 51,32 |                                | 0,03663+0,01553i         | 0,00966       | 0,04629+0,01553i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 35                 | 2       | 42,531               | 0,00050 | 49,58 |                                | 0,03661+0,01549i         | 0,00966       | 0,04627+0,01549i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 36                 | 2       | 42,671               | 0,00049 | 49,14 |                                | 0,03661+0,01542i         | 0,00966       | 0,04627+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 37                 | 2       | 42,601               | 0,00049 | 49,36 |                                | 0,03661+0,0154i          | 0,00966       | 0,04627+0,0154i                  | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 38                 | 2       | 42,661               | 0,00049 | 49,14 |                                | 0,03661+0,01542i         | 0,00966       | 0,04627+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 39                 | 2       | 43,533               | 0,00048 | 48,12 |                                | 0,0366+0,01537i          | 0,00966       | 0,04626+0,01537i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 40                 | 2       | 44,784               | 0,00047 | 47,24 |                                | 0,03659+0,01542i         | 0,00966       | 0,04625+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 41                 | 2       | 45,505               | 0,00047 | 46,69 |                                | 0,03658+0,01534i         | 0,00966       | 0,04624+0,01534i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 42                 | 2       | 46,206               | 0,00046 | 46,39 |                                | 0,03658+0,01528i         | 0,00966       | 0,04624+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 43                 | 2       | 46,797               | 0,00046 | 46,37 |                                | 0,03658+0,01531i         | 0,00966       | 0,04624+0,01531i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 44                 | 2       | 47,258               | 0,00046 | 46,38 |                                | 0,03658+0,01528i         | 0,00966       | 0,04624+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 45                 | 2       | 46,897               | 0,00046 | 45,99 |                                | 0,03657+0,01528i         | 0,00966       | 0,04623+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 46                 | 2       | 47,308               | 0,00045 | 45,06 |                                | 0,03656+0,01527i         | 0,00966       | 0,04622+0,01527i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 47                 | 2       | 46,917               | 0,00045 | 45,37 |                                | 0,03657+0,01527i         | 0,00966       | 0,04623+0,01527i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 48                 | 2       | 47,919               | 0,00045 | 44,82 |                                | 0,03656+0,01532i         | 0,00966       | 0,04622+0,01532i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 49                 | 2       | 48,239               | 0,00045 | 44,80 |                                | 0,03656+0,01529i         | 0,00966       | 0,04622+0,01529i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 50                 | 2       | 48,82                | 0,00045 | 44,73 |                                | 0,03656+0,01522i         | 0,00966       | 0,04622+0,01522i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 51                 | 2       | 49,721               | 0,00045 | 44,70 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 52                 | 2       | 50,883               | 0,00045 | 44,95 |                                | 0,03656+0,01554i         | 0,00966       | 0,04622+0,01554i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 53                 | 2       | 49,672               | 0,00045 | 44,70 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 54                 | 2       | 50,913               | 0,00045 | 44,95 |                                | 0,03656+0,01554i         | 0,00966       | 0,04622+0,01554i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 55                 | 2       | 49,612               | 0,00045 | 44,70 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 56                 | 2       | 49,681               | 0,00044 | 44,37 |                                | 0,03656+0,0152i          | 0,00966       | 0,04622+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 57                 | 2       | 49,722               | 0,00044 | 44,37 |                                | 0,03656+0,0152i          | 0,00966       | 0,04622+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 58                 | 2       | 50,082               | 0,00044 | 44,31 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 59                 | 2       | 49,702               | 0,00044 | 44,36 |                                | 0,03656+0,0152i          | 0,00966       | 0,04622+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 60                 | 2       | 49,742               | 0,00044 | 44,31 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 61                 | 2       | 50,002               | 0,00046 | 45,71 |                                | 0,03657+0,01512i         | 0,00966       | 0,04623+0,01512i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 62                 | 2       | 49,762               | 0,00044 | 44,31 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 63                 | 2       | 49,551               | 0,00044 | 44,28 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 64                 | 2       | 49,681               | 0,00044 | 44,29 |                                | 0,03656+0,01521i         | 0,00966       | 0,04622+0,01521i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 65                 | 2       | 49,772               | 0,00044 | 44,26 |                                | 0,03656+0,01507i         | 0,00966       | 0,04622+0,01507i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 66                 | 2       | 49,682               | 0,00044 | 44,24 |                                | 0,03656+0,01517i         | 0,00966       | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 67                 | 2       | 49,632               | 0,00044 | 44,24 |                                | 0,03656+0,01517i         | 0,00966       | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               | Optima_2                | 2                          |
| 68                 | 3       | 42,631               | 0,00051 | 51,32 |                                | 0,03663+0,01553i         | 0,00966       | 0,04629+0,01553i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 69                 | 3       | 42,601               | 0,00050 | 49,58 |                                | 0,03661+0,01549i         | 0,00966       | 0,04627+0,01549i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 70                 | 3       | 42,751               | 0,00049 | 49,14 |                                | 0,03661+0,01542i         | 0,00966       | 0,04627+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |

| Número de iteração | Hora DC | Tempo Cálculo [seg.] | perdas  |       | Potência gerada na rede [p.u.] |                          |               | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Solução ótima por hora | Referência da Configuração |
|--------------------|---------|----------------------|---------|-------|--------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|
|                    |         |                      | [p.u.]  | [kW]  | C. Matiota Barramento 1        | C. Lazareto Barramento 3 | Parque Eólico |                                  |                                |                        |                            |
| 71                 | 3       | 42,571               | 0,00049 | 49,36 |                                | 0,03661+0,0154i          | 0,00966       | 0,04627+0,0154i                  | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 72                 | 3       | 42,601               | 0,00049 | 49,14 |                                | 0,03661+0,01542i         | 0,00966       | 0,04627+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 73                 | 3       | 43,372               | 0,00048 | 48,12 |                                | 0,0366+0,01537i          | 0,00966       | 0,04626+0,01537i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 74                 | 3       | 44,855               | 0,00047 | 47,24 |                                | 0,03659+0,01542i         | 0,00966       | 0,04625+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 75                 | 3       | 45,546               | 0,00047 | 46,69 |                                | 0,03658+0,01534i         | 0,00966       | 0,04624+0,01534i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 76                 | 3       | 46,156               | 0,00046 | 46,39 |                                | 0,03658+0,01528i         | 0,00966       | 0,04624+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 77                 | 3       | 46,857               | 0,00046 | 46,37 |                                | 0,03658+0,01531i         | 0,00966       | 0,04624+0,01531i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 78                 | 3       | 47,278               | 0,00046 | 46,38 |                                | 0,03658+0,01528i         | 0,00966       | 0,04624+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 79                 | 3       | 46,617               | 0,00046 | 45,99 |                                | 0,03657+0,01528i         | 0,00966       | 0,04623+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 80                 | 3       | 46,738               | 0,00045 | 45,06 |                                | 0,03656+0,01527i         | 0,00966       | 0,04622+0,01527i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 81                 | 3       | 47,008               | 0,00045 | 45,37 |                                | 0,03657+0,01527i         | 0,00966       | 0,04623+0,01527i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 82                 | 3       | 47,778               | 0,00045 | 44,82 |                                | 0,03656+0,01532i         | 0,00966       | 0,04622+0,01532i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 83                 | 3       | 48,7                 | 0,00045 | 44,80 |                                | 0,03656+0,01529i         | 0,00966       | 0,04622+0,01529i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 84                 | 3       | 48,78                | 0,00045 | 44,73 |                                | 0,03656+0,01522i         | 0,00966       | 0,04622+0,01522i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 85                 | 3       | 49,872               | 0,00045 | 44,70 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 86                 | 3       | 50,974               | 0,00045 | 44,95 |                                | 0,03656+0,01554i         | 0,00966       | 0,04622+0,01554i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 87                 | 3       | 49,791               | 0,00045 | 44,70 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 88                 | 3       | 50,853               | 0,00045 | 44,95 |                                | 0,03656+0,01554i         | 0,00966       | 0,04622+0,01554i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 89                 | 3       | 49,802               | 0,00045 | 44,70 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 90                 | 3       | 49,802               | 0,00044 | 44,37 |                                | 0,03656+0,0152i          | 0,00966       | 0,04622+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 91                 | 3       | 49,812               | 0,00044 | 44,37 |                                | 0,03656+0,0152i          | 0,00966       | 0,04622+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 92                 | 3       | 49,712               | 0,00044 | 44,31 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 93                 | 3       | 49,821               | 0,00044 | 44,36 |                                | 0,03656+0,0152i          | 0,00966       | 0,04622+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 94                 | 3       | 49,752               | 0,00044 | 44,31 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 95                 | 3       | 50,223               | 0,00046 | 45,71 |                                | 0,03657+0,01512i         | 0,00966       | 0,04623+0,01512i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 96                 | 3       | 49,712               | 0,00044 | 44,31 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 97                 | 3       | 49,771               | 0,00044 | 44,28 |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 98                 | 3       | 49,762               | 0,00044 | 44,29 |                                | 0,03656+0,01521i         | 0,00966       | 0,04622+0,01521i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 99                 | 3       | 49,782               | 0,00044 | 44,26 |                                | 0,03656+0,01507i         | 0,00966       | 0,04622+0,01507i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 100                | 3       | 49,711               | 0,00044 | 44,24 |                                | 0,03656+0,01517i         | 0,00966       | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 101                | 3       | 49,601               | 0,00044 | 44,24 |                                | 0,03656+0,01517i         | 0,00966       | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               | Optima_3               | 2                          |
| 102                | 4       | 42,501               | 0,00052 | 51,51 |                                | 0,03621+0,01554i         | 0,01008       | 0,04629+0,01554i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 103                | 4       | 42,711               | 0,00050 | 49,77 |                                | 0,03619+0,01549i         | 0,01008       | 0,04627+0,01549i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 104                | 4       | 42,641               | 0,00049 | 49,33 |                                | 0,03619+0,01542i         | 0,01008       | 0,04627+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 105                | 4       | 42,491               | 0,00050 | 49,55 |                                | 0,03619+0,0154i          | 0,01008       | 0,04627+0,0154i                  | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 106                | 4       | 42,641               | 0,00049 | 49,33 |                                | 0,03619+0,01542i         | 0,01008       | 0,04627+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 107                | 4       | 43,853               | 0,00048 | 48,31 |                                | 0,03618+0,01537i         | 0,01008       | 0,04626+0,01537i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 108                | 4       | 44,894               | 0,00047 | 47,42 |                                | 0,03617+0,01542i         | 0,01008       | 0,04625+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 109                | 4       | 45,506               | 0,00047 | 46,88 |                                | 0,03616+0,01534i         | 0,01008       | 0,04624+0,01534i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 110                | 4       | 46,197               | 0,00047 | 46,58 |                                | 0,03616+0,01528i         | 0,01008       | 0,04624+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 111                | 4       | 46,907               | 0,00047 | 46,56 |                                | 0,03616+0,01531i         | 0,01008       | 0,04624+0,01531i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 112                | 4       | 47,208               | 0,00047 | 46,56 |                                | 0,03616+0,01529i         | 0,01008       | 0,04624+0,01529i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 113                | 4       | 46,968               | 0,00046 | 46,18 |                                | 0,03616+0,01528i         | 0,01008       | 0,04624+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 114                | 4       | 46,817               | 0,00045 | 45,25 |                                | 0,03615+0,01528i         | 0,01008       | 0,04623+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 115                | 4       | 46,867               | 0,00046 | 45,55 |                                | 0,03615+0,01528i         | 0,01008       | 0,04623+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 116                | 4       | 47,638               | 0,00045 | 45,00 |                                | 0,03614+0,01532i         | 0,01008       | 0,04622+0,01532i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 117                | 4       | 48,23                | 0,00045 | 44,99 |                                | 0,03614+0,01529i         | 0,01008       | 0,04622+0,01529i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 118                | 4       | 48,891               | 0,00045 | 44,91 |                                | 0,03614+0,01522i         | 0,01008       | 0,04622+0,01522i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 119                | 4       | 49,732               | 0,00045 | 44,89 |                                | 0,03614+0,01519i         | 0,01008       | 0,04622+0,01519i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 120                | 4       | 51,364               | 0,00045 | 45,14 |                                | 0,03615+0,01555i         | 0,01008       | 0,04623+0,01555i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 121                | 4       | 49,571               | 0,00045 | 44,89 |                                | 0,03614+0,01519i         | 0,01008       | 0,04622+0,01519i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 122                | 4       | 50,753               | 0,00045 | 45,14 |                                | 0,03615+0,01555i         | 0,01008       | 0,04623+0,01555i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 123                | 4       | 49,702               | 0,00045 | 44,89 |                                | 0,03614+0,01519i         | 0,01008       | 0,04622+0,01519i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 124                | 4       | 49,962               | 0,00045 | 44,55 |                                | 0,03614+0,0152i          | 0,01008       | 0,04622+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 125                | 4       | 49,751               | 0,00045 | 44,55 |                                | 0,03614+0,0152i          | 0,01008       | 0,04622+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 126                | 4       | 49,721               | 0,00045 | 44,50 |                                | 0,03614+0,01519i         | 0,01008       | 0,04622+0,01519i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 127                | 4       | 49,732               | 0,00045 | 44,54 |                                | 0,03614+0,01521i         | 0,01008       | 0,04622+0,01521i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 128                | 4       | 49,662               | 0,00045 | 44,50 |                                | 0,03614+0,01519i         | 0,01008       | 0,04622+0,01519i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 129                | 4       | 50,132               | 0,00046 | 45,89 |                                | 0,03615+0,01513i         | 0,01008       | 0,04623+0,01513i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 130                | 4       | 49,542               | 0,00045 | 44,50 |                                | 0,03614+0,01519i         | 0,01008       | 0,04622+0,01519i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 131                | 4       | 50,031               | 0,00044 | 44,47 |                                | 0,03614+0,01519i         | 0,01008       | 0,04622+0,01519i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 132                | 4       | 49,962               | 0,00044 | 44,48 |                                | 0,03614+0,01521i         | 0,01008       | 0,04622+0,01521i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 133                | 4       | 49,872               | 0,00044 | 44,45 |                                | 0,03614+0,01507i         | 0,01008       | 0,04622+0,01507i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 134                | 4       | 49,692               | 0,00044 | 44,42 |                                | 0,03614+0,01517i         | 0,01008       | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 135                | 4       | 49,932               | 0,00044 | 44,42 |                                | 0,03614+0,01517i         | 0,01008       | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               | Optima_4               | 2                          |
| 136                | 5       | 42,662               | 0,00051 | 51,32 |                                | 0,03663+0,01553i         | 0,00966       | 0,04629+0,01553i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 137                | 5       | 42,542               | 0,00050 | 49,58 |                                | 0,03661+0,01549i         | 0,00966       | 0,04627+0,01549i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 138                | 5       | 42,592               | 0,00049 | 49,14 |                                | 0,03661+0,01542i         | 0,00966       | 0,04627+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 139                | 5       | 42,582               | 0,00049 | 49,36 |                                | 0,03661+0,0154i          | 0,00966       | 0,04627+0,0154i                  | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |
| 140                | 5       | 42,561               | 0,00049 | 49,14 |                                | 0,03661+0,01542i         | 0,00966       | 0,04627+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                        |                            |

