

Capítulo 5

Proposta de método para alocação de perdas em redes eléctricas de distribuição com Produção em Regime Especial

Neste capítulo propõe-se uma metodologia para efectuar a alocação das perdas de uma rede de distribuição entre os seus diferentes utilizadores, ou seja, produtores em regime especial e consumidores. A metodologia proposta tem duas variantes, sendo a diferença básica entre elas o facto de uma efectuar a alocação de perdas com base nas potências activas e a outra com base nas correntes que se fazem sentir nos diferentes elementos da rede. A segunda variante é uma evolução da primeira e foi criada para suprir algumas das dificuldades desta.

O algoritmo proposto utiliza, numa nova perspectiva, uma combinação de diferentes conceitos apresentados nos capítulos anteriores, permitindo efectuar uma alocação de custos e benefícios entre os diferentes utilizadores da rede. O referido algoritmo de alocação de perdas opera em duas fases, tal como ilustrado na figura 5.1. A primeira fase consiste na alocação das perdas da rede, sem a presença dos PRE, aos diferentes consumidores. A segunda fase consiste na alocação das variações nas perdas de cada elemento da rede, que ocorrem devido à consideração dos PRE a estes.

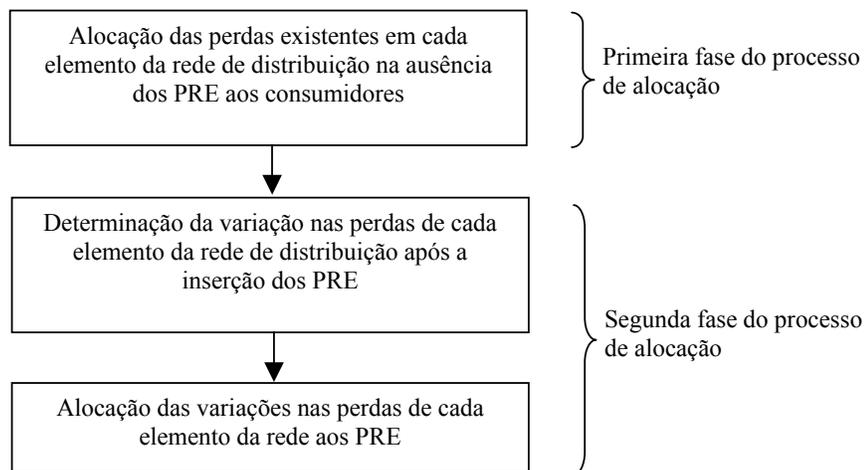


Figura 5.1 – Fases de alocação de perdas do método proposto

Como já foi anteriormente referido, os PRE têm impactos sobre as perdas das redes de distribuição, os quais se traduzem num aumento ou numa diminuição das perdas em cada elemento da rede e logo das perdas globais. A metodologia proposta aloca as variações nas perdas de cada elemento da rede de distribuição, causadas por acção dos PRE, a estes. Por outras palavras, as diferenças entre as perdas em cada elemento da rede quando os PRE se

encontram em serviço e quando estes se encontram fora de serviço são a estes alocadas, uma vez que são os PRE os responsáveis por essas variações. Tal procedimento permite transmitir alguns sinais económicos aos PRE, uma vez que estes beneficiam da redução das perdas nos elementos da rede ou suportam perdas adicionais quando estas ocorrem devido à sua entrada em serviço. Estes sinais económicos, no caso dos PRE cujo recurso primário é um recurso natural, como o vento ou a água de um rio, são limitados pelo facto da sua localização ser condicionada pelo referido recurso primário. Podem no entanto ser aproveitados para incentivar a gestão deste recurso, por exemplo, no caso de mini-hídricas com albufeira.

5.1 – Variante das potências

5.1.1 – Alocação de perdas aos consumidores da rede

O primeiro passo do método consiste num estudo de trânsitos de potência AC sobre a rede, considerando fora de serviço todas as instalações dos PRE. Este estudo revelará o trânsito de potência activa em cada elemento da rede na ausência dos PRE, TP_i^{SPRE} , bem como as respectivas perdas, P_{pi}^{SPRE} . Estes valores de perdas serão aqueles a alocar às cargas do sistema, ou seja aos consumidores.

Uma definição importante para o funcionamento do método, em especial na fase de alocação das perdas aos PRE, tem que ser feita neste momento. Os sentidos reais do trânsito de potência activa obtido para cada elemento da rede, após a execução do estudo de trânsito de potências referido, são, por definição, os sentidos directos, considerados portanto positivos. O sentido inverso será negativo.

Um caso particular e importante ocorre quando um determinado elemento da rede não é percorrido por qualquer trânsito de potência na situação de ausência de PRE, passando a ter um determinado trânsito de potência após inserção destes. Nestes casos, o sentido directo é aquele definido pelo trânsito de potência activa que se verifica após inserção dos PRE. A figura que se segue permite ilustrar este caso particular.

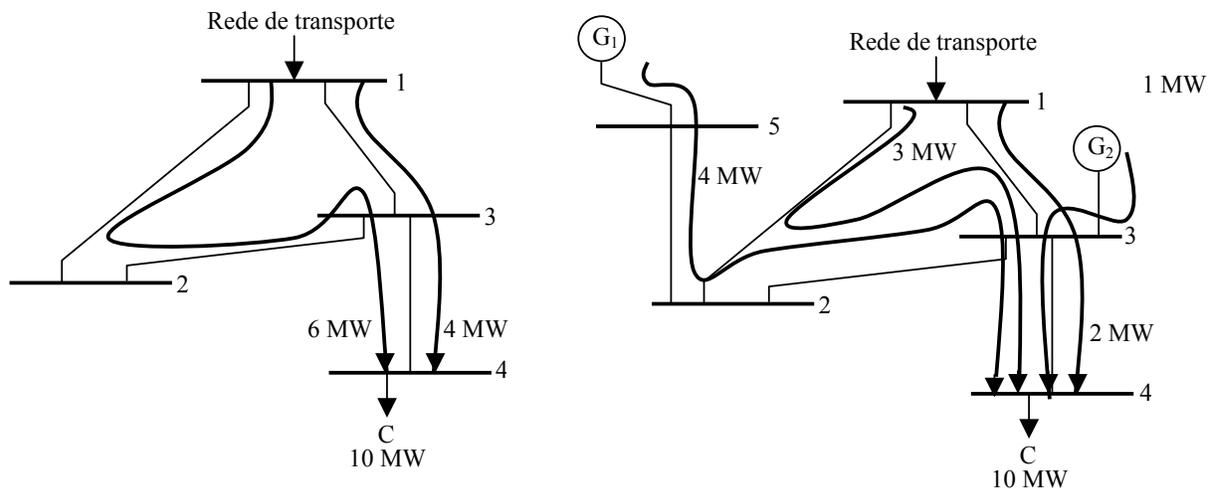


Figura 5.2 – Caso especial de obtenção do sentido directo

O ramo 5-2, que na ausência dos PRE não tem qualquer trânsito de potência passa a ser percorrido por 4 MW após a inserção dos PRE. Neste caso, o sentido directo do ramo é o do barramento 5 para o barramento 2.

Após efectuado o referido estudo de trânsito de potências, aplica-se o algoritmo de linearização baseado nas potências líquidas, descrito na secção 3.1.4, o qual nos permitirá obter o trânsito de potência activa característico em cada elemento i da rede, TC_i^{SPRE} . Aplica-se de seguida o algoritmo de perseguição descrito na secção 3.2.5 (podia ser o descrito na secção 3.2.7), o qual permitirá conhecer de que forma cada consumidor j do sistema contribui para o trânsito de potência activa em cada elemento i da rede (C_{ji}^{SPRE}).

Uma vez conhecidas estas contribuições, efectua-se a alocação das perdas de cada elemento da rede de distribuição aos diferentes consumidores. Esta alocação é baseada na metodologia proposta por Expósito et al (2000) e descrita na secção 3.2.13, efectuando uma partilha quadrática das partes comuns dos trânsitos de potência em cada elemento da rede.

As perdas num determinado elemento i da rede, podem, dentro das condições referidas no ponto 2.2, ser determinadas por:

$$P_{pi} = k \times (TC_i^{SPRE})^2 \quad (5.1)$$

Atendendo a que:

$$TC_i^{SPRE} = \sum_{l=1}^Z C_{li}^{SPRE} \quad (5.2)$$

podemos escrever que:

$$P_{pi} = k \times \left(\sum_{l=1}^Z C_{li}^{SPRE} \right)^2 \quad (5.3)$$

onde:

Z representa o número de consumidores alimentados pela rede de distribuição.

Desenvolvendo esta expressão e efectuando a partilha das partes comuns das perdas em cada elemento da rede de acordo com o quadrado da contribuição de cada consumidor para o seu trânsito de potência activa característico, podemos constatar que a influência da consumidor j nas perdas no elemento i é proporcional à expressão:

$$G_i^j = (C_{ji}^{SPRE})^2 + 2 \cdot \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^Z C_{ji}^{SPRE} \cdot C_{li}^{SPRE} \cdot \frac{(C_{ji}^{SPRE})^2}{(C_{ji}^{SPRE})^2 + (C_{li}^{SPRE})^2} \quad (5.4)$$

onde:

G_i^j representa a influência do consumidor j nas perdas do elemento i .

Com base na expressão anterior, podemos determinar as influências de cada consumidor nas perdas de cada elemento i da rede de distribuição e, com base nestas, determinar o factor de perdas do consumidor j relativamente ao elemento i , F_i^j :

$$F_i^j = \frac{G_i^j}{\sum_{l=1}^L G_i^l} \quad (5.5)$$

Conhecido este factor de perdas podemos determinar a fracção das perdas do elemento i que é da responsabilidade do consumidor j através da expressão:

$$P_{pi}^j = F_i^j \cdot P_{pi}^{SPRE} \quad (5.6)$$

Alargando este tratamento a todos os consumidores e a todos os elementos do sistema podemos determinar o valor de perdas a serem suportadas por cada consumidor j da rede de distribuição, cujo valor é obtido pelo somatório das perdas de cada ramo a si alocadas:

$$P_p^j = \sum_{i=1}^L P_{pi}^j \quad (5.7)$$

onde:

L representa o número de elementos do sistema.

Este método de alocação de perdas aos consumidores coincide com aquele descrito na secção 3.2.13, mais precisamente na variante em que se efectua uma divisão quadrática das partes comuns das perdas. Baseia-se portanto, na perseguição da potência activa na rede e na divisão cuidada das partes comuns das perdas que ocorrem em cada elemento da rede de distribuição.

5.1.2 – Alocação de perdas aos produtores em regime especial

No primeiro passo do método, para alocação das perdas existentes na rede antes da inserção dos PRE, determinou-se a forma como cada consumidor j do sistema contribui para os trânsitos de potência em cada elemento i da rede (C_{ji}^{SPRE}). O segundo passo do método inicia-se com a repetição do procedimento do primeiro passo, considerando agora em serviço as instalações dos PRE. Determinam-se portanto, os novos valores do trânsito de potência activa em cada elemento da rede, TP_i^{CPRE} , e de perdas P_{pi}^{CPRE} , estando os PRE em serviço. A aplicação do mesmo algoritmo de linearização do primeiro passo permite obter os novos valores de trânsito de potência activa característico em cada elemento da rede, TC_i^{CPRE} . O recurso ao algoritmo de perseguição permitirá conhecer de que forma cada consumidor j do sistema contribui, agora, para o trânsito de potência activa em cada elemento i da rede (C_{ji}^{CPRE}).

Os valores de C_{ji}^{CPRE} podem ser positivos ou negativos. Um valor C_{ji}^{CPRE} negativo ocorre quando, devido à presença dos PRE, o consumidor j implica um trânsito de potência no elemento i da rede em sentido contrário ao sentido directo, definido para o elemento. Um valor positivo ocorre quando o consumidor j implica um trânsito de potência no sentido directo. A figura 5.3 ilustra, de forma mais clara, o conceito de valor de C_{ji}^{CPRE} negativo. No lado esquerdo desta figura, temos uma pequena rede alimentada pela rede de transporte e sem

presença de produtores em regime especial. No lado direito temos a mesma rede, mas considerando agora a existência de dois PRE. A contribuição do consumidor C_1 para o trânsito de potência de potência no ramo 2-3 é, na situação de ausência de PRE, nula. Quando os PRE são considerados, a contribuição do consumidor C_1 para o trânsito de potência activa no mesmo ramo deixa de ser nula, passando a ser igual a 2 MW e com sentido inverso ao sentido directo do ramo 2-3, ou seja:

$$C_{1,2-3}^{CPRE} = -2 \text{ MW} \quad (5.8)$$

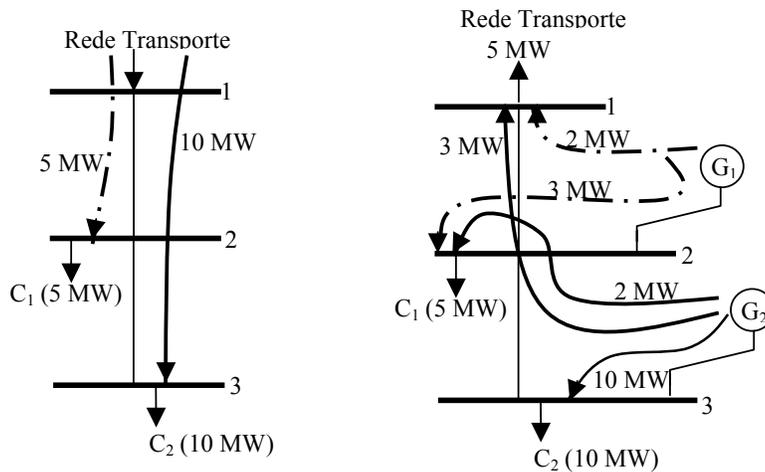


Figura 5.3 – Sentidos directo e inverso das contribuições

O conceito de valor de C_{ji}^{CPRE} positivo pode ser ilustrado com recurso à figura 5.2. Nesta figura, os valores de contribuição do consumidor C para o trânsito de potência activa característico dos ramos 5-2 e 2-3, quando os PRE estão em serviço são positivos e iguais a:

$$\begin{aligned} C_{C,5-2}^{CPRE} &= 4 \text{ MW} \\ C_{C,2-3}^{CPRE} &= 7 \text{ MW} \end{aligned} \quad (5.9)$$

No terceiro passo, avaliam-se quais as variações no trânsito de potência activa de cada elemento da rede que cada consumidor implica, pelo facto de existirem os PRE. Estes valores são obtidos através da expressão:

$$\Delta TP_{ji} = C_{ji}^{CPRE} - C_{ji}^{SPRE} \quad (5.10)$$

onde:

ΔTP_{ji} representa a variação no trânsito de potência activa no elemento i devido ao consumidor j.

C_{ji}^{CPRE} representa a contribuição do consumidor j para o trânsito de potência activa no elemento i estando os PRE em serviço.

C_{ji}^{SPRE} idem, mas estando os PRE fora de serviço.

Um valor de ΔTP_{ji} negativo pode significar uma de duas situações possíveis. A primeira é que, devido à presença dos PRE, o trânsito de potência no elemento i em direcção ao

consumidor j foi reduzido relativamente àquele que existia antes da consideração dos PRE, mas mantendo o sentido. A segunda situação ocorre quando, estando os PRE fora de serviço, o consumidor j tem uma contribuição nula ou contribui para o TP do ramo i no sentido directo, passando a contribuir no sentido inverso após a inserção dos PRE.

Se o valor da variação ΔTP_{ji} for positivo, tal significa que o trânsito de potência no elemento i da rede em direcção ao consumidor j aumentou (no sentido directo), devido à presença dos PRE.

Um valor nulo significa que o trânsito de potência no elemento i em direcção ao consumidor j se manteve constante.

A figura 5.4 que se segue procura ilustrar estes conceitos, usando o caso da figura 5.3, mas com duas situações de PRE. A diferença entre as duas situações situa-se no facto de, na rede do lado direito, se considerar o PRE 2 com uma potência superior àquela que apresenta na situação do caso da rede ao centro.

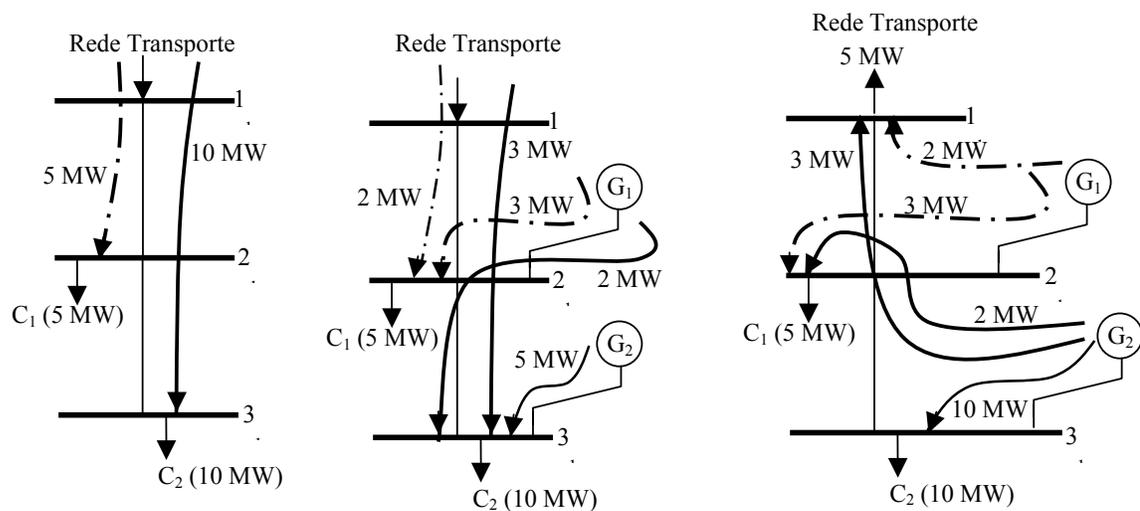


Figura 5. 4 –Determinação das variações nos trânsitos de potência activa dos elementos de uma rede

As contribuições de cada um dos consumidores para o trânsito de potência activa em cada ramo da rede são, para o caso de inexistência de PRE, as apresentadas na tabela 5.1.

Tabela 5. 1 – Contribuições de cada consumidor para o trânsito de potência activa característico de cada ramo da rede antes dos PRE serem inseridos (MW)

| Ramo | Consumidor | |
|------|----------------|----------------|
| | C ₁ | C ₂ |
| 1-2 | 5 | 10 |
| 2-3 | 0 | 10 |

Admitindo que, após a inserção dos dois PRE, o trânsito de potência activa nos elementos da rede evoluem daqueles apresentados na rede mais à esquerda para aqueles apresentados na rede central, os novos valores das contribuições de cada consumidor para os trânsitos de potência em cada ramo são:

Tabela 5. 2 – Contribuições de cada consumidor para os trânsitos de potência activa característico de cada ramo após os PRE serem inseridos (MW)

| Ramo | Consumidor | |
|------|----------------|----------------|
| | C ₁ | C ₂ |
| 1-2 | 2 | 3 |
| 2-3 | 0 | 5 |

Note-se que neste caso, todos os valores de C_{ji}^{CPRE} são positivos, uma vez que não se verificam inversões no sentido do trânsito de potência activa de qualquer dos ramos.

As variações nos trânsitos de potência provocados por cada consumidor em cada ramo, ΔTP_{ji} , são apresentados na tabela que se segue.

Tabela 5. 3 – Variações no trânsito de potência activa característico de cada ramo da rede (MW)

| Ramo | Consumidor | |
|------|----------------|----------------|
| | C ₁ | C ₂ |
| 1-2 | -3 | -7 |
| 2-3 | 0 | -5 |

Todas as variações negativas verificadas são devidas ao facto da presença dos PRE implicar uma redução do trânsito de potência activa em cada ramo em direcção a cada consumidor, mas mantendo estes o sentido directo.

Admitindo agora que, após a inserção dos PRE, os trânsitos de potência em cada elemento da rede são aqueles apresentados na rede mais à direita da figura 5.4, podemos constatar que existe inversão do trânsito de potência activa nos ramos da rede. A rede de transporte deixa de alimentar os consumidores, passando ela própria a comportar-se como um consumidor. Os novos valores das contribuições de cada consumidor para o trânsito de potência activa em cada ramo são:

Tabela 5. 4 – Contribuições de cada consumidor para o trânsito de potência activa característico de cada ramo após os PRE serem inseridos (MW)

| Ramo | Consumidor | | |
|------|----------------|----------------|-----------------|
| | C ₁ | C ₂ | Rede Transporte |
| 1-2 | 0 | 0 | -5 |
| 2-3 | -2 | 0 | -3 |

O facto de todas as contribuições não nulas serem agora negativas deve-se a que estas se fazem sentir no sentido inverso (relativamente ao sentido directo do trânsito de potência em cada ramo).

As variações nos trânsitos de potência, ΔTP_{ji} , valem agora:

Tabela 5.5 – Variação no trânsito de potência activa característico de cada ramo da rede

| Ramo | Consumidor | | |
|------|----------------|----------------|-----------------|
| | C ₁ | C ₂ | Rede Transporte |
| 1-2 | -5 | -10 | -5 |
| 2-3 | -2 | -10 | -3 |

O segundo tipo de variação negativa que pode ocorrer, é ilustrado pela figura que se segue.

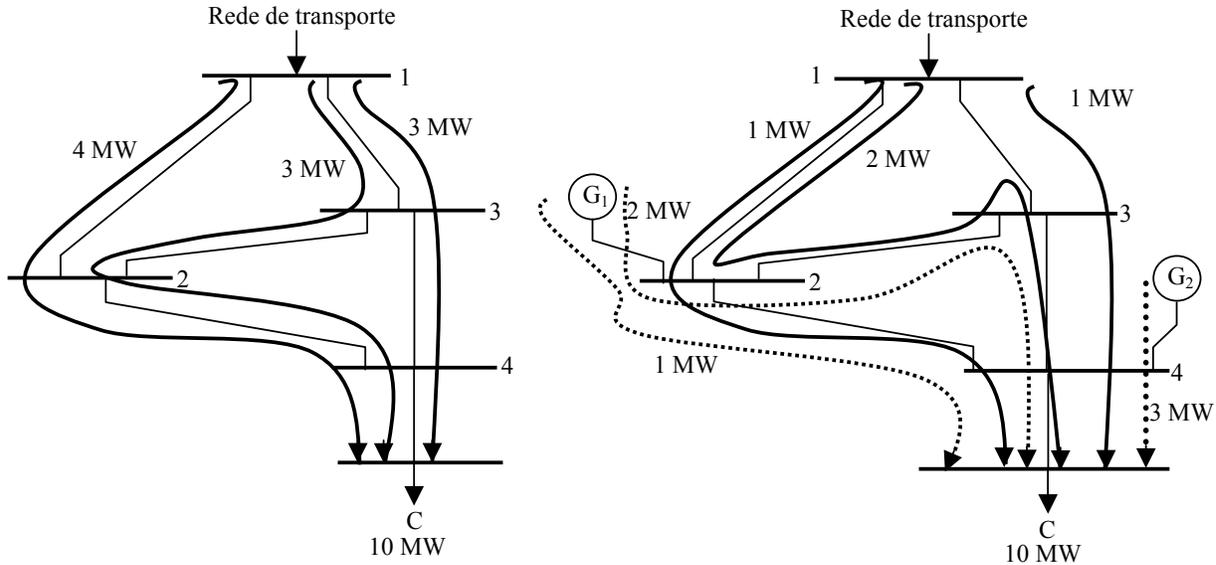


Figura 5.5 – Variação negativa no contributo de um consumidor para o trânsito de potência activa característico de um ramo

O ramo 2-3, que antes da inserção do PRE era percorrido por um trânsito de potência de 3 MW com sentido do barramento 3 para o barramento 2 (sentido directo), passa, após inserção do PRE a ser percorrido por um trânsito de potência de 4 MW mas em sentido inverso. Neste caso, a variação do trânsito de potência no ramo 2-3 ligada com o consumidor C é:

$$\Delta TP_{C,2-3} = -4 - 3 = -7 \text{ MW} \quad (5.11)$$

A figura 5.2 permite ilustrar a ocorrência de variações positivas, na contribuição de um consumidor j para o trânsito de potência de um elemento i de uma rede. Uma variação positiva ocorre na contribuição do consumidor C para o trânsito de potência no ramo 2-3, uma vez que a contribuição inicial era de 6 MW na ausência dos PRE, passando a ser de 7 MW quando estes são considerados. Temos então que:

$$\Delta TP_{C,2-3} = 7 - 6 = 1 \text{ MW} \quad (5.12)$$

O quarto passo do método consiste na alocação das variações no trânsito de potência activa que cada consumidor implica em cada elemento da rede, ΔTP_{ji} , aos diferentes PRE,

que são, como já referido, os seus verdadeiros causadores. Esta alocação é efectuada de forma distinta consoante as variações sejam positivas ou negativas e tendo como base o princípio das participações médias anteriormente descrito.

A alocação de uma variação negativa no trânsito de potência de um determinado elemento da rede devido a um determinado consumidor pode ser efectuada por um de dois procedimentos distintos, consoante o tipo de variação negativa a aloca. O primeiro procedimento aplica-se quando a variação negativa resultar do facto do consumidor implicar uma menor contribuição para o trânsito de potência no ramo, mantendo-se esta contribuição no sentido directo ou tornando-se nula. Retomando o pequeno exemplo constante da figura 5.4, temos que o consumidor C_2 , devido à presença dos PRE, reduz a sua contribuição para o trânsito de potência no ramo 2-3 em 5 MW, tal como consta da tabela 5.3, ou seja:

$$\Delta TP_{2,2-3} = -5 \text{ MW} \quad (5.13)$$

Neste caso, a redução na contribuição do consumidor C_2 para o trânsito de potência no ramo 2-3 deve-se, desprezando os eventuais efeito das variações nos níveis de tensão, exclusivamente ao PRE 2, uma vez que este alimenta o consumidor sem contribuir para o trânsito de potência activa do ramo em sentido directo. Por outras palavras, o PRE 2 substitui-se à rede de transporte na alimentação ao consumidor C_2 , fazendo com que a contribuição desta carga para o trânsito de potência no ramo 2-3 seja inferior aquela que se verificava antes da inserção dos PRE. O PRE 1, apesar de também contribuir para a alimentação do consumidor C_2 , não diminui o valor do trânsito de potência que flui no ramo 2-3. Se, para o mesmo consumidor considerarmos o ramo 1-2, temos:

$$\Delta TP_{2,1-2} = -7 \text{ MW} \quad (5.14)$$

Neste caso, a redução da contribuição do consumidor C_2 para o trânsito de potência no ramo 1-2, deve-se a ambos os PRE, uma vez que ambos alimentam o consumidor sem contribuírem para o trânsito de potência no ramo 1-2. Significa isto que, ambos os PRE contribuem para a diminuição do valor do trânsito de potência em direcção ao consumidor C_2 que flui pelo ramo 1-2. O trânsito de potência evitado neste ramo deve, portanto, ser atribuído a ambos os PRE. A forma de partilhar esta variação assenta no princípio das participações médias, sendo a partilha feita com base nas potências fornecidas por cada PRE ao consumidor. No caso do exemplo, teremos:

$$\begin{aligned} \Delta TP_{2,1-2}^1 &= \frac{2}{2+5} \times (-7) = -2 \text{ MW} \\ \Delta TP_{2,1-2}^2 &= \frac{5}{2+5} \times (-7) = -5 \text{ MW} \end{aligned} \quad (5.15)$$

onde:

$\Delta TP_{j,a-b}^k$ representa a variação na contribuição do consumidor j para o trânsito de potência no ramo a-b que se deve ao PRE k .

