

IMPACTOS DO CONTROLE DE TENSÃO E DO DESPACHO ÓTIMO DE UNIDADES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDAS EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

HERBERTH F. G. GOMES, PATRÍCIA R. S. JOTA

*Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG – Campus II
Avenida Amazonas, 7675 – bairro Nova Gameleira – Belo Horizonte –MG, 30510-000
E-mails: herberthfabricio@yahoo.com.br, prsjota@dppg.cefetmg.br*

Abstract— Energy crises from extreme weather events such as prolonged droughts, leading to activation of the thermal power plants. As the real cost of thermal generation is high, it is necessary to develop studies to minimize the various impacts of this drive. This article applies the voltage control on the bars of the electric power system through technical "Conservation Voltage reduction" in conjunction with the optimal dispatch of generation unities distributed to reduce energy demand, the generation cost and losses the power electric system. The solution methodology uses the Newton-Raphson method for obtaining power and optimal dispatch generation flow, static load models that provide analysis of the influence of the type of load and voltage level and control of activity on capacitor banks and voltage regulators. A case study of IEEE-13 distribution we reference system is analysed.

Keywords— Newton-Raphson, Economic Dispatch, Distributed Generation, Energy Conservation, static load model.

Resumo— As crises energéticas provenientes de eventos climáticos extremos, como as secas prolongadas, levam ao acionamento das termelétricas. Como o custo real de geração das térmicas é elevado, é necessário desenvolver estudos no sentido de minimizar os diversos impactos deste acionamento. Este artigo aplica o controle de tensão nas barras do sistema elétrico de potência através da técnica "Conservation Voltage reduction" em conjunto com o despacho ótimo das unidades de geração distribuídas para a redução da demanda de energia, do custo de geração e das perdas do sistema elétrico de potência. A metodologia de solução utiliza o método de Newton-Raphson para obtenção do fluxo de potência e despacho ótimo de geração, modelos de carga estático que proporcionam análises da influência do tipo de carga e do nível de tensão e atuação de controle sobre bancos de capacitores e reguladores de tensão. Um estudo de caso com sistema de referência IEEE-13 nós de distribuição é analisado.

Palavras-chave— Newton-Raphson, Despacho Ótimo, Geração Distribuída, Conservação de Energia, modelo de carga estático.

1 Introdução

Com a criação das bandeiras tarifárias em 2015 no Brasil, o custo da geração distribuída por termelétricas é diretamente repassado na conta de energia elétrica a população. Sendo assim, é necessário realizar o dimensionamento ótimo das fontes distribuídas já existentes no sistema elétrico de potência. Conjun- gar técnicas de planejamento do despacho ótimo de geração com técnicas de conservação de energia pode representar uma eficiente alternativa para reduzir ainda mais os impactos do acionamento de termelétricas no território brasileiro.

O uso do despacho econômico (DE) nos sistemas elétricos inteligentes, "smart grids", (SD) poderia ser exemplificado com a criação de incentivos em regiões específicas onde a alocação ótima das unidades de geração distribuída é vislumbrada permitindo que o setor induza a instalação otimizada da GD. Pode-se ainda criar a possibilidade de, diante do cenário de inserção crescente de unidades de GD, verificar a situação ótima de todo o sistema, considerando um cenário com GD's em todas as barras e inclusive considerando o redimensionamento das gerações preexistentes. Numa perspectiva mais real, pode-se ainda, considerando que as gerações distribuídas nas barras apresentam valores fixos em determinados momentos, redimensionar as gerações preexistentes nestas

condições obtendo sempre um fluxo ótimo de potência e obtendo todos os benefícios em consequência.

Este trabalho pressupõe que caso existam gerações distribuídas em determinadas barras podendo ser em todas as barras do sistema qual seria um ótimo dimensionamento da geração considerando o controle de tensão para cada um dos casos de geração com o objetivo de redução do custo, primeiramente, e consequentemente obter a redução das perdas e demanda considerando a situação inicial do sistema e as restrições impostas no problema de otimização como o balanço de potência da barra principal geradora da subestação ('slack' ou Vteta ou barra 1).

O Objetivo deste trabalho é analisar o impacto das variações de tensão e do tipo de carga computados pelo modelo de carga estático adotado (ZIP) no dimensionamento das unidades geradoras preexistentes e a serem aleatoriamente alocadas nas barras do sistema elétrico de potência (SEP).

Para a obtenção do fluxo de potência e otimização do despacho de energia elétrica das unidades distribuídas preferiu-se utilizar do método determinístico de Newton-Raphson (NR) que constitui ferramenta de otimização classificada como direções de busca e que se atendido os requisitos básicos torna-se um eficiente método de solução com grande potencial técnico e didático.

Os tópicos seguintes do artigo tratarão de: II base teórica, III metodologia. IV estudo de caso V resultados e VI análises e conclusões.