| Número de iteração | Hora DC | Tempo Cálculo [seg.] | perdas  |        | Potência gerada na rede [p.u.] |                          |               | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Solução optima por hora | Referência da Configuração |
|--------------------|---------|----------------------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                    |         |                      | [p.u.]  | [kW]   | C. Matiota Barramento 1        | C. Lazareto Barramento 3 | Parque Eólico |                                  |                                |                         |                            |
| 141                | 5       | 43,363               | 0,00048 | 48,12  |                                | 0,0366+0,01537i          | 0,00966       | 0,04626+0,01537i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 142                | 5       | 44,825               | 0,00047 | 47,24  |                                | 0,03659+0,01542i         | 0,00966       | 0,04625+0,01542i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 143                | 5       | 45,606               | 0,00047 | 46,69  |                                | 0,03658+0,01534i         | 0,00966       | 0,04624+0,01534i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 144                | 5       | 46,487               | 0,00046 | 46,39  |                                | 0,03658+0,01528i         | 0,00966       | 0,04624+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 145                | 5       | 46,887               | 0,00046 | 46,37  |                                | 0,03658+0,01531i         | 0,00966       | 0,04624+0,01531i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 146                | 5       | 47,228               | 0,00046 | 46,38  |                                | 0,03658+0,01528i         | 0,00966       | 0,04624+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 147                | 5       | 46,798               | 0,00046 | 45,99  |                                | 0,03657+0,01528i         | 0,00966       | 0,04623+0,01528i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 148                | 5       | 46,918               | 0,00045 | 45,06  |                                | 0,03656+0,01527i         | 0,00966       | 0,04622+0,01527i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 149                | 5       | 46,877               | 0,00045 | 45,37  |                                | 0,03657+0,01527i         | 0,00966       | 0,04623+0,01527i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 150                | 5       | 47,738               | 0,00045 | 44,82  |                                | 0,03656+0,01532i         | 0,00966       | 0,04622+0,01532i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 151                | 5       | 48,139               | 0,00045 | 44,80  |                                | 0,03656+0,01529i         | 0,00966       | 0,04622+0,01529i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 152                | 5       | 48,74                | 0,00045 | 44,73  |                                | 0,03656+0,01522i         | 0,00966       | 0,04622+0,01522i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 153                | 5       | 49,802               | 0,00045 | 44,70  |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 154                | 5       | 51,024               | 0,00045 | 44,95  |                                | 0,03656+0,01554i         | 0,00966       | 0,04622+0,01554i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 155                | 5       | 49,691               | 0,00045 | 44,70  |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 156                | 5       | 51,314               | 0,00045 | 44,95  |                                | 0,03656+0,01554i         | 0,00966       | 0,04622+0,01554i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 157                | 5       | 49,701               | 0,00045 | 44,70  |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 158                | 5       | 49,751               | 0,00044 | 44,37  |                                | 0,03656+0,0152i          | 0,00966       | 0,04622+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 159                | 5       | 49,672               | 0,00044 | 44,37  |                                | 0,03656+0,0152i          | 0,00966       | 0,04622+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 160                | 5       | 49,751               | 0,00044 | 44,31  |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 161                | 5       | 49,691               | 0,00044 | 44,36  |                                | 0,03656+0,0152i          | 0,00966       | 0,04622+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 162                | 5       | 49,602               | 0,00044 | 44,31  |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 163                | 5       | 49,902               | 0,00046 | 45,71  |                                | 0,03657+0,0152i          | 0,00966       | 0,04623+0,0152i                  | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 164                | 5       | 49,892               | 0,00044 | 44,31  |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 165                | 5       | 49,622               | 0,00044 | 44,28  |                                | 0,03656+0,01518i         | 0,00966       | 0,04622+0,01518i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 166                | 5       | 49,522               | 0,00044 | 44,29  |                                | 0,03656+0,01521i         | 0,00966       | 0,04622+0,01521i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 167                | 5       | 49,581               | 0,00044 | 44,26  |                                | 0,03656+0,01507i         | 0,00966       | 0,04622+0,01507i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 168                | 5       | 49,791               | 0,00044 | 44,24  |                                | 0,03656+0,01517i         | 0,00966       | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               |                         |                            |
| 169                | 5       | 49,611               | 0,00044 | 44,24  |                                | 0,03656+0,01517i         | 0,00966       | 0,04622+0,01517i                 | 0,04525+0,02913i               | Optima_5                | 2                          |
| 170                | 6       | 45,145               | 0,00103 | 102,96 |                                | 0,05848+0,02975i         | 0,00777       | 0,06625+0,02975i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 171                | 6       | 45,095               | 0,00099 | 98,71  |                                | 0,05844+0,02962i         | 0,00777       | 0,06621+0,02962i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 172                | 6       | 45,185               | 0,00098 | 97,77  |                                | 0,05843+0,02948i         | 0,00777       | 0,0662+0,02948i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 173                | 6       | 45,255               | 0,00098 | 98,42  |                                | 0,05844+0,02943i         | 0,00777       | 0,06621+0,02943i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 174                | 6       | 45,165               | 0,00098 | 97,77  |                                | 0,05843+0,02948i         | 0,00777       | 0,0662+0,02948i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 175                | 6       | 46,016               | 0,00096 | 95,73  |                                | 0,05841+0,02941i         | 0,00777       | 0,06618+0,02941i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 176                | 6       | 47,358               | 0,00094 | 93,85  |                                | 0,05839+0,02943i         | 0,00777       | 0,06616+0,02943i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 177                | 6       | 47,959               | 0,00093 | 92,66  |                                | 0,05838+0,02933i         | 0,00777       | 0,06615+0,02933i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 178                | 6       | 48,6                 | 0,00092 | 91,93  |                                | 0,05837+0,02926i         | 0,00777       | 0,06614+0,02926i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 179                | 6       | 49,331               | 0,00092 | 91,75  |                                | 0,05837+0,02928i         | 0,00777       | 0,06614+0,02928i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 180                | 6       | 49,722               | 0,00092 | 91,72  |                                | 0,05837+0,02925i         | 0,00777       | 0,06614+0,02925i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 181                | 6       | 50,823               | 0,00092 | 92,44  |                                | 0,05838+0,02995i         | 0,00777       | 0,06615+0,02995i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 182                | 6       | 49,771               | 0,00091 | 90,93  |                                | 0,05836+0,02922i         | 0,00777       | 0,06613+0,02922i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 183                | 6       | 49,791               | 0,00088 | 88,38  |                                | 0,05834+0,02921i         | 0,00777       | 0,06611+0,02921i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 184                | 6       | 49,581               | 0,00089 | 89,09  |                                | 0,05834+0,02921i         | 0,00777       | 0,06611+0,02921i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 185                | 6       | 50,773               | 0,00088 | 87,81  |                                | 0,05833+0,02924i         | 0,00777       | 0,0661+0,02924i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 186                | 6       | 51,053               | 0,00088 | 87,72  |                                | 0,05833+0,0292i          | 0,00777       | 0,0661+0,0292i                   | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 187                | 6       | 51,715               | 0,00088 | 87,52  |                                | 0,05833+0,02913i         | 0,00777       | 0,0661+0,02913i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 188                | 6       | 52,686               | 0,00087 | 87,39  |                                | 0,05833+0,02909i         | 0,00777       | 0,0661+0,02909i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 189                | 6       | 53,807               | 0,00088 | 87,69  |                                | 0,05833+0,02945i         | 0,00777       | 0,0661+0,02945i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 190                | 6       | 52,756               | 0,00087 | 87,39  |                                | 0,05833+0,02909i         | 0,00777       | 0,0661+0,02909i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 191                | 6       | 53,807               | 0,00088 | 87,69  |                                | 0,05833+0,02945i         | 0,00777       | 0,0661+0,02945i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 192                | 6       | 53,036               | 0,00087 | 87,39  |                                | 0,05833+0,02909i         | 0,00777       | 0,0661+0,02909i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 193                | 6       | 52,636               | 0,00087 | 86,85  |                                | 0,05832+0,02911i         | 0,00777       | 0,06609+0,02911i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 194                | 6       | 52,626               | 0,00087 | 86,85  |                                | 0,05832+0,02911i         | 0,00777       | 0,06609+0,02911i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 195                | 6       | 52,566               | 0,00087 | 86,72  |                                | 0,05832+0,0291i          | 0,00777       | 0,06609+0,0291i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 196                | 6       | 52,635               | 0,00087 | 86,82  |                                | 0,05832+0,02911i         | 0,00777       | 0,06609+0,02911i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 197                | 6       | 52,666               | 0,00087 | 86,72  |                                | 0,05832+0,0291i          | 0,00777       | 0,06609+0,0291i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 198                | 6       | 52,525               | 0,00087 | 86,65  |                                | 0,05832+0,0291i          | 0,00777       | 0,06609+0,0291i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 199                | 6       | 52,676               | 0,00087 | 86,66  |                                | 0,05832+0,02912i         | 0,00777       | 0,06609+0,02912i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 200                | 6       | 53,096               | 0,00090 | 89,51  |                                | 0,05835+0,02905i         | 0,00777       | 0,06612+0,02905i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 201                | 6       | 52,665               | 0,00087 | 86,65  |                                | 0,05832+0,0291i          | 0,00777       | 0,06609+0,0291i                  | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 202                | 6       | 52,676               | 0,00087 | 86,62  |                                | 0,05832+0,02898i         | 0,00777       | 0,06609+0,02898i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 203                | 6       | 52,856               | 0,00087 | 86,57  |                                | 0,05832+0,02908i         | 0,00777       | 0,06609+0,02908i                 | 0,06365+0,04126i               |                         |                            |
| 204                | 6       | 52,786               | 0,00087 | 86,57  |                                | 0,05832+0,02908i         | 0,00777       | 0,06609+0,02908i                 | 0,06365+0,04126i               | Optima_6                | 3                          |
| 205                | 7       | 48,18                | 0,00214 | 213,95 |                                | 0,08781+0,04909i         | 0,00588       | 0,09369+0,04909i                 | 0,0905+0,05826i                |                         |                            |
| 206                | 7       | 48,069               | 0,00206 | 205,65 |                                | 0,08772+0,04882i         | 0,00588       | 0,0936+0,04882i                  | 0,0905+0,05826i                |                         |                            |
| 207                | 7       | 47,959               | 0,00203 | 203,17 |                                | 0,0877+0,04856i          | 0,00588       | 0,09358+0,04856i                 | 0,0905+0,05826i                |                         |                            |
| 208                | 7       | 48,089               | 0,00204 | 203,90 |                                | 0,08771+0,04847i         | 0,00588       | 0,09359+0,04847i                 | 0,0905+0,05826i                |                         |                            |
| 209                | 7       | 48,199               | 0,00203 | 203,17 |                                | 0,0877+0,04856i          | 0,00588       | 0,09358+0,04856i                 | 0,0905+0,05826i                |                         |                            |
| 210                | 7       | 48,92                | 0,00198 | 198,06 |                                | 0,08765+0,04844i         | 0,00588       | 0,09353+0,04844i                 | 0,0905+0,05826i                |                         |                            |

| Número de iteração | Hora DC | Tempo Cálculo [seg.] | perdas  |        | Potência gerada na rede [p.u.] |                          |               | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Solução ótima por hora | Referência da Configuração |
|--------------------|---------|----------------------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|
|                    |         |                      | [p.u.]  | [kW]   | C. Matiota Barramento 1        | C. Lazareto Barramento 3 | Parque Eólico |                                  |                                |                        |                            |
|                    |         |                      |         |        |                                |                          |               |                                  |                                |                        |                            |
| 211                | 7       | 50,412               | 0,00193 | 193,16 |                                |                          |               | 0,09348+0,04837i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 212                | 7       | 51,034               | 0,00191 | 190,51 |                                |                          |               | 0,09345+0,04823i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 213                | 7       | 51,775               | 0,00189 | 189,08 |                                |                          |               | 0,09344+0,04811i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 214                | 7       | 52,446               | 0,00189 | 188,91 |                                |                          |               | 0,09344+0,04812i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 215                | 7       | 53,086               | 0,00189 | 188,92 |                                |                          |               | 0,09344+0,04808i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 216                | 7       | 52,485               | 0,00187 | 187,26 |                                |                          |               | 0,09342+0,04808i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 217                | 7       | 52,465               | 0,00183 | 183,20 |                                |                          |               | 0,09338+0,04806i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 218                | 7       | 52,506               | 0,00185 | 184,60 |                                |                          |               | 0,09339+0,04807i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 219                | 7       | 53,337               | 0,00182 | 181,74 |                                |                          |               | 0,09337+0,04806i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 220                | 7       | 53,988               | 0,00181 | 181,45 |                                |                          |               | 0,09336+0,04801i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 221                | 7       | 54,599               | 0,00181 | 180,93 |                                |                          |               | 0,09336+0,04793i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 222                | 7       | 55,75                | 0,00181 | 180,56 |                                |                          |               | 0,09335+0,04788i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 223                | 7       | 56,851               | 0,00181 | 180,88 |                                |                          |               | 0,09336+0,04823i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 224                | 7       | 55,901               | 0,00181 | 180,56 |                                |                          |               | 0,09335+0,04788i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 225                | 7       | 56,962               | 0,00181 | 180,88 |                                |                          |               | 0,09336+0,04823i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 226                | 7       | 56,021               | 0,00181 | 180,56 |                                |                          |               | 0,09335+0,04788i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 227                | 7       | 55,75                | 0,00179 | 179,13 |                                |                          |               | 0,09334+0,04791i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 228                | 7       | 55,419               | 0,00179 | 179,13 |                                |                          |               | 0,09334+0,04791i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 229                | 7       | 55,61                | 0,00179 | 178,91 |                                |                          |               | 0,09334+0,0479i                  | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 230                | 7       | 55,75                | 0,00179 | 179,08 |                                |                          |               | 0,09334+0,04792i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 231                | 7       | 55,72                | 0,00179 | 178,91 |                                |                          |               | 0,09334+0,0479i                  | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 232                | 7       | 55,68                | 0,00186 | 185,58 |                                |                          |               | 0,09334+0,04788i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 233                | 7       | 55,68                | 0,00179 | 178,91 |                                |                          |               | 0,09334+0,0479i                  | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 234                | 7       | 55,6                 | 0,00179 | 178,77 |                                |                          |               | 0,09334+0,0479i                  | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 235                | 7       | 55,61                | 0,00179 | 178,80 |                                |                          |               | 0,09334+0,04793i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 236                | 7       | 56,021               | 0,00179 | 178,68 |                                |                          |               | 0,09333+0,04778i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 237                | 7       | 55,56                | 0,00179 | 178,62 |                                |                          |               | 0,09333+0,04788i                 | 0,0905+0,05826i                |                        |                            |
| 238                | 7       | 55,46                | 0,00179 | 178,62 |                                |                          |               | 0,09333+0,04788i                 | 0,0905+0,05826i                | Optima_7               | 2                          |
| 239                | 8       | 48,279               | 0,00107 | 106,57 | 0,06547+0,0074i                | 0,02498+0,03954i         | 0,00525       | 0,0957+0,04694i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 240                | 8       | 48,069               | 0,00103 | 103,43 | 0,06547+0,0074i                | 0,02495+0,03956i         | 0,00525       | 0,09567+0,04696i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 241                | 8       | 48,149               | 0,00106 | 105,68 | 0,06547+0,0074i                | 0,02497+0,03958i         | 0,00525       | 0,09569+0,04698i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 242                | 8       | 48,149               | 0,00103 | 103,43 | 0,06547+0,0074i                | 0,02495+0,03956i         | 0,00525       | 0,09567+0,04696i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 243                | 8       | 48,109               | 0,00102 | 101,74 | 0,06547+0,0074i                | 0,02493+0,03953i         | 0,00525       | 0,09565+0,04693i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 244                | 8       | 47,999               | 0,00099 | 98,81  | 0,06547+0,0074i                | 0,0249+0,03952i          | 0,00525       | 0,09562+0,04692i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 245                | 8       | 48,119               | 0,00102 | 101,61 | 0,06547+0,0074i                | 0,02493+0,03953i         | 0,00525       | 0,09565+0,04693i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 246                | 8       | 48,99                | 0,00098 | 98,48  | 0,06547+0,0074i                | 0,0249+0,03947i          | 0,00525       | 0,09562+0,04687i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 247                | 8       | 50,282               | 0,00101 | 100,75 | 0,06547+0,0074i                | 0,02492+0,03954i         | 0,00525       | 0,09564+0,04694i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 248                | 8       | 49,351               | 0,00097 | 97,16  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,03951i         | 0,00525       | 0,0956+0,04691i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 249                | 8       | 49,161               | 0,00097 | 97,16  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,03951i         | 0,00525       | 0,0956+0,04691i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 250                | 8       | 50,313               | 0,00098 | 98,22  | 0,06547+0,0074i                | 0,02489+0,03956i         | 0,00525       | 0,09561+0,04696i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 251                | 8       | 49,071               | 0,00097 | 97,16  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,03951i         | 0,00525       | 0,0956+0,04691i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 252                | 8       | 49,06                | 0,00097 | 97,16  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,03951i         | 0,00525       | 0,0956+0,04691i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 253                | 8       | 49,051               | 0,00097 | 96,96  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,0395i          | 0,00525       | 0,0956+0,0469i                   | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 254                | 8       | 49,11                | 0,00097 | 97,11  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,03952i         | 0,00525       | 0,0956+0,04692i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 255                | 8       | 49,05                | 0,00097 | 96,96  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,0395i          | 0,00525       | 0,0956+0,0469i                   | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 256                | 8       | 49,141               | 0,00097 | 96,86  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,03938i         | 0,00525       | 0,0956+0,04678i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 257                | 8       | 49,06                | 0,00097 | 96,81  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,03948i         | 0,00525       | 0,0956+0,04688i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 258                | 8       | 49,09                | 0,00097 | 96,81  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,03948i         | 0,00525       | 0,0956+0,04688i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 259                | 8       | 48,99                | 0,00097 | 96,92  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,03974i         | 0,00525       | 0,0956+0,04714i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 260                | 8       | 49,381               | 0,00097 | 96,81  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,03948i         | 0,00525       | 0,0956+0,04688i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 261                | 8       | 48,99                | 0,00103 | 103,07 | 0,06547+0,0074i                | 0,02494+0,04025i         | 0,00525       | 0,09566+0,04765i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 262                | 8       | 49,09                | 0,00097 | 96,81  | 0,06547+0,0074i                | 0,02488+0,03948i         | 0,00525       | 0,0956+0,04688i                  | 0,09496+0,06097i               | Optima_8               | 4                          |
| 263                | 9       | 46,437               | 0,00069 | 69,01  | 0,06547+0,0074i                | 0,0173+0,03115i          |               | 0,08277+0,03855i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 264                | 9       | 46,397               | 0,00067 | 67,00  | 0,06547+0,0074i                | 0,01728+0,03121i         |               | 0,08275+0,03861i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 265                | 9       | 46,537               | 0,00070 | 69,62  | 0,06547+0,0074i                | 0,01731+0,03124i         |               | 0,08278+0,03864i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 266                | 9       | 46,497               | 0,00065 | 65,34  | 0,06547+0,0074i                | 0,01727+0,03118i         |               | 0,08274+0,03858i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 267                | 9       | 46,436               | 0,00062 | 62,39  | 0,06547+0,0074i                | 0,01724+0,03117i         |               | 0,08271+0,03857i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 268                | 9       | 46,567               | 0,00065 | 65,01  | 0,06547+0,0074i                | 0,01726+0,03117i         |               | 0,08273+0,03857i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 269                | 9       | 47,288               | 0,00063 | 62,66  | 0,06547+0,0074i                | 0,01724+0,03114i         |               | 0,08271+0,03854i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 270                | 9       | 46,496               | 0,00062 | 62,39  | 0,06547+0,0074i                | 0,01724+0,03117i         |               | 0,08271+0,03857i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 271                | 9       | 46,497               | 0,00062 | 61,92  | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03118i         |               | 0,0827+0,03858i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 272                | 9       | 46,908               | 0,00062 | 61,92  | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03118i         |               | 0,0827+0,03858i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 273                | 9       | 47,899               | 0,00063 | 63,03  | 0,06547+0,0074i                | 0,01724+0,03124i         |               | 0,08271+0,03864i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 274                | 9       | 46,447               | 0,00062 | 61,92  | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03118i         |               | 0,0827+0,03858i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 275                | 9       | 46,577               | 0,00062 | 61,73  | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03117i         |               | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 276                | 9       | 46,457               | 0,00062 | 61,87  | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03119i         |               | 0,0827+0,03859i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 277                | 9       | 46,557               | 0,00062 | 61,73  | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03117i         |               | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 278                | 9       | 46,447               | 0,00062 | 61,87  | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03119i         |               | 0,0827+0,03859i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 279                | 9       | 46,537               | 0,00062 | 61,73  | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03117i         |               | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 280                | 9       | 46,427               | 0,00062 | 61,71  | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03143i         |               | 0,0827+0,03883i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |

| Número de iteração | Hora DC | Tempo Cálculo [seg.] | perdas  |       | Potência gerada na rede [p.u.] |                          |               | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Solução ótima por hora | Referência da Configuração |
|--------------------|---------|----------------------|---------|-------|--------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|
|                    |         |                      | [p.u.]  | [kW]  | C. Matiota Barramento 1        | C. Lazareto Barramento 3 | Parque Eólico |                                  |                                |                        |                            |
|                    |         |                      |         |       |                                |                          |               |                                  |                                |                        |                            |
| 281                | 9       | 46,106               | 0,00062 | 61,60 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03119i         |               | 0,0827+0,03859i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 282                | 9       | 45,836               | 0,00062 | 61,54 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03111i         |               | 0,0827+0,03851i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 283                | 9       | 46,167               | 0,00062 | 61,59 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,0312i          |               | 0,0827+0,0386i                   | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 284                | 9       | 45,826               | 0,00061 | 61,46 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03098i         |               | 0,0827+0,03838i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 285                | 9       | 46,207               | 0,00061 | 61,40 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03109i         |               | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 286                | 9       | 45,866               | 0,00061 | 61,40 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03109i         |               | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 287                | 9       | 45,876               | 0,00066 | 66,49 | 0,06547+0,0074i                | 0,01728+0,03186i         |               | 0,08275+0,03926i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 288                | 9       | 45,806               | 0,00061 | 61,40 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03109i         |               | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                | Optima_9               | 5                          |
| 289                | 10      | 46,487               | 0,00069 | 69,01 | 0,06547+0,0074i                | 0,0173+0,03115i          |               | 0,08277+0,03855i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 290                | 10      | 46,276               | 0,00067 | 67,00 | 0,06547+0,0074i                | 0,01728+0,03121i         |               | 0,08275+0,03861i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 291                | 10      | 46,397               | 0,00070 | 69,62 | 0,06547+0,0074i                | 0,01731+0,03124i         |               | 0,08278+0,03864i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 292                | 10      | 46,447               | 0,00065 | 65,34 | 0,06547+0,0074i                | 0,01727+0,03118i         |               | 0,08274+0,03858i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 293                | 10      | 46,206               | 0,00062 | 62,39 | 0,06547+0,0074i                | 0,01724+0,03117i         |               | 0,08271+0,03857i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 294                | 10      | 46,146               | 0,00065 | 65,01 | 0,06547+0,0074i                | 0,01726+0,03117i         |               | 0,08273+0,03857i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 295                | 10      | 46,928               | 0,00063 | 62,66 | 0,06547+0,0074i                | 0,01724+0,03114i         |               | 0,08271+0,03854i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 296                | 10      | 46,487               | 0,00062 | 62,39 | 0,06547+0,0074i                | 0,01724+0,03117i         |               | 0,08271+0,03857i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 297                | 10      | 46,647               | 0,00062 | 61,92 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03118i         |               | 0,0827+0,03858i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 298                | 10      | 46,377               | 0,00062 | 61,92 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03118i         |               | 0,0827+0,03858i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 299                | 10      | 47,798               | 0,00063 | 63,03 | 0,06547+0,0074i                | 0,01724+0,03124i         |               | 0,08271+0,03864i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 300                | 10      | 46,317               | 0,00062 | 61,92 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03118i         |               | 0,0827+0,03858i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 301                | 10      | 46,487               | 0,00062 | 61,73 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03117i         |               | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 302                | 10      | 46,407               | 0,00062 | 61,87 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03119i         |               | 0,0827+0,03859i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 303                | 10      | 46,547               | 0,00062 | 61,73 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03117i         |               | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 304                | 10      | 46,497               | 0,00062 | 61,87 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03119i         |               | 0,0827+0,03859i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 305                | 10      | 46,457               | 0,00062 | 61,73 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03117i         |               | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 306                | 10      | 46,366               | 0,00062 | 61,71 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03143i         |               | 0,0827+0,03883i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 307                | 10      | 46,136               | 0,00062 | 61,60 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03119i         |               | 0,0827+0,03859i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 308                | 10      | 45,946               | 0,00062 | 61,54 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03111i         |               | 0,0827+0,03851i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 309                | 10      | 46,136               | 0,00062 | 61,59 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,0312i          |               | 0,0827+0,0386i                   | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 310                | 10      | 46,217               | 0,00061 | 61,46 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03098i         |               | 0,0827+0,03838i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 311                | 10      | 45,806               | 0,00061 | 61,40 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03109i         |               | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 312                | 10      | 45,886               | 0,00061 | 61,40 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03109i         |               | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 313                | 10      | 45,565               | 0,00066 | 66,49 | 0,06547+0,0074i                | 0,01728+0,03186i         |               | 0,08275+0,03926i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 314                | 10      | 45,856               | 0,00061 | 61,40 | 0,06547+0,0074i                | 0,01723+0,03109i         |               | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                | Optima_10              | 5                          |
| 315                | 11      | 46,457               | 0,00069 | 69,30 | 0,06547+0,0074i                | 0,01374+0,03115i         | 0,00357       | 0,08278+0,03855i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 316                | 11      | 46,427               | 0,00067 | 67,29 | 0,06547+0,0074i                | 0,01372+0,03121i         | 0,00357       | 0,08276+0,03861i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 317                | 11      | 46,357               | 0,00070 | 69,91 | 0,06547+0,0074i                | 0,01374+0,03125i         | 0,00357       | 0,08278+0,03865i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 318                | 11      | 46,326               | 0,00066 | 65,63 | 0,06547+0,0074i                | 0,0137+0,03118i          | 0,00357       | 0,08274+0,03858i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 319                | 11      | 46,597               | 0,00063 | 62,68 | 0,06547+0,0074i                | 0,01367+0,03117i         | 0,00357       | 0,08271+0,03857i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 320                | 11      | 46,467               | 0,00065 | 65,30 | 0,06547+0,0074i                | 0,0137+0,03117i          | 0,00357       | 0,08274+0,03857i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 321                | 11      | 47,017               | 0,00063 | 62,95 | 0,06547+0,0074i                | 0,01367+0,03114i         | 0,00357       | 0,08271+0,03854i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 322                | 11      | 46,226               | 0,00063 | 62,68 | 0,06547+0,0074i                | 0,01367+0,03117i         | 0,00357       | 0,08271+0,03857i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 323                | 11      | 46,717               | 0,00062 | 62,21 | 0,06547+0,0074i                | 0,01367+0,03119i         | 0,00357       | 0,08271+0,03859i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 324                | 11      | 46,447               | 0,00062 | 62,21 | 0,06547+0,0074i                | 0,01367+0,03119i         | 0,00357       | 0,08271+0,03859i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 325                | 11      | 47,909               | 0,00063 | 63,32 | 0,06547+0,0074i                | 0,01368+0,03124i         | 0,00357       | 0,08272+0,03864i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 326                | 11      | 46,386               | 0,00062 | 62,21 | 0,06547+0,0074i                | 0,01367+0,03119i         | 0,00357       | 0,08271+0,03859i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 327                | 11      | 46,427               | 0,00062 | 62,02 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03117i         | 0,00357       | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 328                | 11      | 46,406               | 0,00062 | 62,16 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03119i         | 0,00357       | 0,0827+0,03859i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 329                | 11      | 46,537               | 0,00062 | 62,02 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03117i         | 0,00357       | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 330                | 11      | 46,537               | 0,00062 | 62,16 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03119i         | 0,00357       | 0,0827+0,03859i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 331                | 11      | 46,547               | 0,00062 | 62,02 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03117i         | 0,00357       | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 332                | 11      | 46,507               | 0,00062 | 62,00 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03144i         | 0,00357       | 0,0827+0,03884i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 333                | 11      | 46,146               | 0,00062 | 61,89 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03119i         | 0,00357       | 0,0827+0,03859i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 334                | 11      | 45,826               | 0,00062 | 61,83 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03111i         | 0,00357       | 0,0827+0,03851i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 335                | 11      | 46,507               | 0,00062 | 61,88 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03121i         | 0,00357       | 0,0827+0,03861i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 336                | 11      | 45,836               | 0,00062 | 61,75 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03099i         | 0,00357       | 0,0827+0,03839i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 337                | 11      | 45,576               | 0,00062 | 61,68 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03109i         | 0,00357       | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 338                | 11      | 45,626               | 0,00062 | 61,68 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03109i         | 0,00357       | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 339                | 11      | 45,785               | 0,00067 | 66,78 | 0,06547+0,0074i                | 0,01371+0,03187i         | 0,00357       | 0,08275+0,03927i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 340                | 11      | 45,856               | 0,00062 | 61,68 | 0,06547+0,0074i                | 0,01366+0,03109i         | 0,00357       | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                | Optima_11              | 5                          |
| 341                | 12      | 46,456               | 0,00069 | 69,41 | 0,06547+0,0074i                | 0,01311+0,03115i         | 0,0042        | 0,08278+0,03855i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 342                | 12      | 46,477               | 0,00067 | 67,40 | 0,06547+0,0074i                | 0,01309+0,03121i         | 0,0042        | 0,08276+0,03861i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 343                | 12      | 46,417               | 0,00070 | 70,02 | 0,06547+0,0074i                | 0,01311+0,03125i         | 0,0042        | 0,08278+0,03865i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 344                | 12      | 46,447               | 0,00066 | 65,74 | 0,06547+0,0074i                | 0,01307+0,03118i         | 0,0042        | 0,08274+0,03858i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 345                | 12      | 46,457               | 0,00063 | 62,79 | 0,06547+0,0074i                | 0,01304+0,03117i         | 0,0042        | 0,08271+0,03857i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 346                | 12      | 46,637               | 0,00065 | 65,41 | 0,06547+0,0074i                | 0,01307+0,03118i         | 0,0042        | 0,08274+0,03858i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 347                | 12      | 47,058               | 0,00063 | 63,06 | 0,06547+0,0074i                | 0,01304+0,03114i         | 0,0042        | 0,08271+0,03854i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 348                | 12      | 46,757               | 0,00063 | 62,79 | 0,06547+0,0074i                | 0,01304+0,03117i         | 0,0042        | 0,08271+0,03857i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 349                | 12      | 46,547               | 0,00062 | 62,32 | 0,06547+0,0074i                | 0,01304+0,03119i         | 0,0042        | 0,08271+0,03859i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 350                | 12      | 46,496               | 0,00062 | 62,32 | 0,06547+0,0074i                | 0,01304+0,03119i         | 0,0042        | 0,08271+0,03859i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |

| Número de iteração | Hora DC | Tempo Cálculo [seg.] | perdas  |       | Potência gerada na rede [p.u.] |                          |               | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Solução optima por hora | Referência da Configuração |
|--------------------|---------|----------------------|---------|-------|--------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                    |         |                      | [p.u.]  | [kW]  | C. Matiota Barramento 1        | C. Lazareto Barramento 3 | Parque Eólico |                                  |                                |                         |                            |
|                    |         |                      |         |       |                                |                          |               |                                  |                                |                         |                            |
| 351                | 12      | 47,739               | 0,00063 | 63,43 | 0,06547+0,0074i                | 0,01305+0,03124i         | 0,0042        | 0,08272+0,03864i                 | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 352                | 12      | 46,547               | 0,00062 | 62,32 | 0,06547+0,0074i                | 0,01304+0,03119i         | 0,0042        | 0,08271+0,03859i                 | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 353                | 12      | 46,427               | 0,00062 | 62,13 | 0,06547+0,0074i                | 0,01303+0,03117i         | 0,0042        | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 354                | 12      | 46,427               | 0,00062 | 62,27 | 0,06547+0,0074i                | 0,01304+0,03119i         | 0,0042        | 0,08271+0,03859i                 | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 355                | 12      | 46,396               | 0,00062 | 62,13 | 0,06547+0,0074i                | 0,01303+0,03117i         | 0,0042        | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 356                | 12      | 46,487               | 0,00062 | 62,27 | 0,06547+0,0074i                | 0,01304+0,03119i         | 0,0042        | 0,08271+0,03859i                 | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 357                | 12      | 46,447               | 0,00062 | 62,13 | 0,06547+0,0074i                | 0,01303+0,03117i         | 0,0042        | 0,0827+0,03857i                  | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 358                | 12      | 46,337               | 0,00062 | 62,11 | 0,06547+0,0074i                | 0,01303+0,03144i         | 0,0042        | 0,0827+0,03884i                  | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 359                | 12      | 46,116               | 0,00062 | 62,00 | 0,06547+0,0074i                | 0,01303+0,03119i         | 0,0042        | 0,0827+0,03859i                  | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 360                | 12      | 46,306               | 0,00062 | 61,94 | 0,06547+0,0074i                | 0,01303+0,03111i         | 0,0042        | 0,0827+0,03851i                  | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 361                | 12      | 46,136               | 0,00062 | 61,99 | 0,06547+0,0074i                | 0,01303+0,03121i         | 0,0042        | 0,0827+0,03861i                  | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 362                | 12      | 45,696               | 0,00062 | 61,86 | 0,06547+0,0074i                | 0,01303+0,03099i         | 0,0042        | 0,0827+0,03839i                  | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 363                | 12      | 45,856               | 0,00062 | 61,79 | 0,06547+0,0074i                | 0,01303+0,03109i         | 0,0042        | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 364                | 12      | 45,806               | 0,00062 | 61,79 | 0,06547+0,0074i                | 0,01303+0,03109i         | 0,0042        | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 365                | 12      | 45,756               | 0,00067 | 66,89 | 0,06547+0,0074i                | 0,01308+0,03187i         | 0,0042        | 0,08275+0,03927i                 | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 366                | 12      | 45,826               | 0,00062 | 61,79 | 0,06547+0,0074i                | 0,01303+0,03109i         | 0,0042        | 0,0827+0,03849i                  | 0,0829+0,05356i                | Optima_12               | 5                          |
| 367                | 13      | 47,318               | 0,00087 | 86,87 | 0,06547+0,00592i               | 0,01129+0,0332i          | 0,00651       | 0,08327+0,03912i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 368                | 13      | 47,258               | 0,00085 | 85,24 | 0,06547+0,00592i               | 0,01127+0,03325i         | 0,00651       | 0,08325+0,03917i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 369                | 13      | 47,198               | 0,00087 | 87,20 | 0,06547+0,00592i               | 0,01129+0,03328i         | 0,00651       | 0,08327+0,0392i                  | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 370                | 13      | 47,398               | 0,00085 | 85,24 | 0,06547+0,00592i               | 0,01127+0,03325i         | 0,00651       | 0,08325+0,03917i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 371                | 13      | 47,308               | 0,00084 | 84,20 | 0,06547+0,00592i               | 0,01126+0,03322i         | 0,00651       | 0,08324+0,03914i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 372                | 13      | 47,308               | 0,00082 | 82,40 | 0,06547+0,00592i               | 0,01124+0,03321i         | 0,00651       | 0,08322+0,03913i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 373                | 13      | 47,708               | 0,00084 | 84,19 | 0,06547+0,00592i               | 0,01126+0,03322i         | 0,00651       | 0,08324+0,03914i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 374                | 13      | 47,238               | 0,00081 | 81,06 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03325i         | 0,00651       | 0,08321+0,03917i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 375                | 13      | 47,138               | 0,00081 | 81,06 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03325i         | 0,00651       | 0,08321+0,03917i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 376                | 13      | 48,359               | 0,00081 | 81,36 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03322i         | 0,00651       | 0,08321+0,03914i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 377                | 13      | 47,318               | 0,00081 | 81,06 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03325i         | 0,00651       | 0,08321+0,03917i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 378                | 13      | 48,51                | 0,00082 | 82,02 | 0,06547+0,00592i               | 0,01124+0,03331i         | 0,00651       | 0,08322+0,03923i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 379                | 13      | 47,328               | 0,00081 | 81,06 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03325i         | 0,00651       | 0,08321+0,03917i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 380                | 13      | 47,268               | 0,00081 | 81,06 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03325i         | 0,00651       | 0,08321+0,03917i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 381                | 13      | 47,378               | 0,00081 | 80,94 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03324i         | 0,00651       | 0,08321+0,03916i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 382                | 13      | 47,058               | 0,00081 | 81,04 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03326i         | 0,00651       | 0,08321+0,03918i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 383                | 13      | 47,257               | 0,00081 | 80,94 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03324i         | 0,00651       | 0,08321+0,03916i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 384                | 13      | 46,958               | 0,00081 | 80,96 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,0335i          | 0,00651       | 0,08321+0,03942i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 385                | 13      | 47,688               | 0,00081 | 80,94 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03324i         | 0,00651       | 0,08321+0,03916i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 386                | 13      | 47,338               | 0,00087 | 87,12 | 0,06547+0,00592i               | 0,01129+0,03401i         | 0,00651       | 0,08327+0,03993i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 387                | 13      | 47,218               | 0,00081 | 80,94 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03324i         | 0,00651       | 0,08321+0,03916i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 388                | 13      | 47,318               | 0,00081 | 80,87 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03312i         | 0,00651       | 0,08321+0,03904i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 389                | 13      | 47,278               | 0,00081 | 80,83 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03322i         | 0,00651       | 0,08321+0,03914i                 | 0,0824+0,05273i                |                         |                            |
| 390                | 13      | 47,248               | 0,00081 | 80,83 | 0,06547+0,00592i               | 0,01123+0,03322i         | 0,00651       | 0,08321+0,03914i                 | 0,0824+0,05273i                | Optima_13               | 6                          |
| 391                | 14      | 46,347               | 0,00068 | 67,81 | 0,06547+0,0074i                | 0,00686+0,02955i         | 0,00735       | 0,07968+0,03695i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 392                | 14      | 46,186               | 0,00066 | 66,09 | 0,06547+0,0074i                | 0,00684+0,02961i         | 0,00735       | 0,07966+0,03701i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 393                | 14      | 46,266               | 0,00069 | 68,85 | 0,06547+0,0074i                | 0,00687+0,02965i         | 0,00735       | 0,07969+0,03705i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 394                | 14      | 46,307               | 0,00065 | 64,75 | 0,06547+0,0074i                | 0,00682+0,02958i         | 0,00735       | 0,07964+0,03698i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 395                | 14      | 46,347               | 0,00062 | 61,68 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02957i         | 0,00735       | 0,07961+0,03697i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 396                | 14      | 46,346               | 0,00064 | 64,06 | 0,06547+0,0074i                | 0,00682+0,02957i         | 0,00735       | 0,07964+0,03697i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 397                | 14      | 46,347               | 0,00061 | 61,19 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02959i         | 0,00735       | 0,07961+0,03699i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 398                | 14      | 46,757               | 0,00061 | 61,19 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02959i         | 0,00735       | 0,07961+0,03699i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 399                | 14      | 46,947               | 0,00062 | 61,62 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02956i         | 0,00735       | 0,07961+0,03696i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 400                | 14      | 46,417               | 0,00061 | 61,19 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02959i         | 0,00735       | 0,07961+0,03699i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 401                | 14      | 46,286               | 0,00061 | 61,00 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02957i         | 0,00735       | 0,07961+0,03697i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 402                | 14      | 46,387               | 0,00061 | 61,14 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02959i         | 0,00735       | 0,07961+0,03699i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 403                | 14      | 47,518               | 0,00062 | 62,08 | 0,06547+0,0074i                | 0,0068+0,02963i          | 0,00735       | 0,07962+0,03703i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 404                | 14      | 46,236               | 0,00061 | 61,00 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02957i         | 0,00735       | 0,07961+0,03697i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 405                | 14      | 46,357               | 0,00061 | 61,14 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02959i         | 0,00735       | 0,07961+0,03699i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 406                | 14      | 46,477               | 0,00061 | 61,00 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02957i         | 0,00735       | 0,07961+0,03697i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 407                | 14      | 46,517               | 0,00061 | 61,00 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02957i         | 0,00735       | 0,07961+0,03697i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 408                | 14      | 46,216               | 0,00061 | 60,98 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02984i         | 0,00735       | 0,07961+0,03724i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 409                | 14      | 46,116               | 0,00061 | 60,88 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02959i         | 0,00735       | 0,07961+0,03699i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 410                | 14      | 46,066               | 0,00061 | 60,82 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02951i         | 0,00735       | 0,07961+0,03691i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 411                | 14      | 45,976               | 0,00061 | 60,87 | 0,06547+0,0074i                | 0,00679+0,02961i         | 0,00735       | 0,07961+0,03701i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 412                | 14      | 45,766               | 0,00061 | 60,75 | 0,06547+0,0074i                | 0,00678+0,02939i         | 0,00735       | 0,0796+0,03679i                  | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 413                | 14      | 45,796               | 0,00061 | 60,69 | 0,06547+0,0074i                | 0,00678+0,02949i         | 0,00735       | 0,0796+0,03689i                  | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 414                | 14      | 45,635               | 0,00061 | 60,69 | 0,06547+0,0074i                | 0,00678+0,02949i         | 0,00735       | 0,0796+0,03689i                  | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 415                | 14      | 45,576               | 0,00065 | 64,91 | 0,06547+0,0074i                | 0,00683+0,03027i         | 0,00735       | 0,07965+0,03767i                 | 0,07844+0,05085i               |                         |                            |
| 416                | 14      | 45,656               | 0,00061 | 60,69 | 0,06547+0,0074i                | 0,00678+0,02949i         | 0,00735       | 0,0796+0,03689i                  | 0,07844+0,05085i               | Optima_14               | 5                          |
| 417                | 15      | 46,457               | 0,00070 | 70,30 | 0,06547+0,0074i                | 0,00976+0,03116i         | 0,00756       | 0,08279+0,03856i                 | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 418                | 15      | 46,417               | 0,00068 | 68,29 | 0,06547+0,0074i                | 0,00974+0,03122i         | 0,00756       | 0,08277+0,03862i                 | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 419                | 15      | 46,366               | 0,00071 | 70,91 | 0,06547+0,0074i                | 0,00976+0,03126i         | 0,00756       | 0,08279+0,03866i                 | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |
| 420                | 15      | 46,427               | 0,00067 | 66,63 | 0,06547+0,0074i                | 0,00972+0,03119i         | 0,00756       | 0,08275+0,03859i                 | 0,0829+0,05356i                |                         |                            |