Generalizando, temos que:

$$\Delta TP_{ji}^k = \frac{R_j^k}{\sum_{l \in \gamma} R_j^l} \Delta TP_{ji} \quad \text{se } C_{ji}^{SPRE} > 0 \wedge k \in \gamma \quad (5.16)$$

onde:

ΔTP_{ji}^k representa a variação negativa no trânsito de potência activa do elemento i devido ao consumidor j que se atribui ao PRE k .

R_j^k representa a contribuição do PRE k para a potência activa do consumidor j .

γ representa o conjunto de PRE que alimentam o consumidor j sem contribuírem, no sentido directo, para o trânsito de potência activa do elemento i .

Note-se que esta expressão é extensível ao caso em que, para um determinado elemento da rede, antes da inserção dos PRE se tem um trânsito de potência com sentido directo que, após a inserção dos PRE, passa a ser no sentido inverso. Retomando o exemplo da figura 5.5, podemos constatar que a responsabilidade da variação no trânsito de potência do ramo 2-3 devida ao consumidor C , $\Delta TP_{C,2-3} = -4 - 3 = -7$, se deve a ambos os PRE. O PRE 2, ao alimentar o consumidor C e estando situado a jusante do ramo, contribui para tal variação uma vez que contribui para a diminuição do trânsito de potência que flui no ramo em direcção ao consumidor C . O PRE 1 contribui para a mesma variação porque “força” o trânsito de potência do ramo a fazer-se em sentido inverso.

O segundo procedimento aplica-se quando a variação negativa a alocar resultar do facto do consumidor, que na ausência dos PRE não contribuía para o trânsito de potência no elemento, passar a ter uma contribuição com sentido inverso. No exemplo da figura 5.4, considerando os trânsitos de potência da rede da direita como sendo aqueles que se verificam na presença dos PRE, temos que o consumidor C_1 apresenta uma variação na sua contribuição para o trânsito de potência no ramo 2-3 igual a:

$$\Delta TP_{1,2-3} = -2 \text{ MW} \quad (5.17)$$

Esta variação, deve ser alocada aos PRE que directamente contribuem para o trânsito de potência com sentido inverso que se faz sentir no ramo. Neste caso, a variação no trânsito de potência que o consumidor C_1 implica no ramo 2-3 deve-se exclusivamente ao PRE 2.

Se no entanto atentarmos no ramo 1-2, temos que, a variação negativa na contribuição para o trânsito de potência neste ramo provocada pelo consumidor que representa a rede de transporte se deve a ambos os PRE, uma vez que ambos alimentam este consumidor e contribuem para o trânsito de potência do ramo em sentido inverso. Assim, a variação:

$$\Delta TP_{RT,1-2} = -5 \text{ MW} \quad (5.18)$$

deve ser repartida entre ambos os PRE. Esta repartição, uma vez mais, é efectuada com base no princípio das participações médias, de acordo com a contribuição de cada PRE para o trânsito de potência em sentido inverso no ramo. Ou seja, para o pequeno exemplo teríamos para o PRE 1:

$$\Delta TP_{RT,1-2}^1 = \frac{-2}{-2-3} \times (-5) = -2 \text{ MW} \quad (5.19)$$

e para o PRE 2:

$$\Delta TP_{RT,1-2}^2 = \frac{-3}{-2-3} \times (-5) = -3 \text{ MW} \quad (5.20)$$

Generalizando temos que:

$$\Delta TP_{ji}^k = \frac{S_i^k}{\sum_{l \in \rho} S_i^l} \Delta TP_{ji} \quad \text{se } C_{ji}^{SPRE} = 0 \wedge k \in \rho \quad (5.21)$$

onde:

S_i^k representa a contribuição, em sentido inverso, do PRE k para o trânsito de potência activa no ramo i.

ρ representa o conjunto de PRE que contribuem em sentido inverso, para o trânsito de potência activa no elemento i e contribuem para a alimentação do consumidor j.

Quando a variação na contribuição de um consumidor para o trânsito de potência num elemento é positiva, a sua alocação deve ser efectuada àqueles PRE que contribuem para a alimentação do consumidor e para o trânsito de potência, em sentido directo, do ramo. Para se ilustrar esta situação, admitamos o exemplo apresentado na figura 5.2, onde a contribuição do consumidor C para o trânsito de potência no ramo 2-3 aumenta com a presença dos PRE. Este aumento deve-se exclusivamente ao PRE 1, uma vez que é este PRE que “força” o aumento da contribuição do consumidor C para o trânsito de potência neste ramo. Podem existir situações em que mais que um PRE “forcem” o aumento da contribuição de um consumidor para o trânsito de potência num determinado ramo. A figura 5.6 conjuntamente com a rede à esquerda da figura 5.2 mostram esta situação.

Uma vez mais, a contribuição do consumidor C para o trânsito de potência no ramo 2-3 sofre uma variação positiva face à situação em que os PRE não estão em serviço. Esta variação positiva deve ser alocada aos seus causadores, ou seja a ambos os PRE existentes na rede.

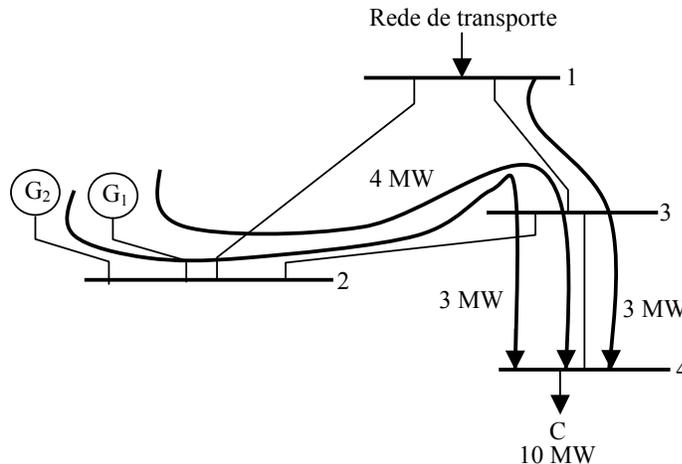


Figura 5.6 – Variação positiva provocada por dois PRE

A forma como essa alocação é efectuada assenta, tal como a alocação das variações negativas, no princípio das participações médias. Para o exemplo apresentado, temos que:

$$\Delta TP_{C,2-3} = 1 \text{ MW} \quad (5.22)$$

A alocação desta variação é efectuada com base na contribuição de cada PRE para o trânsito de potência no ramo 2-3, ou seja:

$$\begin{aligned} \Delta TP_{C,2-3}^1 &= \frac{4}{4+3} \times 1 = 0,571 \text{ MW} \\ \Delta TP_{C,2-3}^2 &= \frac{3}{4+3} \times 1 = 0,429 \text{ MW} \end{aligned} \quad (5.23)$$

Generalizando, podemos escrever que:

$$\Delta TP_{ji}^k = \frac{P_i^k}{\sum_{l \in \beta} P_i^l} \Delta TP_{ji} \quad \text{se } C_{ji}^{SPRE} \geq 0 \wedge k \in \beta \quad (5.24)$$

onde:

P_i^k representa a contribuição, no sentido directo, do PRE k para o trânsito de potência activa no ramo i.

β representa o conjunto de PRE que contribuem, no sentido directo, para o trânsito de potência activa no elemento i e que simultaneamente contribuem para a potência activa do consumidor j.

Os processos de alocação das variações descritos implicam a necessidade de se conhecer as contribuições de cada PRE para a alimentação de cada consumidor bem como para os trânsitos de potência activa em cada elemento da rede. Esta avaliação é possível utilizando o algoritmo de perseguição proposto por Bialek e descrito na secção 3.3.1.

Uma vez determinadas e alocadas, aos PRE, as variações no trânsito de potência activa de cada elemento da rede devido a cada consumidor, procede-se à determinação do valor global destas variações de que cada PRE é responsável. Para tal utiliza-se a seguinte expressão:

$$\Delta TP_i^k = \sum_{j=1}^Z \Delta TP_{ji}^k \quad (5.25)$$

onde:

ΔTP_i^k representa a variação no trânsito de potência do elemento i que se deve ao PRE k.
Z representa o número de consumidores da rede.

O passo seguinte consiste na determinação dos factores de partilha que permitem repartir entre os PRE os valores das variações nas perdas de cada elemento da rede. A determinação deste factor de partilha é efectuada com base no desenvolvimento da expressão quadrática resultante da interacção entre o trânsito de potência activa em cada elemento da rede antes da inserção dos PRE com as contribuições de cada um destes para o mesmo trânsito de potência após a sua inserção.

Antes da consideração dos PRE, as perdas num determinado elemento i da rede, podem ser representadas pela expressão:

$$P_{pi}^{SPRE} = k \times (TC_i^{SPRE})^2 \quad (5.26)$$

A consideração dos PRE pode conduzir a variações no trânsito de potência activa de cada elemento i , as quais podem ser determinadas da forma exposta anteriormente. Uma vez conhecidas estas variações provocadas pelos diferentes PRE, podemos escrever que as novas perdas no elemento i da rede serão dadas por:

$$P_{pi}^{CPRE} = k \times \left(TC_i^{SPRE} + \sum_{k=1}^h \Delta TP_i^k \right)^2 \quad (5.27)$$

onde:

h representa o número de PRE.

O impacto que um determinado PRE k tem sobre as perdas do elemento i , pode ser determinado através do desenvolvimento da expressão anterior e considerando uma partilha das partes comuns de perdas com base no quadrado das variações que cada PRE implica, obtendo-se os seguintes termos nos quais o PRE k tem influência:

$$G_i^k = (\Delta TP_i^k)^2 + 2.TC_i^{SPRE} . \Delta TP_i^k + 2. \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^h \Delta TP_i^k . \Delta TP_i^l . \frac{(\Delta TP_i^k)^2}{(\Delta TP_i^k)^2 + (\Delta TP_i^l)^2} \quad (5.28)$$

onde:

G_i^k representa a influência, positiva ou negativa, do PRE k sobre as perdas do elemento i .

Com base na expressão anterior, podemos determinar as influências de cada PRE nas perdas de cada elemento i . Uma vez conhecidas estas influências, podemos determinar o factor de perdas do PRE k relativamente ao elemento i através da expressão:

$$F_i^k = \frac{G_i^k}{\sum_{l=1}^h G_i^l} \quad (5.29)$$

Conhecido este factor de perdas podemos alocar a variação nas perdas do elemento i ao PRE k através da expressão:

$$P_{pi}^k = F_i^k . (P_{pi}^{CPRE} - P_{pi}^{SPRE}) \quad (5.30)$$

Um valor de P_{pi}^k positivo significa que o PRE k terá de suportar perdas no elemento i , enquanto um valor negativo significa que deverá ser remunerado por perdas evitadas.

Alargando este tratamento a todos os PRE e a todos os elementos da rede de distribuição, podemos determinar a forma como as variações nas perdas de cada elemento são

alocadas a cada PRE. O valor global de perdas alocadas ao PRE k será obtido pelo somatório das variações a si alocadas em cada elemento da rede:

$$P_p^k = \sum_{i=1}^L P_{pi}^k \quad (5.31)$$

onde:

L representa o número de elementos do sistema.

As figuras 5.7 a 5.10 apresentam os fluxogramas de aplicação do método.

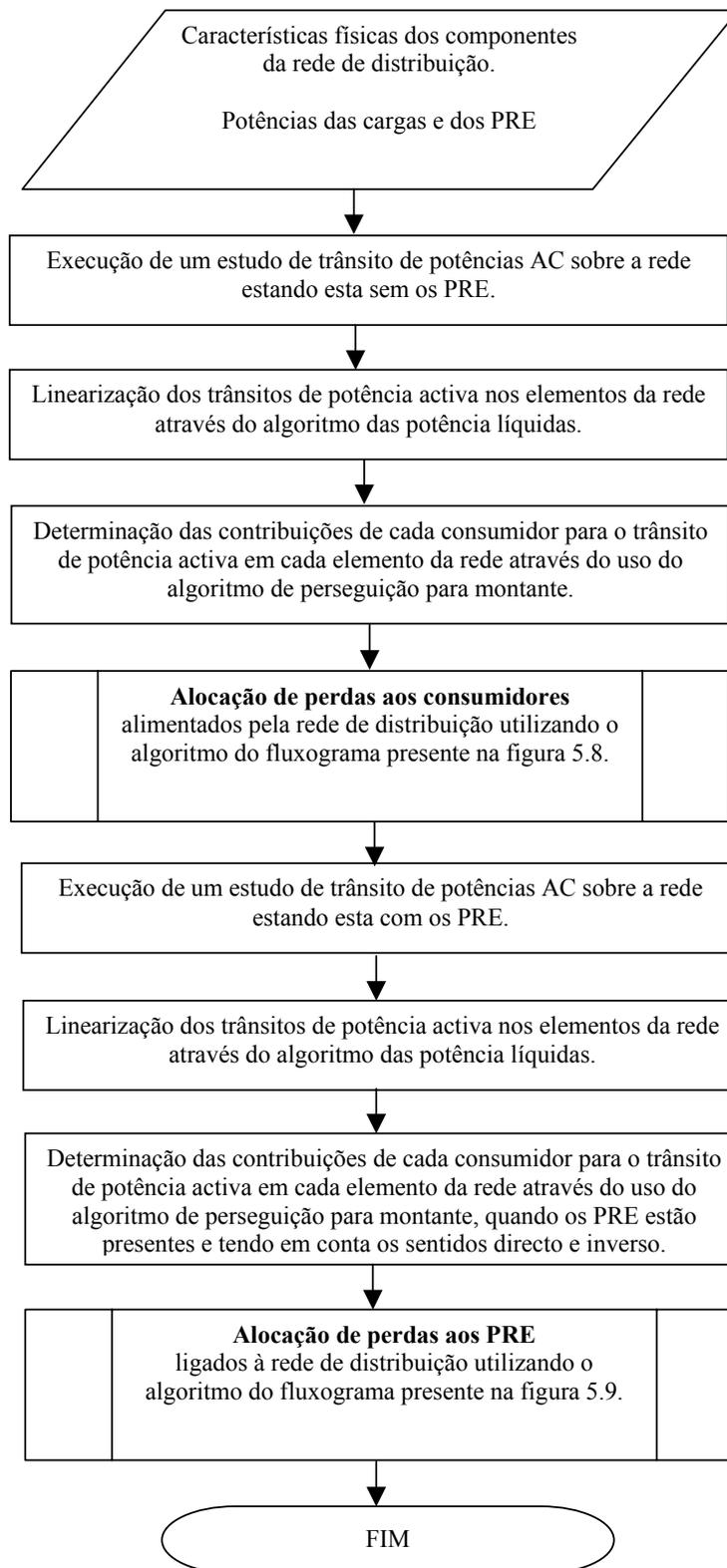


Figura 5. 7 – Algoritmo para alocação de perdas aos consumidores e PRE de uma rede de distribuição. Método Proposto, variante das potências

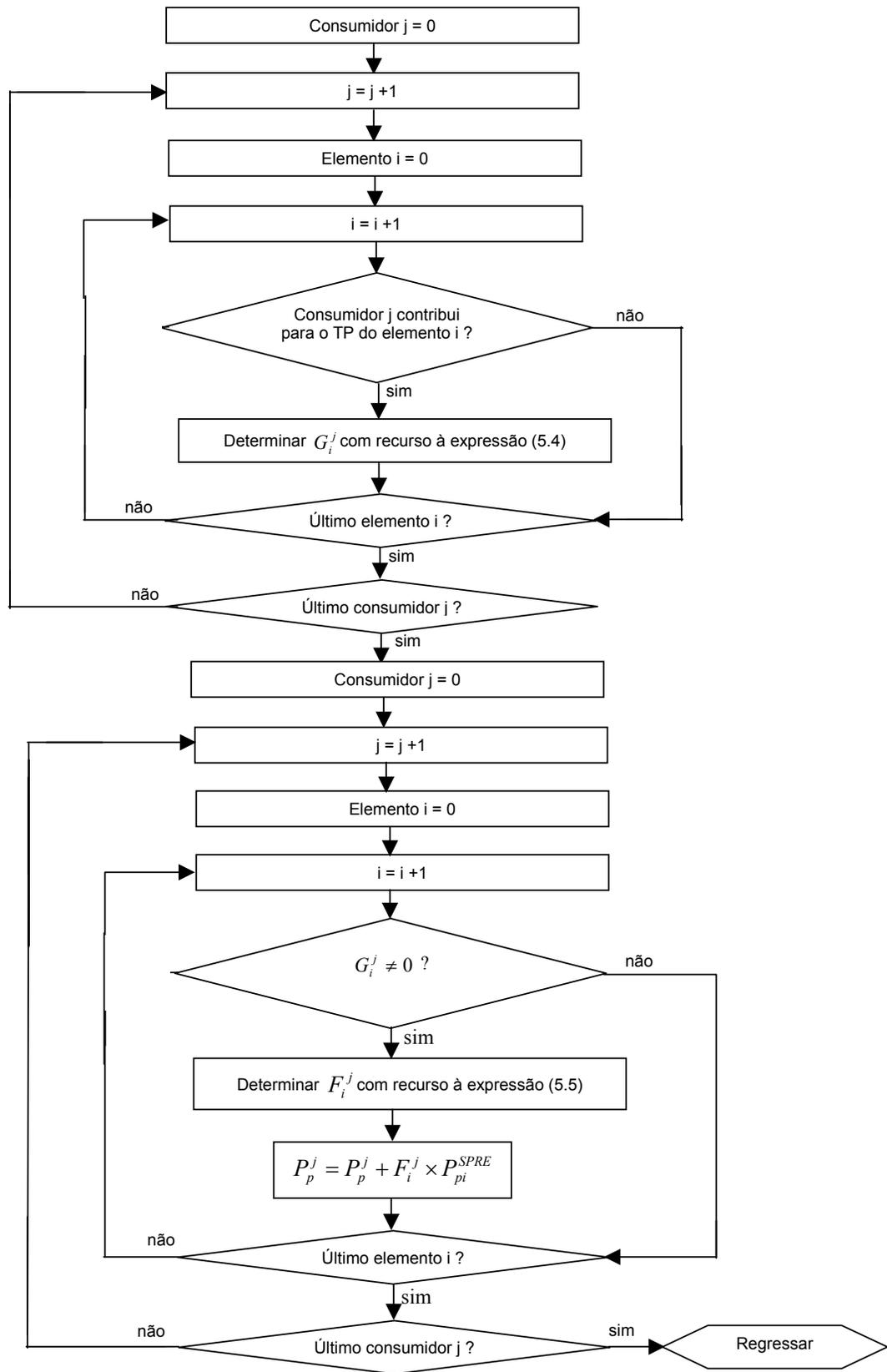


Figura 5. 8 – Algoritmo para alocação de perdas aos consumidores – Variante das potências

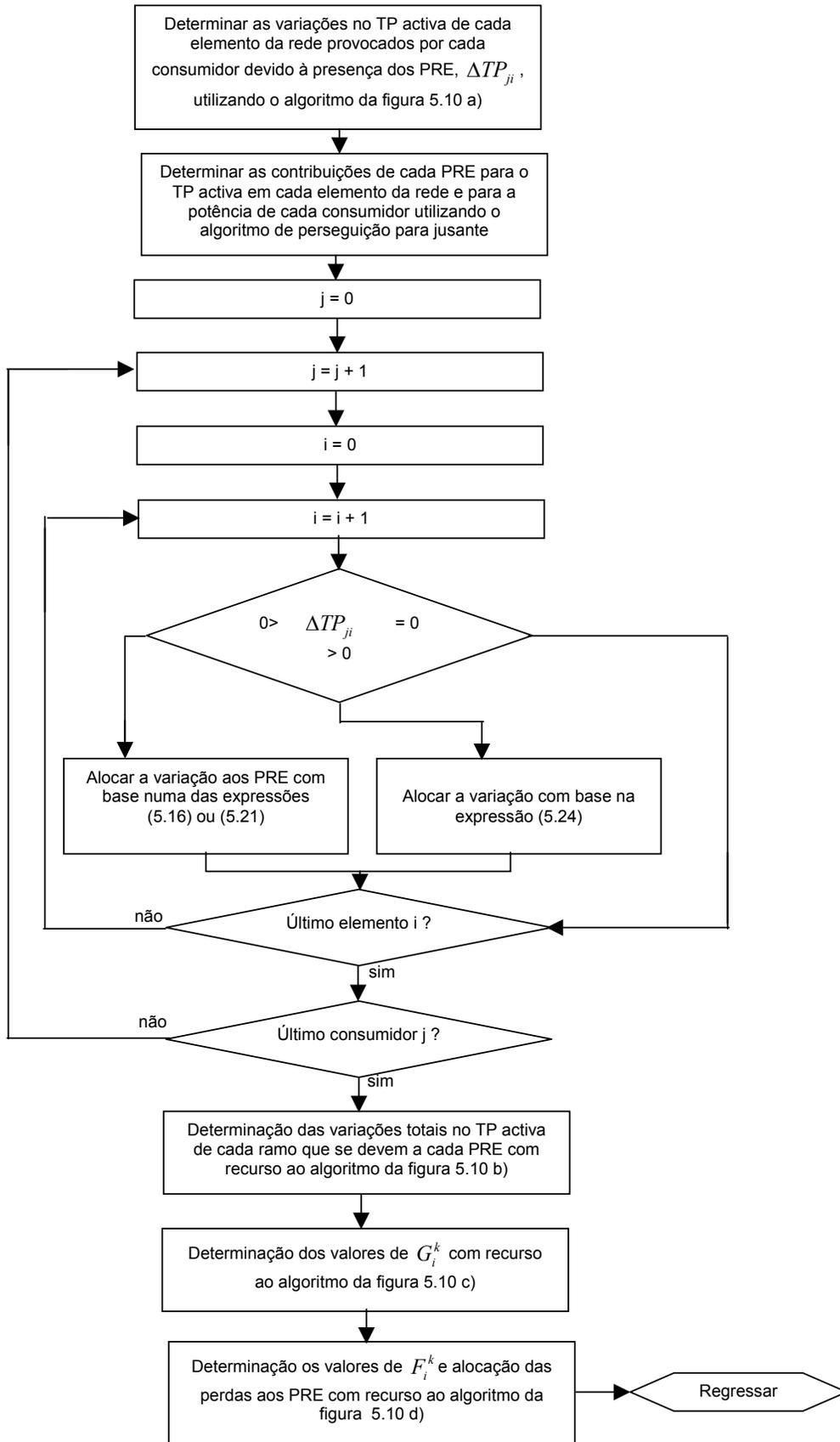


Figura 5.9 – Algoritmo para alocação de perdas aos PRE – Variante das potências

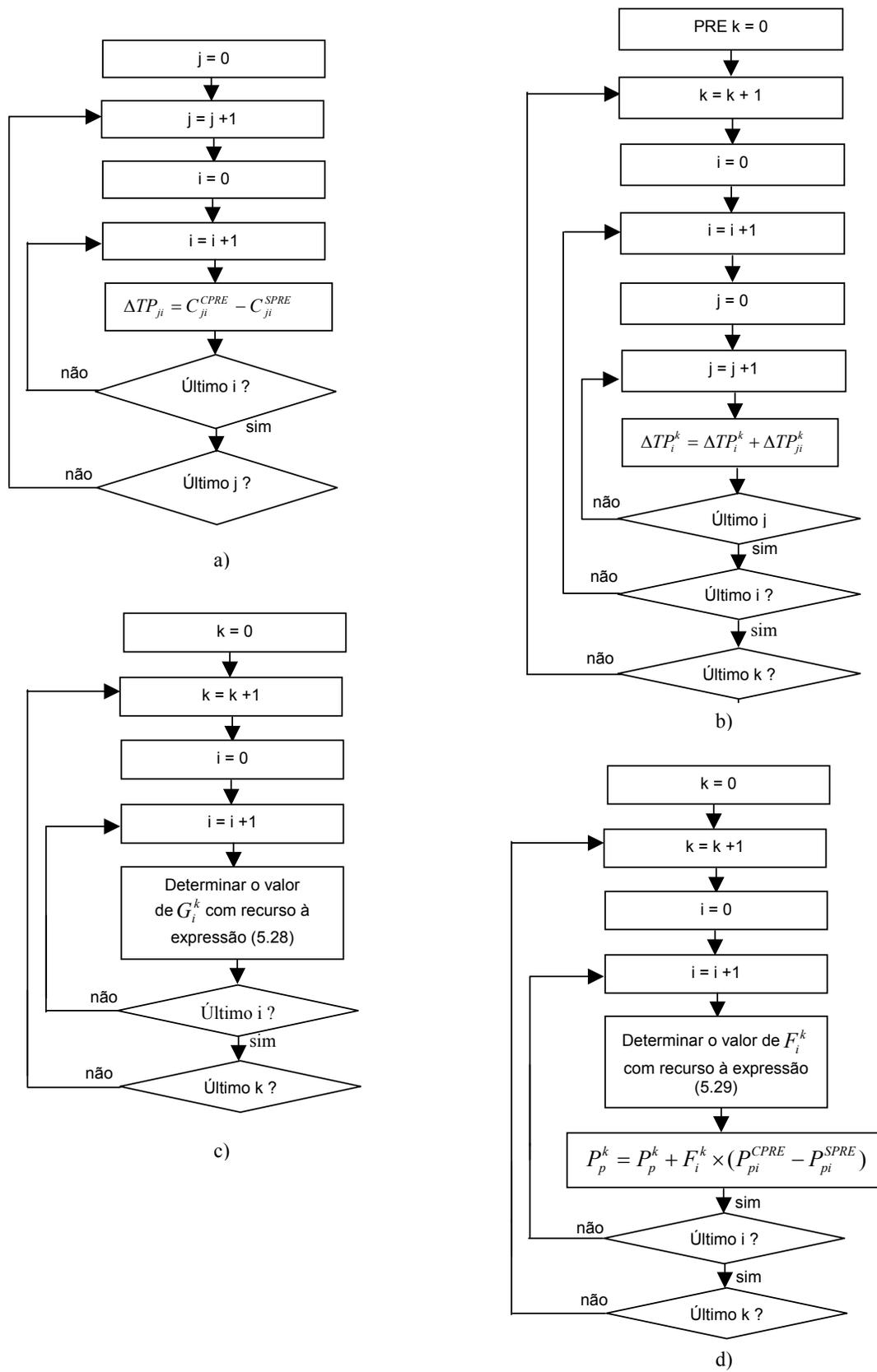


Figura 5. 10 – Algoritmos para alocação de perdas- Variante das potências

5.1.3 – Casos particulares na aplicação do método

Um caso particular na aplicação do método pode ocorrer quando, na rede de distribuição, existirem malhas e em especial nos momentos em que os trânsitos de potência se fizerem com direcção da rede de distribuição para a subestação. As figuras 5.11 e 5.12 mostram uma pequena rede que permitirá ilustrar a ocorrência deste caso.

A primeira das figuras mostra a rede sem a presença de produtores em regime especial e a forma como, nestas circunstâncias, o consumidor C_2 é alimentado, ou seja, por onde flui a potência em sua direcção. A figura 5.12 mostra a mesma rede, mas agora com a presença de um PRE. Nesta figura é também ilustrada a forma como o consumidor C_2 é alimentado, quando o PRE está presente na rede, bem como a forma como a potência injectada por este circula na rede.