| Número de iteração | Hora DC | Tempo Cálculo [seg.] | perdas  |        | Potência gerada na rede [p.u.] |                          |               | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Solução ótima por hora | Referência da Configuração |
|--------------------|---------|----------------------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|
|                    |         |                      | [p.u.]  | [kW]   | C. Matiota Barramento 1        | C. Lazareto Barramento 3 | Parque Eólico |                                  |                                |                        |                            |
|                    |         |                      |         |        |                                |                          |               |                                  |                                |                        |                            |
| 421                | 15      | 46,326               | 0,00064 | 63,68  | 0,06547+0,0074i                | 0,00969+0,03118i         | 0,00756       | 0,08272+0,03858i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 422                | 15      | 46,437               | 0,00066 | 66,30  | 0,06547+0,0074i                | 0,00972+0,03118i         | 0,00756       | 0,08275+0,03858i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 423                | 15      | 47,558               | 0,00064 | 63,95  | 0,06547+0,0074i                | 0,00969+0,03115i         | 0,00756       | 0,08272+0,03855i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 424                | 15      | 46,527               | 0,00064 | 63,68  | 0,06547+0,0074i                | 0,00969+0,03118i         | 0,00756       | 0,08272+0,03858i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 425                | 15      | 46,377               | 0,00063 | 63,21  | 0,06547+0,0074i                | 0,00969+0,0312i          | 0,00756       | 0,08272+0,0386i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 426                | 15      | 46,397               | 0,00063 | 63,21  | 0,06547+0,0074i                | 0,00969+0,0312i          | 0,00756       | 0,08272+0,0386i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 427                | 15      | 47,899               | 0,00064 | 64,32  | 0,06547+0,0074i                | 0,0097+0,03125i          | 0,00756       | 0,08273+0,03865i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 428                | 15      | 46,467               | 0,00063 | 63,21  | 0,06547+0,0074i                | 0,00969+0,0312i          | 0,00756       | 0,08272+0,0386i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 429                | 15      | 46,417               | 0,00063 | 63,02  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,03118i         | 0,00756       | 0,08271+0,03858i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 430                | 15      | 46,447               | 0,00063 | 63,16  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,0312i          | 0,00756       | 0,08271+0,0386i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 431                | 15      | 46,497               | 0,00063 | 63,02  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,03118i         | 0,00756       | 0,08271+0,03858i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 432                | 15      | 46,407               | 0,00063 | 63,16  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,0312i          | 0,00756       | 0,08271+0,0386i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 433                | 15      | 46,447               | 0,00063 | 63,02  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,03118i         | 0,00756       | 0,08271+0,03858i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 434                | 15      | 46,357               | 0,00063 | 63,00  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,03145i         | 0,00756       | 0,08271+0,03885i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 435                | 15      | 46,097               | 0,00063 | 62,89  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,0312i          | 0,00756       | 0,08271+0,0386i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 436                | 15      | 46,087               | 0,00063 | 62,83  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,03112i         | 0,00756       | 0,08271+0,03852i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 437                | 15      | 46,177               | 0,00063 | 62,88  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,03122i         | 0,00756       | 0,08271+0,03862i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 438                | 15      | 45,765               | 0,00063 | 62,75  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,031i           | 0,00756       | 0,08271+0,0384i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 439                | 15      | 45,816               | 0,00063 | 62,68  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,0311i          | 0,00756       | 0,08271+0,0385i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 440                | 15      | 45,846               | 0,00063 | 62,68  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,0311i          | 0,00756       | 0,08271+0,0385i                  | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 441                | 15      | 45,826               | 0,00068 | 67,78  | 0,06547+0,0074i                | 0,00973+0,03188i         | 0,00756       | 0,08276+0,03928i                 | 0,0829+0,05356i                |                        |                            |
| 442                | 15      | 45,786               | 0,00063 | 62,68  | 0,06547+0,0074i                | 0,00968+0,0311i          | 0,00756       | 0,08271+0,0385i                  | 0,0829+0,05356i                | Optima_15              | 5                          |
| 443                | 16      | 47,038               | 0,00081 | 80,65  | 0,06547+0,0074i                | 0,01383+0,03393i         | 0,00777       | 0,08707+0,04133i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 444                | 16      | 47,218               | 0,00078 | 78,28  | 0,06547+0,0074i                | 0,01381+0,03398i         | 0,00777       | 0,08705+0,04138i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 445                | 16      | 47,128               | 0,00081 | 80,80  | 0,06547+0,0074i                | 0,01383+0,03401i         | 0,00777       | 0,08707+0,04141i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 446                | 16      | 47,138               | 0,00078 | 78,28  | 0,06547+0,0074i                | 0,01381+0,03398i         | 0,00777       | 0,08705+0,04138i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 447                | 16      | 47,108               | 0,00077 | 76,60  | 0,06547+0,0074i                | 0,01379+0,03395i         | 0,00777       | 0,08703+0,04135i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 448                | 16      | 47,509               | 0,00074 | 73,66  | 0,06547+0,0074i                | 0,01376+0,03394i         | 0,00777       | 0,087+0,04134i                   | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 449                | 16      | 47,038               | 0,00076 | 76,34  | 0,06547+0,0074i                | 0,01379+0,03394i         | 0,00777       | 0,08703+0,04134i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 450                | 16      | 47,929               | 0,00074 | 73,79  | 0,06547+0,0074i                | 0,01376+0,0339i          | 0,00777       | 0,087+0,0413i                    | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 451                | 16      | 47,148               | 0,00074 | 73,66  | 0,06547+0,0074i                | 0,01376+0,03394i         | 0,00777       | 0,087+0,04134i                   | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 452                | 16      | 47,038               | 0,00073 | 72,96  | 0,06547+0,0074i                | 0,01376+0,03396i         | 0,00777       | 0,087+0,04136i                   | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 453                | 16      | 46,797               | 0,00073 | 72,96  | 0,06547+0,0074i                | 0,01376+0,03396i         | 0,00777       | 0,087+0,04136i                   | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 454                | 16      | 48,269               | 0,00074 | 73,91  | 0,06547+0,0074i                | 0,01377+0,03401i         | 0,00777       | 0,08701+0,04141i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 455                | 16      | 47,038               | 0,00073 | 72,96  | 0,06547+0,0074i                | 0,01376+0,03396i         | 0,00777       | 0,087+0,04136i                   | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 456                | 16      | 47,058               | 0,00073 | 72,96  | 0,06547+0,0074i                | 0,01376+0,03396i         | 0,00777       | 0,087+0,04136i                   | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 457                | 16      | 46,987               | 0,00073 | 72,77  | 0,06547+0,0074i                | 0,01375+0,03395i         | 0,00777       | 0,08699+0,04135i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 458                | 16      | 47,108               | 0,00073 | 72,91  | 0,06547+0,0074i                | 0,01376+0,03397i         | 0,00777       | 0,087+0,04137i                   | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 459                | 16      | 47,067               | 0,00073 | 72,77  | 0,06547+0,0074i                | 0,01375+0,03395i         | 0,00777       | 0,08699+0,04135i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 460                | 16      | 47,078               | 0,00073 | 72,74  | 0,06547+0,0074i                | 0,01375+0,03421i         | 0,00777       | 0,08699+0,04161i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 461                | 16      | 46,707               | 0,00073 | 72,62  | 0,06547+0,0074i                | 0,01375+0,03397i         | 0,00777       | 0,08699+0,04137i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 462                | 16      | 46,336               | 0,00073 | 72,56  | 0,06547+0,0074i                | 0,01375+0,03388i         | 0,00777       | 0,08699+0,04128i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 463                | 16      | 46,607               | 0,00073 | 72,62  | 0,06547+0,0074i                | 0,01375+0,03398i         | 0,00777       | 0,08699+0,04138i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 464                | 16      | 46,256               | 0,00072 | 72,47  | 0,06547+0,0074i                | 0,01375+0,03376i         | 0,00777       | 0,08699+0,04116i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 465                | 16      | 46,307               | 0,00072 | 72,41  | 0,06547+0,0074i                | 0,01375+0,03386i         | 0,00777       | 0,08699+0,04126i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 466                | 16      | 46,447               | 0,00072 | 72,41  | 0,06547+0,0074i                | 0,01375+0,03386i         | 0,00777       | 0,08699+0,04126i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 467                | 16      | 46,427               | 0,00078 | 78,31  | 0,06547+0,0074i                | 0,01381+0,03464i         | 0,00777       | 0,08705+0,04204i                 | 0,08692+0,05603i               |                        |                            |
| 468                | 16      | 46,427               | 0,00072 | 72,41  | 0,06547+0,0074i                | 0,01375+0,03386i         | 0,00777       | 0,08699+0,04126i                 | 0,08692+0,05603i               | Optima_16              | 5                          |
| 469                | 17      | 48,169               | 0,00108 | 107,70 | 0,06547+0,0074i                | 0,02142+0,03955i         | 0,00882       | 0,09571+0,04695i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 470                | 17      | 48,189               | 0,00105 | 104,56 | 0,06547+0,0074i                | 0,02139+0,03957i         | 0,00882       | 0,09568+0,04697i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 471                | 17      | 47,979               | 0,00107 | 106,81 | 0,06547+0,0074i                | 0,02141+0,03959i         | 0,00882       | 0,0957+0,04699i                  | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 472                | 17      | 48,129               | 0,00105 | 104,56 | 0,06547+0,0074i                | 0,02139+0,03957i         | 0,00882       | 0,09568+0,04697i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 473                | 17      | 48,349               | 0,00103 | 102,87 | 0,06547+0,0074i                | 0,02137+0,03954i         | 0,00882       | 0,09566+0,04694i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 474                | 17      | 48,109               | 0,00100 | 99,94  | 0,06547+0,0074i                | 0,02134+0,03953i         | 0,00882       | 0,09563+0,04693i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 475                | 17      | 47,939               | 0,00103 | 102,74 | 0,06547+0,0074i                | 0,02137+0,03954i         | 0,00882       | 0,09566+0,04694i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 476                | 17      | 49,11                | 0,00100 | 99,61  | 0,06547+0,0074i                | 0,02134+0,03948i         | 0,00882       | 0,09563+0,04688i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 477                | 17      | 50,463               | 0,00102 | 101,88 | 0,06547+0,0074i                | 0,02136+0,03955i         | 0,00882       | 0,09565+0,04695i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 478                | 17      | 49,031               | 0,00098 | 98,29  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03952i         | 0,00882       | 0,09561+0,04692i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 479                | 17      | 48,92                | 0,00098 | 98,29  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03952i         | 0,00882       | 0,09561+0,04692i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 480                | 17      | 50,312               | 0,00099 | 99,35  | 0,06547+0,0074i                | 0,02134+0,03957i         | 0,00882       | 0,09563+0,04697i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 481                | 17      | 49,011               | 0,00098 | 98,29  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03952i         | 0,00882       | 0,09561+0,04692i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 482                | 17      | 49                   | 0,00098 | 98,29  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03952i         | 0,00882       | 0,09561+0,04692i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 483                | 17      | 48,93                | 0,00098 | 98,09  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03951i         | 0,00882       | 0,09561+0,04691i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 484                | 17      | 49,071               | 0,00098 | 98,24  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03953i         | 0,00882       | 0,09561+0,04693i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 485                | 17      | 49,351               | 0,00098 | 98,09  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03951i         | 0,00882       | 0,09561+0,04691i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 486                | 17      | 49,04                | 0,00098 | 97,99  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03939i         | 0,00882       | 0,09561+0,04679i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 487                | 17      | 49,091               | 0,00098 | 97,94  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03949i         | 0,00882       | 0,09561+0,04689i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 488                | 17      | 49,101               | 0,00098 | 97,94  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03949i         | 0,00882       | 0,09561+0,04689i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 489                | 17      | 49,05                | 0,00098 | 98,05  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03975i         | 0,00882       | 0,09561+0,04715i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 490                | 17      | 49,161               | 0,00098 | 97,94  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03949i         | 0,00882       | 0,09561+0,04689i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |

| Número de iteração | Hora DC | Tempo Cálculo [seg.] | perdas  |        | Potência gerada na rede [p.u.] |                          |               | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Solução ótima por hora | Referência da Configuração |
|--------------------|---------|----------------------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|
|                    |         |                      | [p.u.]  | [kW]   | C. Matiota Barramento 1        | C. Lazareto Barramento 3 | Parque Eólico |                                  |                                |                        |                            |
|                    |         |                      |         |        |                                |                          |               |                                  |                                |                        |                            |
| 491                | 17      | 49,07                | 0,00104 | 104,20 | 0,06547+0,0074i                | 0,02138+0,04027i         | 0,00882       | 0,09567+0,04767i                 | 0,09496+0,06097i               |                        |                            |
| 492                | 17      | 49,071               | 0,00098 | 97,94  | 0,06547+0,0074i                | 0,02132+0,03949i         | 0,00882       | 0,09561+0,04689i                 | 0,09496+0,06097i               | Optima_17              | 4                          |
| 493                | 18      | 49,201               | 0,00143 | 143,47 | 0,06547+0,0074i                | 0,02888+0,04528i         | 0,01008       | 0,10443+0,05268i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 494                | 18      | 49,25                | 0,00140 | 139,51 | 0,06547+0,0074i                | 0,02884+0,04528i         | 0,01008       | 0,10439+0,05268i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 495                | 18      | 49,211               | 0,00141 | 141,39 | 0,06547+0,0074i                | 0,02886+0,04527i         | 0,01008       | 0,10441+0,05267i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 496                | 18      | 49,141               | 0,00140 | 139,51 | 0,06547+0,0074i                | 0,02884+0,04528i         | 0,01008       | 0,10439+0,05268i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 497                | 18      | 49,502               | 0,00138 | 137,81 | 0,06547+0,0074i                | 0,02883+0,04524i         | 0,01008       | 0,10438+0,05264i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 498                | 18      | 49,151               | 0,00135 | 134,89 | 0,06547+0,0074i                | 0,0288+0,04523i          | 0,01008       | 0,10435+0,05263i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 499                | 18      | 49,171               | 0,00138 | 137,81 | 0,06547+0,0074i                | 0,02883+0,04524i         | 0,01008       | 0,10438+0,05264i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 500                | 18      | 50,162               | 0,00134 | 133,83 | 0,06547+0,0074i                | 0,02879+0,04516i         | 0,01008       | 0,10434+0,05256i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 501                | 18      | 51,424               | 0,00136 | 136,28 | 0,06547+0,0074i                | 0,02881+0,04521i         | 0,01008       | 0,10436+0,05261i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 502                | 18      | 49,922               | 0,00132 | 131,68 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04522i         | 0,01008       | 0,10431+0,05262i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 503                | 18      | 50,222               | 0,00132 | 131,68 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04522i         | 0,01008       | 0,10431+0,05262i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 504                | 18      | 51,243               | 0,00133 | 132,52 | 0,06547+0,0074i                | 0,02877+0,04526i         | 0,01008       | 0,10432+0,05266i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 505                | 18      | 50,142               | 0,00132 | 131,68 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04522i         | 0,01008       | 0,10431+0,05262i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 506                | 18      | 50,122               | 0,00132 | 131,68 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04522i         | 0,01008       | 0,10431+0,05262i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 507                | 18      | 49,992               | 0,00131 | 131,47 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04521i         | 0,01008       | 0,10431+0,05261i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 508                | 18      | 50,372               | 0,00132 | 131,63 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04523i         | 0,01008       | 0,10431+0,05263i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 509                | 18      | 50,052               | 0,00131 | 131,47 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04521i         | 0,01008       | 0,10431+0,05261i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 510                | 18      | 50,192               | 0,00131 | 131,36 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04509i         | 0,01008       | 0,10431+0,05249i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 511                | 18      | 50,193               | 0,00131 | 131,31 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04519i         | 0,01008       | 0,10431+0,05259i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 512                | 18      | 50,403               | 0,00131 | 131,31 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04519i         | 0,01008       | 0,10431+0,05259i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 513                | 18      | 50,082               | 0,00139 | 139,03 | 0,06547+0,0074i                | 0,02884+0,04596i         | 0,01008       | 0,10439+0,05336i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 514                | 18      | 50,162               | 0,00131 | 131,31 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04519i         | 0,01008       | 0,10431+0,05259i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 515                | 18      | 50,072               | 0,00132 | 131,52 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04545i         | 0,01008       | 0,10431+0,05285i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 516                | 18      | 50,183               | 0,00131 | 131,31 | 0,06547+0,0074i                | 0,02876+0,04519i         | 0,01008       | 0,10431+0,05259i                 | 0,103+0,06591i                 | Optima_18              | 4                          |
| 517                | 19      | 49,21                | 0,00284 | 283,81 |                                | 0,09723+0,05747i         | 0,00861       | 0,10584+0,05747i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 518                | 19      | 49,131               | 0,00274 | 273,92 |                                | 0,09713+0,05715i         | 0,00861       | 0,10574+0,05715i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 519                | 19      | 49,221               | 0,00270 | 270,31 |                                | 0,09709+0,05684i         | 0,00861       | 0,1057+0,05684i                  | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 520                | 19      | 49,521               | 0,00271 | 270,73 |                                | 0,0971+0,05674i          | 0,00861       | 0,10571+0,05674i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 521                | 19      | 49,131               | 0,00270 | 270,31 |                                | 0,09709+0,05684i         | 0,00861       | 0,1057+0,05684i                  | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 522                | 19      | 50,082               | 0,00263 | 262,76 |                                | 0,09702+0,05667i         | 0,00861       | 0,10563+0,05667i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 523                | 19      | 51,755               | 0,00256 | 255,54 |                                | 0,09695+0,05654i         | 0,00861       | 0,10556+0,05654i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 524                | 19      | 52,406               | 0,00252 | 252,00 |                                | 0,09691+0,05636i         | 0,00861       | 0,10552+0,05636i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 525                | 19      | 53,237               | 0,00250 | 250,34 |                                | 0,09689+0,05622i         | 0,00861       | 0,1055+0,05622i                  | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 526                | 19      | 53,647               | 0,00250 | 250,32 |                                | 0,09689+0,05622i         | 0,00861       | 0,1055+0,05622i                  | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 527                | 19      | 54,037               | 0,00250 | 250,45 |                                | 0,09689+0,05617i         | 0,00861       | 0,1055+0,05617i                  | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 528                | 19      | 53,637               | 0,00248 | 248,25 |                                | 0,09687+0,05618i         | 0,00861       | 0,10548+0,05618i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 529                | 19      | 53,938               | 0,00244 | 244,27 |                                | 0,09683+0,05616i         | 0,00861       | 0,10544+0,05616i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 530                | 19      | 53,778               | 0,00246 | 245,94 |                                | 0,09685+0,05617i         | 0,00861       | 0,10546+0,05617i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 531                | 19      | 55,1                 | 0,00242 | 242,31 |                                | 0,09681+0,05614i         | 0,00861       | 0,10542+0,05614i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 532                | 19      | 55,31                | 0,00242 | 241,90 |                                | 0,09681+0,05608i         | 0,00861       | 0,10542+0,05608i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 533                | 19      | 55,94                | 0,00241 | 241,25 |                                | 0,0968+0,05599i          | 0,00861       | 0,10541+0,05599i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 534                | 19      | 56,952               | 0,00241 | 240,80 |                                | 0,0968+0,05593i          | 0,00861       | 0,10541+0,05593i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 535                | 19      | 58,424               | 0,00241 | 241,16 |                                | 0,0968+0,05627i          | 0,00861       | 0,10541+0,05627i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 536                | 19      | 56,912               | 0,00241 | 240,80 |                                | 0,0968+0,05593i          | 0,00861       | 0,10541+0,05593i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 537                | 19      | 58,344               | 0,00241 | 241,16 |                                | 0,0968+0,05627i          | 0,00861       | 0,10541+0,05627i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 538                | 19      | 57,012               | 0,00241 | 240,80 |                                | 0,0968+0,05593i          | 0,00861       | 0,10541+0,05593i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 539                | 19      | 56,972               | 0,00239 | 238,53 |                                | 0,09678+0,05598i         | 0,00861       | 0,10539+0,05598i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 540                | 19      | 56,932               | 0,00239 | 238,53 |                                | 0,09678+0,05598i         | 0,00861       | 0,10539+0,05598i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 541                | 19      | 56,992               | 0,00238 | 238,31 |                                | 0,09677+0,05597i         | 0,00861       | 0,10538+0,05597i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 542                | 19      | 57,323               | 0,00238 | 238,48 |                                | 0,09677+0,05599i         | 0,00861       | 0,10538+0,05599i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 543                | 19      | 57,042               | 0,00238 | 238,31 |                                | 0,09677+0,05597i         | 0,00861       | 0,10538+0,05597i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 544                | 19      | 57,222               | 0,00248 | 248,25 |                                | 0,09687+0,05598i         | 0,00861       | 0,10548+0,05598i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 545                | 19      | 57,112               | 0,00238 | 238,31 |                                | 0,09677+0,05597i         | 0,00861       | 0,10538+0,05597i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 546                | 19      | 56,992               | 0,00238 | 238,10 |                                | 0,09677+0,05597i         | 0,00861       | 0,10538+0,05597i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 547                | 19      | 57,002               | 0,00238 | 238,16 |                                | 0,09677+0,056i           | 0,00861       | 0,10538+0,056i                   | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 548                | 19      | 56,972               | 0,00238 | 237,99 |                                | 0,09677+0,05585i         | 0,00861       | 0,10538+0,05585i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 549                | 19      | 57,082               | 0,00238 | 237,94 |                                | 0,09677+0,05595i         | 0,00861       | 0,10538+0,05595i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 550                | 19      | 56,872               | 0,00238 | 237,94 |                                | 0,09677+0,05595i         | 0,00861       | 0,10538+0,05595i                 | 0,103+0,06591i                 | Optima_19              | 2                          |
| 551                | 20      | 49,05                | 0,00284 | 283,97 |                                | 0,09681+0,05747i         | 0,00903       | 0,10584+0,05747i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 552                | 20      | 49,521               | 0,00274 | 274,09 |                                | 0,09671+0,05715i         | 0,00903       | 0,10574+0,05715i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 553                | 20      | 49,021               | 0,00270 | 270,48 |                                | 0,09667+0,05684i         | 0,00903       | 0,1057+0,05684i                  | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 554                | 20      | 49,041               | 0,00271 | 270,90 |                                | 0,09668+0,05674i         | 0,00903       | 0,10571+0,05674i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 555                | 20      | 49,19                | 0,00270 | 270,48 |                                | 0,09667+0,05684i         | 0,00903       | 0,1057+0,05684i                  | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 556                | 20      | 50,092               | 0,00263 | 262,92 |                                | 0,0966+0,05667i          | 0,00903       | 0,10563+0,05667i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 557                | 20      | 51,554               | 0,00256 | 255,71 |                                | 0,09653+0,05654i         | 0,00903       | 0,10556+0,05654i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 558                | 20      | 52,385               | 0,00252 | 252,17 |                                | 0,09649+0,05636i         | 0,00903       | 0,10552+0,05636i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 559                | 20      | 53,156               | 0,00251 | 250,50 |                                | 0,09648+0,05622i         | 0,00903       | 0,10551+0,05622i                 | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |
| 560                | 20      | 53,707               | 0,00250 | 250,49 |                                | 0,09647+0,05622i         | 0,00903       | 0,1055+0,05622i                  | 0,103+0,06591i                 |                        |                            |

| Número de iteração | Hora DC | Tempo Cálculo [seg.] | perdas  |        | Potência gerada na rede [p.u.] |                          |               | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Solução optima por hora | Referência da Configuração |
|--------------------|---------|----------------------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                    |         |                      | [p.u.]  | [kW]   | C. Matiota Barramento 1        | C. Lazareto Barramento 3 | Parque Eólico |                                  |                                |                         |                            |
| 561                | 20      | 54,108               | 0,00251 | 250,62 |                                | 0,09648+0,05617i         | 0,00903       | 0,10551+0,05617i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 562                | 20      | 53,777               | 0,00248 | 248,41 |                                | 0,09645+0,05618i         | 0,00903       | 0,10548+0,05618i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 563                | 20      | 53,967               | 0,00244 | 244,44 |                                | 0,09641+0,05616i         | 0,00903       | 0,10544+0,05616i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 564                | 20      | 53,727               | 0,00246 | 246,11 |                                | 0,09643+0,05617i         | 0,00903       | 0,10546+0,05617i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 565                | 20      | 54,719               | 0,00242 | 242,47 |                                | 0,09639+0,05614i         | 0,00903       | 0,10542+0,05614i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 566                | 20      | 55,259               | 0,00242 | 242,07 |                                | 0,09639+0,05608i         | 0,00903       | 0,10542+0,05608i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 567                | 20      | 55,96                | 0,00241 | 241,42 |                                | 0,09638+0,05599i         | 0,00903       | 0,10541+0,05599i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 568                | 20      | 57,042               | 0,00241 | 240,97 |                                | 0,09638+0,05593i         | 0,00903       | 0,10541+0,05593i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 569                | 20      | 58,314               | 0,00241 | 241,33 |                                | 0,09638+0,05627i         | 0,00903       | 0,10541+0,05627i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 570                | 20      | 57,012               | 0,00241 | 240,97 |                                | 0,09638+0,05593i         | 0,00903       | 0,10541+0,05593i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 571                | 20      | 58,324               | 0,00241 | 241,33 |                                | 0,09638+0,05627i         | 0,00903       | 0,10541+0,05627i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 572                | 20      | 56,992               | 0,00241 | 240,97 |                                | 0,09638+0,05593i         | 0,00903       | 0,10541+0,05593i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 573                | 20      | 57,042               | 0,00239 | 238,70 |                                | 0,09636+0,05599i         | 0,00903       | 0,10539+0,05599i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 574                | 20      | 57,363               | 0,00239 | 238,70 |                                | 0,09636+0,05599i         | 0,00903       | 0,10539+0,05599i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 575                | 20      | 56,992               | 0,00238 | 238,48 |                                | 0,09635+0,05597i         | 0,00903       | 0,10538+0,05597i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 576                | 20      | 57,122               | 0,00239 | 238,65 |                                | 0,09636+0,05599i         | 0,00903       | 0,10539+0,05599i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 577                | 20      | 56,992               | 0,00238 | 238,48 |                                | 0,09635+0,05597i         | 0,00903       | 0,10538+0,05597i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 578                | 20      | 57,493               | 0,00248 | 248,41 |                                | 0,09645+0,05598i         | 0,00903       | 0,10548+0,05598i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 579                | 20      | 57,032               | 0,00238 | 238,48 |                                | 0,09635+0,05597i         | 0,00903       | 0,10538+0,05597i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 580                | 20      | 57,002               | 0,00238 | 238,27 |                                | 0,09635+0,05597i         | 0,00903       | 0,10538+0,05597i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 581                | 20      | 57,022               | 0,00238 | 238,32 |                                | 0,09635+0,056i           | 0,00903       | 0,10538+0,056i                   | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 582                | 20      | 56,962               | 0,00238 | 238,16 |                                | 0,09635+0,05585i         | 0,00903       | 0,10538+0,05585i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 583                | 20      | 57,052               | 0,00238 | 238,11 |                                | 0,09635+0,05595i         | 0,00903       | 0,10538+0,05595i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 584                | 20      | 57,383               | 0,00238 | 238,11 |                                | 0,09635+0,05595i         | 0,00903       | 0,10538+0,05595i                 | 0,103+0,06591i                 | Optima_20               | 2                          |
| 585                | 21      | 49,07                | 0,00285 | 284,72 |                                | 0,09514+0,05748i         | 0,01071       | 0,10585+0,05748i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 586                | 21      | 49,121               | 0,00275 | 274,83 |                                | 0,09504+0,05716i         | 0,01071       | 0,10575+0,05716i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 587                | 21      | 49,121               | 0,00271 | 271,22 |                                | 0,095+0,05685i           | 0,01071       | 0,10571+0,05685i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 588                | 21      | 49,1                 | 0,00272 | 271,64 |                                | 0,09501+0,05674i         | 0,01071       | 0,10572+0,05674i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 589                | 21      | 48,98                | 0,00271 | 271,22 |                                | 0,095+0,05685i           | 0,01071       | 0,10571+0,05685i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 590                | 21      | 50,132               | 0,00264 | 263,67 |                                | 0,09493+0,05668i         | 0,01071       | 0,10564+0,05668i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 591                | 21      | 51,644               | 0,00256 | 256,45 |                                | 0,09485+0,05655i         | 0,01071       | 0,10556+0,05655i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 592                | 21      | 52,415               | 0,00253 | 252,91 |                                | 0,09482+0,05637i         | 0,01071       | 0,10553+0,05637i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 593                | 21      | 53,087               | 0,00251 | 251,25 |                                | 0,0948+0,05622i          | 0,01071       | 0,10551+0,05622i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 594                | 21      | 53,838               | 0,00251 | 251,24 |                                | 0,0948+0,05623i          | 0,01071       | 0,10551+0,05623i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 595                | 21      | 54,138               | 0,00251 | 251,36 |                                | 0,0948+0,05618i          | 0,01071       | 0,10551+0,05618i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 596                | 21      | 54,088               | 0,00249 | 249,16 |                                | 0,09478+0,05619i         | 0,01071       | 0,10549+0,05619i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 597                | 21      | 53,607               | 0,00245 | 245,18 |                                | 0,09474+0,05617i         | 0,01071       | 0,10545+0,05617i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 598                | 21      | 53,878               | 0,00247 | 246,85 |                                | 0,09476+0,05618i         | 0,01071       | 0,10547+0,05618i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 599                | 21      | 54,668               | 0,00243 | 243,22 |                                | 0,09472+0,05615i         | 0,01071       | 0,10543+0,05615i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 600                | 21      | 55,33                | 0,00243 | 242,81 |                                | 0,09472+0,05609i         | 0,01071       | 0,10543+0,05609i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 601                | 21      | 55,971               | 0,00242 | 242,16 |                                | 0,09471+0,056i           | 0,01071       | 0,10542+0,056i                   | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 602                | 21      | 57,042               | 0,00242 | 241,71 |                                | 0,09471+0,05594i         | 0,01071       | 0,10542+0,05594i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 603                | 21      | 58,173               | 0,00242 | 242,07 |                                | 0,09471+0,05628i         | 0,01071       | 0,10542+0,05628i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 604                | 21      | 56,972               | 0,00242 | 241,71 |                                | 0,09471+0,05594i         | 0,01071       | 0,10542+0,05594i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 605                | 21      | 58,434               | 0,00242 | 242,07 |                                | 0,09471+0,05628i         | 0,01071       | 0,10542+0,05628i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 606                | 21      | 57,282               | 0,00242 | 241,71 |                                | 0,09471+0,05594i         | 0,01071       | 0,10542+0,05594i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 607                | 21      | 56,962               | 0,00239 | 239,44 |                                | 0,09468+0,05599i         | 0,01071       | 0,10539+0,05599i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 608                | 21      | 56,862               | 0,00239 | 239,44 |                                | 0,09468+0,05599i         | 0,01071       | 0,10539+0,05599i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 609                | 21      | 56,902               | 0,00239 | 239,22 |                                | 0,09468+0,05598i         | 0,01071       | 0,10539+0,05598i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 610                | 21      | 57,032               | 0,00239 | 239,39 |                                | 0,09468+0,056i           | 0,01071       | 0,10539+0,056i                   | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 611                | 21      | 57,212               | 0,00239 | 239,22 |                                | 0,09468+0,05598i         | 0,01071       | 0,10539+0,05598i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 612                | 21      | 57,222               | 0,00249 | 249,16 |                                | 0,09478+0,05599i         | 0,01071       | 0,10549+0,05599i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 613                | 21      | 57,032               | 0,00239 | 239,22 |                                | 0,09468+0,05598i         | 0,01071       | 0,10539+0,05598i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 614                | 21      | 56,972               | 0,00239 | 239,01 |                                | 0,09468+0,05598i         | 0,01071       | 0,10539+0,05598i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 615                | 21      | 56,931               | 0,00239 | 239,07 |                                | 0,09468+0,05601i         | 0,01071       | 0,10539+0,05601i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 616                | 21      | 57,393               | 0,00239 | 238,90 |                                | 0,09468+0,05586i         | 0,01071       | 0,10539+0,05586i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 617                | 21      | 56,981               | 0,00239 | 238,85 |                                | 0,09468+0,05596i         | 0,01071       | 0,10539+0,05596i                 | 0,103+0,06591i                 |                         |                            |
| 618                | 21      | 57,032               | 0,00239 | 238,85 |                                | 0,09468+0,05596i         | 0,01071       | 0,10539+0,05596i                 | 0,103+0,06591i                 | Optima_21               | 2                          |
| 619                | 22      | 48,239               | 0,00236 | 236,12 |                                | 0,08325+0,04937i         | 0,01155       | 0,0948+0,04937i                  | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |
| 620                | 22      | 48,4                 | 0,00229 | 229,05 |                                | 0,08317+0,04914i         | 0,01155       | 0,09472+0,04914i                 | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |
| 621                | 22      | 48,409               | 0,00226 | 226,14 |                                | 0,08315+0,0489i          | 0,01155       | 0,0947+0,0489i                   | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |
| 622                | 22      | 48,44                | 0,00226 | 226,28 |                                | 0,08315+0,04883i         | 0,01155       | 0,0947+0,04883i                  | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |
| 623                | 22      | 48,48                | 0,00226 | 226,14 |                                | 0,08315+0,0489i          | 0,01155       | 0,0947+0,0489i                   | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |
| 624                | 22      | 49,461               | 0,00219 | 219,41 |                                | 0,08308+0,04875i         | 0,01155       | 0,09463+0,04875i                 | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |
| 625                | 22      | 51,103               | 0,00213 | 213,26 |                                | 0,08302+0,04865i         | 0,01155       | 0,09457+0,04865i                 | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |
| 626                | 22      | 51,965               | 0,00211 | 210,51 |                                | 0,08299+0,04848i         | 0,01155       | 0,09454+0,04848i                 | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |
| 627                | 22      | 52,836               | 0,00210 | 209,53 |                                | 0,08298+0,04835i         | 0,01155       | 0,09453+0,04835i                 | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |
| 628                | 22      | 53,547               | 0,00210 | 209,73 |                                | 0,08298+0,04837i         | 0,01155       | 0,09453+0,04837i                 | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |
| 629                | 22      | 52,696               | 0,00208 | 207,92 |                                | 0,08296+0,04832i         | 0,01155       | 0,09451+0,04832i                 | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |
| 630                | 22      | 52,616               | 0,00206 | 205,56 |                                | 0,08294+0,04831i         | 0,01155       | 0,09449+0,04831i                 | 0,09465+0,06028i               |                         |                            |

| Número de iteração | Hora DC | Tempo Cálculo [seg.] | perdas  |        | Potência gerada na rede [p.u.] |                          |               | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Solução ótima por hora | Referência da Configuração |
|--------------------|---------|----------------------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|
|                    |         |                      | [p.u.]  | [kW]   | C. Matiota Barramento 1        | C. Lazareto Barramento 3 | Parque Eólico |                                  |                                |                        |                            |
| 631                | 22      | 52,776               | 0,00207 | 206,77 |                                | 0,08295+0,04831i         | 0,01155       | 0,0945+0,04831i                  | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 632                | 22      | 53,767               | 0,00204 | 203,92 |                                | 0,08292+0,0483i          | 0,01155       | 0,09447+0,0483i                  | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 633                | 22      | 54,258               | 0,00204 | 203,67 |                                | 0,08292+0,04825i         | 0,01155       | 0,09447+0,04825i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 634                | 22      | 55,05                | 0,00203 | 203,15 |                                | 0,08292+0,04816i         | 0,01155       | 0,09447+0,04816i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 635                | 22      | 55,901               | 0,00203 | 202,88 |                                | 0,08291+0,0481i          | 0,01155       | 0,09446+0,0481i                  | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 636                | 22      | 57,313               | 0,00203 | 203,27 |                                | 0,08292+0,04845i         | 0,01155       | 0,09447+0,04845i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 637                | 22      | 56,05                | 0,00201 | 200,63 |                                | 0,08289+0,04816i         | 0,01155       | 0,09444+0,04816i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 638                | 22      | 55,951               | 0,00201 | 200,63 |                                | 0,08289+0,04816i         | 0,01155       | 0,09444+0,04816i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 639                | 22      | 56,391               | 0,00201 | 200,63 |                                | 0,08289+0,04816i         | 0,01155       | 0,09444+0,04816i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 640                | 22      | 56,11                | 0,00200 | 200,49 |                                | 0,08289+0,04815i         | 0,01155       | 0,09444+0,04815i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 641                | 22      | 57,293               | 0,00201 | 200,60 |                                | 0,08289+0,04817i         | 0,01155       | 0,09444+0,04817i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 642                | 22      | 56,131               | 0,00200 | 200,49 |                                | 0,08289+0,04815i         | 0,01155       | 0,09444+0,04815i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 643                | 22      | 56,171               | 0,00209 | 208,80 |                                | 0,08297+0,04814i         | 0,01155       | 0,09452+0,04814i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 644                | 22      | 55,99                | 0,00200 | 200,49 |                                | 0,08289+0,04815i         | 0,01155       | 0,09444+0,04815i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 645                | 22      | 55,95                | 0,00200 | 200,42 |                                | 0,08289+0,04803i         | 0,01155       | 0,09444+0,04803i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 646                | 22      | 56,011               | 0,00200 | 200,38 |                                | 0,08289+0,04813i         | 0,01155       | 0,09444+0,04813i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 647                | 22      | 55,951               | 0,00200 | 200,38 |                                | 0,08289+0,04813i         | 0,01155       | 0,09444+0,04813i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 648                | 22      | 55,971               | 0,00200 | 200,27 |                                | 0,08289+0,04813i         | 0,01155       | 0,09444+0,04813i                 | 0,09465+0,06028i               |                        |                            |
| 649                | 22      | 56,211               | 0,00200 | 200,27 |                                | 0,08289+0,04813i         | 0,01155       | 0,09444+0,04813i                 | 0,09465+0,06028i               | Optima_22              | 1                          |
| 650                | 23      | 47,388               | 0,00176 | 176,24 |                                | 0,06659+0,03755i         | 0,01176       | 0,07835+0,03755i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 651                | 23      | 47,258               | 0,00172 | 172,43 |                                | 0,06655+0,03744i         | 0,01176       | 0,07831+0,03744i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 652                | 23      | 47,268               | 0,00170 | 170,40 |                                | 0,06653+0,03728i         | 0,01176       | 0,07829+0,03728i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 653                | 23      | 47,158               | 0,00170 | 170,31 |                                | 0,06653+0,03725i         | 0,01176       | 0,07829+0,03725i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 654                | 23      | 47,308               | 0,00170 | 170,31 |                                | 0,06653+0,03725i         | 0,01176       | 0,07829+0,03725i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 655                | 23      | 47,328               | 0,00170 | 169,54 |                                | 0,06652+0,03717i         | 0,01176       | 0,07828+0,03717i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 656                | 23      | 47,278               | 0,00170 | 170,00 |                                | 0,06653+0,03709i         | 0,01176       | 0,07829+0,03709i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 657                | 23      | 47,258               | 0,00170 | 169,54 |                                | 0,06652+0,03717i         | 0,01176       | 0,07828+0,03717i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 658                | 23      | 48,66                | 0,00164 | 164,12 |                                | 0,06647+0,03704i         | 0,01176       | 0,07823+0,03704i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 659                | 23      | 50,353               | 0,00160 | 159,66 |                                | 0,06642+0,03698i         | 0,01176       | 0,07818+0,03698i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 660                | 23      | 51,274               | 0,00158 | 158,16 |                                | 0,06641+0,03684i         | 0,01176       | 0,07817+0,03684i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 661                | 23      | 52,245               | 0,00158 | 158,25 |                                | 0,06641+0,03673i         | 0,01176       | 0,07817+0,03673i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 662                | 23      | 52,295               | 0,00157 | 156,92 |                                | 0,06639+0,03684i         | 0,01176       | 0,07815+0,03684i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 663                | 23      | 52,716               | 0,00157 | 156,84 |                                | 0,06639+0,0368i          | 0,01176       | 0,07815+0,0368i                  | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 664                | 23      | 53,467               | 0,00156 | 156,46 |                                | 0,06639+0,03672i         | 0,01176       | 0,07815+0,03672i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 665                | 23      | 54,428               | 0,00156 | 156,38 |                                | 0,06639+0,03668i         | 0,01176       | 0,07815+0,03668i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 666                | 23      | 55,69                | 0,00157 | 156,78 |                                | 0,06639+0,03703i         | 0,01176       | 0,07815+0,03703i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 667                | 23      | 54,378               | 0,00154 | 154,17 |                                | 0,06637+0,03673i         | 0,01176       | 0,07813+0,03673i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 668                | 23      | 54,348               | 0,00154 | 154,17 |                                | 0,06637+0,03673i         | 0,01176       | 0,07813+0,03673i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 669                | 23      | 54,439               | 0,00154 | 154,17 |                                | 0,06637+0,03673i         | 0,01176       | 0,07813+0,03673i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 670                | 23      | 54,298               | 0,00154 | 154,11 |                                | 0,06637+0,03672i         | 0,01176       | 0,07813+0,03672i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 671                | 23      | 54,298               | 0,00154 | 154,16 |                                | 0,06637+0,03674i         | 0,01176       | 0,07813+0,03674i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 672                | 23      | 54,979               | 0,00160 | 159,75 |                                | 0,06642+0,0367i          | 0,01176       | 0,07818+0,0367i                  | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 673                | 23      | 54,328               | 0,00154 | 154,11 |                                | 0,06637+0,03672i         | 0,01176       | 0,07813+0,03672i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 674                | 23      | 54,418               | 0,00154 | 154,16 |                                | 0,06637+0,03674i         | 0,01176       | 0,07813+0,03674i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 675                | 23      | 54,428               | 0,00154 | 154,11 |                                | 0,06637+0,03672i         | 0,01176       | 0,07813+0,03672i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 676                | 23      | 54,659               | 0,00154 | 154,07 |                                | 0,06637+0,0366i          | 0,01176       | 0,07813+0,0366i                  | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 677                | 23      | 54,439               | 0,00154 | 154,06 |                                | 0,06637+0,0367i          | 0,01176       | 0,07813+0,0367i                  | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 678                | 23      | 54,388               | 0,00154 | 154,06 |                                | 0,06637+0,0367i          | 0,01176       | 0,07813+0,0367i                  | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 679                | 23      | 54,318               | 0,00157 | 156,69 |                                | 0,06639+0,03746i         | 0,01176       | 0,07815+0,03746i                 | 0,08213+0,05184i               |                        |                            |
| 680                | 23      | 54,378               | 0,00154 | 154,06 |                                | 0,06637+0,0367i          | 0,01176       | 0,07813+0,0367i                  | 0,08213+0,05184i               | Optima_23              | 7                          |
| 681                | 24      | 46,006               | 0,00125 | 124,54 |                                | 0,05667+0,03016i         | 0,01113       | 0,0678+0,03016i                  | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 682                | 24      | 46,006               | 0,00122 | 121,51 |                                | 0,05664+0,03007i         | 0,01113       | 0,06777+0,03007i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 683                | 24      | 46,387               | 0,00120 | 120,12 |                                | 0,05662+0,02995i         | 0,01113       | 0,06775+0,02995i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 684                | 24      | 45,966               | 0,00120 | 120,14 |                                | 0,05662+0,02992i         | 0,01113       | 0,06775+0,02992i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 685                | 24      | 46,026               | 0,00120 | 120,12 |                                | 0,05662+0,02995i         | 0,01113       | 0,06775+0,02995i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 686                | 24      | 47,058               | 0,00116 | 116,45 |                                | 0,05659+0,02985i         | 0,01113       | 0,06772+0,02985i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 687                | 24      | 48,69                | 0,00113 | 113,34 |                                | 0,05655+0,02983i         | 0,01113       | 0,06768+0,02983i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 688                | 24      | 49,582               | 0,00112 | 112,07 |                                | 0,05654+0,02972i         | 0,01113       | 0,06767+0,02972i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 689                | 24      | 50,463               | 0,00112 | 111,83 |                                | 0,05654+0,02963i         | 0,01113       | 0,06767+0,02963i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 690                | 24      | 50,983               | 0,00112 | 112,04 |                                | 0,05654+0,02966i         | 0,01113       | 0,06767+0,02966i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 691                | 24      | 50,502               | 0,00111 | 111,07 |                                | 0,05653+0,0296i          | 0,01113       | 0,06766+0,0296i                  | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 692                | 24      | 50,513               | 0,00110 | 110,25 |                                | 0,05652+0,0296i          | 0,01113       | 0,06765+0,0296i                  | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 693                | 24      | 50,602               | 0,00111 | 110,79 |                                | 0,05653+0,0296i          | 0,01113       | 0,06766+0,0296i                  | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 694                | 24      | 51,725               | 0,00110 | 109,57 |                                | 0,05652+0,02962i         | 0,01113       | 0,06765+0,02962i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 695                | 24      | 52,396               | 0,00110 | 109,53 |                                | 0,05652+0,02958i         | 0,01113       | 0,06765+0,02958i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 696                | 24      | 52,596               | 0,00109 | 109,34 |                                | 0,05651+0,02951i         | 0,01113       | 0,06764+0,02951i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 697                | 24      | 53,587               | 0,00109 | 109,32 |                                | 0,05651+0,02947i         | 0,01113       | 0,06764+0,02947i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 698                | 24      | 54,839               | 0,00110 | 109,67 |                                | 0,05652+0,02982i         | 0,01113       | 0,06765+0,02982i                 | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 699                | 24      | 53,617               | 0,00108 | 107,92 |                                | 0,0565+0,0295i           | 0,01113       | 0,06763+0,0295i                  | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |
| 700                | 24      | 53,648               | 0,00108 | 107,92 |                                | 0,0565+0,0295i           | 0,01113       | 0,06763+0,0295i                  | 0,06988+0,04429i               |                        |                            |