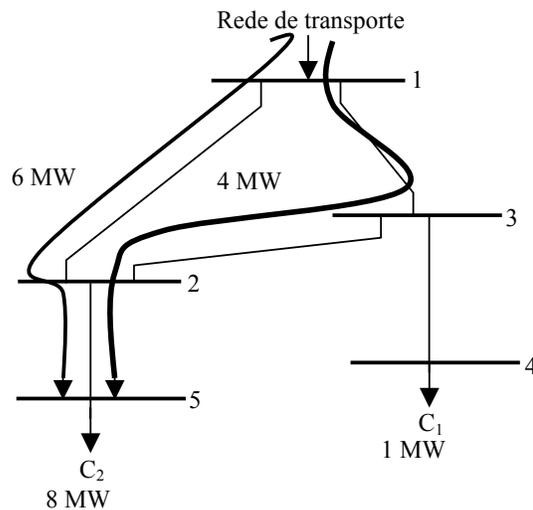


Figura 5. 11 – Alimentação do consumidor C_2 antes da presença de PRE

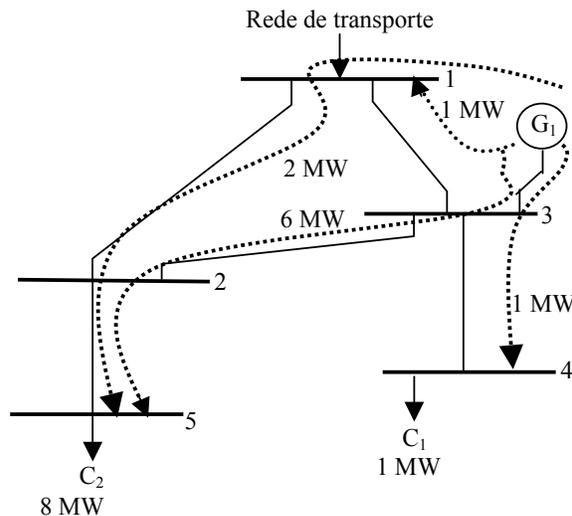


Figura 5. 12 – Alimentação do consumidor C_2 após inserção de PRE

Tendo em conta o algoritmo para alocação de perdas evitadas ou acrescentadas pelos PRE a estes, as perdas evitadas que ocorrem no ramo que une os barramentos 1 e 2 não serão alocadas ao PRE. De facto, a presença do PRE conduz a que o trânsito de potência no ramo que une os barramentos 1 e 2 seja reduzido à custa de um maior trânsito de potência no ramo que une os barramentos 3 e 2. Em consequência desta redução no trânsito de potência do ramo 1-2, as suas perdas serão também reduzidas, sendo a responsabilidade por tal redução do PRE presente na rede.

O algoritmo até agora descrito impede que estas perdas evitadas sejam alocadas ao PRE. O motivo para tal resulta do facto de o algoritmo de perseguição para jusante imputar ao PRE a responsabilidade por parte do trânsito de potência do ramo 1-2 o que impede que as perdas evitadas neste, pela redução do trânsito de potência que o consumidor C_2 implica, lhe sejam alocadas.

A solução para este problema consiste em considerar que, uma vez entregue a potência ao barramento 1, esta passa a ser da responsabilidade da rede de transporte, e portanto o contributo do PRE para o trânsito de potência nos ramos 1-2 deve ser considerado nulo.

Obviamente que, sendo nula a contribuição do PRE para o ramo 1-2, a sua contribuição para o ramo 2-5 será também menor, sendo igual aquela que se faz pelo ramo 3-2. A contribuição inicial do PRE para o trânsito de potência do ramo 2-5 é igual a 8 MW. Considerando nula a sua contribuição para o ramo 1-2, a contribuição para o ramo 2-5 diminui para 6 MW, ou seja diminui para 75 % do valor anterior.

Os contributos do PRE para todos os elementos de rede, consumidores incluídos, situados a jusante do barramento 2 passarão a ser iguais a 75 % do seu valor anterior. Note-se que, o princípio das participações médias permanece aplicável. Significa isto que, o consumidor C_2 passa a receber do PRE 75 % do valor inicial, ou seja 75 % dos 8 MW iniciais.

Os valores que deixaram de ser atribuídos ao PRE passam a ser da responsabilidade da rede de transporte. Assim, o contributo da rede de transporte para o ramo 1-2 passa de 0 para 2 MW, no ramo 2-5 passa de 0 para 2 MW e para o consumidor passa de 0 para 2 MW também.

Note-se que este procedimento não implica acréscimo de custos para qualquer entidade.

5.1.4 – Aplicação do método

Apresenta-se de seguida a aplicação deste método à rede teste apresentada na figura 4.1 do capítulo 4.

Com recurso a um estudo de trânsito de potências AC, e considerando os PRE fora de serviço, obtiveram-se os valores de trânsito de potências e de perdas em cada elemento da rede que se apresentaram na tabela 4.4. Aplicou-se de seguida o algoritmo de linearização baseado nas potências líquidas, o qual permitiu obter os trânsitos de potência característicos em cada elemento da rede que se apresentaram na tabela 4.13.

A aplicação do algoritmo de perseguição permitiu conhecer de que forma cada consumidor do sistema contribui para os trânsitos de potência característico em cada elemento da rede. Estas contribuições encontram-se na tabela 4.14.

Com recurso às expressões (5.4) e (5.5) obtiveram-se os seguintes factores de perdas para cada consumidor relativamente a cada ramo da rede, F_i^j :

Tabela 5. 6 – Factores de perdas para cada consumidor

| Consumidor | Ramo | | | | | |
|------------|--------|-------|-------|-------|-------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0,898 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,013 | 0,134 | 0,134 | 0,134 | 0 | 0 |
| 3 | 0,0566 | 0,545 | 0,545 | 0,545 | 0,640 | 0 |
| 4 | 0,032 | 0,320 | 0,320 | 0,320 | 0,360 | 1 |
| Total | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

O valor de perdas que cada consumidor suporta em cada ramo, P_{pi}^j , bem como o valor global de perdas suportadas por cada consumidor, P_p^j , são apresentados na tabela 5.7.

Tabela 5. 7 – Perdas a suportar por cada consumidor da rede (MW)

| Consumidor | Ramo | | | | | | $P_p^j = \sum_{i=1}^L P_{pi}^j$ |
|-----------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 2,545 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,545 |
| 2 | 0,0373 | 0,0113 | 0,411 | 0,454 | 0 | 0 | 0,914 |
| 3 | 0,160 | 0,046 | 1,666 | 1,842 | 0,440 | 0 | 4,154 |
| 4 | 0,091 | 0,027 | 0,979 | 1,082 | 0,247 | 0,255 | 2,681 |
| P_{pi}^{SPRE} | 2,833 | 0,084 | 3,056 | 3,378 | 0,687 | 0,255 | 10,294 |

No passo seguinte procedeu-se de forma análoga, mas agora considerando em serviço as instalações dos PRE. Os novos valores dos trânsitos de potência e de perdas obtidos para cada elemento da rede encontram-se na tabela 4.5.

A aplicação do mesmo algoritmo de linearização do passo anterior conduziu à obtenção dos trânsitos de potência característicos em cada elemento da rede que se apresentaram na tabela 4.47.

É importante realçar que o algoritmo de linearização utilizado altera as potências geradas pelos PRE, passando elas a ser iguais a 9,870 MW para o PRE 1 e de 9,965 MW para o PRE 2. A rede de transporte injecta na rede uma potência de 120,165 MW.

Com recurso ao algoritmo de perseguição, obteve-se a forma como cada consumidor do sistema contribui para o trânsito de potência em cada elemento da rede quando os PRE estão em serviço.

Tabela 5. 8 – Contribuição de cada consumidor para o trânsito de potência característico em cada ramo da rede quando os PRE se encontram em serviço (MW)

| Ramo | Consumidor | | | | Total |
|------|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | 43,02 | 4,46 | 7,64 | 5,73 | 60,85 |
| 2 | 0 | 5,18 | 8,88 | 6,66 | 20,72 |
| 3 | 0 | 14,82 | 25,42 | 19,07 | 59,31 |
| 4 | 0 | 20 | 34,31 | 25,73 | 80,04 |
| 5 | 0 | 0 | 34,31 | 25,73 | 60,04 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 30 | 30 |

Procedeu-se de seguida à avaliação das variações nos trânsitos de potência que cada consumidor implica em cada elemento da rede pelo facto de existirem PRE, obtendo-se:

Tabela 5. 9 – Variações nas contribuições de cada consumidor para o trânsito de potência característico de cada ramo da rede (MW)

| Ramo | Consumidor | | | | Variação no TP |
|------|------------|-------|-------|-------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | -6,98 | -0,36 | -2,0 | -1,50 | -10,84 |
| 2 | 0 | 0,36 | -0,76 | -0,57 | -0,97 |
| 3 | 0 | -0,36 | -4,94 | -3,70 | -9,00 |
| 4 | 0 | 0 | -5,69 | -4,27 | -9,96 |
| 5 | 0 | 0 | -5,69 | -4,27 | -9,96 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Para se poder efectuar a alocação destas variações aos PRE, torna-se necessário conhecer de que forma a potência gerada em cada PRE se distribui pela rede. A aplicação do algoritmo descrito anteriormente, na secção 3.3.1 (proposto por Bialek), permite-nos obter esta informação. A aplicação desse algoritmo à rede exemplo permite avaliar a influência de cada PRE no trânsito de potência activa de cada elemento da rede e conhecer como cada PRE contribui para a alimentação de cada consumidor. A forma como cada PRE contribui para o trânsito de potência em cada elemento da rede encontra-se na tabela 4.49. As contribuições de cada PRE e da rede de transporte para a alimentação de cada consumidor encontram-se na tabela que se segue.

Tabela 5. 10 – Contribuição de cada PRE e da rede de transporte para potência activa de cada consumidor (MW)

| | Consumidor | | | | Total |
|-----------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| | Cons 1 | Cons 2 | Cons 3 | Cons 4 | |
| Rede transporte | 43,02 | 19,28 | 33,07 | 24,80 | 120,17 |
| PRE 1 | 6,98 | 0,72 | 1,24 | 0,93 | 9,87 |
| PRE 2 | 0 | 0 | 5,69 | 4,27 | 9,96 |
| Total | 50 | 20 | 40 | 30 | 140 |

A aplicação das expressões apresentadas na descrição do método conduz à obtenção das seguintes variações nos trânsitos de potência de cada ramo i atribuídas a cada PRE k , ΔTP_i^k :

Tabela 5. 11 – Variações nos trânsitos de potência de cada ramo atribuídas a cada PRE (MW)

| PRE | Ramo | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | -7,97 | 0,36 | -1,91 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -2,87 | -1,33 | -7,09 | -9,96 | -9,96 | 0 |
| Total | -10,84 | -0,97 | -9,00 | -9,96 | -9,96 | 0 |

As variações nas perdas de cada ramo da rede são apresentadas na tabela 5.12.

Tabela 5. 12 – Variações nas perdas de cada elemento da rede devidas aos PRE (MW)

| | Ramo | | | | | |
|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Perdas S/ PRE | 2,834 | 0,084 | 3,055 | 3,379 | 0,687 | 0,255 |
| Perdas C/ PRE | 2,021 | 0,074 | 2,238 | 2,604 | 0,492 | 0,248 |
| Varição | -0,813 | -0,010 | -0,818 | -0,775 | -0,195 | -0,007 |
| | Varição total | | | | | -2,618 |

A determinação dos factores de perdas, F_i^k , segundo a metodologia descrita conduz aos valores apresentados na tabela que se segue.

Tabela 5. 13 – Factores de perdas para os PRE

| PRE | Ramo | | | | | |
|-------|-------|--------|-------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0,723 | -0,381 | 0,222 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,277 | 1,381 | 0,778 | 1 | 1 | 0 |
| Total | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Os valores das variações de perdas em cada elemento da rede alocados a cada PRE, P_{pi}^k , e o valor global de perdas alocadas a cada PRE, P_p^k pelo método encontram-se apresentados na tabela 5.14.

Tabela 5. 14 – Perdas alocadas a cada PRE (MW)

| PRE | Ramo | | | | | | $P_p^k = \sum_{i=1}^L P_{pi}^k$ |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---|---------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | -0,587 | 0,004 | -0,182 | 0 | 0 | 0 | -0,765 |
| 2 | -0,226 | -0,014 | -0,636 | -0,775 | -0,195 | 0 | -1,846 |
| Total | -0,813 | -0,01 | -0,818 | -0,775 | -0,195 | 0 | -2,611 |

Note-se que, os valores negativos significam que o PRE deve ser remunerado por perdas evitadas, enquanto que os valores positivos significam que deve pagar perdas.

A diferença entre o somatório das perdas alocadas a cada PRE (-2,611 MW) e o valor real das perdas a alocar (-2,618 MW) iguala o valor da variação nas perdas do ramo 6, as quais, não são alocadas de forma directa por este método. Esta é uma das dificuldades do

método, apresentadas e discutidas na secção 5.1.5.1. A variação nas perdas do ramo 6 deve-se exclusivamente às variações nos níveis de tensão da rede, e podem ser alocadas com base nas potências aparentes de cada PRE, como explicado na secção 5.1.5.1. Neste caso, tendo em conta que as potências aparentes de ambos os PRE são iguais temos que as perdas alocadas a cada PRE serão:

Tabela 5. 15 – Perdas totais alocadas a cada PRE

| PRE | Perdas alocadas (MW) |
|-------|----------------------|
| 1 | -0,7685 |
| 2 | -1,8495 |
| Total | -2,618 |

A aplicação deste método à rede anterior, em horas de vazio, onde os trânsitos de potência em direcção aos consumidores são inferiores foi também efectuado, apresentando-se os resultados em seguida. Os PRE foram considerados com igual potência, o que conduziu a uma inversão nos trânsitos de potência da maioria dos ramos da rede. No que se refere à rede de transporte, esta deixou de alimentar a rede para passar a ser alimentada por esta, comportando-se como um consumidor para fins de aplicação do método. Os valores das potências activas dos consumidores e dos PRE considerados foram os apresentados na tabela 5.16. Na execução do estudo de trânsito de potências AC considerou-se que os consumidores têm uma potência reactiva igual a 40% da respectiva potência activa.

Tabela 5. 16 – Potências dos consumidores e dos PRE nas horas de vazio

| Consumidor | Potência (MW) |
|------------|---------------|
| 1 | 5 |
| 2 | 2 |
| 3 | 4 |
| 4 | 3 |

| PRE | Potência (MW) |
|-----|---------------|
| 1 | 10 |
| 2 | 10 |

Os valores dos trânsitos de potência e de perdas em cada elemento da rede, antes da inserção dos PRE, são:

Tabela 5. 17 – Trânsitos de potência activa e perdas na rede nas horas de vazio

| Ramo | Barramento i | Barramento j | P_{ij} (MW) | Perdas (MW) |
|-----------------------|--------------|--------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 4 | 7,128 | 0,0251 |
| 2 | 4 | 2 | 2,103 | 0,0006 |
| 3 | 1 | 2 | 6,9613 | 0,0266 |
| 4 | 2 | 3 | 9,037 | 0,0286 |
| 5 | 3 | 5 | 7,008 | 0,0058 |
| 6 | 5 | 6 | 3,002 | 0,0021 |
| Perdas totais sem PRE | | | | 0,0889 |

A aplicação do algoritmo de linearização conduziu à obtenção dos seguintes trânsitos de potência característicos em cada elemento da rede:

Tabela 5. 18 – Trânsitos de potência activa característicos nas horas de vazio e estando a rede sem PRE

| Ramo | Trânsito potência característico (MW) |
|------|---------------------------------------|
| 1 | 7,09 |
| 2 | 2,09 |
| 3 | 6,90 |
| 4 | 9 |
| 5 | 7 |
| 6 | 3 |

Os resultados obtidos pela aplicação do algoritmo de perseguição são apresentados na tabela 5.19.

Tabela 5. 19 – Contribuição de cada consumidor para o trânsito de potência activa característico em cada ramo da rede nas horas de vazio e sem PRE (MW)

| Ramo | Consumidor | | | | | Rede Transporte | Total |
|------|------------|------|------|------|--|-----------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | | |
| 1 | 5 | 0,47 | 0,93 | 0,70 | | 0 | 7,10 |
| 2 | 0 | 0,47 | 0,93 | 0,70 | | 0 | 2,10 |
| 3 | 0 | 1,53 | 3,07 | 2,30 | | 0 | 6,90 |
| 4 | 0 | 2 | 4 | 3 | | 0 | 9 |
| 5 | 0 | 0 | 4 | 3 | | 0 | 7 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 3 | | 0 | 3 |

A aplicação das expressões (5.4) e (5.5) permitiu obter os seguintes factores de perdas para cada consumidor relativamente a cada ramo da rede, F_i^j :

Tabela 5. 20 – Factores de perdas para os consumidores nas horas de vazio

| Consumidor | Ramo | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0,903 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,013 | 0,137 | 0,134 | 0,134 | 0 | 0 |
| 3 | 0,054 | 0,542 | 0,546 | 0,545 | 0,640 | 0 |
| 4 | 0,031 | 0,321 | 0,320 | 0,320 | 0,360 | 1 |
| Total | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

O valor de perdas que cada consumidor suporta em cada ramo, bem como o valor global de perdas a suportar por cada consumidor valem:

Tabela 5. 21 – Perdas a serem suportadas por cada consumidor nas horas de vazio (MW)

| Consumidor | Ramo | | | | | | $P_p^j = \sum_{i=1}^L P_{pi}^j$ |
|-----------------|--------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 0,0227 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0227 |
| 2 | 0,0003 | $8,83 \times 10^{-5}$ | 0,0036 | 0,0038 | 0 | 0 | 0,0078 |
| 3 | 0,0013 | 0,0003 | 0,0145 | 0,0156 | 0,0037 | 0 | 0,0355 |
| 4 | 0,0008 | 0,0002 | 0,0085 | 0,0092 | 0,0021 | 0,0021 | 0,0229 |
| P_{pi}^{SPRE} | 0,0251 | 0,0006 | 0,0266 | 0,0286 | 0,0058 | 0,0021 | 0,0889 |

Após inserção dos PRE, obtiveram-se os seguintes trânsitos de potência activa e perdas:

Tabela 5. 22 – Trânsitos de potência activa e perdas em cada ramo da rede nas horas de vazio e com PRE

| Ramo | Barramento i | Barramento j | P_{ij} (MW) | Perdas (MW) |
|-----------------------|--------------|--------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 4 | -3,63 | 0,0059 |
| 2 | 4 | 2 | 1,36 | 0,0002 |
| 3 | 1 | 2 | -2,36 | 0,0034 |
| 4 | 2 | 3 | -1,00 | 0,0003 |
| 5 | 3 | 5 | -3,00 | 0,0010 |
| 6 | 5 | 6 | 3,00 | 0,0021 |
| Perdas totais com PRE | | | | 0,0129 |

A aplicação do algoritmo de linearização conduz à obtenção dos seguintes trânsitos de potência característicos em cada elemento da rede:

Tabela 5. 23 – Trânsitos de potência activa característicos nos ramos da rede nas horas de vazio e com PRE

| Ramo | Trânsito potência característico (MW) |
|------|---------------------------------------|
| 1 | -3,63 |
| 2 | 1,36 |
| 3 | -2,36 |
| 4 | -1,00 |
| 5 | -3,00 |
| 6 | 3,00 |

Os valores negativos presentes nas tabelas 5.22 e 5.23 significam que o trânsito de potência se faz em sentido inverso.

As contribuições de cada consumidor para o trânsito de potência activa em cada elemento da rede, são:

Tabela 5. 24 – Contribuição de cada consumidor para o trânsito de potência activa característico em cada ramo da rede nas horas de vazio e com PRE (MW)

| Ramo | Consumidor | | | | Rede Transporte | Total |
|------|------------|----|---|---|-----------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3,63 | -3,63 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,36 | 1,36 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2,36 | -2,36 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1,00 | -1,00 |
| 5 | 0 | -2 | 0 | 0 | -1,00 | -3,00 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 |

As variações nos trânsitos de potência activa que cada consumidor implica em cada elemento da rede pelo facto de existirem PRE são neste caso:

Tabela 5. 25 – Variações nos trânsitos de potência activa característicos em cada ramo devido a cada consumidor nas horas de vazio (MW)

| Ramo | Consumidor | | | | Rede Transporte | Variação no TP |
|------|------------|-------|-------|-------|-----------------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 1 | -5 | -0,47 | -0,93 | -0,70 | -3,63 | -10,73 |
| 2 | 0 | -0,47 | -0,93 | -0,70 | 1,36 | -0,74 |
| 3 | 0 | -1,53 | -3,07 | -2,30 | -2,36 | -9,26 |
| 4 | 0 | -2 | -4 | -3 | -1 | -10 |
| 5 | 0 | -2 | -4 | -3 | -1 | -10 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

A influência de cada PRE nos trânsitos de potência de cada elemento da rede e a forma como cada PRE contribui para a alimentação de cada consumidor encontram-se apresentadas nas tabelas 5.26 e 5.27.

Tabela 5. 26 – Contribuição de cada PRE para o trânsito de potência activa em cada ramo (MW)

| Ramo | PRE 1 | PRE 2 | Total |
|------|-------|-------|-------|
| 1 | -3,63 | 0 | -3,63 |
| 2 | 1,36 | 0 | 1,36 |
| 3 | -1,36 | -1,00 | -2,36 |
| 4 | 0 | -1,00 | -1,00 |
| 5 | 0 | -3,00 | -3,00 |
| 6 | 0 | 3,00 | 3,00 |

Tabela 5. 27 – Contribuição de cada PRE para a potência activa de cada consumidor (MW)

| | Consumidor | | | | Rede Transporte | Total |
|-------|------------|--------|--------|--------|-----------------|-------|
| | Cons 1 | Cons 2 | Cons 3 | Cons 4 | | |
| PRE 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 4,99 | 9,99 |
| PRE 2 | 0 | 2 | 4 | 3 | 1,0 | 10 |
| Total | 5 | 2 | 4 | 3 | 5,99 | |

As variações nos trânsitos de potência activa de cada ramo, atribuídas a cada PRE pelo método são:

Tabela 5. 28 – Variações nos trânsitos de potência activa de cada ramo atribuídas a cada PRE (MW)

| PRE | Ramo | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|--------|--------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | -8,63 | 1,36 | -1,36 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -2,1 | -2,1 | -7,90 | -10 | -10 | 0 |
| Total | -10,73 | -0,74 | -9,26 | -10,00 | -10,00 | 0 |

Atendendo a que as variações nas perdas desta rede são iguais a:

Tabela 5. 29 – Variação nas perdas dos elementos da rede nas horas de vazio provocadas pelos PRE (MW)

| | Ramo | | | | | |
|---------------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Perdas S/ PRE | 0,0251 | 0,0006 | 0,0266 | 0,0286 | 0,0058 | 0,0021 |
| Perdas C/ PRE | 0,0059 | 0,0002 | 0,0034 | 0,0003 | 0,0010 | 0,0021 |
| Varição | -0,0192 | -0,0004 | -0,0232 | -0,0283 | -0,0048 | 0 |
| | Varição total | | | | | -0,0759 |

A determinação dos factores de perdas, segundo a metodologia descrita conduz aos seguintes valores:

Tabela 5. 30 – Factores de perdas para os PRE nas horas de vazio

| PRE | Ramo | | | | | |
|-------|-------|--------|-------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0,372 | -2,294 | 0,388 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,628 | 3,294 | 0,612 | 1 | 1 | 0 |
| Total | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

O valor da variação de perdas em cada elemento da rede bem como as variações totais alocadas a cada PRE são:

Tabela 5. 31 – Perdas alocadas a cada PRE nas horas de vazio (MW)

| PRE | Ramo | | | | | | $P_p^m = \sum_{i=1}^L P_{pi}^m$ |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---|---------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | -0,007 | 0,0009 | -0,0091 | 0 | 0 | 0 | -0,0152 |
| 2 | -0,0121 | -0,0013 | -0,0142 | -0,0283 | -0,0048 | 0 | -0,0607 |
| Total | -0,0191 | -0,0004 | -0,0232 | -0,0283 | -0,0048 | 0 | -0,0759 |

Neste caso não existem perdas não alocadas, pelo que estes são os valores de perdas finais alocados a cada PRE.

5.1.5 – Dificuldades de aplicação do método

5.1.5.1 – Influência das tensões

A aplicação deste método, tal como definido até agora, reveste-se de algumas dificuldades significativas fundamentalmente no que se refere à alocação de perdas aos PRE. A primeira liga-se com a possibilidade de não alocação de perdas evitadas, cuja única causa é o aumento dos níveis de tensão na rede tal como se verificou na secção 5.1.4 aquando da aplicação do método à rede da figura 4.1. Como referido na secção 2.2, as perdas num determinado elemento i de uma rede de distribuição podem variar mesmo não se alterando o trânsito de potência característico que se faz sentir nesse elemento. Este facto deve-se ao aumento dos valores das tensões nos barramentos do sistema, os quais condicionam também as perdas. O exemplo da figura 5.13 que se segue ilustra esta situação.

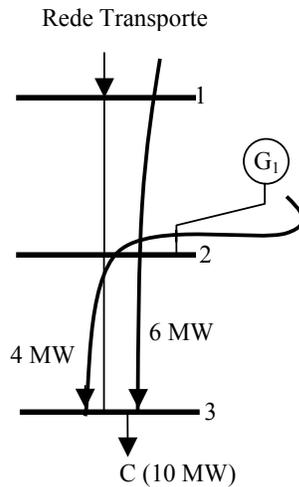


Figura 5. 13 – Variação nas perdas de um ramo por acção da variação nas tensões da rede

Caso o PRE não existisse, toda a potência necessária para alimentar o consumidor C viria da rede de transporte, provocando um trânsito de potência característico de 10 MW nos ramos 1-2 e 2-3. A presença do PRE não altera este trânsito de potência no ramo 2-3, mas o nível de perdas deste ramo pode ver-se reduzido. Tal redução deve-se ao facto da queda de tensão nos barramentos diminuir devido à presença do PRE. A redução de perdas no ramo 2-3 deve-se, sem dúvidas, à acção do PRE, mas a sua alocação a este não é conseguida pelo algoritmo do método descrito, uma vez que não há qualquer variação no trânsito de potência do ramo. No entanto, e uma vez que somente existe um PRE, seria trivial imputar-lhe estas perdas evitadas.

O problema agrava-se quando existe mais que um PRE, tal como se mostra no exemplo da figura que se segue:

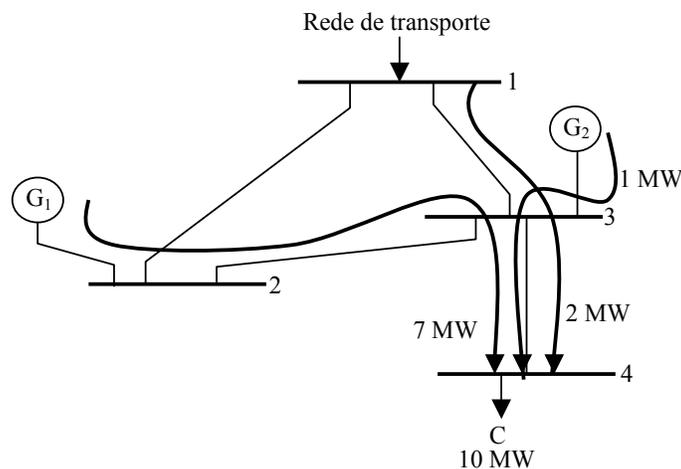


Figura 5. 14 – Variação nas perdas de um ramo por acção das variações nas tensões provocadas por mais que um PRE

Neste caso, apesar da presença dos PRE, o trânsito de potência no ramo 3-4 não se altera, mas as suas perdas podem ver-se reduzidas devido ao facto das quedas de tensão diminuírem. Se, no exemplo anterior, a alocação destas perdas evitadas era simples, uma vez que existia um único PRE, agora o problema complica-se uma vez que existe mais que um

candidato a quem alocar as perdas evitadas do ramo 3-4. Note-se ainda que a variação no trânsito de potência característico do ramo é nula e que ambos os PRE contribuem para o seu trânsito de potência, pelo que o algoritmo de alocação descrito não permitirá a alocação destas perdas evitadas a nenhum PRE, embora estes sejam de facto os responsáveis pela sua existência.