| Número de iteração | Hora DC | Tempo Cálculo [seg.] | perdas  |        | Potência gerada na rede [p.u.] |                          |               | Potência total de Geração [p.u.] | Potência total da carga [p.u.] | Solução optima por hora | Referência da Configuração |
|--------------------|---------|----------------------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                    |         |                      | [p.u.]  | [kW]   | C. Matiota Barramento 1        | C. Lazareto Barramento 3 | Parque Eólico |                                  |                                |                         |                            |
| 701                | 24      | 53,597               | 0,00108 | 107,92 |                                | 0,0565+0,0295i           | 0,01113       | 0,06763+0,0295i                  | 0,06988+0,04429i               |                         |                            |
| 702                | 24      | 53,897               | 0,00113 | 112,70 |                                | 0,0565+0,02947i          | 0,01113       | 0,06768+0,02947i                 | 0,06988+0,04429i               |                         |                            |
| 703                | 24      | 53,587               | 0,00108 | 107,92 |                                | 0,0565+0,0295i           | 0,01113       | 0,06763+0,0295i                  | 0,06988+0,04429i               |                         |                            |
| 704                | 24      | 53,617               | 0,00108 | 107,87 |                                | 0,0565+0,02949i          | 0,01113       | 0,06763+0,02949i                 | 0,06988+0,04429i               |                         |                            |
| 705                | 24      | 53,647               | 0,00108 | 107,92 |                                | 0,0565+0,02951i          | 0,01113       | 0,06763+0,02951i                 | 0,06988+0,04429i               |                         |                            |
| 706                | 24      | 54,007               | 0,00108 | 107,87 |                                | 0,0565+0,02949i          | 0,01113       | 0,06763+0,02949i                 | 0,06988+0,04429i               |                         |                            |
| 707                | 24      | 53,978               | 0,00108 | 107,83 |                                | 0,0565+0,02937i          | 0,01113       | 0,06763+0,02937i                 | 0,06988+0,04429i               |                         |                            |
| 708                | 24      | 53,677               | 0,00108 | 107,82 |                                | 0,0565+0,02947i          | 0,01113       | 0,06763+0,02947i                 | 0,06988+0,04429i               |                         |                            |
| 709                | 24      | 53,597               | 0,00108 | 107,82 |                                | 0,0565+0,02947i          | 0,01113       | 0,06763+0,02947i                 | 0,06988+0,04429i               |                         |                            |
| 710                | 24      | 53,647               | 0,00108 | 107,77 |                                | 0,0565+0,02947i          | 0,01113       | 0,06763+0,02947i                 | 0,06988+0,04429i               |                         |                            |
| 711                | 24      | 53,768               | 0,00108 | 107,77 |                                | 0,0565+0,02947i          | 0,01113       | 0,06763+0,02947i                 | 0,06988+0,04429i               | Optima 24               | 1                          |

**Referência da configuração:**

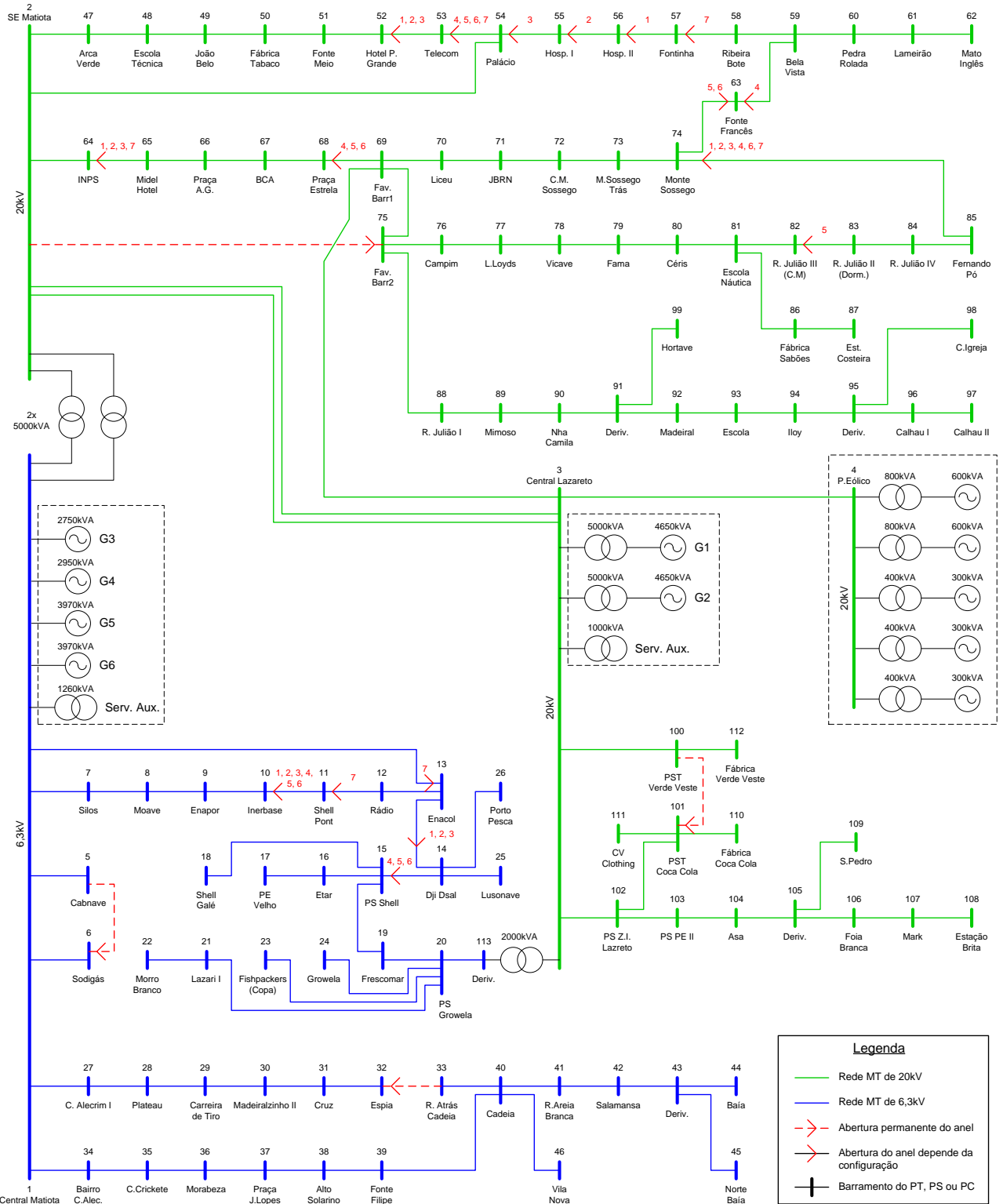
| Barramentos |      | Configurações |   |   |   |   |   |   |
|-------------|------|---------------|---|---|---|---|---|---|
| de          | para | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1           | 5    |               |   |   |   |   |   |   |
| 1           | 6    |               |   |   |   |   |   |   |
| 1           | 7    |               |   |   |   |   |   |   |
| 1           | 13   |               |   |   |   |   |   |   |
| 1           | 27   |               |   |   |   |   |   |   |
| 1           | 34   |               |   |   |   |   |   |   |
| 2           | 3    |               |   |   |   |   |   |   |
| 2           | 47   |               |   |   |   |   |   |   |
| 2           | 54   |               |   |   |   |   |   |   |
| 2           | 64   |               |   |   |   |   |   |   |
| 2           | 75   |               |   |   |   |   |   |   |
| 3           | 4    |               |   |   |   |   |   |   |
| 3           | 69   |               |   |   |   |   |   |   |
| 3           | 100  |               |   |   |   |   |   |   |
| 3           | 102  |               |   |   |   |   |   |   |
| 5           | 6    |               |   |   |   |   |   |   |
| 7           | 8    |               |   |   |   |   |   |   |
| 8           | 9    |               |   |   |   |   |   |   |
| 9           | 10   |               |   |   |   |   |   |   |
| 10          | 11   |               |   |   |   |   |   |   |
| 11          | 12   |               |   |   |   |   |   |   |
| 12          | 13   |               |   |   |   |   |   |   |
| 13          | 14   |               |   |   |   |   |   |   |
| 14          | 15   |               |   |   |   |   |   |   |
| 14          | 25   |               |   |   |   |   |   |   |
| 14          | 26   |               |   |   |   |   |   |   |
| 15          | 16   |               |   |   |   |   |   |   |
| 15          | 18   |               |   |   |   |   |   |   |
| 15          | 19   |               |   |   |   |   |   |   |
| 16          | 17   |               |   |   |   |   |   |   |
| 19          | 20   |               |   |   |   |   |   |   |
| 20          | 21   |               |   |   |   |   |   |   |
| 20          | 23   |               |   |   |   |   |   |   |
| 20          | 24   |               |   |   |   |   |   |   |
| 20          | 113  |               |   |   |   |   |   |   |
| 21          | 22   |               |   |   |   |   |   |   |
| 27          | 28   |               |   |   |   |   |   |   |
| 28          | 29   |               |   |   |   |   |   |   |
| 29          | 30   |               |   |   |   |   |   |   |
| 30          | 31   |               |   |   |   |   |   |   |

| Barramentos |      | Configurações |   |   |   |   |   |   |
|-------------|------|---------------|---|---|---|---|---|---|
| de          | para | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 31          | 32   |               |   |   |   |   |   |   |
| 32          | 33   |               |   |   |   |   |   |   |
| 33          | 40   |               |   |   |   |   |   |   |
| 34          | 35   |               |   |   |   |   |   |   |
| 35          | 36   |               |   |   |   |   |   |   |
| 36          | 37   |               |   |   |   |   |   |   |
| 37          | 38   |               |   |   |   |   |   |   |
| 38          | 39   |               |   |   |   |   |   |   |
| 39          | 40   |               |   |   |   |   |   |   |
| 40          | 41   |               |   |   |   |   |   |   |
| 40          | 46   |               |   |   |   |   |   |   |
| 41          | 42   |               |   |   |   |   |   |   |
| 42          | 43   |               |   |   |   |   |   |   |
| 43          | 44   |               |   |   |   |   |   |   |
| 43          | 45   |               |   |   |   |   |   |   |
| 47          | 48   |               |   |   |   |   |   |   |
| 48          | 49   |               |   |   |   |   |   |   |
| 49          | 50   |               |   |   |   |   |   |   |
| 50          | 51   |               |   |   |   |   |   |   |
| 51          | 52   |               |   |   |   |   |   |   |
| 52          | 53   |               |   |   |   |   |   |   |
| 53          | 54   |               |   |   |   |   |   |   |
| 54          | 55   |               |   |   |   |   |   |   |
| 55          | 56   |               |   |   |   |   |   |   |
| 56          | 57   |               |   |   |   |   |   |   |
| 57          | 58   |               |   |   |   |   |   |   |
| 58          | 59   |               |   |   |   |   |   |   |
| 59          | 60   |               |   |   |   |   |   |   |
| 59          | 63   |               |   |   |   |   |   |   |
| 60          | 61   |               |   |   |   |   |   |   |
| 61          | 62   |               |   |   |   |   |   |   |
| 63          | 74   |               |   |   |   |   |   |   |
| 64          | 65   |               |   |   |   |   |   |   |
| 65          | 66   |               |   |   |   |   |   |   |
| 66          | 67   |               |   |   |   |   |   |   |
| 67          | 68   |               |   |   |   |   |   |   |
| 68          | 69   |               |   |   |   |   |   |   |
| 69          | 70   |               |   |   |   |   |   |   |
| 69          | 75   |               |   |   |   |   |   |   |
| 70          | 71   |               |   |   |   |   |   |   |

| Barramentos |      | Configurações |   |   |   |   |   |   |
|-------------|------|---------------|---|---|---|---|---|---|
| de          | para | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 71          | 72   |               |   |   |   |   |   |   |
| 72          | 73   |               |   |   |   |   |   |   |
| 73          | 74   |               |   |   |   |   |   |   |
| 74          | 85   |               |   |   |   |   |   |   |
| 75          | 76   |               |   |   |   |   |   |   |
| 75          | 88   |               |   |   |   |   |   |   |
| 76          | 77   |               |   |   |   |   |   |   |
| 77          | 78   |               |   |   |   |   |   |   |
| 78          | 79   |               |   |   |   |   |   |   |
| 79          | 80   |               |   |   |   |   |   |   |
| 80          | 81   |               |   |   |   |   |   |   |
| 81          | 82   |               |   |   |   |   |   |   |
| 81          | 86   |               |   |   |   |   |   |   |
| 82          | 83   |               |   |   |   |   |   |   |
| 83          | 84   |               |   |   |   |   |   |   |
| 84          | 85   |               |   |   |   |   |   |   |
| 86          | 87   |               |   |   |   |   |   |   |
| 88          | 89   |               |   |   |   |   |   |   |
| 89          | 90   |               |   |   |   |   |   |   |
| 90          | 91   |               |   |   |   |   |   |   |
| 91          | 92   |               |   |   |   |   |   |   |
| 91          | 99   |               |   |   |   |   |   |   |
| 92          | 93   |               |   |   |   |   |   |   |
| 93          | 94   |               |   |   |   |   |   |   |
| 94          | 95   |               |   |   |   |   |   |   |
| 95          | 96   |               |   |   |   |   |   |   |
| 95          | 98   |               |   |   |   |   |   |   |
| 96          | 97   |               |   |   |   |   |   |   |
| 100         | 101  |               |   |   |   |   |   |   |
| 100         | 112  |               |   |   |   |   |   |   |
| 101         | 102  |               |   |   |   |   |   |   |
| 101         | 110  |               |   |   |   |   |   |   |
| 101         | 111  |               |   |   |   |   |   |   |
| 102         | 103  |               |   |   |   |   |   |   |
| 103         | 104  |               |   |   |   |   |   |   |
| 104         | 105  |               |   |   |   |   |   |   |
| 105         | 106  |               |   |   |   |   |   |   |
| 105         | 109  |               |   |   |   |   |   |   |
| 106         | 107  |               |   |   |   |   |   |   |
| 107         | 108  |               |   |   |   |   |   |   |

**Nota:** quadrícula “verde” representa linha ligada, quadrícula “branca” representa linha desligada

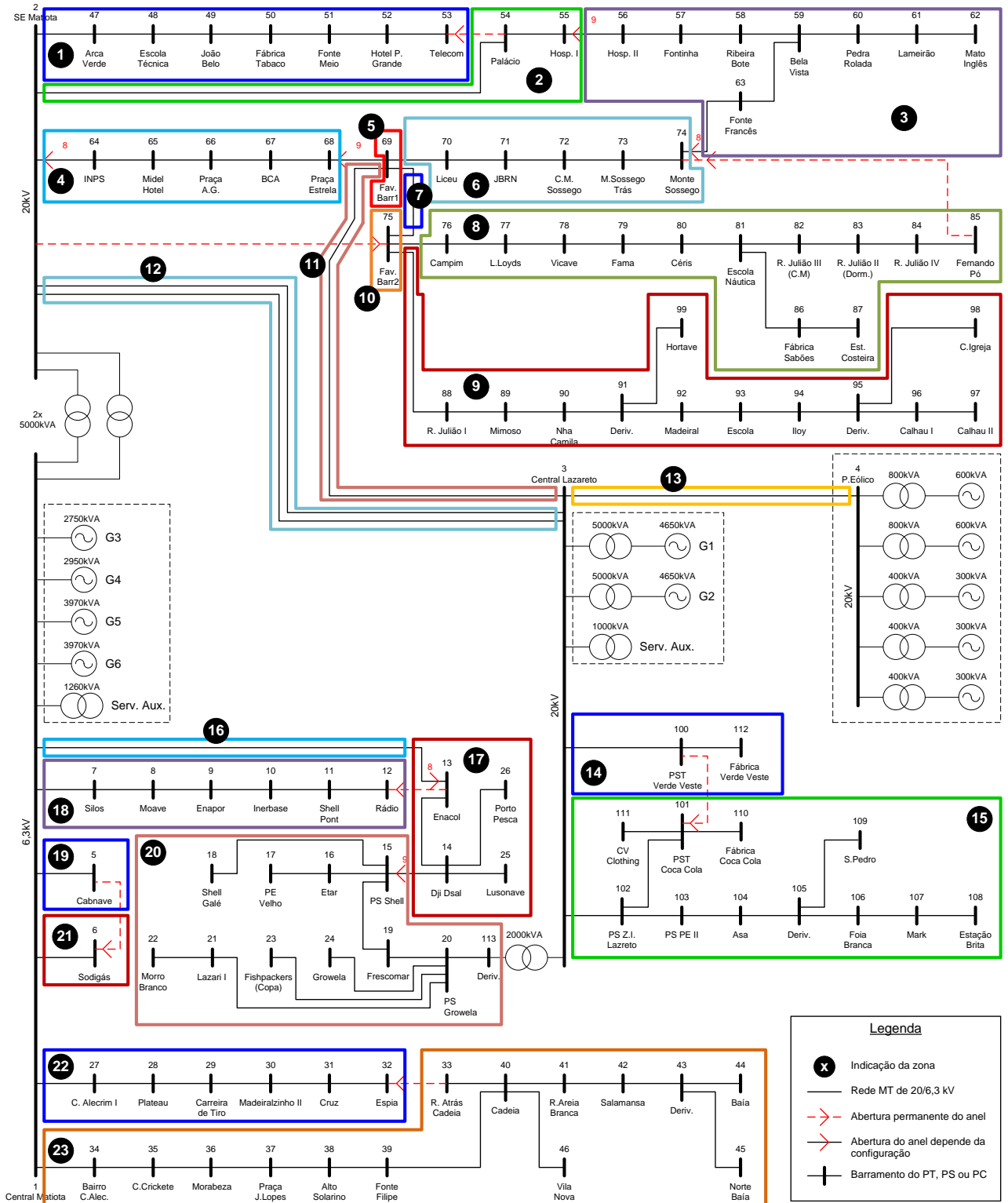
## A.9. Configuração otimizada da rede MT de São Vicente