É importante referir que, as perdas evitadas não alocadas são, geralmente, de valor reduzido e podem ser determinadas pela expressão:

$$P_p^{na} = (P_p^{CPRE} - P_p^{SPRE}) - P_p^a \quad (5.32)$$

onde:

P_p^{CPRE} é o valor das perdas totais da rede estando os PRE em serviço.

P_p^{SPRE} é o valor das perdas totais da rede estando os PRE fora de serviço.

P_p^a é o valor de perdas alocadas pelo algoritmo base, determinado por $P_p^a = \sum_{l=1}^h P_p^l$

Uma vez que estas variações nas perdas da rede existem, e que se devem aos PRE, a sua alocação a estes é óbvia. Para tal, deve utilizar-se algum procedimento consistente e que não conduza a um aumento demasiado na complexidade do método.

Várias alternativas são passíveis de serem utilizadas para alocação destas perdas evitadas. Uma primeira alternativa pode ser baseada nas “contas finais”, ou seja, efectuar a alocação destas perdas aos PRE de acordo com a dimensão das perdas alocadas a cada um pelo algoritmo base. Neste caso, ao PRE m será atribuída uma parte das perdas não alocadas igual a:

$$P_m^{na} = \frac{P_p^m}{\sum_{j=1}^h P_p^j} P_p^{na} \quad (5.33)$$

Esta é, no entanto, uma alternativa que pode conduzir a resultados inconsistentes e a situações de subsidiação cruzada entre PRE, em especial quando aos PRE forem alocadas, pelo algoritmo base, perdas com sinal contrário, ou seja, quando uns PRE tiverem de pagar e outros de receber perdas. Para se ilustrar esta situação, admitamos que numa determinada rede as perdas antes da presença dos PRE eram iguais a 3 MW, e que após a inserção dos PRE as perdas valem 2 MW. Admitamos ainda que, existem apenas dois PRE na rede, e que o algoritmo base alocou ao PRE 1 um valor de perdas igual a -1,1 MW e ao PRE 2 um valor de 0,2 MW. O valor de perdas não alocadas será então:

$$P_p^{na} = (2 - 3) - (-1,1 + 0,2) = -0,1 \text{ MW} \quad (5.34)$$

A aplicação do método referido para alocar estas perdas aos PRE conduziria aos seguintes resultados:

$$\begin{aligned}
 P_1^{na} &= \frac{-1,1}{-1,1+0,2} \times (-0,1) = -0,12222 \text{ MW} \\
 P_2^{na} &= \frac{0,2}{-1,1+0,2} \times (-0,1) = 0,02222 \text{ MW}
 \end{aligned}
 \tag{5.35}$$

Ou seja, o PRE 1 é remunerado por perdas evitadas enquanto o PRE 2 tem de suportar perdas. Note-se no entanto que ambos podem contribuir de forma idêntica para a melhoria das tensões da rede. Esta é de facto uma situação que pode conduzir a situações de inconsistência e de subsidiação cruzada indesejadas.

Uma segunda alternativa, que pode ter diferentes variantes e que elimina o problema apresentado na alternativa anterior, é a alocação das perdas evitadas não alocadas com base nas potências de cada PRE. O ajustamento de perdas é então feito com base na potência de cada PRE. As diferentes variantes desta alternativa relacionam-se fundamentalmente com a potência que deve ser considerada para efectuar tal ajustamento.

A utilização da potência activa de cada PRE permite manter alguma coerência com o método base, uma vez que este efectua a alocação das perdas aos PRE com base na potência activa. Por outro lado, a potência reactiva pode ser uma boa alternativa, uma vez que os níveis de tensão na rede variam mais significativamente com os trânsitos de potência reactiva e logo com o valor desta potência que cada PRE injecta. A terceira variante passa pela consideração da potência aparente de cada PRE, a qual permite ter em conta, por um lado alguma coerência com o método base, e por outro a ligação forte entre os níveis de tensão da rede e os trânsitos de potência reactiva.

Nesta alternativa, a cada PRE será alocado um valor de perdas não alocadas pelo método base igual a:

$$P_m^{na} = \frac{W_m}{\sum_{j=1}^h W_j} P_p^{na} \tag{5.36}$$

onde:

W_m representa a potência do PRE m. Esta potência pode ser a potência aparente, a activa ou a reactiva, consoante o critério adoptado para efectuar a partilha.

No caso do exemplo anterior, e considerando que ambos os PRE possuem igual potência, teremos que a cada um serão atribuídas metade das perdas não alocadas.

Esta necessidade de uma “fase final” de alocação leva à alteração do algoritmo da figura 5.9, nos seus blocos finais, passando a aplicar-se o algoritmo que se apresenta na figura 5.15. Note-se que esta segunda fase apenas se destina à alocação de perdas que não são alocadas pelo método base, ou seja as perdas que se devem unicamente à variação nos níveis de tensão da rede.

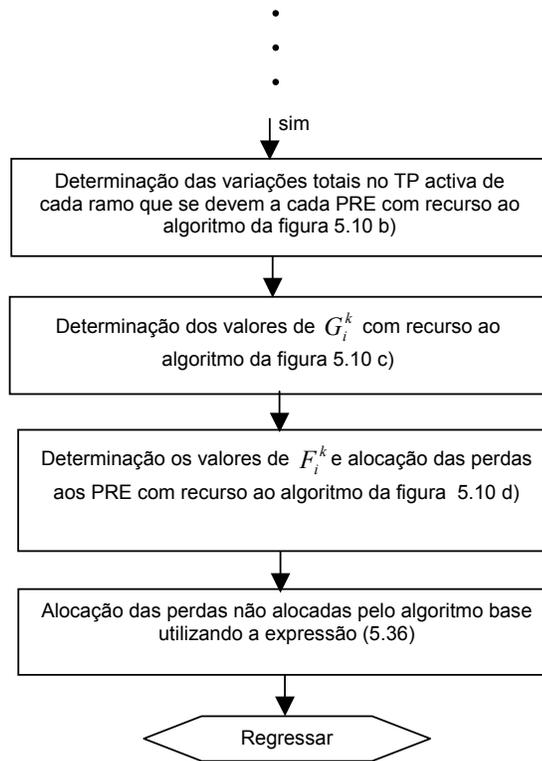


Figura 5. 15 – Algoritmo modificado para alocação de perdas aos PRE – variante potências

5.1.5.2 – Dificuldades na determinação de factores de perdas

Outra dificuldade do método é que podem ocorrer situações em que se torna impossível a determinação dos factores de perdas dos PRE relativamente a um determinado elemento i através da expressão (5.29). De facto, e tendo em conta a definição dos factores de perdas expressa em (5.29), temos que, quando o denominador desta se anula, os valores dos factores de perdas ficam indeterminados. O exemplo que se segue permite mostrar uma dificuldade deste tipo.

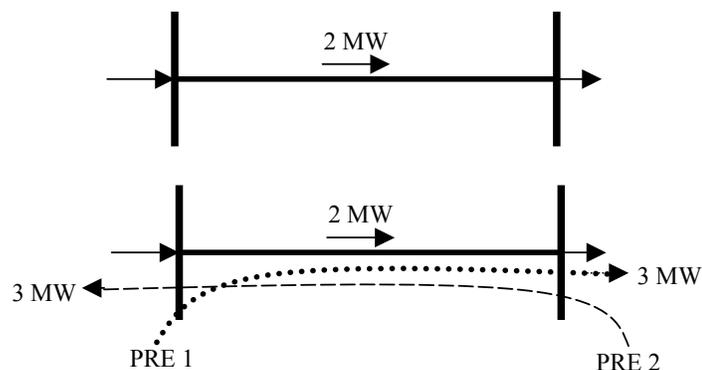


Figura 5. 16 – Impossibilidade de determinar os factores de perdas

Admitindo, numa situação inicial, que o ramo i é percorrido por um trânsito de potência de 2 MW, provenientes da rede de transporte, as perdas serão iguais a:

$$P_{pi}^{SPRE} = 4.k \text{ MW} \quad (5.37)$$

Considerando agora a entrada em serviço de dois PRE, que contribuem para a variação do trânsito de potência no ramo, com igual valor mas em sentidos opostos, teremos que a determinação dos factores de perdas de cada PRE relativamente a este ramo é impossível, uma vez que o denominador da expressão (5.29) se torna nulo, pois $G_i^1 = -G_i^2$.

Torna-se assim necessário definir um procedimento capaz de contornar esta situação. Uma hipótese é a atribuição do valor zero ao factor de perdas de cada PRE relativamente aos elementos da rede onde ocorra uma situação semelhante à referida. No entanto, esta situação poderá conduzir à existência de subsidiação cruzada entre os PRE.

No pequeno exemplo anterior, podemos constatar a existência de uma subsidiação do PRE 2 ao PRE 1, uma vez que este tenderia a provocar um aumento das perdas no ramo, enquanto o PRE 2 tenderia a provocar uma diminuição dessas perdas. Analiticamente poderemos constatar esta situação. As perdas no ramo após inserção dos PRE são dadas por:

$$P_{pi}^{CPRE} = (2^2 + 3^2 + (-3)^2 + 2 \times 2 \times (-3) + 2 \times 2 \times 3 + 2 \times 3 \times (-3))k = 4.k \text{ MW} \quad (5.38)$$

Separando as variações nas perdas correspondentes a cada PRE, e dividindo a parte comum com base no quadrado das contribuições teremos as seguintes variações de perdas:

$$\begin{aligned} \Delta P_{pi}^1 &= \left(3^2 + 2 \times 2 \times 3 + 2 \times 3 \times (-3) \times \frac{3^2}{3^2 + 3^2} \right) .k = 12.k \\ \Delta P_{pi}^2 &= \left((-3)^2 + 2 \times 2 \times (-3) + 2 \times 3 \times (-3) \times \frac{3^2}{3^2 + 3^2} \right) .k = -12.k \end{aligned} \quad (5.39)$$

Ou seja, apesar das perdas no ramo permanecerem as mesmas, o PRE 1 deveria suportar perdas, uma vez que provocaria um aumento, enquanto o PRE 2 deveria ser remunerado pelas perdas que evitaria. A consideração de factores de perdas nulos para ambos os PRE e a não determinação das perdas efectivas que cada PRE evita ou acrescenta faz com que estes não sejam convenientemente responsabilizados pelo seu impacto nestas. As eventuais variações nas perdas de um elemento nestas circunstâncias, a alocar entre os PRE, serão assim exclusivamente devidas às variações nos níveis de tensão da rede e serão alocadas com base no procedimento descrito anteriormente para estas.

Uma outra dificuldade do método e que pode também conduzir a situações de subsidiação cruzada significativas entre PRE é a de dois (ou mais) PRE contribuírem para as variações do trânsito de potência num elemento i de uma rede com valores tais que o seu somatório tenda para um valor próximo de zero. No exemplo da figura que se segue, temos que os factores de perdas de cada PRE são respectivamente:

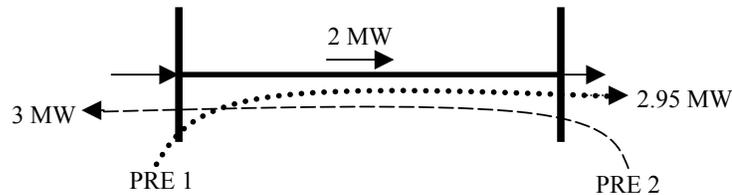


Figura 5. 17 – Somatório dos factores de perdas tende para zero

$$\begin{aligned} F_i^1 &= -59,75306 \\ F_i^2 &= 60,75306 \end{aligned} \quad (5. 40)$$

Se admitirmos que a variação nas perdas do ramo i é de $-0,001\text{MW}$, ou seja as perdas diminuiram, teremos que cada PRE suportaria um valor de perdas igual a:

$$\begin{aligned} P_p^1 &= -59,75306 \times (-0,001) = 0,05975 \\ P_p^2 &= 60,75306 \times (-0,001) = -0,06075 \end{aligned} \quad (5. 41)$$

Nesta situação, o PRE 1 é penalizado pelo facto de contribuir para o aumento de perdas no elemento i , enquanto o PRE 2 é beneficiado sendo remunerado pelas perdas que efectivamente são evitadas e ainda por um valor de perdas que são suportadas pelo PRE 1 e que procura reflectir o aumento de perdas que este provocaria.

Do ponto de vista estritamente conceptual, o método comporta-se de forma coerente. De facto, conduz a que o PRE 2 seja remunerado por perdas evitadas, uma vez que contribui para a redução destas e a que o PRE 1 suporte perdas. A remuneração por perdas evitadas alocada ao PRE 2 inclui as perdas efectivamente evitadas no ramo acrescidas de um valor de perdas suportadas pelo PRE 1. Este valor procura traduzir o restante das perdas que o PRE 2 evitaria caso não existisse a acção do PRE 1.

O problema é que as perdas que o método aloca ao PRE 1 são determinadas de uma forma que pode ser demasiadamente punitiva ou favorável, uma vez que a determinação do aumento de perdas que este provocaria não é efectuada com base nas leis físicas adequadas. Quanto mais próximos forem os valores das contribuições, em sentido oposto, de cada PRE para a variação do trânsito de potência no elemento i , mais significativa se torna esta situação. No caso limite, a diferença entre os módulos das contribuições pode ser extremamente reduzido, mantendo-se o trânsito de potência no ramo praticamente constante, e logo a variação nas perdas com origem nesta variação seria nula. Se, por acção dos aumentos das tensões, o ramo apresentar uma redução de perdas, ainda que muito baixa, poderão ocorrer situação de subsidiação cruzada entre os PRE significativas, devido à forma como estas perdas são alocadas.

A ocorrência de situações como as descritas, ainda que pouco prováveis, podem introduzir distorções no processo de alocação de perdas aos PRE. Poderiam ser introduzidas alterações à forma de cálculo dos factores de perdas tendentes a eliminar ou pelo menos a diminuir os problemas referidos, mas tal conduzirá sempre a uma maior complexidade da metodologia. Uma alternativa à variante das potências, que procura corrigir estes problemas é apresentada no ponto seguinte e é designada por variante das correntes.

5.2 – Variante das correntes

Esta variante, que assenta no mesmo algoritmo que a anterior, permite eliminar algumas das suas dificuldades, referidas na secção 5.1.5.

Existem duas grandes diferenças entre estas duas variantes. A primeira situa-se no facto de que aqui se procura perseguir as correntes na rede de distribuição em vez de se perseguir as potências activas. Esta perseguição é efectuada de forma individual para as componentes em fase e em quadratura das correntes, permitindo portanto contabilizar também os trânsitos de potência reactiva no cálculo das perdas que cada utilizador da rede provoca ou evita. Esta é também uma vantagem face à variante das potências que apenas tinha em consideração, no processo de alocação de perdas, as potências activas.

A segunda diferença relaciona-se com o facto de, nesta variante, se determinar de forma directa as perdas que cada utilizador da rede provoca ou evita em cada elemento da rede.

Uma outra vantagem da variante das correntes é que o processo de linearização, necessário no método das potências para encontrar as potências características de cada ramo, é aqui desnecessário uma vez que as componentes em fase e em quadratura das correntes em cada elemento da rede são iguais em ambas as extremidades.

Uma desvantagem deste método é a sua maior complexidade, uma vez que, como se verá, é necessária uma maior quantidade de cálculos matemáticos.

5.2.1 – Alocação de perdas aos consumidores da rede

O primeiro passo consiste, uma vez mais, na execução de um estudo de trânsito de potências AC sobre a rede, considerando os PRE fora de serviço. Este estudo de trânsitos de potência permitirá conhecer as potências activa e reactiva em cada elemento da rede, bem como as perdas associadas a estes trânsitos de potência. Com base nestes valores procede-se à determinação das componentes em fase e em quadratura das correntes em cada elemento da rede de distribuição. O cálculo, em pu, destas componentes, é efectuado com base na expressão:

$$\bar{S} = \bar{U} \cdot \bar{I}^* \quad (5.42)$$

de onde se pode tirar que:

$$\begin{aligned} \bar{I} &= \frac{\bar{S}^*}{\bar{U}^*} \\ \bar{I} &= I^f + jI^q = \frac{P - jQ}{\bar{U}^*} \end{aligned} \quad (5.43)$$

Redefinindo o valor complexo da corrente:

$$\bar{I} = I^f - jI^q \quad (5.44)$$

teremos que:

$$\begin{aligned} I_i^{f-SPRE} &= \frac{P_i V_a + Q_i V_b}{V_a^2 + V_b^2} \\ I_i^{q-SPRE} &= \frac{Q_i V_a - P_i V_b}{V_a^2 + V_b^2} \end{aligned} \quad (5.45)$$

sendo:

I_i^{f-SPRE} , I_i^{q-SPRE} são, respectivamente, as componentes em fase e em quadratura da corrente no elemento i estando a rede sem os PRE.

P_i , Q_i são, respectivamente, as potências activa e reactiva injectadas no elemento i no barramento r.

V_a , V_b são, respectivamente as partes real e imaginária da tensão no barramento r.

Uma vez determinadas as componentes em fase e em quadratura da corrente, de forma desagregada, em cada elemento da rede, aplica-se o algoritmo de perseguição a cada uma destas componentes. A aplicação, de forma separada, a cada componente das correntes do algoritmo de perseguição permitirá conhecer a forma como cada consumidor j contribui para os valores das componentes em fase, CI_{ji}^{f-SPRE} , e em quadratura, CI_{ji}^{q-SPRE} , da corrente de cada elemento i da rede.

Conhecidas as contribuições referidas, podemos determinar as perdas no ramo i da rede através da expressão:

$$P_{pi} = R \times \left(\left(\sum_{j=1}^Z CI_{ji}^{f-SPRE} \right)^2 + \left(\sum_{j=1}^Z CI_{ji}^{q-SPRE} \right)^2 \right) \quad (5.46)$$

onde:

R representa a resistência do elemento i, em pu.

Z representa o número de consumidores da rede.

O desenvolvimento desta expressão e a consideração de uma partilha quadrática para as partes comuns das perdas, permite concluir que as perdas no elemento i a serem alocadas ao consumidor j valem:

$$P_{pi}^j = R \times \left[\begin{aligned} & \left(CI_{ji}^{f-SPRE} \right)^2 + 2 \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^Z CI_{ji}^{f-SPRE} \times CI_{ki}^{f-SPRE} \times \frac{\left(CI_{ji}^{f-SPRE} \right)^2}{\left(CI_{ji}^{f-SPRE} \right)^2 + \left(CI_{ki}^{f-SPRE} \right)^2} + \\ & + \left(CI_{ji}^{q-SPRE} \right)^2 + 2 \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^Z CI_{ji}^{q-SPRE} \times CI_{ki}^{q-SPRE} \times \frac{\left(CI_{ji}^{q-SPRE} \right)^2}{\left(CI_{ji}^{q-SPRE} \right)^2 + \left(CI_{ki}^{q-SPRE} \right)^2} \end{aligned} \right] \quad (5.47)$$

onde:

P_{pi}^j representa as perdas no elemento i que se devem ao consumidor j, em pu.

Alargando este tratamento a todos os elementos da rede podemos determinar o valor de perdas a alocar a cada consumidor em cada elemento. O valor global de perdas alocadas ao consumidor j será obtido pelo somatório:

$$P_p^j = \sum_{i=1}^L P_{pi}^j \quad (5.48)$$

onde:

L representa o número de elementos do sistema.

5.2.2 – Alocação de perdas aos produtores em regime especial

Este processo assenta nos princípios fundamentais referidos para o método das potências, embora procure determinar as variações nas componentes das correntes de cada elemento da rede que cada PRE origina em vez dos trânsitos de potência. A obtenção destas variações leva a que o processo de alocação das perdas evitadas ou acrescentadas pelos PRE seja efectuado de forma directa, sem recurso à definição de factores de perdas. Atenuam-se assim os problemas relacionados com o cálculo dos factores de perdas e com situações de subsidiação cruzada entre PRE, descritos anteriormente.

Tal como na variante das potências, o processo de alocação de perdas aos PRE inicia-se com a execução de um estudo de trânsito de potências sobre a rede, considerando agora os PRE em serviço. Deste estudo de trânsito de potências retiram-se os novos valores de trânsito de potências e perdas em cada elemento da rede.

A aplicação das expressões (5.45) permitirá obter os novos valores das componentes em fase, I_i^{f-CPRE} , e em quadratura, I_i^{q-CPRE} , da corrente em cada elemento i da rede, estando os PRE em serviço.

A aplicação do mesmo algoritmo de perseguição utilizado anteriormente, permitirá conhecer a forma como cada consumidor j contribui, após a inserção dos PRE, para os valores das componentes em fase, CI_{ji}^{f-CPRE} , e em quadratura, CI_{ji}^{q-CPRE} , da corrente de cada elemento i da rede. De forma semelhante ao que acontece na variante das potências, estes valores podem ser positivos ou negativos, consoante se façam sentir no sentido directo ou inverso respectivamente. Note-se que nesta variante, os sentidos são estabelecidos em função do sentido das potências activa e reactiva de cada elemento para as componentes em fase e em quadratura das correntes respectivamente.

Determinam-se de seguida as variações, devidas à presença dos PRE, nas componentes das correntes que cada consumidor implica em cada elemento da rede. Para tal utiliza-se a expressão:

$$\begin{aligned} \Delta I_{ji}^f &= CI_{ji}^{f-CPRE} - CI_{ji}^{f-SPRE} \\ \Delta I_{ji}^q &= CI_{ji}^{q-CPRE} - CI_{ji}^{q-SPRE} \end{aligned} \quad (5.49)$$

onde:

ΔI_{ji}^f representa a variação na componente em fase da corrente no elemento i devida ao consumidor j.

ΔI_{ji}^q representa a variação na componente em quadratura da corrente no elemento i devida ao consumidor j.

Encontradas as variações nas componentes das correntes que cada consumidor implica em cada elemento da rede torna-se necessário efectuar a sua alocação aos responsáveis pelo seu aparecimento, ou seja aos PRE. Esta alocação é efectuada utilizando o mesmo algoritmo descrito para a variante das potências, mas de forma individual para cada uma das componentes das correntes.

Assim, quando a variação na componente em fase da corrente de um determinado elemento da rede devido a um determinado consumidor for negativa, a sua alocação aos diferentes PRE é efectuada através de uma das seguintes expressões:

$$\Delta I_{ji}^{f-k} = \frac{R_j^{f-k}}{\sum_{l \in \gamma} R_j^{f-l}} \Delta I_{ji}^f \quad \text{se } CI_{ji}^{f-SPRE} > 0 \wedge k \in \gamma \quad (5.50)$$

$$\Delta I_{ji}^{f-k} = \frac{S_i^{f-k}}{\sum_{l \in \rho} S_i^{f-l}} \Delta I_{ji}^f \quad \text{se } CI_{ji}^{f-SPRE} = 0 \wedge k \in \rho \quad (5.51)$$

onde:

ΔI_{ji}^{f-k} representa a variação negativa na componente em fase da corrente do elemento i devida ao consumidor j que se atribui ao PRE k.

R_j^{f-k} representa a contribuição do PRE k para a componente em fase da corrente do consumidor j.

γ representa o conjunto de PRE que contribuem para a componente em fase da corrente do consumidor j sem contribuírem, no sentido directo, para a componente em fase da corrente no elemento i.

S_i^{f-k} representa a contribuição, em sentido inverso, do PRE k para a componente em fase da corrente do ramo i.

ρ representa o conjunto de PRE que contribuem em sentido inverso, para a componente em fase da corrente do elemento i e contribuem para a componente em fase da corrente do consumidor j.

Quando a variação na componente em fase da corrente de um determinado elemento da rede devido a um determinado consumidor é positiva, a sua alocação aos diferentes PRE é efectuada através da expressão:

$$\Delta I_{ji}^{f-k} = \frac{P_i^{f-k}}{\sum_{l \in \beta} P_i^{f-l}} \Delta I_{ji}^f \quad \text{se } CI_{ji}^{f-SPRE} \geq 0 \wedge k \in \beta \quad (5.52)$$

onde:

P_i^{f-k} representa a contribuição, no sentido directo, do PRE k para a componente em fase da corrente do elemento i.

β representa o conjunto de PRE que contribuem, no sentido directo, para a componente em fase da corrente no elemento i e que simultaneamente contribuem para a componente em fase da corrente do consumidor j.

Para a componente em quadratura das correntes utiliza-se um procedimento análogo por forma a imputar as respectivas variações aos diferentes PRE.

Torna-se aqui necessário referir um caso particular de alocação das variações nas componentes em quadratura aos PRE. Este caso particular pode ocorrer nas horas de vazio, quando os PRE não injectam potência reactiva na rede de distribuição. Nestas condições, a componente em quadratura da corrente não se faz sentir dos PRE para a rede mas antes desta para os PRE, contribuindo para a variação da componente em quadratura nos ramos da rede. A figura que se segue permite ilustrar esta situação.

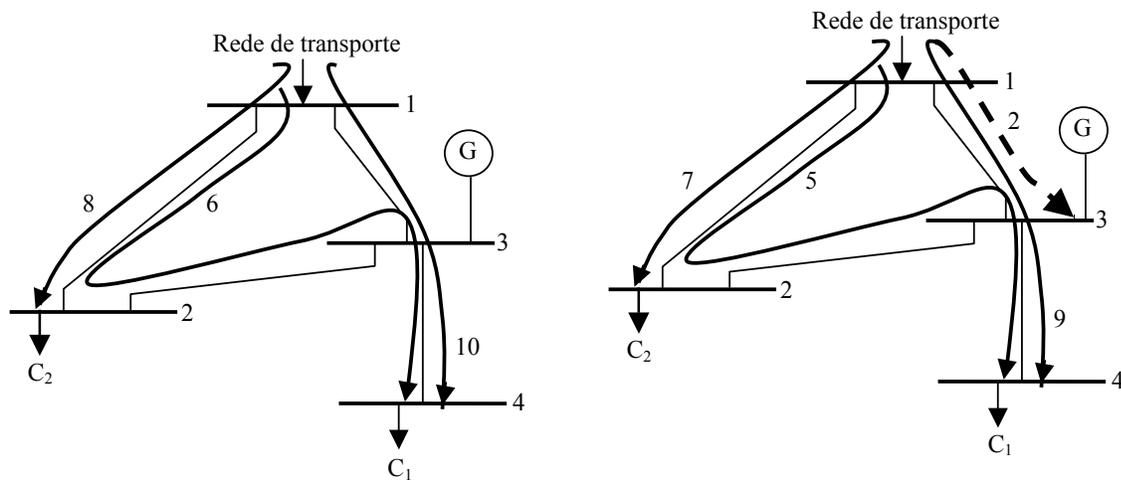


Figura 5. 18 – Caso particular de alocação de variações na componente em quadratura da corrente

A rede da esquerda, onde o PRE se encontra fora de serviço, mostra como cada consumidor contribui para a componente em quadratura da corrente de cada ramo da rede. Na rede da direita, onde o PRE é considerado em serviço mas apenas injectando potência activa na rede, mostra-se a contribuição de cada consumidor e do PRE para a mesma componente em quadratura da corrente em cada ramo. As variações nesta componente que ocorrem nos ramos 1-2 e 2-3 devem-se unicamente aos efeitos das variações das tensões, uma vez que a componente em quadratura da corrente do PRE se dirige da rede para este. Significa isto que, estas variações não são alocadas aos PRE e que as respectivas variações nas perdas serão alocadas da forma definida para as perdas não alocadas.

No ramo 1-3, a variação na componente em quadratura tem duas contribuições distintas. Por um lado a contribuição originada pela variação do valor desta componente em direcção ao consumidor C_1 , por outro a variação provocada pelo PRE. A primeira contribuição deve-se unicamente à variação nos níveis de tensão e não é alocada. A segunda contribuição deve-se exclusivamente ao PRE e portanto deve a este ser atribuída.