**Nota:** os números a "vermelho" representam as linhas a desligar para a respectiva configuração.



## A.11. Definição de zonas da rede de São Vicente para o cálculo da fiabilidade



**Nota:** os números a “branco” representam as zonas que poderão ser isoladas para o cálculo da fiabilidade.

## A.12. Dados da rede de São Vicente (cálculo de fiabilidade)

| Zonas | Cientes MT | Cientes BT | Pmédia | Pmédia CFG 8 | Pmédia CFG 9 | $\lambda$ total | MTTR máximo Zona | U [ $\lambda \times r$ ] |
|-------|------------|------------|--------|--------------|--------------|-----------------|------------------|--------------------------|
| 1     | 7          | 1.850      | 647    | 553          | 759          | 0,15960         | 4                | 0,63840                  |
| 2     | 2          | 1.182      | 307    | 260          | 363          | 0,23100         | 4                | 0,92400                  |
| 3     | 8          | 3.067      | 749    | 767          | 729          | 0,90350         | 7                | 6,32450                  |
| 4     | 5          | 1.417      | 351    | 303          | 410          | 0,22820         | 4                | 0,91280                  |
| 5     | 1          | 1          | 154    | 130          | 182          | 0,00000         | 0                | 0,00000                  |
| 6     | 5          | 1.841      | 399    | 411          | 387          | 0,12600         | 4                | 0,50400                  |
| 7     | 0          | 0          | 0      | 0            | 0            | 0,00049         | 4                | 0,00196                  |
| 8     | 12         | 1.427      | 758    | 696          | 833          | 0,72800         | 4                | 2,91200                  |
| 9     | 10         | 350        | 76     | 78           | 72           | 2,33230         | 7                | 16,32610                 |
| 10    | 0          | 0          | 0      | 0            | 0            | 0,00000         | 0                | 0,00000                  |
| 11    | 0          | 0          | 0      | 0            | 0            | 0,24360         | 4                | 0,97440                  |
| 12    | 0          | 0          | 0      | 0            | 0            | 0,42000         | 4                | 1,68000                  |
| 13    | 0          | 0          | 0      | 0            | 0            | 0,33040         | 4                | 1,32160                  |
| 14    | 2          | 2          | 76     | 64           | 90           | 0,11725         | 4                | 0,46900                  |
| 15    | 6          | 381        | 297    | 253          | 347          | 0,73220         | 4                | 2,92880                  |
| 16    | 0          | 0          | 0      | 0            | 0            | 0,06895         | 4                | 0,27580                  |
| 17    | 4          | 179        | 194    | 172          | 221          | 0,34300         | 4                | 1,37200                  |
| 18    | 6          | 169        | 1.124  | 949          | 1.330        | 0,11235         | 4                | 0,44940                  |
| 19    | 1          | 1          | 290    | 245          | 344          | 0,08050         | 4                | 0,32200                  |
| 20    | 8          | 157        | 193    | 166          | 222          | 0,55650         | 4                | 2,22600                  |
| 21    | 1          | 1          | 41     | 35           | 49           | 0,04550         | 4                | 0,18200                  |
| 22    | 6          | 2.433      | 522    | 548          | 493          | 0,32130         | 4                | 1,28520                  |
| 23    | 12         | 3.581      | 774    | 806          | 738          | 1,80455         | 7                | 12,63185                 |

### A.13. Resultados dos cálculos de fiabilidade da rede de São Vicente

| Clientes da zona        | Clientes MT | Configuração 8 (utilizada das 0h às 8h e das 19h às 24h) |         |           |           |             |                  |            |                | Configuração 9 (utilizada das 8h às 19h) |         |           |           |             |                  |            |                |  |  |
|-------------------------|-------------|--|---------|-----------|-----------|-------------|------------------|------------|----------------|--|---------|-----------|-----------|-------------|------------------|------------|----------------|--|--|
|                         |             | Pmédia CFG 8   | λ total | MTRR Zona | U [λ x r] | END kWh/ano | SAIFI MT Int/Clt | SAIDI MT h | TIEPI MT h/ano | Pmédia CFG 9                             | λ total | MTRR Zona | U [λ x r] | END kWh/ano | SAIFI MT Int/Clt | SAIDI MT h | TIEPI MT h/ano |  |  |
| 1                       | 7           | 553  | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 191         | 0,012            | 0,292      | 0,028          | 759                                      | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 222         | 0,012            | 0,292      | 0,032          |  |  |
| 2                       | 2           | 260  | 1,55    | 5,74      | 8,93      | 1.257       | 0,032            | 0,120      | 0,181          | 363                                      | 0,23    | 4,00      | 0,92      | 154         | 0,005            | 0,083      | 0,022          |  |  |
| 3                       | 8           | 767  | 1,55    | 5,74      | 8,93      | 3.710       | 0,130            | 0,479      | 0,534          | 729                                      | 4,33    | 6,24      | 27,04     | 9.031       | 0,361            | 0,520      | 1,299          |  |  |
| 4                       | 5           | 303  | 3,66    | 5,91      | 21,63     | 3.546       | 0,191            | 0,308      | 0,510          | 410                                      | 0,23    | 4,00      | 0,91      | 172         | 0,012            | 0,208      | 0,025          |  |  |
| 5                       | 1           | 130  | 3,66    | 5,91      | 21,63     | 1.524       | 0,038            | 0,062      | 0,219          | 182                                      | 4,33    | 6,24      | 27,04     | 2.261       | 0,045            | 0,065      | 0,325          |  |  |
| 6                       | 5           | 411  | 3,66    | 5,91      | 21,63     | 4.814       | 0,191            | 0,308      | 0,693          | 387                                      | 4,33    | 6,24      | 27,04     | 4.796       | 0,226            | 0,325      | 0,690          |  |  |
| 8                       | 12          | 696  | 3,66    | 5,91      | 21,63     | 8.152       | 0,457            | 0,739      | 1,173          | 833                                      | 4,33    | 6,24      | 27,04     | 10.323      | 0,542            | 0,780      | 1,485          |  |  |
| 9                       | 10          | 78   | 3,66    | 5,91      | 21,63     | 912         | 0,381            | 0,616      | 0,131          | 72                                       | 4,33    | 6,24      | 27,04     | 896         | 0,451            | 0,650      | 0,129          |  |  |
| 14                      | 2           | 64   | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 16          | 0,002            | 0,083      | 0,002          | 90                                       | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 19          | 0,002            | 0,083      | 0,003          |  |  |
| 15                      | 6           | 253  | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 402         | 0,046            | 0,250      | 0,058          | 347                                      | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 466         | 0,046            | 0,250      | 0,067          |  |  |
| 17                      | 4           | 172  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 335         | 0,037            | 0,167      | 0,048          | 221                                      | 0,41    | 4,00      | 1,65      | 167         | 0,017            | 0,167      | 0,024          |  |  |
| 18                      | 6           | 949  | 0,53    | 4,00      | 2,13      | 1.095       | 0,033            | 0,250      | 0,157          | 1.330                                    | 0,11    | 4,00      | 0,45      | 274         | 0,007            | 0,250      | 0,039          |  |  |
| 19                      | 1           | 245  | 0,50    | 4,00      | 2,00      | 266         | 0,005            | 0,042      | 0,038          | 344                                      | 0,08    | 4,00      | 0,32      | 51          | 0,001            | 0,042      | 0,007          |  |  |
| 20                      | 8           | 166  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 323         | 0,075            | 0,333      | 0,047          | 222                                      | 0,56    | 4,00      | 2,23      | 226         | 0,046            | 0,333      | 0,033          |  |  |
| 21                      | 1           | 35   | 0,47    | 4,00      | 1,86      | 35          | 0,005            | 0,042      | 0,005          | 49                                       | 0,05    | 4,00      | 0,18      | 4           | 0,000            | 0,042      | 0,001          |  |  |
| 22                      | 6           | 548  | 0,74    | 4,00      | 2,97      | 880         | 0,046            | 0,250      | 0,127          | 493                                      | 0,32    | 4,00      | 1,29      | 290         | 0,020            | 0,250      | 0,042          |  |  |
| 23                      | 12          | 806  | 2,22    | 6,43      | 14,31     | 6.249       | 0,278            | 0,804      | 0,899          | 738                                      | 1,80    | 7,00      | 12,63     | 4.270       | 0,226            | 0,875      | 0,614          |  |  |
|                         |             | sem OCR2 →   |         |           |           | 33.707      | 1,960            | 5,143      | 4,848          |  |         |           |           | 33.622      | 2,019            | 5,215      | 4,836          |  |  |
| 1                       | 7           | 553  | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 191         | 0,012            | 0,292      | 0,028          | 759                                      | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 222         | 0,012            | 0,292      | 0,032          |  |  |
| 2                       | 2           | 260  | 1,55    | 5,74      | 8,93      | 1.257       | 0,032            | 0,120      | 0,181          | 363                                      | 0,23    | 4,00      | 0,92      | 154         | 0,005            | 0,083      | 0,022          |  |  |
| 3                       | 8           | 767  | 1,55    | 5,74      | 8,93      | 3.710       | 0,130            | 0,479      | 0,534          | 729                                      | 2,00    | 5,35      | 10,72     | 3.579       | 0,167            | 0,446      | 0,515          |  |  |
| 4                       | 5           | 303  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 870         | 0,069            | 0,208      | 0,125          | 410                                      | 0,23    | 4,00      | 0,91      | 172         | 0,012            | 0,208      | 0,025          |  |  |
| 5                       | 1           | 130  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 374         | 0,014            | 0,042      | 0,054          | 182                                      | 2,00    | 5,35      | 10,72     | 896         | 0,021            | 0,056      | 0,129          |  |  |
| 6                       | 5           | 411  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 1.181       | 0,069            | 0,208      | 0,170          | 387                                      | 2,00    | 5,35      | 10,72     | 1.901       | 0,104            | 0,279      | 0,273          |  |  |
| 8                       | 12          | 696  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 1.999       | 0,166            | 0,500      | 0,288          | 833                                      | 2,00    | 5,35      | 10,72     | 4.091       | 0,250            | 0,669      | 0,588          |  |  |
| 9                       | 10          | 78   | 3,66    | 5,91      | 21,63     | 912         | 0,381            | 0,616      | 0,131          | 72                                       | 4,33    | 6,24      | 27,04     | 896         | 0,451            | 0,650      | 0,129          |  |  |
| 14                      | 2           | 64   | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 16          | 0,002            | 0,083      | 0,002          | 90                                       | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 19          | 0,002            | 0,083      | 0,003          |  |  |
| 15                      | 6           | 253  | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 402         | 0,046            | 0,250      | 0,058          | 347                                      | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 466         | 0,046            | 0,250      | 0,067          |  |  |
| 17                      | 4           | 172  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 335         | 0,037            | 0,167      | 0,048          | 221                                      | 0,41    | 4,00      | 1,65      | 167         | 0,017            | 0,167      | 0,024          |  |  |
| 18                      | 6           | 949  | 0,53    | 4,00      | 2,13      | 1.095       | 0,033            | 0,250      | 0,157          | 1.330                                    | 0,11    | 4,00      | 0,45      | 274         | 0,007            | 0,250      | 0,039          |  |  |
| 19                      | 1           | 245  | 0,50    | 4,00      | 2,00      | 266         | 0,005            | 0,042      | 0,038          | 344                                      | 0,08    | 4,00      | 0,32      | 51          | 0,001            | 0,042      | 0,007          |  |  |
| 20                      | 8           | 166  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 323         | 0,075            | 0,333      | 0,047          | 222                                      | 0,56    | 4,00      | 2,23      | 226         | 0,046            | 0,333      | 0,033          |  |  |
| 21                      | 1           | 35   | 0,47    | 4,00      | 1,86      | 35          | 0,005            | 0,042      | 0,005          | 49                                       | 0,05    | 4,00      | 0,18      | 4           | 0,000            | 0,042      | 0,001          |  |  |
| 22                      | 6           | 548  | 0,74    | 4,00      | 2,97      | 880         | 0,046            | 0,250      | 0,127          | 493                                      | 0,32    | 4,00      | 1,29      | 290         | 0,020            | 0,250      | 0,042          |  |  |
| 23                      | 12          | 806  | 2,22    | 6,43      | 14,31     | 6.249       | 0,278            | 0,804      | 0,899          | 738                                      | 1,80    | 7,00      | 12,63     | 4.270       | 0,226            | 0,875      | 0,614          |  |  |
| OCR2 em: 10-9           |             | 1 OCR2 →   |         |           |           | 20.094      | 1,401            | 4,685      | 2,890          |  |         |           |           | 17.677      | 1,388            | 4,975      | 2,543          |  |  |
| 1                       | 7           | 553  | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 191         | 0,012            | 0,292      | 0,028          | 759                                      | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 222         | 0,012            | 0,292      | 0,032          |  |  |
| 2                       | 2           | 260  | 0,65    | 4,00      | 2,60      | 367         | 0,014            | 0,083      | 0,053          | 363                                      | 0,23    | 4,00      | 0,92      | 154         | 0,005            | 0,083      | 0,022          |  |  |
| 3                       | 8           | 767  | 1,55    | 5,74      | 8,93      | 3.710       | 0,130            | 0,479      | 0,534          | 729                                      | 2,00    | 5,35      | 10,72     | 3.579       | 0,167            | 0,446      | 0,515          |  |  |
| 4                       | 5           | 303  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 870         | 0,069            | 0,208      | 0,125          | 410                                      | 0,23    | 4,00      | 0,91      | 172         | 0,012            | 0,208      | 0,025          |  |  |
| 5                       | 1           | 130  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 374         | 0,014            | 0,042      | 0,054          | 182                                      | 2,00    | 5,35      | 10,72     | 896         | 0,021            | 0,056      | 0,129          |  |  |
| 6                       | 5           | 411  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 1.181       | 0,069            | 0,208      | 0,170          | 387                                      | 2,00    | 5,35      | 10,72     | 1.901       | 0,104            | 0,279      | 0,273          |  |  |
| 8                       | 12          | 696  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 1.999       | 0,166            | 0,500      | 0,288          | 833                                      | 2,00    | 5,35      | 10,72     | 4.091       | 0,250            | 0,669      | 0,588          |  |  |
| 9                       | 10          | 78   | 3,66    | 5,91      | 21,63     | 912         | 0,381            | 0,616      | 0,131          | 72                                       | 4,33    | 6,24      | 27,04     | 896         | 0,451            | 0,650      | 0,129          |  |  |
| 14                      | 2           | 64   | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 16          | 0,002            | 0,083      | 0,002          | 90                                       | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 19          | 0,002            | 0,083      | 0,003          |  |  |
| 15                      | 6           | 253  | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 402         | 0,046            | 0,250      | 0,058          | 347                                      | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 466         | 0,046            | 0,250      | 0,067          |  |  |
| 17                      | 4           | 172  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 335         | 0,037            | 0,167      | 0,048          | 221                                      | 0,41    | 4,00      | 1,65      | 167         | 0,017            | 0,167      | 0,024          |  |  |
| 18                      | 6           | 949  | 0,53    | 4,00      | 2,13      | 1.095       | 0,033            | 0,250      | 0,157          | 1.330                                    | 0,11    | 4,00      | 0,45      | 274         | 0,007            | 0,250      | 0,039          |  |  |
| 19                      | 1           | 245  | 0,50    | 4,00      | 2,00      | 266         | 0,005            | 0,042      | 0,038          | 344                                      | 0,08    | 4,00      | 0,32      | 51          | 0,001            | 0,042      | 0,007          |  |  |
| 20                      | 8           | 166  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 323         | 0,075            | 0,333      | 0,047          | 222                                      | 0,56    | 4,00      | 2,23      | 226         | 0,046            | 0,333      | 0,033          |  |  |
| 21                      | 1           | 35   | 0,47    | 4,00      | 1,86      | 35          | 0,005            | 0,042      | 0,005          | 49                                       | 0,05    | 4,00      | 0,18      | 4           | 0,000            | 0,042      | 0,001          |  |  |
| 22                      | 6           | 548  | 0,74    | 4,00      | 2,97      | 880         | 0,046            | 0,250      | 0,127          | 493                                      | 0,32    | 4,00      | 1,29      | 290         | 0,020            | 0,250      | 0,042          |  |  |
| 23                      | 12          | 806  | 2,22    | 6,43      | 14,31     | 6.249       | 0,278            | 0,804      | 0,899          | 738                                      | 1,80    | 7,00      | 12,63     | 4.270       | 0,226            | 0,875      | 0,614          |  |  |
| OCR2 em: 10-9; 2-3      |             | 2 OCR2 →   |         |           |           | 19.204      | 1,382            | 4,649      | 2,762          |  |         |           |           | 17.677      | 1,388            | 4,975      | 2,543          |  |  |
| 1                       | 7           | 553  | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 191         | 0,012            | 0,292      | 0,028          | 759                                      | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 222         | 0,012            | 0,292      | 0,032          |  |  |
| 2                       | 2           | 260  | 0,65    | 4,00      | 2,60      | 367         | 0,014            | 0,083      | 0,053          | 363                                      | 0,23    | 4,00      | 0,92      | 154         | 0,005            | 0,083      | 0,022          |  |  |
| 3                       | 8           | 767  | 1,55    | 5,74      | 8,93      | 3.710       | 0,130            | 0,479      | 0,534          | 729                                      | 2,00    | 5,35      | 10,72     | 3.579       | 0,167            | 0,446      | 0,515          |  |  |
| 4                       | 5           | 303  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 870         | 0,069            | 0,208      | 0,125          | 410                                      | 0,23    | 4,00      | 0,91      | 172         | 0,012            | 0,208      | 0,025          |  |  |
| 5                       | 1           | 130  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 374         | 0,014            | 0,042      | 0,054          | 182                                      | 1,10    | 4,00      | 4,39      | 367         | 0,011            | 0,042      | 0,053          |  |  |
| 6                       | 5           | 411  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 1.181       | 0,069            | 0,208      | 0,170          | 387                                      | 1,10    | 4,00      | 4,39      | 779         | 0,057            | 0,208      | 0,112          |  |  |
| 8                       | 12          | 696  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 1.999       | 0,166            | 0,500      | 0,288          | 833                                      | 1,10    | 4,00      | 4,39      | 1.677       | 0,137            | 0,500      | 0,241          |  |  |
| 9                       | 10          | 78   | 3,66    | 5,91      | 21,63     | 912         | 0,381            | 0,616      | 0,131          | 72                                       | 3,43    | 6,04      | 20,72     | 686         | 0,357            | 0,629      | 0,099          |  |  |
| 14                      | 2           | 64   | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 16          | 0,002            | 0,083      | 0,002          | 90                                       | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 19          | 0,002            | 0,083      | 0,003          |  |  |
| 15                      | 6           | 253  | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 402         | 0,046            | 0,250      | 0,058          | 347                                      | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 466         | 0,046            | 0,250      | 0,067          |  |  |
| 17                      | 4           | 172  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 335         | 0,037            | 0,167      | 0,048          | 221                                      | 0,41    | 4,00      | 1,65      | 167         | 0,017            | 0,167      | 0,024          |  |  |
| 18                      | 6           | 949  | 0,53    | 4,00      | 2,13      | 1.095       | 0,033            | 0,250      | 0,157          | 1.330                                    | 0,11    | 4,00      | 0,45      | 274         | 0,007            | 0,250      | 0,039          |  |  |
| 19                      | 1           | 245  | 0,50    | 4,00      | 2,00      | 266         | 0,005            | 0,042      | 0,038          | 344                                      | 0,08    | 4,00      | 0,32      | 51          | 0,001            | 0,042      | 0,007          |  |  |
| 20                      | 8           | 166  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 323         | 0,075            | 0,333      | 0,047          | 222                                      | 0,56    | 4,00      | 2,23      | 226         | 0,046            | 0,333      | 0,033          |  |  |
| 21                      | 1           | 35   | 0,47    | 4,00      | 1,86      | 35          | 0,005            | 0,042      | 0,005          | 49                                       | 0,05    | 4,00      | 0,18      | 4           | 0,000            | 0,042      | 0,001          |  |  |
| 22                      | 6           | 548  | 0,74    | 4,00      | 2,97      | 880         | 0,046            | 0,250      | 0,127          | 493                                      | 0,32    | 4,00      | 1,29      | 290         | 0,020            | 0,250      | 0,042          |  |  |
| 23                      | 12          | 806  | 2,22    | 6,43      | 14,31     | 6.249       | 0,278            | 0,804      | 0,899          | 738                                      | 1,80    | 7,00      | 12,63     | 4.270       | 0,226            | 0,875      | 0,614          |  |  |
| OCR2 em: 10-9; 2-3; 6-3 |             | 3 OCR2 →   |         |           |           | 19.204      | 1,382            | 4,649      | 2,762          |  |         |           |           | 13.403      | 1,124            | 4,700      | 1,928          |  |  |