Note-se que o algoritmo de perseguição permite determinar as contribuições de cada PRE para a componente em quadratura da corrente em cada ramo em sua direcção, pelo que nas horas de vazio, quando as componentes em quadratura da corrente de dirigem da rede para os PRE, é possível imputar-lhes estas variações.

Uma vez determinadas e alocadas a cada PRE todas as variações nas componentes da corrente de cada elemento da rede devido a cada consumidor, procede-se à determinação do

valor global das variações nas componentes da corrente de cada elemento que cada PRE provoca. Para tal utiliza-se a expressão:

$$\begin{aligned}\Delta I_i^{f-k} &= \sum_{j=1}^Z \Delta I_{ji}^{f-k} \\ \Delta I_i^{q-k} &= \sum_{j=1}^Z \Delta I_{ji}^{q-k}\end{aligned}\quad (5.53)$$

onde:

ΔI_i^{f-k} representa a variação na componente em fase da corrente no elemento i que se deve ao PRE k.

ΔI_i^{q-k} representa a variação na componente em quadratura da corrente no elemento i que se deve ao PRE k.

Z representa o número de consumidores alimentados pela rede.

O passo seguinte consiste na determinação das variações nas perdas de cada elemento da rede provocadas por cada PRE.

As perdas num determinado elemento da rede estando os PRE fora de serviço podem ser determinadas, em pu, através da expressão:

$$P_{pi} = R \times \left((I_i^{f-SPRE})^2 + (I_i^{q-SPRE})^2 \right) \quad (5.54)$$

onde:

R representa a resistência do elemento i, em pu.

I_i^{f-SPRE} representa a componente em fase da corrente que flui no elemento i estando os PRE fora de serviço em, pu.

I_i^{q-SPRE} representa a componente em quadratura da corrente que flui no elemento i estando os PRE fora de serviço em, pu.

Uma vez conhecidas as variações nas componentes da corrente do elemento i provocadas pelos diferentes PRE, podemos escrever que as novas perdas serão dadas por:

$$P_{pi} = R \times \left[\left(I_i^{f-SPRE} + \sum_{k=1}^h \Delta I_i^{f-k} \right)^2 + \left(I_i^{q-SPRE} + \sum_{k=1}^h \Delta I_i^{q-k} \right)^2 \right] \quad (5.55)$$

onde:

h representa o número de PRE.

Para se avaliar a variação nas perdas que um determinado PRE k provoca num elemento i, podemos desenvolver a expressão anterior fazendo uma partilha quadrática das partes comuns, obtendo-se os seguintes termos nos quais o PRE k tem influência:

$$P_{pi}^k = R \times \left(\begin{aligned} & \left((\Delta I_i^{f-k})^2 + 2.I_i^{f-SPRE} .\Delta I_i^{f-k} + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^h \left(\Delta I_i^{f-k} .\Delta I_i^{f-l} \times \frac{(\Delta I_i^{f-k})^2}{(\Delta I_i^{f-k})^2 + (\Delta I_i^{f-l})^2} \right) \right) + \\ & \left((\Delta I_i^{q-k})^2 + 2.I_i^{q-SPRE} .\Delta I_i^{q-k} + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^h \left(\Delta I_i^{q-k} .\Delta I_i^{q-l} \times \frac{(\Delta I_i^{q-k})^2}{(\Delta I_i^{q-k})^2 + (\Delta I_i^{q-l})^2} \right) \right) \end{aligned} \right) \quad (5.56)$$

onde:

P_{pi}^k representa a variação nas perdas, positiva ou negativa, que o PRE k provoca sobre o elemento i.

Alargando este tratamento a todos os PRE e a todos os ramos do sistema podemos determinar a forma como as variações nas perdas de cada elemento são alocadas a cada PRE.

O valor global de perdas alocadas ao PRE k será obtido pelo somatório:

$$P_p^k = \sum_{i=1}^L \Delta P_{pi}^k \quad (5.57)$$

onde:

L representa o número de elementos do sistema.

As figuras que se seguem mostram o fluxograma de aplicação desta metodologia

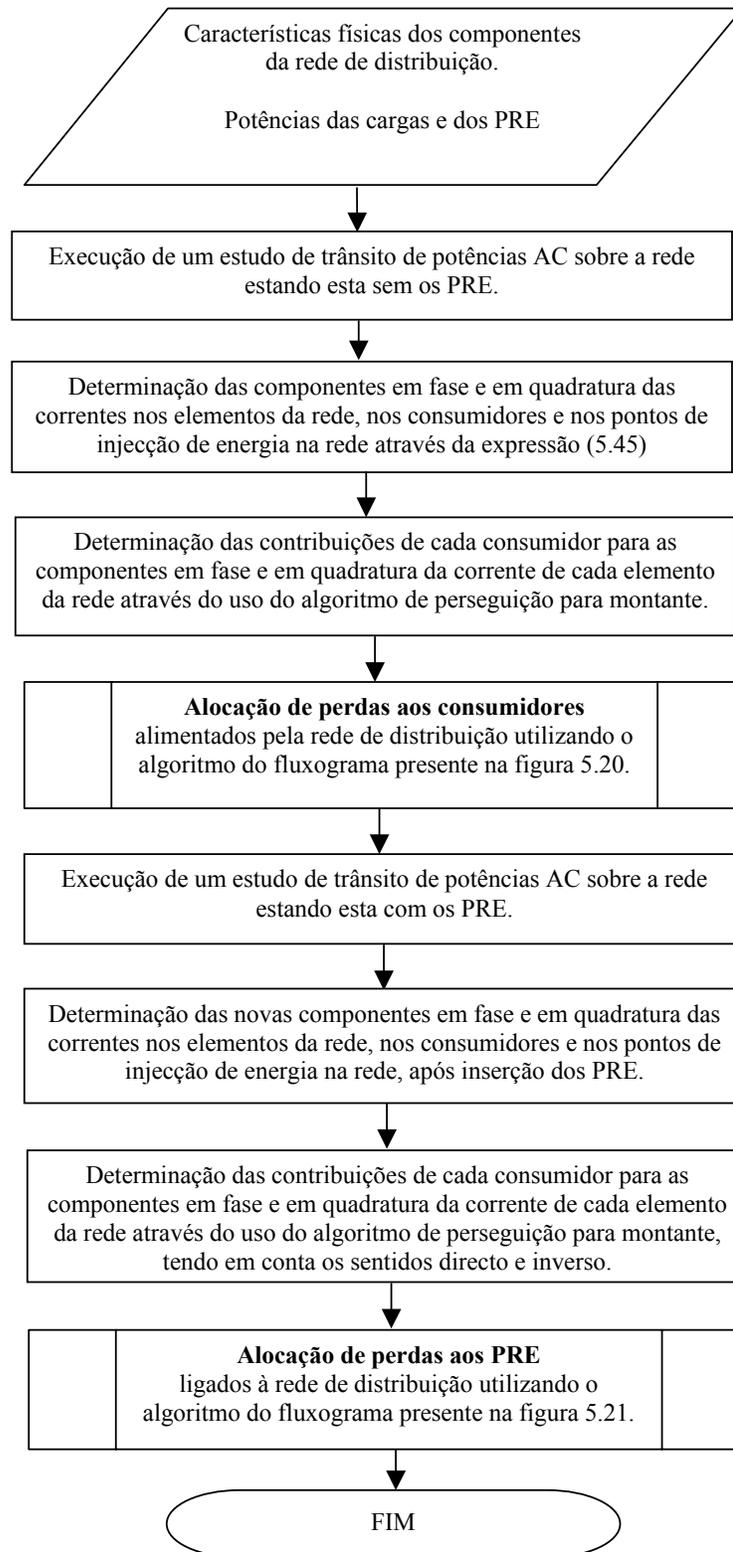


Figura 5. 19 –Algoritmo para alocação de perdas aos consumidores e PRE de uma rede de distribuição Método Proposto, variante das correntes

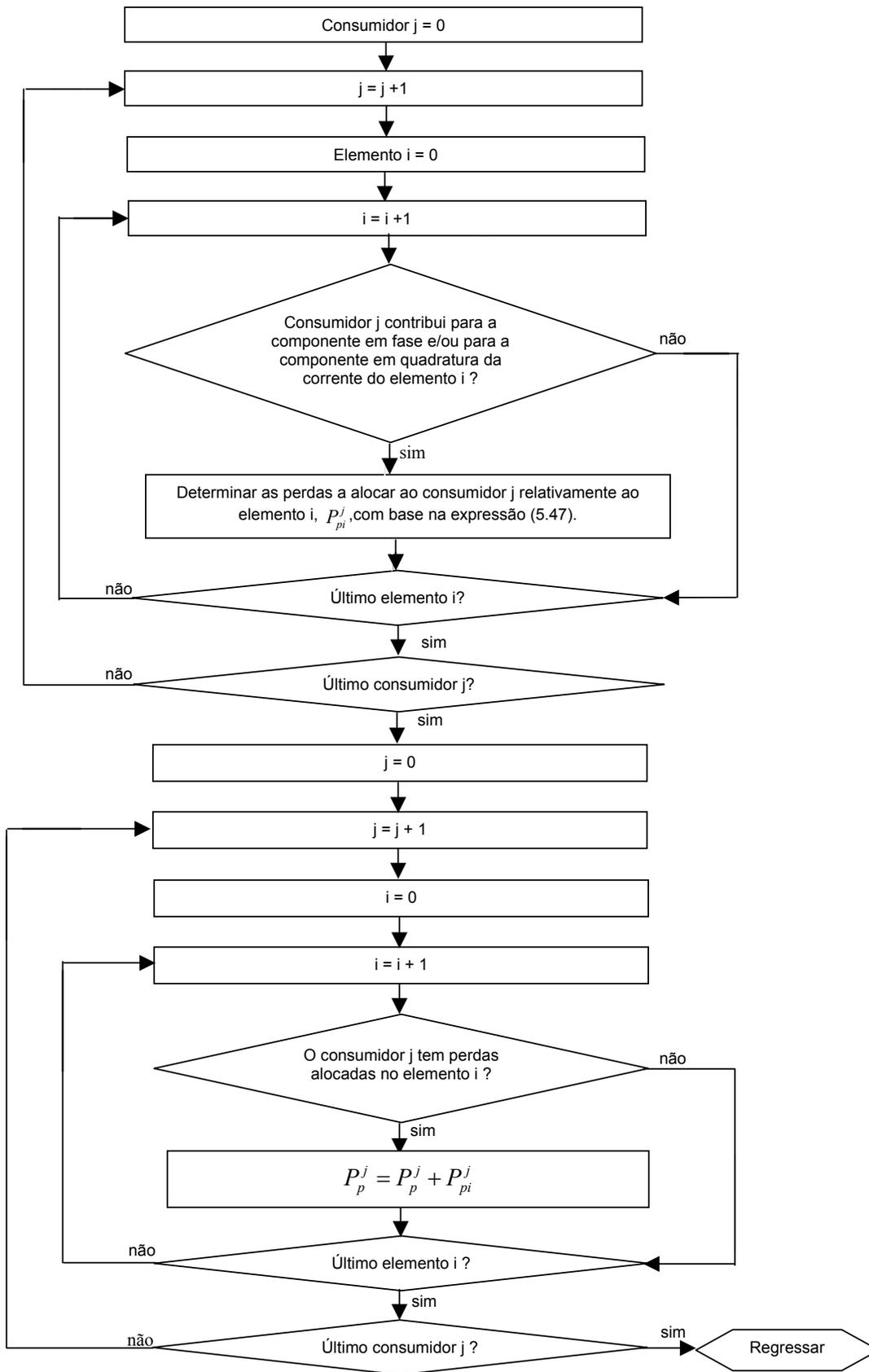


Figura 5. 20 – Algoritmo para alocação de perdas aos consumidores – variante das correntes

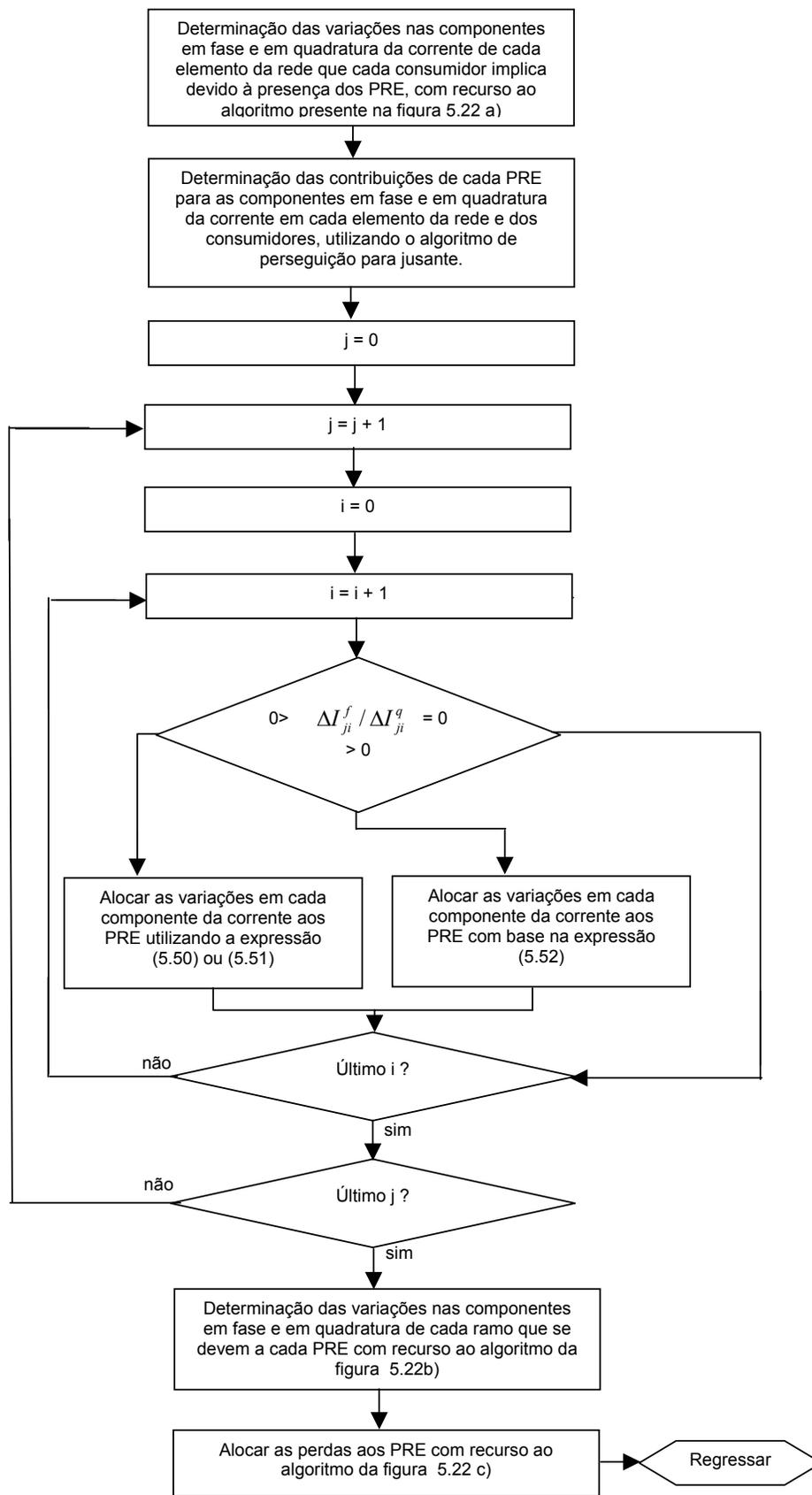


Figura 5. 21 –Algoritmo para alocação de perdas aos PRE – variante das correntes

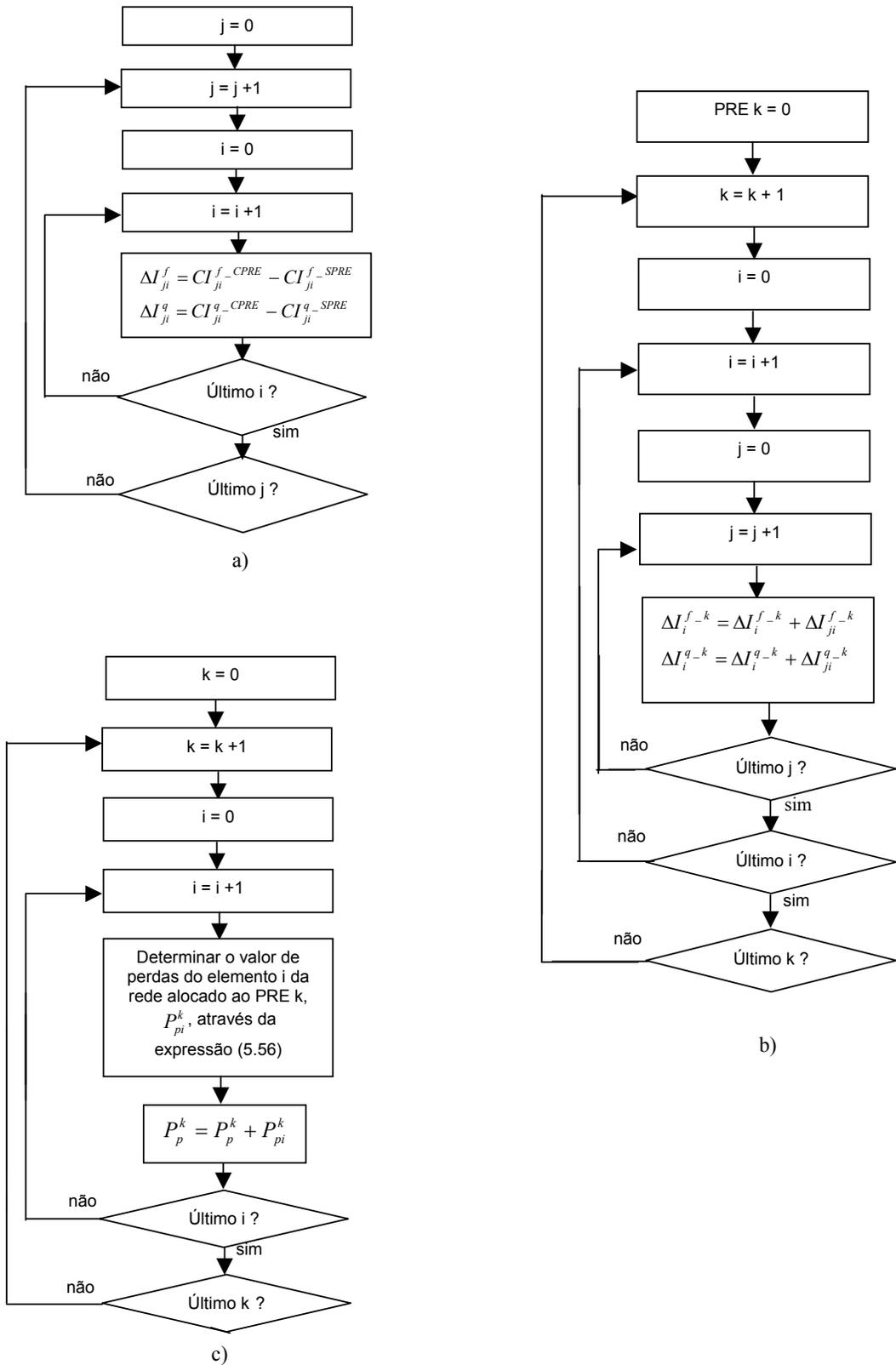


Figura 5. 22 – Algoritmos para alocação de perdas – Variante das correntes

Tal como na variante das potências existem variações nas perdas que o método base não aloca aos PRE, as quais se devem unicamente às variações nas tensões. A alocações destas perdas pode ser efectuada de acordo com a expressão (5.36), o que conduz à alteração da parte final do algoritmo da figura 5.21 que passa a ter a forma:

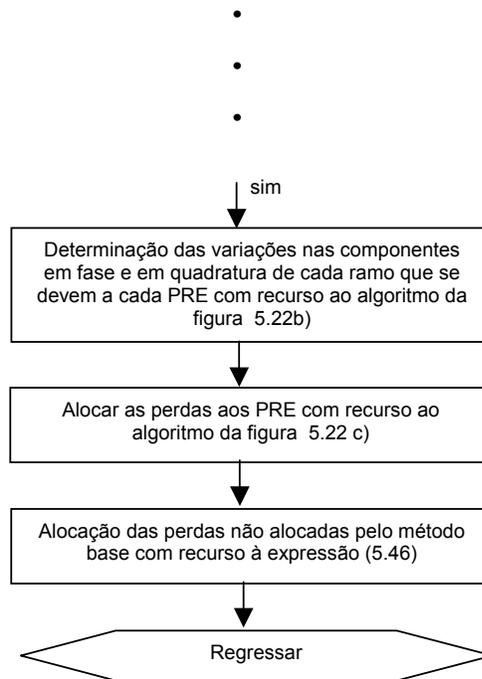


Figura 5. 23 – Algoritmo modificado para alocação de perdas aos PRE – variante correntes

5.2.3 – Aplicação do método

Aplicou-se esta metodologia à rede teste da figura 4.1. A execução de um estudo de trânsitos de potência AC sobre a rede, estando os PRE fora de serviço revelou os seguintes resultados para os trânsitos de potência e respectivas perdas:

Tabela 5. 32 – Trânsitos de potência e perdas em cada elemento da rede (rede sem PRE)

| Ramo | TP (MW) | TP (MVA _r) | TP (MVA) | perdas (MW) | perdas (MVA _r) |
|------|---------|------------------------|----------|-------------|----------------------------|
| 1 | 75,64 | 36,93 | 84,17 | 2,834 | 0,709 |
| 2 | 22,80 | 16,06 | 27,82 | 0,084 | 0,168 |
| 3 | 74,66 | 23,18 | 78,17 | 3,055 | 0,611 |
| 4 | 94,32 | 38,63 | 101,92 | 3,379 | 1,126 |
| 5 | 70,94 | 29,50 | 76,83 | 0,687 | 1,374 |
| 6 | 30,25 | 12,13 | 32,60 | 0,255 | 0,127 |

Os módulos das tensões e ângulos de esfasamento nos barramentos, obtidos pelo estudo de trânsitos de potência encontram-se na tabela 5.33.

Tabela 5. 33 – Módulos e esfasamentos das tensões em cada barramento da rede (rede sem PRE)

| Barramento | Módulo tensão(kV) | Esfasamento (graus) |
|------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 15 | 0 |
| 2 | 14,41 | 0,246 |
| 3 | 13,90 | 0,385 |
| 4 | 14,49 | 0,428 |
| 5 | 13,69 | -0,376 |
| 6 | 13,57 | -0,418 |

As componentes em fase e em quadratura das correntes em cada ramo da rede, são apresentadas na tabela que se segue.

Tabela 5. 34 – Valores das componentes e módulo da corrente em cada ramo da rede

| Ramo | I^f (A) | I^q (A) | $ I $ (A) |
|------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 2911,385 | 1421,436 | 3239,852 |
| 2 | 913,424 | 639,795 | 1115,205 |
| 3 | 2873,665 | 892,199 | 3008,981 |
| 4 | 3785,630 | 1531,508 | 4083,689 |
| 5 | 2954,730 | 1205,485 | 3191,179 |
| 6 | 1272,353 | 519,921 | 1374,482 |

As componentes das correntes absorvidas por cada consumidor da rede e injectada nesta pela rede de transporte foram também determinadas sendo os seus valores os que se apresentam na tabela que se segue.

Tabela 5. 35 – Valores das componentes das correntes de cada consumidor

| Consumidor | P (MW) | Q (MVA _r) | I^f (A) | I^q (A) |
|------------|--------|-----------------------|-----------|-----------|
| 1 | 50 | 20 | 1998,134 | 781,991 |
| 2 | 20 | 8 | 832,934 | 326,698 |
| 3 | 40 | 16 | 1682,461 | 685,826 |
| 4 | 30 | 12 | 1272,624 | 519,851 |

E para o ponto de injeção da rede de transporte:

Tabela 5. 36 – Componentes da corrente injectadas pela rede de transporte

| Barramento | P (MW) | Q (MVA _r) | I^f (A) | I^q (A) |
|------------|----------|-----------------------|-----------|-----------|
| 1 | 150,2947 | 60,11559 | 5784,846 | 2313,850 |

As perdas em cada ramo da rede foram determinadas através da expressão (5.46), tendo-se obtido valores coincidentes com os resultantes do estudo de trânsitos de potência efectuado.

Tabela 5. 37 – Perdas em cada ramo da rede de distribuição

| Ramo | R (pu) | R (ohms) | perdas (MW) |
|------|--------|----------|-------------|
| 1 | 0,04 | 0,09 | 2,834 |
| 2 | 0,01 | 0,0225 | 0,084 |
| 3 | 0,05 | 0,1125 | 3,055 |
| 4 | 0,03 | 0,0675 | 3,379 |
| 5 | 0,01 | 0,0225 | 0,687 |
| 6 | 0,02 | 0,045 | 0,255 |

A aplicação do algoritmo de perseguição, de forma separada a cada uma das componentes das correntes, conduziu aos seguintes valores para o caso da componente em fase das correntes:

Tabela 5. 38 – Contribuição de cada consumidor para a componente em fase da corrente em cada ramo da rede estando esta sem PRE (A)

| Ramo | Consumidor | | | | Somatório |
|------|------------|---------|----------|----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | 1998,015 | 200,856 | 405,703 | 306,811 | 2911,385 |
| 2 | 0 | 200,868 | 405,727 | 306,829 | 913,424 |
| 3 | 0 | 631,939 | 1276,431 | 965,295 | 2873,665 |
| 4 | 0 | 832,487 | 1681,510 | 1272,634 | 3785,630 |
| 5 | 0 | 0 | 1682,413 | 1272,317 | 2954,730 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 1272,353 | 1272,353 |

Para as componentes em quadratura, os valores obtidos foram:

Tabela 5. 39 – Contribuição de cada consumidor para a componente em quadratura da corrente em cada ramo da rede estando esta sem PRE (A)

| Ramo | Consumidor | | | | Somatório |
|------|------------|---------|---------|---------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | 781,798 | 136,386 | 286,248 | 217,003 | 1421,436 |
| 2 | 0 | 136,420 | 286,319 | 217,057 | 639,795 |
| 3 | 0 | 190,238 | 399,274 | 302,687 | 892,199 |
| 4 | 0 | 326,554 | 685,375 | 519,579 | 1531,508 |
| 5 | 0 | 0 | 685,677 | 519,808 | 1205,485 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 519,921 | 519,921 |

A alocação das perdas às cargas, utilizando a variante das correntes, conduziu aos valores de perdas que cada carga suporta em cada linha e respectivos valores globais apresentados na tabela 5.40.

Tabela 5. 40 – Perdas alocadas a cada consumidor (MW)

| Consumidor | Ramo | | | | | | $P_p^j = \sum_{i=1}^L P_{pi}^j$ |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 2,449 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,449 |
| 2 | 0,047 | 0,011 | 0,398 | 0,438 | 0 | 0 | 0,894 |
| 3 | 0,215 | 0,046 | 1,664 | 1,840 | 0,437 | 0 | 4,202 |
| 4 | 0,124 | 0,027 | 0,994 | 1,101 | 0,250 | 0,255 | 2,751 |
| P_{pi}^{SPRE} | 2,835 | 0,084 | 3,056 | 3,378 | 0,687 | 0,255 | 10,296 |

O passo seguinte consistiu em executar o mesmo procedimento, mas estando agora os PRE em serviço, tendo-se obtido os trânsitos de potência e perdas que se apresentam na tabela 5.41.