| Clientes da zona                          | Clientes MT | Configuração 8 (utilizada das 0h às 8h e das 19h às 24h) |         |           |           |             |                  |            |                | Configuração 9 (utilizada das 8h às 19h) |         |           |           |             |                  |            |                |
|---|-------------|--|---------|-----------|-----------|-------------|------------------|------------|----------------|--|---------|-----------|-----------|-------------|------------------|------------|----------------|
|   |             | Pmédia CFG 8   | λ total | MTTR Zona | U [λ x r] | END kWh/ano | SAIFI MT Int/Clt | SAIDI MT h | TIEPI MT h/ano | Pmédia CFG 9                             | λ total | MTTR Zona | U [λ x r] | END kWh/ano | SAIFI MT Int/Clt | SAIDI MT h | TIEPI MT h/ano |
| 1   | 7           | 553  | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 191         | 0,012            | 0,292      | 0,028          | 759                                      | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 222         | 0,012            | 0,292      | 0,032          |
| 2   | 2           | 260  | 0,65    | 4,00      | 2,60      | 367         | 0,014            | 0,083      | 0,053          | 363                                      | 0,23    | 4,00      | 0,92      | 154         | 0,005            | 0,083      | 0,022          |
| 3   | 8           | 767  | 1,55    | 5,74      | 8,93      | 3.710       | 0,130            | 0,479      | 0,534          | 729                                      | 1,27    | 6,13      | 7,80      | 2.606       | 0,106            | 0,511      | 0,375          |
| 4   | 5           | 303  | 0,60    | 4,00      | 2,39      | 392         | 0,031            | 0,208      | 0,056          | 410                                      | 0,23    | 4,00      | 0,91      | 172         | 0,012            | 0,208      | 0,025          |
| 5   | 1           | 130  | 0,60    | 4,00      | 2,39      | 169         | 0,006            | 0,042      | 0,024          | 182                                      | 0,37    | 4,00      | 1,48      | 124         | 0,004            | 0,042      | 0,018          |
| 6   | 5           | 411  | 0,37    | 4,00      | 1,48      | 329         | 0,019            | 0,208      | 0,047          | 387                                      | 0,37    | 4,00      | 1,48      | 263         | 0,019            | 0,208      | 0,038          |
| 8   | 12          | 696  | 1,33    | 4,00      | 5,31      | 1.999       | 0,166            | 0,500      | 0,288          | 833                                      | 1,10    | 4,00      | 4,39      | 1.677       | 0,137            | 0,500      | 0,241          |
| 9   | 10          | 78   | 2,93    | 6,39      | 18,72     | 789         | 0,305            | 0,665      | 0,114          | 72                                       | 2,58    | 6,72      | 17,30     | 573         | 0,268            | 0,700      | 0,082          |
| 14  | 2           | 64   | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 16          | 0,002            | 0,083      | 0,002          | 90                                       | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 19          | 0,002            | 0,083      | 0,003          |
| 15  | 6           | 253  | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 402         | 0,046            | 0,250      | 0,058          | 347                                      | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 466         | 0,046            | 0,250      | 0,067          |
| 17  | 4           | 172  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 335         | 0,037            | 0,167      | 0,048          | 221                                      | 0,41    | 4,00      | 1,65      | 167         | 0,017            | 0,167      | 0,024          |
| 18  | 6           | 949  | 0,53    | 4,00      | 2,13      | 1.095       | 0,033            | 0,250      | 0,157          | 1.330                                    | 0,11    | 4,00      | 0,45      | 274         | 0,007            | 0,250      | 0,039          |
| 19  | 1           | 245  | 0,50    | 4,00      | 2,00      | 266         | 0,005            | 0,042      | 0,038          | 344                                      | 0,08    | 4,00      | 0,32      | 51          | 0,001            | 0,042      | 0,007          |
| 20  | 8           | 166  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 323         | 0,075            | 0,333      | 0,047          | 222                                      | 0,56    | 4,00      | 2,23      | 226         | 0,046            | 0,333      | 0,033          |
| 21  | 1           | 35   | 0,47    | 4,00      | 1,86      | 35          | 0,005            | 0,042      | 0,005          | 49                                       | 0,05    | 4,00      | 0,18      | 4           | 0,000            | 0,042      | 0,001          |
| 22  | 6           | 548  | 0,74    | 4,00      | 2,97      | 880         | 0,046            | 0,250      | 0,127          | 493                                      | 0,32    | 4,00      | 1,29      | 290         | 0,020            | 0,250      | 0,042          |
| 23  | 12          | 806  | 2,22    | 6,43      | 14,31     | 6.249       | 0,278            | 0,804      | 0,899          | 738                                      | 1,80    | 7,00      | 12,63     | 4.270       | 0,226            | 0,875      | 0,614          |
| OCR2 em: 10-9; 2-3; 6-3; 10-8             |             | 4 OCR2 →   |         |           |           | 17.547      | 1,211            | 4,698      | 2,524          |  |         |           |           | 11.558      | 0,929            | 4,835      | 1,662          |
| 1   | 7           | 553  | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 191         | 0,012            | 0,292      | 0,028          | 759                                      | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 222         | 0,012            | 0,292      | 0,032          |
| 2   | 2           | 260  | 0,65    | 4,00      | 2,60      | 367         | 0,014            | 0,083      | 0,053          | 363                                      | 0,23    | 4,00      | 0,92      | 154         | 0,005            | 0,083      | 0,022          |
| 3   | 8           | 767  | 1,55    | 5,74      | 8,93      | 3.710       | 0,130            | 0,479      | 0,534          | 729                                      | 1,27    | 6,13      | 7,80      | 2.606       | 0,106            | 0,511      | 0,375          |
| 4   | 5           | 303  | 0,60    | 4,00      | 2,39      | 392         | 0,031            | 0,208      | 0,056          | 410                                      | 0,23    | 4,00      | 0,91      | 172         | 0,012            | 0,208      | 0,025          |
| 5   | 1           | 130  | 0,37    | 4,00      | 1,48      | 104         | 0,004            | 0,042      | 0,015          | 182                                      | 0,37    | 4,00      | 1,48      | 124         | 0,004            | 0,042      | 0,018          |
| 6   | 5           | 411  | 0,37    | 4,00      | 1,48      | 329         | 0,019            | 0,208      | 0,047          | 387                                      | 0,37    | 4,00      | 1,48      | 263         | 0,019            | 0,208      | 0,038          |
| 8   | 12          | 696  | 1,10    | 4,00      | 4,39      | 1.655       | 0,137            | 0,500      | 0,238          | 833                                      | 1,10    | 4,00      | 4,39      | 1.677       | 0,137            | 0,500      | 0,241          |
| 9   | 10          | 78   | 2,70    | 6,59      | 17,81     | 751         | 0,281            | 0,686      | 0,108          | 72                                       | 2,58    | 6,72      | 17,30     | 573         | 0,268            | 0,700      | 0,082          |
| 14  | 2           | 64   | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 16          | 0,002            | 0,083      | 0,002          | 90                                       | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 19          | 0,002            | 0,083      | 0,003          |
| 15  | 6           | 253  | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 402         | 0,046            | 0,250      | 0,058          | 347                                      | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 466         | 0,046            | 0,250      | 0,067          |
| 17  | 4           | 172  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 335         | 0,037            | 0,167      | 0,048          | 221                                      | 0,41    | 4,00      | 1,65      | 167         | 0,017            | 0,167      | 0,024          |
| 18  | 6           | 949  | 0,53    | 4,00      | 2,13      | 1.095       | 0,033            | 0,250      | 0,157          | 1.330                                    | 0,11    | 4,00      | 0,45      | 274         | 0,007            | 0,250      | 0,039          |
| 19  | 1           | 245  | 0,50    | 4,00      | 2,00      | 266         | 0,005            | 0,042      | 0,038          | 344                                      | 0,08    | 4,00      | 0,32      | 51          | 0,001            | 0,042      | 0,007          |
| 20  | 8           | 166  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 323         | 0,075            | 0,333      | 0,047          | 222                                      | 0,56    | 4,00      | 2,23      | 226         | 0,046            | 0,333      | 0,033          |
| 21  | 1           | 35   | 0,47    | 4,00      | 1,86      | 35          | 0,005            | 0,042      | 0,005          | 49                                       | 0,05    | 4,00      | 0,18      | 4           | 0,000            | 0,042      | 0,001          |
| 22  | 6           | 548  | 0,74    | 4,00      | 2,97      | 880         | 0,046            | 0,250      | 0,127          | 493                                      | 0,32    | 4,00      | 1,29      | 290         | 0,020            | 0,250      | 0,042          |
| 23  | 12          | 806  | 2,22    | 6,43      | 14,31     | 6.249       | 0,278            | 0,804      | 0,899          | 738                                      | 1,80    | 7,00      | 12,63     | 4.270       | 0,226            | 0,875      | 0,614          |
| OCR2 em: 10-9; 2-3; 6-3; 10-8; 5-4        |             | 5 OCR2 →   |         |           |           | 17.100      | 1,156            | 4,719      | 2,460          |  |         |           |           | 11.558      | 0,929            | 4,835      | 1,662          |
| 1   | 7           | 553  | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 191         | 0,012            | 0,292      | 0,028          | 759                                      | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 222         | 0,012            | 0,292      | 0,032          |
| 2   | 2           | 260  | 0,65    | 4,00      | 2,60      | 367         | 0,014            | 0,083      | 0,053          | 363                                      | 0,23    | 4,00      | 0,92      | 154         | 0,005            | 0,083      | 0,022          |
| 3   | 8           | 767  | 1,55    | 5,74      | 8,93      | 3.710       | 0,130            | 0,479      | 0,534          | 729                                      | 1,27    | 6,13      | 7,80      | 2.606       | 0,106            | 0,511      | 0,375          |
| 4   | 5           | 303  | 0,47    | 4,00      | 1,89      | 310         | 0,025            | 0,208      | 0,045          | 410                                      | 0,23    | 4,00      | 0,91      | 172         | 0,012            | 0,208      | 0,025          |
| 5   | 1           | 130  | 0,24    | 4,00      | 0,98      | 69          | 0,003            | 0,042      | 0,010          | 182                                      | 0,24    | 4,00      | 0,98      | 82          | 0,003            | 0,042      | 0,012          |
| 6   | 5           | 411  | 0,37    | 4,00      | 1,48      | 329         | 0,019            | 0,208      | 0,047          | 387                                      | 0,37    | 4,00      | 1,48      | 263         | 0,019            | 0,208      | 0,038          |
| 8   | 12          | 696  | 0,97    | 4,00      | 3,89      | 1.465       | 0,122            | 0,500      | 0,211          | 833                                      | 0,97    | 4,00      | 3,89      | 1.484       | 0,122            | 0,500      | 0,214          |
| 9   | 10          | 78   | 2,58    | 6,72      | 17,30     | 730         | 0,268            | 0,700      | 0,105          | 72                                       | 2,58    | 6,72      | 17,30     | 573         | 0,268            | 0,700      | 0,082          |
| 14  | 2           | 64   | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 16          | 0,002            | 0,083      | 0,002          | 90                                       | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 19          | 0,002            | 0,083      | 0,003          |
| 15  | 6           | 253  | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 402         | 0,046            | 0,250      | 0,058          | 347                                      | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 466         | 0,046            | 0,250      | 0,067          |
| 17  | 4           | 172  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 335         | 0,037            | 0,167      | 0,048          | 221                                      | 0,41    | 4,00      | 1,65      | 167         | 0,017            | 0,167      | 0,024          |
| 18  | 6           | 949  | 0,53    | 4,00      | 2,13      | 1.095       | 0,033            | 0,250      | 0,157          | 1.330                                    | 0,11    | 4,00      | 0,45      | 274         | 0,007            | 0,250      | 0,039          |
| 19  | 1           | 245  | 0,50    | 4,00      | 2,00      | 266         | 0,005            | 0,042      | 0,038          | 344                                      | 0,08    | 4,00      | 0,32      | 51          | 0,001            | 0,042      | 0,007          |
| 20  | 8           | 166  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 323         | 0,075            | 0,333      | 0,047          | 222                                      | 0,56    | 4,00      | 2,23      | 226         | 0,046            | 0,333      | 0,033          |
| 21  | 1           | 35   | 0,47    | 4,00      | 1,86      | 35          | 0,005            | 0,042      | 0,005          | 49                                       | 0,05    | 4,00      | 0,18      | 4           | 0,000            | 0,042      | 0,001          |
| 22  | 6           | 548  | 0,74    | 4,00      | 2,97      | 880         | 0,046            | 0,250      | 0,127          | 493                                      | 0,32    | 4,00      | 1,29      | 290         | 0,020            | 0,250      | 0,042          |
| 23  | 12          | 806  | 2,22    | 6,43      | 14,31     | 6.249       | 0,278            | 0,804      | 0,899          | 738                                      | 1,80    | 7,00      | 12,63     | 4.270       | 0,226            | 0,875      | 0,614          |
| OCR2 em: 10-9; 2-3; 6-3; 10-8; 5-4; 5-6   |             | 6 OCR2 →   |         |           |           | 16.771      | 1,119            | 4,732      | 2,412          |  |         |           |           | 11.323      | 0,912            | 4,835      | 1,629          |
| 1   | 7           | 553  | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 191         | 0,012            | 0,292      | 0,028          | 759                                      | 0,16    | 4,00      | 0,64      | 222         | 0,012            | 0,292      | 0,032          |
| 2   | 2           | 260  | 0,65    | 4,00      | 2,60      | 367         | 0,014            | 0,083      | 0,053          | 363                                      | 0,23    | 4,00      | 0,92      | 154         | 0,005            | 0,083      | 0,022          |
| 3   | 8           | 767  | 1,55    | 5,74      | 8,93      | 3.710       | 0,130            | 0,479      | 0,534          | 729                                      | 1,27    | 6,13      | 7,80      | 2.606       | 0,106            | 0,511      | 0,375          |
| 4   | 5           | 303  | 0,47    | 4,00      | 1,89      | 310         | 0,025            | 0,208      | 0,045          | 410                                      | 0,23    | 4,00      | 0,91      | 172         | 0,012            | 0,208      | 0,025          |
| 5   | 1           | 130  | 3,43    | 6,04      | 20,72     | 1.460       | 0,036            | 0,063      | 0,210          | 182                                      | 0,24    | 4,00      | 0,98      | 82          | 0,003            | 0,042      | 0,012          |
| 6   | 5           | 411  | 0,37    | 4,00      | 1,48      | 329         | 0,019            | 0,208      | 0,047          | 387                                      | 0,37    | 4,00      | 1,48      | 263         | 0,019            | 0,208      | 0,038          |
| 8   | 12          | 696  | 1,20    | 4,00      | 4,80      | 1.809       | 0,150            | 0,500      | 0,260          | 833                                      | 0,97    | 4,00      | 3,89      | 1.484       | 0,122            | 0,500      | 0,214          |
| 9   | 10          | 78   | 2,80    | 6,49      | 18,22     | 768         | 0,292            | 0,677      | 0,110          | 72                                       | 2,58    | 6,72      | 17,30     | 573         | 0,268            | 0,700      | 0,082          |
| 14  | 2           | 64   | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 16          | 0,002            | 0,083      | 0,002          | 90                                       | 0,12    | 4,00      | 0,47      | 19          | 0,002            | 0,083      | 0,003          |
| 15  | 6           | 253  | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 402         | 0,046            | 0,250      | 0,058          | 347                                      | 0,73    | 4,00      | 2,93      | 466         | 0,046            | 0,250      | 0,067          |
| 17  | 4           | 172  | 0,90    | 4,00      | 3,60      | 335         | 0,037            | 0,167      | 0,048          | 221                                      | 0,41    | 4,00      | 1,65      | 167         | 0,017            | 0,167      | 0,024          |
| 18  | 6           | 949  | 0,53    | 4,00      | 2,13      | 1.095       | 0,033            | 0,250      | 0,157          | 1.330                                    | 0,11    | 4,00      | 0,45      | 274         | 0,007            | 0,250      | 0,039          |
| 19  | 1           | 245  | 0,50    | 4,00      | 2,00      | 266         | 0,005            | 0,042      | 0,038          | 344                                      | 0,08    | 4,00      | 0,32      | 51          | 0,001            | 0,042      | 0,007          |
| 20  | 8           | 166  | 0,56    | 4,00      | 2,23      | 200         | 0,046            | 0,333      | 0,029          | 222                                      | 0,56    | 4,00      | 2,23      | 226         | 0,046            | 0,333      | 0,033          |
| 21  | 1           | 35   | 0,47    | 4,00      | 1,86      | 35          | 0,005            | 0,042      | 0,005          | 49                                       | 0,05    | 4,00      | 0,18      | 4           | 0,000            | 0,042      | 0,001          |
| 22  | 6           | 548  | 0,74    | 4,00      | 2,97      | 880         | 0,046            | 0,250      | 0,127          | 493                                      | 0,32    | 4,00      | 1,29      | 290         | 0,020            | 0,250      | 0,042          |
| 23  | 12          | 806  | 2,22    | 6,43      | 14,31     | 6.249       | 0,278            | 0,804      | 0,899          | 738                                      | 1,80    | 7,00      | 12,63     | 4.270       | 0,226            | 0,875      | 0,614          |
| OCR2 em: 10-9; 2-3; 6-3; 10-8; 5-4; 20-17 |             | 7 OCR2 →   |         |           |           | 18.421      | 1,176            | 4,731      | 2,650          |  |         |           |           | 11.323      | 0,912            | 4,835      | 1,629          |