Tabela 5. 41 – Trânsitos de potência e perdas em cada elemento da rede estando os PRE em serviço

| Ramo | TP (MW) | TP(MVAr) | TP (MVA) | Perdas (MW) | Perdas (MVAr) |
|------|---------|----------|----------|-------------|---------------|
| 1 | 63,67 | 31,60 | 71,08 | 2,021 | 0,505 |
| 2 | 21,65 | 14,95 | 26,25 | 0,074 | 0,148 |
| 3 | 64,00 | 19,47 | 66,90 | 2,238 | 0,448 |
| 4 | 83,34 | 33,98 | 90,00 | 2,604 | 0,868 |
| 5 | 60,74 | 25,11 | 65,73 | 0,492 | 0,985 |
| 6 | 30,25 | 12,12 | 32,59 | 0,248 | 0,124 |

Os módulos e esfasamentos das tensões em cada barramento, obtidos pelo mesmo estudo de trânsitos de potência encontram-se apresentados na tabela 5.42.

Tabela 5. 42 – Módulos e esfasamentos das tensões em cada barramento da rede estando esta com os PRE

| Barramento | Módulo tensão(kV) | Esfasamento (graus) |
|------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 15 | 0 |
| 2 | 14,49 | 0,198 |
| 3 | 14,05 | 0,316 |
| 4 | 14,57 | 0,37 |
| 5 | 13,87 | -0,322 |
| 6 | 13,76 | -0,362 |

O valor das componentes em fase e quadratura das correntes e o respectivo módulo em cada elemento da rede são apresentados na tabela que se segue.

Tabela 5. 43 – Valores das componentes e do módulo das correntes em cada ramo da rede

| Ramo | I^r (A) | I^q (A) | $ I $ (A) |
|------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 2450,659 | 1216,285 | 2735,887 |
| 2 | 861,906 | 592,719 | 1046,039 |
| 3 | 2463,361 | 749,401 | 2574,830 |
| 4 | 3325,320 | 1342,441 | 3586,070 |
| 5 | 2501,614 | 1018,052 | 2700,834 |
| 6 | 1256,326 | 511,574 | 1356,489 |

As componentes das correntes absorvidas pelos consumidores estão apresentadas na tabela 5.44.

Tabela 5. 44 – Componentes em fase e em quadratura da corrente absorvida pelos consumidores

| Consumidor | I^f (A) | I^q (A) |
|------------|-----------|-----------|
| 1 | 1986,375 | 779,708 |
| 2 | 823,651 | 324,203 |
| 3 | 1661,264 | 675,360 |
| 4 | 1255,552 | 511,446 |

As componentes das correntes injectadas na rede pelos produtores em regime especial e pela rede de transporte são apresentadas na tabela que se segue.

Tabela 5. 45 – Componentes das correntes injectadas na rede pelos PRE e pela rede de transporte

| Barramento | P (MW) | Q (MVar) | I^f (A) | I^q (A) |
|-----------------|--------|----------|-----------|-----------|
| Rede Transporte | 127,67 | 51,07 | 4914,021 | 1965,685 |
| PRE 1 | 10 | 4 | 397,275 | 155,942 |
| PRE 2 | 10 | 4 | 415,316 | 168,840 |

As perdas em cada ramo da rede foram determinadas, tendo-se obtido valores coincidentes com os resultantes do estudo de trânsito de potências efectuado.

Tabela 5. 46 – Valores das perdas em cada ramo da rede

| Ramo | R (pu) | R (ohms) | Perdas (MW) |
|------|--------|----------|-------------|
| 1 | 0,04 | 0,09 | 2,021 |
| 2 | 0,01 | 0,0225 | 0,074 |
| 3 | 0,05 | 0,1125 | 2,238 |
| 4 | 0,03 | 0,0675 | 2,604 |
| 5 | 0,01 | 0,0225 | 0,492 |
| 6 | 0,02 | 0,045 | 0,248 |

A aplicação do algoritmo de perseguição conduz à obtenção das contribuições de cada carga para a componente em fase da corrente nos ramos que se apresentam na tabela 5.47.

Tabela 5. 47 – Contribuição de cada consumidor para a componente em fase da corrente em cada ramo da rede estando esta com os PRE em serviço (A)

| Ramo | Consumidor | | | | Somatório |
|------|------------|---------|----------|----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | 1709,076 | 183,686 | 317,664 | 240,233 | 2450,659 |
| 2 | 0 | 213,490 | 369,206 | 279,211 | 861,907 |
| 3 | 0 | 610,162 | 1055,204 | 797,995 | 2463,361 |
| 4 | 0 | 823,665 | 1424,433 | 1077,223 | 3325,321 |
| 5 | 0 | 0 | 1424,409 | 1077,205 | 2501,614 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 1256,326 | 1256,326 |

e para a componente em quadratura teremos:

Tabela 5. 48 – Contribuição de cada consumidor para a componente em quadratura da corrente em cada ramo da rede estando esta com os PRE em serviço (A)

| Ramo | Consumidor | | | | Somatório |
|------|------------|---------|---------|---------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | 690,997 | 126,876 | 226,719 | 171,693 | 1216,285 |
| 2 | 0 | 143,163 | 255,823 | 193,733 | 592,719 |
| 3 | 0 | 181,007 | 323,448 | 244,945 | 749,401 |
| 4 | 0 | 324,248 | 579,410 | 438,783 | 1342,44 |
| 5 | 0 | 0 | 579,329 | 438,723 | 1018,05 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 511,446 | 511,574 |

As variações nas contribuições para a componente em fase valem:

Tabela 5. 49 – Variações nas contribuições de cada consumidor para a componente em fase da corrente em cada ramo da rede (A)

| Ramo | Consumidor | | | | Somatório |
|------|------------|---------|----------|----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | -288,939 | -17,17 | -88,039 | -66,578 | -460,726 |
| 2 | 0 | 12,622 | -36,521 | -27,618 | -51,517 |
| 3 | 0 | -21,777 | -221,227 | -167,3 | -410,304 |
| 4 | 0 | -8,822 | -257,077 | -195,411 | -461,31 |
| 5 | 0 | 0 | -258,004 | -195,112 | -453,116 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | -16,027 | -16,027 |

E para as componentes em quadratura teremos:

Tabela 5. 50 – Variações nas contribuições de cada consumidor para a componente em quadratura da corrente em cada ramo da rede (A)

| Ramo | Consumidor | | | | Somatório |
|------|------------|--------|----------|---------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | -90,801 | -9,51 | -59,529 | -45,31 | -205,15 |
| 2 | 0 | 6,743 | -30,496 | -23,324 | -47,077 |
| 3 | 0 | -9,231 | -75,826 | -57,742 | -142,799 |
| 4 | 0 | -2,306 | -105,965 | -80,796 | -189,067 |
| 5 | 0 | 0 | -106,348 | -81,085 | -187,433 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | -8,475 | -8,475 |

A aplicação do algoritmo de perseguição para jusante permitiu obter os valores das componentes de corrente com que cada PRE contribui para cada ramo da rede.

Para a componente em fase das correntes obteve-se:

Tabela 5. 51 – Contribuições de cada PRE e da rede de transporte para a componente em fase da corrente em cada ramo da rede (A)

| Ramo | Rede Transporte | PRE 1 | PRE 2 | Somatório |
|------|-----------------|---------|---------|-----------|
| 1 | 2450,659 | 0 | 0 | 2450,659 |
| 2 | 741,673 | 120,232 | 0 | 861,905 |
| 3 | 2463,361 | 0 | 0 | 2463,361 |
| 4 | 3205,086 | 120,234 | 0 | 3325,32 |
| 5 | 2411,163 | 90,451 | 0 | 2501,614 |
| 6 | 1038,491 | 38,958 | 178,877 | 1256,326 |

Para a componente em quadratura das correntes obteve-se:

Tabela 5. 52 – Contribuições de cada PRE e da rede de transporte para a componente em quadratura da corrente em cada ramo da rede (A)

| Ramo | Rede de Transporte | PRE 1 | PRE 2 | Somatório |
|------|--------------------|--------|--------|-----------|
| 1 | 1216,285 | 0 | 0 | 1216,285 |
| 2 | 525,362 | 67,358 | 0 | 592,72 |
| 3 | 749,401 | 0 | 0 | 749,401 |
| 4 | 1275,067 | 67,374 | 0 | 1342,441 |
| 5 | 966,959 | 51,093 | 0 | 1018,052 |
| 6 | 416,778 | 22,022 | 72,773 | 511,573 |

A contribuição de cada produtor em regime especial e da rede de transporte para a componente em fase da corrente absorvida por cada consumidor vale:

Tabela 5. 53 – Contribuição de cada PRE e da rede de transporte para a componente em fase da corrente de cada consumidor (A)

| Consumidor | Rede Transporte | PRE 1 | PRE 2 | Somatório |
|------------|-----------------|--------|--------|-----------|
| 1 | 1709,28 | 277,09 | 0 | 1986,37 |
| 2 | 793,87 | 29,78 | 0 | 823,65 |
| 3 | 1373,22 | 51,51 | 236,53 | 1661,26 |
| 4 | 1037,85 | 38,93 | 178,77 | 1255,55 |

e para a componente em quadratura da corrente vale:

Tabela 5. 54 – Contribuição de cada PRE e da rede de transporte para a componente em quadratura da corrente de cada consumidor (A)

| Consumidor | Rede Transporte | PRE 1 | PRE 2 | somatório |
|------------|-----------------|-------|-------|-----------|
| 1 | 691,10 | 88,61 | 0 | 779,71 |
| 2 | 307,93 | 16,27 | 0 | 324,20 |
| 3 | 550,21 | 29,07 | 96,07 | 675,35 |
| 4 | 416,67 | 22,02 | 72,76 | 511,45 |

A aplicação das expressões anteriormente apresentadas conduz à obtenção das seguintes variações na componente em fase da corrente de cada ramo atribuídas a cada PRE:

Tabela 5. 55 – Variações nas componentes em fase das correntes de cada ramo atribuídas a cada PRE (A)

| PRE | Ramo | | | | | |
|-------|----------|---------|----------|----------|----------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | -333,759 | 12,622 | -91,256 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -126,967 | -64,139 | -319,048 | -452,488 | -453,116 | 0 |
| Total | -460,726 | -51,517 | -410,304 | -452,488 | -453,116 | 0 |

Procedendo de forma análoga para o caso das componentes em quadratura das correntes teremos:

Tabela 5. 56 – Variações nas componentes em quadratura das correntes de cada ramo atribuídas a cada PRE (A)

| PRE | Ramo | | | | | |
|-------|----------|---------|----------|----------|----------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | -124,666 | 6,743 | -40,260 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -80,484 | -53,820 | -102,539 | -186,761 | -187,433 | 0 |
| Total | -205,15 | -47,077 | -142,799 | -186,761 | -187,433 | 0 |

O valor da variação de perdas alocado pelo método a cada PRE vale:

Tabela 5. 57 – Perdas alocadas a cada PRE (MW)

| PRE | Ramo | | | | | | $P_p^m = \sum_{i=1}^L P_{pi}^m$ |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|---|---------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | -0,562 | 0,002 | -0,196 | 0 | 0 | 0 | -0,756 |
| 2 | -0,251 | -0,012 | -0,622 | -0,761 | -0,195 | 0 | -1,841 |
| P_{pi}^m | -0,813 | -0,010 | -0,818 | -0,761 | -0,195 | 0 | -2,597 |

Estes valores são ligeiramente diferentes daqueles expressos na tabela 5.14.

Também aqui, tal como acontecia na aplicação do método das potências, as perdas evitadas no ramo 6 não são alocadas pelo algoritmo do método. A aplicação deste método das correntes, conduz ainda à não alocação de parte das perdas evitadas no ramo 4. Neste ramo existe, devido à presença dos PRE, uma variação nas componentes em fase e em quadratura da corrente iguais a $-461,31$ A e $-189,067$ A respectivamente. O consumidor 2 contribui para estas variações com valores iguais a $-8,822$ A e $-2,306$ A respectivamente para as componentes em fase e em quadratura. Estas variações, ligadas ao consumidor 2, não são alocadas a nenhum dos PRE, uma vez que, por um lado o PRE 1 contribui, em sentido directo, para as componentes em fase e em quadratura da corrente no ramo 4 e por outro o PRE 2 não alimenta o consumidor 2. Estas perdas devem-se, tendo em conta o funcionamento do método, às variações nos níveis de tensão e como tal devem ser alocadas entre todos os PRE da forma descrita anteriormente.

Note-se que estas variações não eram distinguidas pelo método das potências.

Após se efectuar a repartição, com base nas potências aparentes de cada PRE, das perdas não alocadas, cada PRE deverá ser remunerado pelas perdas que se apresentam na tabela 5.58.

Tabela 5. 58 – Perdas totais alocadas aos PRE

| PRE | Perdas alocadas |
|-------|-----------------|
| 1 | -0,766 |
| 2 | -1,851 |
| Total | -2,617 |

Estes valores são muito semelhantes aos obtidos com a aplicação do método das potências e apresentados na tabela 5.15.

Apresenta-se de seguida, a aplicação desta metodologia à mesma rede, mas estando esta num baixo regime de carga igual ao referido nas tabelas 5.16 e com os PRE fora de serviço.

A execução de um estudo de trânsitos de potência AC sobre a rede permitiu obter os valores dos trânsitos de potência e das perdas em cada elemento da rede que se apresentam na tabela 5.59.

Tabela 5. 59 – Trânsitos de potência e perdas em cada elemento da rede antes da inserção dos PRE

| Ramo | TP (MW) | TP (MVA _r) | TP (MVA) | perdas (MW) | perdas (MVA _r) |
|------|---------|------------------------|----------|-------------|----------------------------|
| 1 | 7,128 | 3,457 | 7,922 | 0,0251 | 0,0063 |
| 2 | 2,103 | 1,449 | 2,554 | 0,0007 | 0,0013 |
| 3 | 6,961 | 2,179 | 7,294 | 0,0266 | 0,0053 |
| 4 | 9,037 | 3,622 | 9,736 | 0,0286 | 0,0095 |
| 5 | 7,008 | 2,813 | 7,551 | 0,0058 | 0,0116 |
| 6 | 3,002 | 1,201 | 3,233 | 0,0021 | 0,0011 |

O mesmo estudo permitiu obter os valores dos módulos e dos esfasamentos da tensão em cada barramento da rede.

Tabela 5. 60 – Módulos e esfasamentos das tensões em cada barramento da rede nas horas de vazio

| Barramento | Módulo tensão(kV) | Esfasamento (graus) |
|------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 15 | 0 |
| 2 | 14,94 | 0,023 |
| 3 | 14,90 | 0,033 |
| 4 | 14,95 | 0,039 |
| 5 | 14,88 | -0,032 |
| 6 | 14,87 | -0,035 |

As componentes em fase e em quadratura das correntes em cada ramo da rede são apresentadas na tabela que se segue.

Tabela 5. 61 – Componentes e módulo da corrente em cada elemento da rede nas horas de vazio

| Ramo | I^f (A) | I^q (A) | $ I $ (A) |
|------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 274,357 | 133,060 | 304,921 |
| 2 | 81,277 | 55,953 | 98,675 |
| 3 | 267,929 | 83,870 | 280,749 |
| 4 | 349,287 | 139,831 | 376,237 |
| 5 | 271,611 | 108,843 | 292,608 |
| 6 | 116,453 | 46,664 | 125,454 |

As componentes das correntes absorvidas por cada consumidor da rede e injectada pela rede de transporte encontram-se nas tabelas 5.62 e 5.63 respectivamente.

Tabela 5. 62 – Componentes em fase e em quadratura da corrente de cada consumidor nas horas de vazio

| Consumidor | P (MW) | Q (MVAr) | I^f (A) | I^q (A) |
|------------|--------|----------|-----------|-----------|
| 1 | 5 | 2 | 193,146 | 77,106 |
| 2 | 2 | 0,8 | 77,515 | 30,954 |
| 3 | 4 | 1,6 | 155,167 | 62,167 |
| 4 | 3 | 1,2 | 116,451 | 46,663 |

Tabela 5. 63 – Componentes em fase e em quadratura da corrente injectada pela rede de transporte na rede de distribuição nas horas de vazio

| Barramento | P (MW) | Q (MVAr) | I^f (A) | I^q (A) |
|------------|--------|----------|-----------|-----------|
| 1 | 14,089 | 5,636 | 542,286 | 216,930 |

As perdas em cada ramo da rede valem:

Tabela 5. 64 – Perdas em cada ramo da rede

| Ramo | R (pu) | R (ohms) | perdas (MW) |
|------|--------|----------|-------------|
| 1 | 0,04 | 0,09 | 0,0251 |
| 2 | 0,01 | 0,0225 | 0,0007 |
| 3 | 0,05 | 0,1125 | 0,0266 |
| 4 | 0,03 | 0,0675 | 0,0287 |
| 5 | 0,01 | 0,0225 | 0,0058 |
| 6 | 0,02 | 0,045 | 0,0021 |

A aplicação do algoritmo de perseguição para montante, de forma separada às componentes em fase e em quadratura das correntes de cada elemento da rede conduziu aos valores apresentados nas tabelas que se seguem. Para as componentes em fase valem:

Tabela 5. 65 – Contribuição de cada consumidor para a componente em fase da corrente em cada elemento da rede, nas horas de vazio, e estando a rede sem os PRE (A)

| Ramo | 1 | 2 | 3 | 4 | Somatório |
|------|---------|--------|---------|---------|-----------|
| 1 | 193,100 | 18,041 | 36,113 | 27,103 | 274,357 |
| 2 | 0 | 18,046 | 36,122 | 27,110 | 81,278 |
| 3 | 0 | 59,487 | 119,076 | 89,366 | 267,929 |
| 4 | 0 | 77,551 | 155,233 | 116,503 | 349,287 |
| 5 | 0 | 0 | 155,162 | 116,449 | 271,611 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 116,453 | 116,453 |

Para as componentes em quadratura, os valores obtidos foram:

Tabela 5. 66 – Contribuição de cada consumidor para as componentes em quadratura da corrente em cada elemento da rede, nas horas de vazio, e estando a rede sem os PRE (A)

| Ramo | 1 | 2 | 3 | 4 | Somatório |
|------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 1 | 77,107 | 12,389 | 24,885 | 18,679 | 133,06 |
| 2 | 0 | 12,389 | 24,885 | 18,679 | 55,953 |
| 3 | 0 | 18,571 | 37,301 | 27,999 | 83,871 |
| 4 | 0 | 30,962 | 62,189 | 46,680 | 139,831 |
| 5 | 0 | 0 | 62,174 | 46,669 | 108,843 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 46,664 | 46,664 |

O valor de perdas que cada consumidor suporta é:

Tabela 5. 67 – Perdas alocadas a cada consumidor (MW)

| Consumidor | Ramo | | | | | | $P_p^j = \sum_{i=1}^L P_{pi}^j$ |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 0,0221 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0221 |
| 2 | 0,0004 | 0,0001 | 0,0036 | 0,0038 | 0 | 0 | 0,0079 |
| 3 | 0,0017 | 0,0004 | 0,0145 | 0,0156 | 0,0037 | 0 | 0,0359 |
| 4 | 0,0009 | 0,0002 | 0,0085 | 0,0092 | 0,0021 | 0,0021 | 0,023 |
| P_{pi}^{SPRE} | 0,0251 | 0,0007 | 0,0266 | 0,0286 | 0,0058 | 0,0021 | 0,0889 |

O passo seguinte consistiu em executar o mesmo procedimento, mas estando agora os PRE em serviço, tendo-se obtido os resultados que se apresentam de seguida:

Tabela 5. 68 – Trânsitos de potência e perdas em cada elemento da rede nas horas de vazio e estando os PRE em serviço

| Ramo | TP (MW) | TP(MVAr) | TP (MVA) | Perdas (MW) | Perdas (Mvar) |
|------|---------|----------|----------|-------------|---------------|
| 1 | -3,631 | -1,252 | 3,841 | 0,0059 | 0,0015 |
| 2 | 1,363 | 0,746 | 1,554 | 0,0002 | 0,0005 |
| 3 | -2,356 | -1,142 | 2,618 | 0,0034 | 0,0007 |
| 4 | -0,996 | -0,397 | 1,072 | 0,0003 | 0,0001 |
| 5 | -2,997 | -1,197 | 3,227 | 0,0010 | 0,0021 |
| 6 | 3,002 | 1,201 | 3,233 | 0,0021 | 0,0010 |

Os módulos das tensões e ângulos de esfasamento obtidos foram:

Tabela 5. 69 – Módulos e esfasamentos das tensões em cada barramento da rede nas horas de vazio e estando os PRE em serviço

| Barramento | Módulo tensão(kV) | Esfasamento (graus) |
|------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 15 | 0 |
| 2 | 15,02 | -0,019 |
| 3 | 15,02 | -0,020 |
| 4 | 15,02 | -0,008 |
| 5 | 15,03 | 0,007 |
| 6 | 15,02 | 0,004 |

O valor das componentes em fase e quadratura das correntes nos ramos, bem como o respectivo módulo, valem:

Tabela 5. 70 – Componentes em fase e em quadratura e módulo da corrente em cada elemento da rede nas horas de vazio, estando a rede com PRE

| Ramo | I^r (A) | I^q (A) | $ I $ (A) |
|------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -139,757 | -48,190 | 147,832 |
| 2 | 52,396 | 28,702 | 59,742 |
| 3 | -90,682 | -43,956 | 100,774 |
| 4 | -38,280 | -15,273 | 41,214 |
| 5 | -115,185 | -46,051 | 124,050 |
| 6 | 115,322 | 46,120 | 124,202 |

Para os consumidores teremos:

Tabela 5. 71 – Componentes em fase e em quadratura da corrente de cada consumidor

| Consumidor | I^r (A) | I^q (A) |
|-----------------|-----------|-----------|
| 1 | 192,183 | 76,904 |
| 2 | 76,867 | 30,778 |
| 3 | 153,660 | 61,442 |
| 4 | 115,320 | 46,118 |
| Rede transporte | 230,440 | 92,145 |

Para os pontos de injeção de potência na rede temos:

Tabela 5. 72 – Componentes da corrente injectada por cada PRE na rede nas horas de vazio

| Barramento | P (MW) | Q (MVAr) | I^r (A) | I^q (A) |
|------------|--------|----------|-----------|-----------|
| PRE1 | 10 | 4 | 384,366 | 153,809 |
| PRE2 | 10 | 4 | 384,151 | 153,606 |

As perdas determinadas em cada ramo da rede valem:

Tabela 5. 73 – Perdas em cada ramo da rede nas horas de vazio (MW)

| Ramo | R (pu) | R (ohms) | perdas (MW) |
|------|--------|----------|-------------|
| 1 | 0.04 | 0,09 | 0,0059 |
| 2 | 0.01 | 0,0225 | 0,0002 |
| 3 | 0.05 | 0,1125 | 0,0034 |
| 4 | 0.03 | 0,0675 | 0,0003 |
| 5 | 0.01 | 0,0225 | 0,0010 |
| 6 | 0.02 | 0,045 | 0,0021 |

A aplicação do algoritmo de perseguição para montante conduz à obtenção das seguintes contribuições para a componente em fase das correntes:

Tabela 5. 74 – Contribuição da cada consumidor para as componentes em fase da corrente em cada elemento da rede, nas horas de vazio e estando a rede com os PRE em serviço (A)

| Ramo | 1 | 2 | 3 | 4 | Rede Transporte | Somatório |
|------|---|---------|---|---------|-----------------|-----------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -139,757 | -139,757 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 52,396 | 52,396 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | -90,682 | -90,682 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | -38,3280 | -38,328 |
| 5 | 0 | -76,892 | 0 | 0 | -38,293 | -115,185 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 115,322 | 0 | 115,322 |

e para a componente em quadratura obteve-se:

Tabela 5. 75 – Contribuição da cada consumidor para as componentes em quadratura da corrente em cada elemento da rede, nas horas de vazio e estando a rede com os PRE em serviço (A)

| Ramo | 1 | 2 | 3 | 4 | Rede Transporte | Somatório |
|------|---|---------|---|--------|-----------------|-----------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -48,190 | -48,190 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28,702 | 28,702 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | -43,956 | -43,956 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | -15,273 | -15,273 |
| 5 | 0 | -30,778 | 0 | 0 | -15,273 | -46,051 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 46,120 | 0 | 46,120 |

Os valores da componente em fase da corrente com que cada PRE contribui para cada ramo da rede são:

Tabela 5. 76 – Contribuição de cada PRE para a componente em fase da corrente em cada elemento da rede nas horas de vazio (A)

| Ramo | Rede Transporte | PRE 1 | PRE 2 | Somatório |
|------|-----------------|----------|----------|-----------|
| 1 | 0 | -139,757 | 0 | -139,757 |
| 2 | 0 | 52,396 | 0 | 52,396 |
| 3 | 0 | -52,399 | -38,283 | -90,682 |
| 4 | 0 | 0 | -38,280 | -38,28 |
| 5 | 0 | 0 | -115,185 | -115,185 |
| 6 | 0 | 0 | 115,322 | 115,322 |

Para a componente em quadratura das correntes obteve-se:

Tabela 5. 77 – Contribuição de cada PRE para a componente em quadratura da corrente em cada elemento da rede nas horas de vazio (A)

| Ramo | Rede de Transporte | PRE 1 | PRE 2 | Somatório |
|------|--------------------|---------|---------|-----------|
| 1 | 0 | -48,19 | 0 | -48,19 |
| 2 | 0 | 28,702 | 0 | 28,702 |
| 3 | 0 | -28,690 | -15,266 | -43,956 |
| 4 | 0 | 0 | -15,273 | -15,273 |
| 5 | 0 | 0 | -46,051 | -46,051 |
| 6 | 0 | 0 | 46,12 | 46,12 |

A contribuição de cada produtor em regime especial para a componente em fase da corrente absorvida por cada consumidor e pela rede de transporte vale:

Tabela 5. 78 – Contribuição de cada PRE para a componente em fase da corrente de cada consumidor da rede nas horas de vazio (A)

| Consumidor | PRE 1 | PRE 2 | Somatório |
|-----------------|--------|--------|-----------|
| 1 | 192,18 | 0 | 192,18 |
| 2 | 0 | 76,87 | 76,87 |
| 3 | 0 | 153,66 | 153,66 |
| 4 | 0 | 115,32 | 115,32 |
| Rede Transporte | 192,16 | 38,28 | 230,44 |

e para a componente em quadratura vale:

Tabela 5. 79 – Contribuição de cada PRE para a componente em quadratura da corrente em cada consumidor da rede nas horas de vazio (A)

| Consumidor | PRE 1 | PRE 2 | Somatório |
|-----------------|-------|-------|-----------|
| 1 | 76,90 | 0 | 76,9 |
| 2 | 0 | 30,78 | 30,78 |
| 3 | 0 | 61,44 | 61,44 |
| 4 | 0 | 46,12 | 46,12 |
| Rede Transporte | 76,88 | 15,27 | 92,15 |

As variações nas contribuições de cada consumidor para a componente em fase da corrente em cada ramo da rede valem:

Tabela 5. 80 – Variações nas componentes em fase das correntes de cada ramo da rede devido a cada consumidor (A)

| Ramos | 1 | 2 | 3 | 4 | Rede Transporte | Somatório |
|-------|---------|---------|----------|----------|-----------------|-----------|
| 1 | -193,10 | -18,041 | -36,113 | -27,103 | -139,757 | -414,114 |
| 2 | 0 | -18,046 | -36,122 | -27,110 | 52,396 | -28,882 |
| 3 | 0 | -59,487 | -119,076 | -89,366 | -90,682 | -358,611 |
| 4 | 0 | -77,551 | -155,233 | -116,503 | -38,328 | -387,615 |
| 5 | 0 | -76,892 | -155,162 | -116,449 | -38,293 | -386,796 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | -1,131 | 0 | -1,131 |

Para a componente em quadratura obtiveram-se as seguintes variações:

Tabela 5. 81 – Variações nas componentes em quadratura das correntes de cada ramo da rede devido a cada consumidor (A)

| Ramos | 1 | 2 | 3 | 4 | Rede Transporte | Somatório |
|-------|---------|---------|---------|---------|-----------------|-----------|
| 1 | -77,107 | -12,389 | -24,885 | -18,679 | -48,190 | -181,25 |
| 2 | 0 | -12,389 | -24,885 | -18,679 | 28,702 | -27,251 |
| 3 | 0 | -18,571 | -37,301 | -27,999 | -43,956 | -127,827 |
| 4 | 0 | -30,962 | -62,189 | -46,680 | -15,273 | -155,104 |
| 5 | 0 | -30,778 | -62,174 | -46,669 | -15,273 | -154,894 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | -0,544 | 0 | -0,544 |

A aplicação das expressões anteriormente apresentadas conduz à obtenção das seguintes variações nas componentes da corrente de cada ramo atribuídas a cada PRE:

Tabela 5. 82 – Variações nas componentes em fase das correntes de cada ramo atribuídas a cada PRE (A)

| PRE | Ramo | | | | | |
|-------|----------|---------|----------|----------|----------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | -332,857 | 52,396 | -52,399 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -81,257 | -81,278 | -306,212 | -387,615 | -386,796 | 0 |
| Total | -414,114 | -28,882 | -358,611 | -387,615 | -386,796 | 0 |

Tabela 5. 83 – Variações nas componentes em quadratura das correntes de cada ramo atribuídas a cada PRE (A)

| PRE | Ramo | | | | | |
|-------|----------|---------|----------|----------|----------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | -125,297 | 28,702 | -28,690 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -55,953 | -55,953 | -99,137 | -155,104 | -154,894 | 0 |
| Total | -181,25 | -27,251 | -127,827 | -155,104 | -154,894 | 0 |

O valor da variação de perdas alocado a cada PRE vale:

Tabela 5. 84 – Perdas alocadas a cada PRE (MW)

| PRE | Ramo | | | | | | $P_p^m = \sum_{i=1}^L P_{pi}^m$ |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---|---------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | -0,0073 | 0,0008 | -0,0095 | 0 | 0 | 0 | -0,0160 |
| 2 | -0,0120 | -0,0012 | -0,0137 | -0,0284 | -0,0047 | 0 | -0,06 |
| P_{pi}^m | -0,0193 | -0,0004 | -0,0231 | -0,0284 | -0,0047 | 0 | -0,0760 |

Estes valores são muito semelhantes aos apresentados na tabela 5.31.

5.3 – Comparação entre as duas variantes do método proposto

A aplicação das duas variantes do método proposto a uma mesma rede pode conduzir a resultados mais ou menos distintos.

A comparação dos resultados constantes das tabelas 5.7 e 5.40 e das tabelas 5.21 e 5.67 mostram que as diferenças entre as perdas de cada ramo da rede alocadas a cada consumidor, em percentagem das perdas totais de cada ramo, são baixas. No entanto, diferenças superiores podem acontecer devido ao facto de, na variante das correntes, se considerar as componentes em quadratura das correntes em cada ramo da rede no processo de alocação das perdas.

No método das potências, a alocação de perdas aos consumidores apenas tem em conta as contribuições de cada um para o trânsito de potência activa em cada elemento da rede, desprezando portanto as contribuições para o trânsito de potência reactiva, no processo de alocação.

O facto de, na rede da figura 4.1 à qual se aplicaram as duas variantes do método, se ter considerado todos os consumidores com um valor de potência reactiva igual a 40 % do valor da sua potência activa contribui, de forma decisiva, para que os resultados fornecidos pelas duas variantes se aproximem. Por outro lado, na referida rede, os trânsitos de potência reactiva e os trânsitos de potência activa que cada consumidor provoca em cada ramo da rede coincidem, em direcção e nos ramos em que se verificam. Num sistema de maior complexidade tal pode não acontecer. Esta situação contribuirá também para que os resultados fornecidos pelas variantes do método se afastem.

A figura 5.24 ilustra esta situação. O consumidor C provoca trânsito de potência activa nos ramos 1-2, 2-3 e 3-4, mas apenas provoca trânsito de potência reactiva nos ramos 1-3 e 3-4.

A aplicação da variante das potências apenas alocaria perdas ao consumidor C nos ramos 1-2, 2-3 e 3-4. O consumidor C não teria portanto de suportar perdas do ramo 1-3, apesar de, no trânsito de potência reactiva, o utilizar e contribuir para o módulo da corrente que nele se faz sentir, e logo para as respectivas perdas.

O método das correntes atribuiria um determinado valor perdas do ramo 1-3, ainda que reduzido, ao consumidor C.

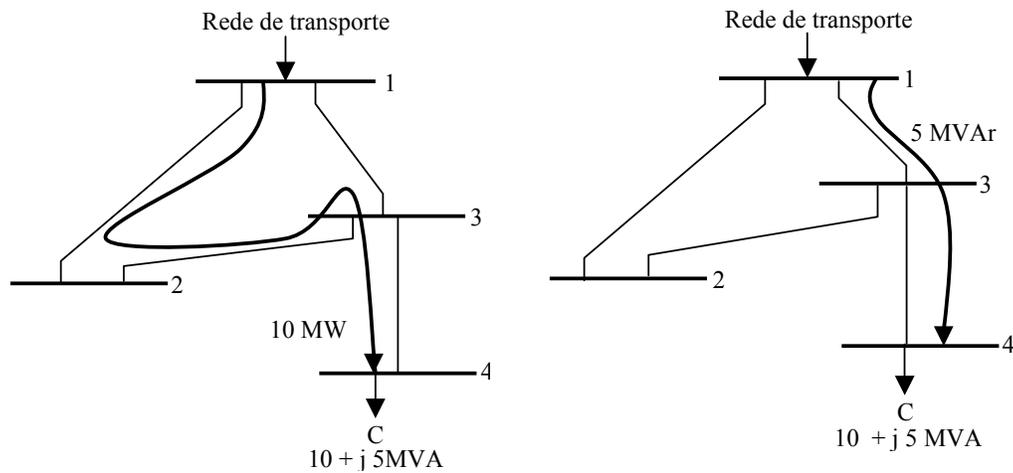


Figura 5. 24 – Diferenças na alocação de perdas pelas variantes do método proposto

Situações semelhantes a esta podem com facilidade ocorrer em redes de distribuição com estrutura em anel (com malhas). Nas redes radiais esta situação não se coloca, no entanto as duas variantes do método podem também fornecer resultados distintos. A figura que se segue permite ilustrar esta situação.

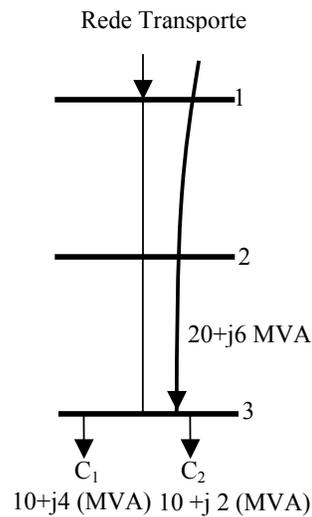


Figura 5. 25 – Causa para diferenças nas perdas alocadas a cada consumidor pelas duas variantes do método proposto numa rede radial

A utilização da variante das potências para efectuar a alocação das perdas desta pequena rede entre os seus dois consumidores conduziria a que cada um deles suportasse metade dos custos das perdas de cada ramo. A aplicação da variante das correntes conduzirá a uma alocação de perdas diferenciada, por via da componente em quadratura da corrente que cada um dos consumidores provoca em cada ramo, as quais são distintas.

No que se refere aos PRE, as duas variantes do método podem também conduzir a alocação de perdas distintas. Estas diferenças podem ocorrer por situações análogas às referidas para o caso das cargas, mas tendo em atenção que a alocação de perdas aos PRE se liga com as variações ocorridas nestas pela sua presença.

Um outro contributo para que ocorram alocações distintas de perdas aos PRE pelas duas variantes liga-se com o facto de, na variante das potências, algumas variações nas perdas provocadas unicamente pelas variações nas tensões não serem entendidas como tal. O exemplo da figura 5.26 permite tornar mais clara esta situação.

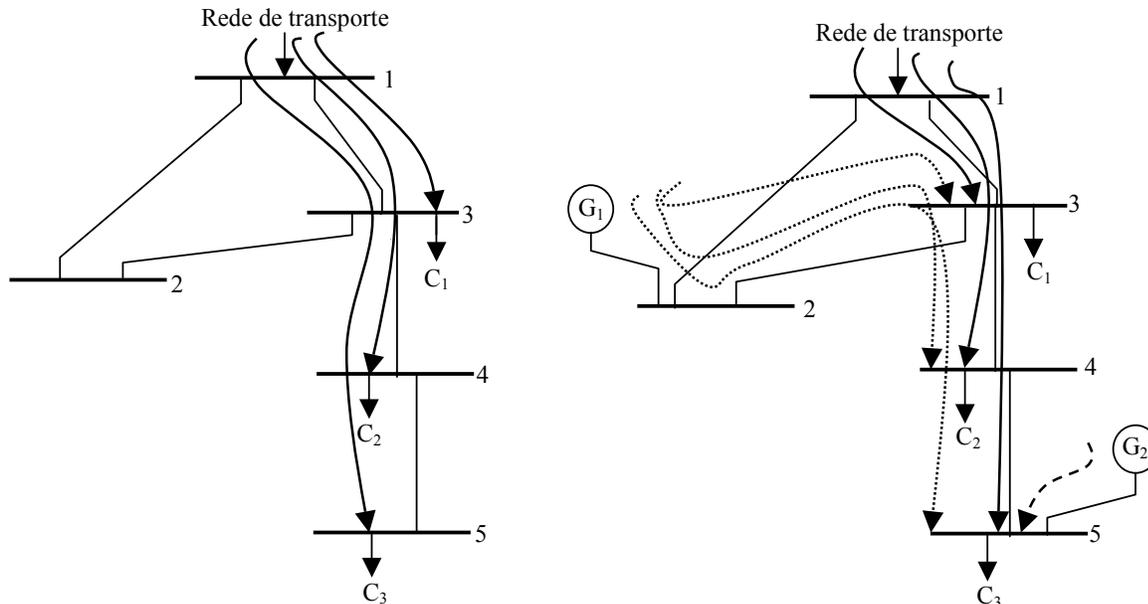


Figura 5. 26 – Alocação de perdas devidas a variações nas tensões a um PRE em prejuízo de outro

As eventuais perdas evitadas no ramo 3-4 devido ao consumidor C_2 serão unicamente devidas às variações nas tensões introduzidas pelos PRE, pelo que, estas perdas evitadas devem ser repartidas entre ambos. A forma de operação da variante das potências do método, a qual efectua uma alocação das perdas evitadas em cada ramo, sem as determinar de forma directa, atribuirá o conjunto de perdas evitadas no ramo 3-4 (entre as quais aquelas ligadas com o consumidor C_2) ao PRE 2.

A variante das correntes não aloca a variação na corrente ocorrida no ramo 3-4 ligada com o consumidor C_2 a nenhum dos PRE, uma vez que o PRE 1 contribui para o módulo da corrente no ramo e o PRE 2 não alimenta o consumidor C_2 . As perdas evitadas ligadas com o consumidor C_2 no ramo 3-4 farão portanto, na variante das correntes, parte das perdas não alocadas e serão repartidas entre os PRE da forma prevista para a alocação destas.

A variante das correntes do método apresenta, como se constata pelo referido anteriormente, maior capacidade para evitar situações de subsidiação cruzada entre utilizadores da rede de distribuição. Por outro lado, permite eliminar os problemas existentes na variante das potências relacionados com a determinação dos factores de perdas. O facto de determinar de forma directa as perdas a alocar a cada utilizador, sem necessidade de definição de factores de perdas como aqueles da variante das potências, elimina os problemas originados por estes.

Uma outra vantagem muito relevante da variante das correntes é que o método permite contabilizar as potências reactivas que cada utilizador implica na rede no processo de

alocação de perdas. Os próprios factores de potência dos diferentes utilizadores podem ser distintos, o que não acontece em qualquer dos métodos referidos anteriormente, onde se tornava necessária a definição de um factor de potência típico como referido na secção 2.2.

5.4 – Aplicação da variante das correntes do método proposto a uma rede teste

5.4.1 – Rede utilizada

A rede utilizada é uma rede de 15 kV, com 28 barramentos, constituída por 1 subestação, 25 consumidores (postos de transformação de clientes vinculados, não vinculados ou da rede pública de distribuição), e duas instalações de produção em regime especial. A figura 5.27 representa, em esquema, esta rede na qual foi considerada a existência de uma malha fechada por forma a que se criem condições adversas ao funcionamento do método, as quais surgem fundamentalmente com a existência destas malhas.

O posicionamento dos produtores em regime especial na rede foi definido de forma a que um deles fique interligado com a rede de distribuição na malha fechada desta e o outro numa zona radial da rede.

As características eléctricas dos ramos da rede são apresentadas nas tabela A1.1 do Anexo I.

A aplicação do método foi efectuada, sobre a rede da figura 5.27, considerando dois períodos temporais distintos, nos quais cada um dos utilizadores da rede apresenta os seus valores de potência máximos e mínimos. Estes períodos pretendem simular os períodos de ponta e de vazio da rede. O valor das potências dos consumidores da rede no período que representa as horas de ponta, bem como os mesmos valores no período correspondente às horas de vazio da rede encontram-se na tabela A1.2 do Anexo I e encontram-se transcritos nas tabelas 5.85 e 5.90 referentes à alocação de perdas aos consumidores respectivamente nas horas de ponta e de vazio.

As potências que os PRE injectam na rede foram consideradas iguais a $3 + j 1,2$ MVA e $4 + j 1,6$ MVA respectivamente para os PRE 1 e PRE 2 nas horas de ponta. Nas horas de vazio os valores considerados foram $3 + j 0$ MVA e $4 + j 0$ MVA, respectivamente para o PRE 1 e para o PRE 2.

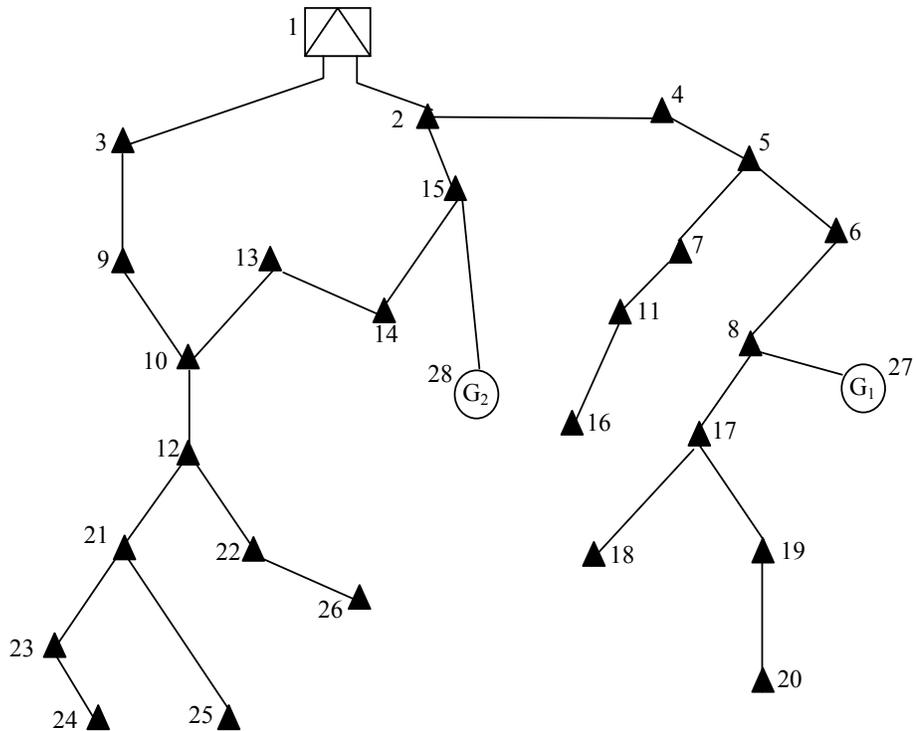


Figura 5.27 – Rede eléctrica de distribuição teste

5.4.2 – Comentários aos resultados obtidos pela aplicação do método às horas de ponta

Parte dos resultados obtidos pela aplicação do método foram, devido à sua extensão, deslocados para o Anexo I. Apresentam-se neste ponto os resultados mais relevantes da aplicação da metodologia, em especial os valores finais de alocação de perdas.

O valor global das perdas a alocar aos consumidores da rede é, como se constata da tabela A1.3 do Anexo I igual a 1344,536 kW.

O valor de perdas alocadas a cada consumidor relativamente a cada ramo encontra-se apresentado na tabela A1.10 do Anexo I. As perdas totais alocadas a cada consumidor, em valor absoluto e em percentagem do valor global das perdas são as apresentadas na tabela 5.85 que se segue. Nesta tabela apresenta-se ainda as potências activas e reactivas que cada consumidor solicita à rede nas horas de ponta.

Tabela 5. 85 – Perdas totais alocadas a cada consumidor nas horas de ponta

| Consumidor | P (MW) | Q (MVAr) | Perdas alocadas (kW) | Porcentagem do total |
|------------|--------|----------|----------------------|----------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 2 | 350 | 100 | 4,512 | 0,34 |
| 3 | 700 | 260 | 15,388 | 1,14 |
| 4 | 700 | 280 | 47,743 | 3,55 |
| 5 | 560 | 150 | 44,812 | 3,33 |
| 6 | 180 | 70 | 3,630 | 0,27 |
| 7 | 600 | 240 | 60,745 | 4,52 |
| 8 | 650 | 260 | 82,460 | 6,13 |
| 9 | 650 | 100 | 23,128 | 1,72 |
| 10 | 800 | 300 | 44,011 | 3,27 |
| 11 | 900 | 120 | 122,302 | 9,10 |
| 12 | 450 | 120 | 18,416 | 1,37 |
| 13 | 600 | 200 | 25,073 | 1,86 |
| 14 | 600 | 100 | 22,532 | 1,68 |
| 15 | 850 | 300 | 37,686 | 2,80 |
| 16 | 850 | 150 | 114,256 | 8,50 |
| 17 | 450 | 100 | 38,746 | 2,88 |
| 18 | 600 | 200 | 80,410 | 5,98 |
| 19 | 800 | 300 | 153,800 | 11,44 |
| 20 | 900 | 250 | 187,929 | 13,98 |
| 21 | 350 | 100 | 11,672 | 0,87 |
| 22 | 630 | 250 | 42,492 | 3,16 |
| 23 | 750 | 100 | 61,673 | 4,59 |
| 24 | 560 | 200 | 41,153 | 3,06 |
| 25 | 450 | 180 | 23,534 | 1,75 |
| 26 | 580 | 200 | 36,433 | 2,71 |
| Total | - | - | 1344,536 | 100 |

As perdas da rede de distribuição, na situação de ausência de produtores em regime especial foram integralmente alocadas aos diferentes consumidores.

Da análise dos resultados fornecidos pela aplicação do método, pode ser constatado que, cada consumidor apenas suporta custos de perdas em ramos que utiliza para veicular a energia destinada à sua alimentação.

Uma constatação interessante, que se pode retirar da análise dos resultados obtidos, é que os consumidores situados no lado direito da rede representada na figura 5.27 suportam, de forma geral, custos de perdas mais significativos que os consumidores localizados no lado esquerdo com potências semelhantes. Tal deve-se, fundamentalmente, ao facto dos consumidores situados no lado direito da rede utilizarem, para transportar a energia que consomem, ramos que são percorridos por correntes mais elevadas.

Por exemplo, os consumidores 3 e 4, apesar de terem potências muito próximas ($700+j260$ MVA e $700+j280$ MVA respectivamente), suportam valores de perdas significativamente distintos. Esta diferença significativa deve-se ao facto dos consumidores 3

e 4 utilizarem diferentes troços de rede em número de ramos e, principalmente, nas características e regime de carga destes.

Outras situações semelhantes a esta podem ser encontradas, como por exemplo o caso dos consumidores 8 e 9.

Um outro aspecto interessante que se pode constatar da aplicação do método, reside no facto de o consumidor 13 ter perdas atribuídas referentes ao ramo 15 da rede. A tabela A1.8 do Anexo I mostra que este consumidor não contribui para a componente em fase da corrente do ramo 15, mas contribui para a componente em quadratura tal como evidencia a tabela A1.9 do mesmo anexo. Significa isto que o consumidor 13 tem um contributo, ainda que pequeno, para o módulo da corrente do ramo 15 e logo deverá ter perdas alocadas referentes a este ramo, cujo valor é reduzido como se expressa na tabela A1.10 do Anexo I onde se constata que as perdas alocadas ao consumidor 13 relativamente ao ramo 15 são iguais a 0,003 kW. Este valor é exactamente igual ao diferencial que se verifica nas perdas do ramo 15 nas situações da consideração da contribuição para a componente em quadratura da sua corrente pelo consumidor 13 e na não consideração desta contribuição. Quer isto dizer que o consumidor 13 apenas suporta, no ramo 15, as perdas que a componente em quadratura da corrente que flui no ramo em sua direcção provoca. Estas perdas, no caso da variante das potências do método, seriam alocadas não ao consumidor 13, mas aos consumidores que contribuem para o trânsito de potência activa do ramo 15.

A introdução dos PRE na rede de distribuição conduziu ao aparecimento de variações no trânsito de potências de cada ramo da rede e em consequência nas contribuições de cada consumidor para as respectivas componentes da corrente.

As variações que se verificam nas componentes da corrente em cada ramo encontram-se apresentadas nas tabelas A1.18 e A1.19 do Anexo I. Destas tabelas, pode retirar-se a informação sobre a variação total nas componentes da corrente em cada ramo da rede originadas pela entrada em serviço dos PRE. A tabela 5.86 contém esta informação.

As variações nas componentes em fase da corrente de cada ramo são todas negativas com excepção daquelas que ocorrem nos ramos 12, 15 e 19 a 21. Nestes ramos as variações são positivas porque a inserção dos PRE conduziu a um aumento, em sentido directo, da componente em fase da corrente nestes ramos. Para o caso da componente em quadratura, as variações são todas negativas com excepção daquelas que ocorrem nos ramos 12 e 19 a 21. Estas variações positivas, tal como aquelas que ocorrem na componente em fase, devem-se ao facto da componente em quadratura da corrente nestes ramos aumentar, em sentido directo, com a inserção dos PRE.

Note-se que os ramos 12 e 21 são o meio de interligação dos PRE à rede de distribuição e que, em consequência, não são percorridos por qualquer corrente antes da consideração dos PRE em serviço. O sentido directo nestes ramos é aquele definido pelo trânsito de potências activa e reactiva no ramo após a inserção dos PRE, respectivamente para os casos da componente em fase e em quadratura da corrente.

Tabela 5. 86 – Variações nas componentes da corrente de cada ramo

| Ramo | Variações totais | | Variações alocadas ao PRE 1 | | Variações alocadas ao PRE 2 | |
|------|------------------|------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| | ΔI^f (A) | ΔI^q (A) | ΔI^{f-1} (A) | ΔI^{q-1} (A) | ΔI^{f-2} (A) | ΔI^{q-2} (A) |
| 1 | -235,448 | -124,793 | -129,958 | -70,901 | -105,490 | -53,892 |
| 2 | -63,303 | -28,254 | 0 | 0 | -62,809 | -27,692 |
| 3 | -139,357 | -82,725 | -130,001 | -71,066 | 0 | 0 |
| 4 | -95,786 | -41,736 | 0 | 0 | -95,786 | -41,736 |
| 5 | -63,148 | -28,032 | 0 | 0 | -62,809 | -27,692 |
| 6 | -138,280 | -81,179 | -130,001 | -71,066 | 0 | 0 |
| 7 | -130,465 | -71,935 | -130,001 | -71,066 | 0 | 0 |
| 8 | -6,395 | -7,492 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | -129,985 | -71,206 | -129,985 | -71,206 | 0 | 0 |
| 10 | -5,042 | -5,278 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | -9,504 | -13,835 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 118,579 | 54,148 | 118,579 | 54,148 | 0 | 0 |
| 13 | -62,809 | -27,692 | 0 | 0 | -62,809 | -27,692 |
| 14 | -2,333 | -3,374 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 60,040 | -23,627 | 0 | 0 | 60,040 | -23,627 |
| 16 | -2,406 | -2,639 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | -1,360 | -1,860 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | -0,689 | -1,137 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 59,606 | 22,987 | 0 | 0 | 60,040 | 22,987 |
| 20 | 58,990 | 22,333 | 0 | 0 | 60,040 | 22,987 |
| 21 | 153,826 | 62,823 | 0 | 0 | 153,826 | 62,823 |
| 22 | -1,966 | -3,013 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | -5,914 | -8,814 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | -3,306 | -4,507 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | -0,892 | -1,119 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | -0,250 | -0,436 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | -0,341 | -0,535 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | -0,335 | -0,541 | 0 | 0 | 0 | 0 |

As variações nas componentes em fase e em quadratura da corrente de cada ramo foram imputadas aos PRE nos termos apresentados na descrição do método. A tabela 5.86 apresenta os valores das variações em cada ramo da rede de que o PRE 1 e o PRE 2 são responsáveis, respectivamente.

A alocação aos PRE das variações nas componentes das correntes de cada ramo confirma o que havia sido referido na apresentação do algoritmo, ou seja, as variações originadas unicamente pelos aumentos nas tensões não são imputadas a nenhum dos PRE.

Esta situação verifica-se por, exemplo, no ramo 2, onde a diminuição da contribuição dos consumidores 3 e 9 para as componentes em fase e em quadratura da corrente no ramo não são imputadas a nenhum dos PRE. Outros ramos onde existem variações nas componentes das correntes não alocadas são, os ramos 3, 5 a 8, 10, 11, 14, 16 a 20 e 22 a 28.

No caso dos ramos 19 e 20, existe uma alocação da variação positiva na componente em fase da corrente superior à variação efectiva. Tal facto deve-se, como no caso anterior, à não alocação das variações devidas unicamente às tensões. No caso do ramo 19, a variação negativa ligada com o consumidor 13 não é alocada a qualquer PRE. No caso do ramo 20, as variações negativas dos consumidores 13 e 14, também não são atribuídas a qualquer dos PRE. As variações referidas não são alocadas porque nenhum dos PRE contribui para a componente em fase da corrente dos consumidores referidos sem contribuir para a mesma componente da corrente dos ramos, o que, pelo algoritmo do método, impede a alocação destas variações de forma directa. No que se refere à componente em quadratura, esta situação apenas ocorre no ramo 20.

As variações positivas das componentes em fase e em quadratura ocorridas nos ramos 12 e 21, são alocadas na íntegra aos PRE 1 e PRE 2 respectivamente, cumprindo o disposto no algoritmo do método. Recorde-se que estes dois ramos são aqueles que permitem a ligação de cada um dos PRE à rede de distribuição.

As variações nas componentes da corrente de cada ramo alocadas a cada PRE conduziram a que a cada um destes fossem alocadas as perdas que se apresentam na tabela 5.87.

As perdas iniciais da rede, antes da inserção dos PRE valem 1344,536 kW, tal como consta da tabela A1.3 do Anexo I. Após a inserção destes valem 586,108 kW tal como consta da tabela A1.11 do mesmo anexo.

A variação total nas perdas da rede vale, portanto, -758,428 kW, ou seja existe um conjunto de perdas evitadas na rede por ambos os PRE.

Até este momento encontram-se alocados -715,137 kW de perdas, o que significa que os restantes -43,291 kW são perdas não alocadas pelo método base. O valor de perdas não alocadas ronda os 5,7 % das perdas totais evitadas a serem alocadas aos PRE.

Os factos deste valor ser relativamente reduzido, e de ambos os PRE terem responsabilidade na variação das tensões da rede limitam as eventuais situações de subsídio cruzada que possam ocorrer por esta via.

Tabela 5. 87 – Variações nas perdas alocadas aos PRE

| Ramo | Perdas alocadas (kW) | | |
|-------|----------------------|----------|---|
| | PRE 1 | PRE 2 | Total de variações de perdas do ramo alocadas |
| 1 | -143,928 | -126,912 | -270,840 |
| 2 | 0 | -54,343 | -54,343 |
| 3 | -183,353 | 0 | -183,353 |
| 4 | 0 | -14,315 | -14,315 |
| 5 | 0 | -43,968 | -43,968 |
| 6 | -161,324 | 0 | -161,324 |
| 7 | -36,479 | 0 | -36,479 |
| 8 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | -38,715 | 0 | -38,715 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 27,605 | 0 | 27,605 |
| 13 | 0 | -22,605 | -22,605 |
| 14 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 7,353 | 7,353 |
| 16 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 12,018 | 12,018 |
| 20 | 0 | 30,127 | 30,127 |
| 21 | 0 | 33,702 | 33,702 |
| 22 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | 0 |
| Total | -536,194 | -178,943 | -715,137 |

A tabela 5.88 mostra, para cada ramo da rede, a percentagem da variação de perdas de cada ramo que não são alocadas de forma directa pelo método, relativamente ao valor global a alocar. Excluindo os casos dos ramos em que as variações nas perdas se devem exclusivamente às variações nas tensões, as diferenças entre o somatório das variações nas perdas alocadas a cada PRE e o valor efectivo destas variações em cada ramo da rede não assumem valores significativos. Tal permite garantir que, por esta via, não surgirão situações importantes de subsidiação cruzada entre os PRE.

A partilha destas perdas não alocadas entre ambos os PRE, com base nas potências aparentes de cada um, as quais são iguais a 3,23 MVA e 4,31 MVA respectivamente para os PRE 1 e PRE 2 conduz a que as perdas totais alocadas a cada PRE sejam as apresentadas na tabela 5.89.

Tabela 5. 88 – Diferenças entre as variações reais e o somatório das variações alocadas a cada PRE em cada ramo da rede – Horas de ponta

| Ramo | Variação real das perdas (kW) | Variações alocadas aos PRE (kW) | Diferença (kW) | Percentagem da variação total a alocar (%) |
|------|-------------------------------|---------------------------------|----------------|--|
| 1 | -270,840 | -270,840 | 0,000 | 0,00 |
| 2 | -54,779 | -54,343 | -0,436 | 0,80 |
| 3 | -194,268 | -183,353 | -10,915 | 5,62 |
| 4 | -14,315 | -14,315 | 0,000 | 0,00 |
| 5 | -44,194 | -43,968 | -0,226 | 0,51 |
| 6 | -169,224 | -161,324 | -7,900 | 4,67 |
| 7 | -36,521 | -36,479 | -0,042 | 0,12 |
| 8 | -2,810 | 0 | -2,810 | 100,00 |
| 9 | -38,715 | -38,715 | 0,000 | 0,00 |
| 10 | -1,534 | 0 | -1,534 | 100,00 |
| 11 | -6,726 | 0 | -6,726 | 100,00 |
| 12 | 27,605 | 27,605 | 0,000 | 0,00 |
| 13 | -22,605 | -22,605 | 0,000 | 0,00 |
| 14 | -1,990 | 0 | -1,990 | 100,00 |
| 15 | 7,353 | 7,353 | 0,000 | 0,00 |
| 16 | -0,235 | 0 | -0,235 | 100,00 |
| 17 | -0,421 | 0 | -0,421 | 100,00 |
| 18 | -0,189 | 0 | -0,189 | 100,00 |
| 19 | 11,903 | 12,018 | -0,115 | -0,96 |
| 20 | 29,371 | 30,127 | -0,756 | -2,57 |
| 21 | 33,702 | 33,702 | 0,000 | 0,00 |
| 22 | -0,682 | 0 | -0,682 | 100,00 |
| 23 | -6,615 | 0 | -6,615 | 100,00 |
| 24 | -1,029 | 0 | -1,029 | 100,00 |
| 25 | -0,535 | 0 | -0,535 | 100,00 |
| 26 | -0,043 | 0 | -0,043 | 100,00 |
| 27 | -0,043 | 0 | -0,043 | 100,00 |
| 28 | -0,048 | 0 | -0,048 | 100,00 |

Tabela 5. 89 – Valor final de perdas alocadas a cada PRE nas horas de vazio

| PRE | Perdas alocadas (kW) |
|-----|----------------------|
| 1 | -555,747 |
| 2 | -203,681 |

Desta alocação de perdas constata-se que ambos os PRE devem ser remunerados por perdas evitadas.

O PRE 1 absorve quase três quartos (73,1 %) das perdas totais evitadas na rede, o que se deve ao facto de se encontrar numa zona desta em que os ramos se encontram sujeitos a

correntes particularmente elevadas. A presença do PRE 1 nesta zona da rede reduz as correntes nos referidos ramos e em consequência as perdas destes.

As perdas evitadas pelo PRE 1 ocorrem fundamentalmente nos ramos do lado direito da rede, enquanto as perdas do PRE 2 ocorrem no lado esquerdo.

É também importante constatar que, o PRE 2 provoca aumento de perdas em outros ramos além daquele que permite a sua interligação com a rede de distribuição. É o caso dos ramos 15, 19 e 20, uma vez que “força” o aumento das componentes da corrente destes ramos.

O PRE 1 apenas provoca aumento de perdas no ramo que permite a sua interligação com a rede de distribuição.

5.4.3 – Comentários aos resultados obtidos pela aplicação do método às horas de vazio

A metodologia foi também aplicada à rede, considerando esta num regime de carga reduzido, o qual pretende ilustrar o regime de carga das horas de vazio.

Os valores das potências de cada consumidor neste período apresentados na tabela A1.2 do Anexo I encontram-se transcritos na tabela 5.90.

A tabela A1.24 do Anexo I contém o valor de perdas de cada ramo, estando os PRE fora de serviço, as quais serão alocadas aos consumidores. O valor global destas perdas é 178,408 kW. A alocação destas perdas aos consumidores, efectuada pela variante das correntes do método proposto, conduz a que cada consumidor suporte, em cada ramo da rede, as perdas apresentadas na tabela A1.31 do Anexo I.

A tabela 5.90 contém o valor global de perdas que cada consumidor da rede terá de suportar nas horas de vazio, em valor absoluto e em percentagem do valor global das perdas neste período.

Constata-se desta tabela que as perdas da rede de distribuição nas horas de vazio, na situação de ausência de PRE, são integralmente alocadas aos consumidores alimentados por esta.

De uma forma geral, as conclusões retiradas para as horas de ponta são aqui aplicáveis, em especial o facto de os consumidores situados no lado direito da rede suportarem maiores valores de perdas.

Tabela 5.90 – Perdas totais alocadas a cada consumidor nas horas de vazio

| Consumidor | P (MW) | Q (MVar) | Perdas alocadas (kW) | Percentagem do total |
|------------|--------|----------|----------------------|----------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 2 | 140 | 40 | 0,711 | 0,40 |
| 3 | 280 | 104 | 2,339 | 1,31 |
| 4 | 280 | 112 | 6,758 | 3,79 |
| 5 | 224 | 60 | 5,843 | 3,28 |
| 6 | 72 | 28 | 0,477 | 0,27 |
| 7 | 240 | 96 | 8,082 | 4,53 |
| 8 | 260 | 104 | 10,631 | 5,96 |
| 9 | 260 | 40 | 3,474 | 1,95 |
| 10 | 320 | 120 | 6,389 | 3,58 |
| 11 | 360 | 48 | 16,052 | 9,00 |
| 12 | 180 | 48 | 2,643 | 1,48 |
| 13 | 240 | 80 | 3,970 | 2,23 |
| 14 | 240 | 40 | 3,456 | 1,94 |
| 15 | 340 | 120 | 5,683 | 3,19 |
| 16 | 340 | 60 | 14,823 | 8,31 |
| 17 | 180 | 40 | 4,911 | 2,75 |
| 18 | 240 | 80 | 10,017 | 5,61 |
| 19 | 320 | 120 | 18,926 | 10,61 |
| 20 | 360 | 100 | 22,726 | 12,74 |
| 21 | 140 | 40 | 1,649 | 0,92 |
| 22 | 252 | 100 | 5,983 | 3,35 |
| 23 | 300 | 40 | 8,695 | 4,87 |
| 24 | 224 | 80 | 5,725 | 3,21 |
| 25 | 180 | 72 | 3,318 | 1,86 |
| 26 | 232 | 80 | 5,127 | 2,87 |
| Total | - | - | 178,408 | 100 |

A introdução dos PRE conduziu ao aparecimento de variações no trânsito de potências de cada ramo e em consequência nas contribuições de cada consumidor para as respectivas componentes da corrente.

É importante referir que se considerou que os PRE injectam somente potência activa na rede, ou seja a potência reactiva injectada por estes é nula, como se constata da tabela A1.36 do Anexo I.

Esta situação conduziu a que as componentes em quadratura das correntes que cada PRE provoca em cada ramo se façam sentir em direcção aos PRE e não destes para a rede.

As variações nas componentes em fase e em quadratura da corrente de cada ramo encontram-se apresentadas nas tabelas A1.39 e A1.40 do Anexo I. Note-se que na tabela A1.40 surgem variações positivas na componente em quadratura de alguns ramos introduzidas por dois consumidores fictícios, o consumidor 27 e o consumidor 28. Estes consumidores fictícios representam os PRE. As contribuições de cada PRE para a componente em quadratura da corrente em cada ramo da rede pode ser visualizada na tabela A1.38 do Anexo I.

Os valores globais das variações em cada ramo da rede são apresentados na tabela que se segue.

Tabela 5. 91 – Variações nas componentes da corrente de cada ramo

| Ramo | Variação na componente em fase (A) | Variação na componente em quadratura (A) |
|------|------------------------------------|--|
| 1 | -215,049 | -3,910 |
| 2 | -56,421 | 2,579 |
| 3 | -117,723 | -2,990 |
| 4 | -97,247 | -0,791 |
| 5 | -56,326 | 2,671 |
| 6 | -117,567 | -2,519 |
| 7 | -116,483 | -0,045 |
| 8 | -0,885 | -1,978 |
| 9 | -116,396 | 0,348 |
| 10 | -0,736 | -1,410 |
| 11 | -1,032 | -3,348 |
| 12 | 115,163 | 4,538 |
| 13 | -56,219 | 2,783 |
| 14 | -0,435 | -0,546 |
| 15 | 55,679 | -3,802 |
| 16 | -0,343 | -0,694 |
| 17 | -0,244 | -0,433 |
| 18 | -0,131 | -0,277 |
| 19 | 55,584 | -4,012 |
| 20 | 55,442 | -4,249 |
| 21 | 152,481 | 3,922 |
| 22 | -0,215 | -0,742 |
| 23 | -0,602 | -2,084 |
| 24 | -0,358 | -1,074 |
| 25 | -0,155 | -0,256 |
| 26 | -0,046 | -0,103 |
| 27 | -0,064 | -0,130 |
| 28 | -0,054 | -0,122 |

Estas variações foram alocadas aos PRE de acordo com o algoritmo definido na apresentação do método.

Note-se que, relativamente à componente em fase das correntes, para o caso dos consumidores 10, 12 e 21 a 26, ocorre uma situação semelhante ao caso particular de aplicação do método descrito na secção 5.1.3 a propósito do método das potências. De facto, o PRE 2 contribui para a componente em fase da corrente dos consumidores 10, 12 e 21 a 26 através de dois “caminhos distintos” como se constata da aplicação do algoritmo de perseguição para jusante. Um primeiro “caminho” que passa pelos barramentos 15, 2, 1, 3, 9 e 10 e um segundo que passa pelos barramentos 15, 14, 13 e 10. Note-se que, devido à acção do PRE 2, o valor da componente em fase da corrente nos ramos que unem os barramentos 1-3, 3-9 e 9-10 é reduzido à custa de um aumento da mesma componente nos ramos que unem os barramentos 15-14, 14-13 e 13-10. As reduções referidas conduzem, nos ramos respectivos, a que ocorra um conjunto de perdas evitadas que se devem à acção do PRE 2, mas que não são a este alocadas pelo algoritmo base se não forem corrigidas as contribuições de cada PRE para a componente em fase da corrente nos consumidores e ramos referidos. Esta correcção é efectuada de forma semelhante à descrita no ponto 5.1.3.

Tendo em conta o referido, os valores das contribuições de cada PRE e da rede de transporte para a componente em fase das correntes nos ramos da rede, apresentados na tabela A1.41 do Anexo I deverão ser substituídos pelos constantes da tabela A1.45 do mesmo anexo. De igual forma, as contribuições para a componente em fase da corrente de cada consumidor presentes na tabela A1.43 devem ser substituídas por aquelas presentes na tabela A1.46.

As contribuições de cada consumidor para a componente em fase da corrente em cada ramo da rede quando os PRE estão em serviço são também alteradas, passando daquelas constantes da tabela A1.37 do Anexo I para as expressas na tabela A1.47 do mesmo anexo.

Estas correcções conduziram à alteração nos valores das variações nas contribuições de cada consumidor para a componente em fase da corrente em cada ramo. Assim, os valores presentes na tabela A1.39 do Anexo I são substituídos pelos constantes na tabela A1.48 do mesmo anexo.

Após terem sido efectuadas estas correcções, as variações nas contribuições de cada consumidor para as componentes da corrente em cada ramo foram imputadas aos PRE de acordo com o algoritmo descrito para o método.

A tabela 5.92 contém as variações imputadas a cada PRE.

Tabela 5. 92 – Variações nas componentes da corrente de cada ramo imputadas aos PRE

| Ramo | Variações alocadas ao PRE 1 | | Variações alocadas ao PRE 2 | |
|------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| | ΔI^{f-1} (A) | ΔI^{q-1} (A) | ΔI^{f-2} (A) | ΔI^{q-2} (A) |
| 1 | -117,752 | 4,566 | -97,298 | 3,922 |
| 2 | 0 | 0 | -56,327 | 0 |
| 3 | -117,724 | 4,566 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | -97,245 | 3,922 |
| 5 | 0 | 0 | -56,267 | 0 |
| 6 | -117,567 | 4,566 | 0 | 0 |
| 7 | -116,484 | 4,566 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | -116,395 | 4,573 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 115,163 | 4,538 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | -56,218 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 55,679 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 55,663 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 55,655 | 0 |
| 21 | 0 | 0 | 152,480 | 3,922 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Note-se que, as variações nas componentes em quadratura das correntes de cada ramo alocadas aos PRE são somente as variações devidas às correntes que se dirigem aos PRE, ou seja, que são por estes absorvidas. Estas variações são facilmente determinadas com recurso à tabela A1.38 do Anexo I, onde os consumidores fictícios 27 e 28 representam os PRE 1 e PRE 2 respectivamente.

Também aqui ocorrem situações em que, em alguns ramos, não são alocadas a totalidade das variações nas componentes das correntes, uma vez que existem variações devidas unicamente às variações nas tensões da rede.

Mais uma vez podemos constatar que as variações nos ramos 12 e 21, que permitem a interligação com a rede de distribuição dos PRE 1 e PRE 2 respectivamente, são a estes alocadas na íntegra.

Conhecidas as variações de que cada PRE é responsável, procedeu-se à alocação de perdas, a qual conduziu aos resultados apresentados na tabela 5.93.

Tabela 5. 93 – Perdas alocadas aos PRE

| Ramo | Perdas alocadas (kW) | | |
|-------|----------------------|---------|-------------------------------|
| | PRE 1 | PRE 2 | Total perdas do ramo alocadas |
| 1 | -14,599 | -18,453 | -33,052 |
| 2 | 0 | -12,732 | -12,732 |
| 3 | -30,201 | 0 | -30,201 |
| 4 | 0 | 4,041 | 4,041 |
| 5 | 0 | -9,804 | -9,804 |
| 6 | -24,217 | 0 | -24,217 |
| 7 | 0,462 | 0 | 0,462 |
| 8 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1,459 | 0 | 1,459 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 21,578 | 0 | 21,578 |
| 13 | 0 | -4,668 | -4,668 |
| 14 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 5,035 | 5,035 |
| 16 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 6,518 | 6,518 |
| 20 | 0 | 14,639 | 14,639 |
| 21 | 0 | 28,400 | 28,400 |
| 22 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | 0 |
| Total | -45,518 | 12,976 | -32,542 |

A tabela que se segue mostra, para cada ramo da rede, a percentagem das perdas não alocadas relativamente ao valor global a alocar.

Tabela 5. 94 – Diferenças entre as variações reais e o somatório das variações alocadas a cada PRE em cada ramo da rede – Horas de vazio

| Ramo (kW) | Variação real das perdas (kW) | Variações alocadas aos PRE (kW) | Diferença (kW) | Percentagem das perdas totais a alocar (%) |
|-----------|-------------------------------|---------------------------------|----------------|--|
| 1 | -35,162 | -33,052 | -2,110 | 6,00 |
| 2 | -12,444 | -12,732 | 0,288 | -2,31 |
| 3 | -31,592 | -30,201 | -1,391 | 4,40 |
| 4 | 3,864 | 4,041 | -0,177 | -4,58 |
| 5 | -9,556 | -9,804 | 0,248 | -2,60 |
| 6 | -25,374 | -24,217 | -1,157 | 4,56 |
| 7 | 0,193 | 0,462 | -0,269 | -138,93 |
| 8 | -0,162 | 0,000 | -0,162 | 100,00 |
| 9 | 1,189 | 1,459 | -0,270 | -22,75 |
| 10 | -0,087 | 0,000 | -0,087 | 100,00 |
| 11 | -0,340 | 0,000 | -0,340 | 100,00 |
| 12 | 21,578 | 21,578 | 0,000 | 0,00 |
| 13 | -4,520 | -4,668 | 0,148 | -3,28 |
| 14 | -0,149 | 0,000 | -0,149 | 100,00 |
| 15 | 5,054 | 5,035 | 0,019 | 0,37 |
| 16 | -0,013 | 0,000 | -0,013 | 100,00 |
| 17 | -0,030 | 0,000 | -0,030 | 100,00 |
| 18 | -0,015 | 0,000 | -0,015 | 100,00 |
| 19 | 6,487 | 6,518 | -0,031 | -0,48 |
| 20 | 14,487 | 14,639 | -0,152 | -1,05 |
| 21 | 28,401 | 28,400 | 0,001 | 0,00 |
| 22 | -0,036 | 0,000 | -0,036 | 100,00 |
| 23 | -0,323 | 0,000 | -0,323 | 100,00 |
| 24 | -0,050 | 0,000 | -0,050 | 100,00 |
| 25 | -0,036 | 0,000 | -0,036 | 100,00 |
| 26 | -0,003 | 0,000 | -0,003 | 100,00 |
| 27 | -0,003 | 0,000 | -0,003 | 100,00 |
| 28 | -0,003 | 0,000 | -0,003 | 100,00 |

Uma vez mais, e excluindo o caso dos ramos em que as variações nas perdas se devem somente às variações nas tensões da rede, as diferenças entre as perdas totais a alocar e as perdas alocadas, em percentagem das primeiras é reduzida com excepção dos casos dos ramos 7 e 9. Nestes ramos verificam-se diferenças significativas em termos percentuais (não em valor absoluto), o que se deve fundamentalmente às variações nas componentes em quadratura alocadas aos PRE. De facto, nestes ramos, a alocação das variações positivas na componente em quadratura provocadas pelo PRE a estes e a não alocação das variações negativas devidas às variações nas tensões, conduz a que a variação positiva nas perdas alocadas aos PRE nestes ramos sejam superiores ao valor efectivo das variações. A juntar a isto existe ainda o facto de a variação nas perdas nestes ramos ser reduzida o que faz com que a diferença referida tenha maior valor percentual.

As perdas iniciais da rede, antes da inserção dos PRE valem 178,408 kW, e após a inserção destes valem 139,781 kW. Significa isto que, existe uma redução no valor global das perdas igual a 38,627 kW.

Note-se que, o somatório das perdas alocadas aos PRE é igual a - 32,542 kW, ou seja resta ainda alocar um valor de perdas igual a -6,085 kW, que representa 15,7 % das perdas totais a alocar entre os PRE. Este valor, maior que aquele encontrado nas horas de ponta,

mostra que as perdas não alocadas são agora mais significativas. Tal facto deve-se à não alocação em cada ramo, das variações nas componentes em quadratura que se devem unicamente às variações nas tensões (negativas) conjuntamente com a alocação das variações positivas originadas pela corrente em quadratura que percorre cada ramo em direcção a cada PRE. Esta situação conduz a que, em cada ramo, sejam alocados aumentos de perdas aos PRE por ter aumentado a componente em quadratura, sem se fazer sentir as reduções devidas às variações negativas referidas.

A repartição das perdas não alocadas entre ambos os PRE, de acordo com a potência aparente de cada um, que coincide nas horas de vazio com a potência activa como se constata da tabela A1.36 do Anexo I, conduz à alocação final que se apresenta na tabela 5.95.

Tabela 5. 95 – Valor final de perdas alocadas a cada PRE nas horas de vazio

| PRE | Perdas alocadas (kW) |
|-----|----------------------|
| 1 | -48,126 |
| 2 | 9,499 |

A aplicação da metodologia às horas de vazio mostra que o PRE 1 deve ser remunerado por perdas evitadas enquanto o PRE 2 deve suportar perdas.

Mais uma vez se percebe que a localização do PRE 1 é, do ponto de vista da rede de distribuição, mais benéfica para o funcionamento adequado desta no que se refere às perdas.

A análise dos resultados do método permite perceber que praticamente toda a energia gerada pelo PRE 1 é consumida por consumidores da rede, enquanto uma parte da produzida pelo PRE 2 é entregue à rede de transporte. Por outro lado, o PRE 1 não provoca aumentos significativos de corrente em nenhum dos ramos da rede de distribuição, com excepção do ramo que serve para efectuar a sua interligação à rede. O PRE 2 provoca aumentos significativos da corrente em vários ramos para além daquele que efectua a sua interligação à rede de distribuição, o que contribui para que este PRE tenha de suportar perdas nas horas de vazio, uma vez que às perdas evitadas em alguns ramos contrapõem-se as perdas acrescentadas noutros, nomeadamente nos ramos 4, 15, 19, 20 e 21. Note-se que o PRE 1 também implica aumentos de perdas em alguns dos ramos, mas em menor quantidade, e ao mesmo tempo origina reduções de perdas mais significativas.

5.5 – Caracterização do método quanto aos princípios para uma alocação ideal de perdas

Se o princípio das participações médias for aceite, a objectividade deste método, em especial da variante das correntes é completa uma vez que o método baseia-se em dados objectivos da rede e não contém simplificações ao real funcionamento dos sistemas eléctricos.

A falta de simplicidade na aplicação do método é a sua maior desvantagem, uma vez que tal aplicação requer alguns conhecimentos matemáticos e a manipulação de um algoritmo que não sendo muito complexo, pode dificultar a sua utilização por parte de alguns agentes do mercado.

A transparência é assegurada desde que todos os dados necessários à aplicação do método sejam disponibilizados pelas entidades competentes para tal.

No que se refere à eficiência económica, o método proposto, particularmente a variante das correntes tem um óptimo comportamento. As situações de subsídio cruzada são fortemente atenuadas ou mesmo eliminadas. Cada consumidor é responsabilizado pelas perdas que provoca na rede, sendo estas alocadas elemento a elemento e com uma partilha das partes comuns de perdas efectuada de forma cuidada. Significa isto que, situações de subsídio cruzada que se verificavam nos métodos do tipo participações médias ou dos potenciais, e que se deviam à forma de partilha das partes comuns de perdas, são aqui atenuadas ou mesmo eliminadas. A possibilidade de introdução de custos marginais no tempo permite também tornar este método eficiente do ponto de vista económico, uma vez que se podem fazer sentir, aos utilizadores da rede, os custos das perdas em diferentes períodos correspondentes a diferentes regimes de carga da rede.

Esta estrutura de custos marginais incentivará os consumidores a procurarem regularizar o seu diagrama de cargas.

O facto de cada consumidor suportar apenas perdas nos elementos de rede que efectivamente utiliza para a sua alimentação, permite transmitir sinais económicos tendentes a aproximar os pontos de injeção de potência na rede e os pontos de consumo. A forma de alocação de perdas aos PRE, a qual lhes atribui os benefícios das perdas evitadas e lhes imputa as perdas acrescentadas, permite também transmitir sinais económicos a estes utilizadores da rede tendentes a que se localizem em pontos convenientes desta, quando a opção de escolha existe.

O método garante o retorno suficiente de todos os custos de perdas desde que as previsões envolvidas na alocação dos custos sejam correctas.

Todos os utilizadores das redes de distribuição são tratados com igualdade, não existindo qualquer tipo de discriminação. A consumidores em iguais circunstâncias, o método aloca iguais perdas, tal como a PRE em iguais circunstâncias. É importante referir que, o conceito de iguais circunstâncias refere-se não só às características físicas dos ramos mas também ao regime de carga destes.

No que se refere à estabilidade, e tendo em consideração a mecânica de alocação de perdas do método, este apresenta um bom desempenho não contribuindo de forma significativa para a volatilidade dos preços da energia. O método garante consistência, tendo no entanto em conta que existe uma partilha quadrática de partes comuns de perdas.

A aplicabilidade a mercados abertos do método proposto é possível e recomendável, uma vez que, do ponto de vista económico permite aumentar a eficiência do sistema. O método não permite a implementação de uniformidade tarifária, efectuando distinção entre utilizadores da rede no espaço tal como no tempo se for utilizada uma estrutura de custos marginais no tempo.

5.6 – Conclusões

Neste capítulo, o mais importante deste trabalho, efectuou-se a proposta de um método capaz de permitir a alocação das perdas em redes eléctricas de distribuição aos diferentes utilizadores destas (consumidores e PRE).

A metodologia apresentada possui duas variantes e assenta num conjunto de conceitos definidos por diferentes autores, sendo o principal o princípio das participações médias. Uma vez aceite o referido princípio, o método proposto permite, de forma integrada e coerente, efectuar a alocação de perdas tendo em conta a não tarifação múltipla e a responsabilização de cada entidade pelas perdas que provoca ou evita na rede.

A primeira variante proposta, designada por variante das potências, efectua a alocação de perdas aos utilizadores da rede de distribuição com base nas potências activas que cada um destes provoca ou evita em cada elemento da rede. A utilização da potência activa neste processo de alocação de perdas leva a dificuldades na distinção entre utilizadores da rede com diferentes factores de potência, permitindo que situações de subsidiação cruzada ocorram por esta via.

A segunda variante, designada por variante das correntes, foi criada para suprir algumas das dificuldades da variante das potências. Esta variante do método permite lidar com utilizadores da rede com diferentes factores de potência, uma vez que, no processo de alocação de perdas, contabiliza também as potências reactivas que cada um dos utilizadores provoca ou evita em cada elemento da rede.

O método proposto, em qualquer das variantes, permite diferenciar cada um dos utilizadores da rede em função da sua localização geográfica, ou mais correctamente, da rede que cada um destes utiliza. Quer isto dizer que se faz sentir a cada utilizador da rede o seu impacto sobre as perdas desta, sendo tal situação mais bem assegurada pela variante das correntes.

Neste capítulo efectuou-se ainda a aplicação do método a uma rede de distribuição de dimensão razoável e com características realistas.