2 Base Teórica

Neste item serão apresentados tópicos base para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 Automação da distribuição e controle Volt/Var

Segundo o IEEE, a automação da distribuição é um sistema que permite que uma concessionária possa remotamente monitorar, coordenar e operar redes de distribuição em tempo real (Turan, 2012).

Existem algumas metodologias para realizar o controle Volt/Var destacando-se (Turan, 2012), dentre elas existe o supervisor de aquisição e controle de dados (SCADA): controle por sistemas independentes através de regras de ação predeterminadas, figura 1, 1º) controle de reativos (VAr) através de bancos de capacitores para melhoria do fator de potência, redução das perdas etc... 2º) Controle de tensão (Volt) com alteração de taps de transformadores através de controladores reguladores de tensão (LTC). Os dispositivos são acionados por unidades terminais remotas de monitoramento (RTU) para redução da demanda e/ou consumo de energia (conservação por redução de tensão, CVR).

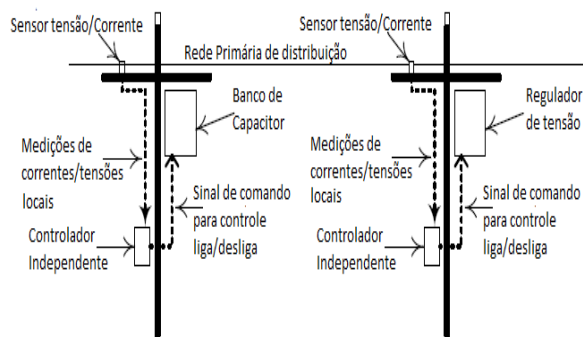


Figura 1. Controle independente. Fonte: Adaptado (Turan, 2012)

2.2 Conservação de Energia

A conservação de energia por redução de tensão (CVR) é uma estratégia tecnológica a muito tempo aplicada no sistema elétrico de potência. O objetivo principal é operar dentro dos limites inferiores estipulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL (PRODIST módulo 8), sem violar os limites (0.95 p.u a 1.00 p.u). Dessa forma tem-se a redução do consumo de energia elétrica sem sacrificar a vida útil dos equipamentos e o próprio conforto do consumidor. Vários experimentos foram realizados em diversos momentos da história mundial e inclusive brasileira em momentos de crises energéticas datados inicialmente em 1944 durante racionamento em alguns municípios de São Carlos, Descalvado e Anápolis pela até então Companhia Paulista de Energia Elétrica (CPEE) com redução da tensão da iluminação pública em 15% em média dentre outras medidas adotadas (Eletrobrás 1995).

2.3 Despacho Ótimo

O despacho econômico é um assunto clássico com estudos iniciais anteriores a década de 1920 (X.Xia, 2010) e que vem atualizando-se com a modernização dos sistemas elétricos de Potência inteligentes (Smart Grids) e, portanto, constituindo-se chave para o planejamento e operação de sistemas elétricos de potência (POSEP). O objetivo é executar um ótimo projeto de dimensionamento e alocação para os geradores distribuídos disponíveis suprindo de forma eficiente todas as cargas do sistema de potência com o menor custo possível ao se atender todas as restrições impostas pelo projeto (J.Hetzer, 2008) ou ainda, de forma mais sintética, visa obter o menor custo operacional necessário para satisfazer os limites operacionais de restrição do balanço de potência, dos geradores e redes do sistema elétrico de potência (Azza, 2013).

2.4 Modelo de Carga

Segundo (EPRI, 2000), existem três aproximações para realizar a modelagem de carga: Modelos baseados em medições, modelos baseados em perturbações e por último, modelo baseados em componentes de carga. São vários os modelos (S. G. Casper, 1995) e a maioria dos estudos utilizam o método de componentes por dentre outras vantagens não necessitar de medições no campo. Utiliza-se neste artigo o modelo ZIP na forma polinomial para representar a dependência da carga demandada com a variação da tensão no horizonte temporal sob análise conforme expressões seguintes (1), (2) e (3). A carga dessa forma será composta por três tipos de valores constantes, a potência, P , a corrente, I , e a impedância, Z , numa proporção que pode ser selecionada pelos coeficientes. Assim tem-se:

$$P_{m(\text{load})} = P_0 \left(P_p + I_p \left(\frac{v_i}{v_o} \right) + Z_p(t) \left(\frac{v_i}{v_o} \right)^2 \right) \quad (1)$$

$$Q_{m(\text{load})} = Q_0 \left(P_q + I_q \left(\frac{v_i}{v_o} \right) + Z_q(t) \left(\frac{v_i}{v_o} \right)^2 \right) \quad (2)$$

$$P_p + I_p + Z_p = P_q + I_q + Z_q = 1 \quad (3)$$

Onde: P_m e Q_m representam a potência ativa e reativa respectivamente injetadas no barramento m no tempo t sob análise. P_0 e Q_0 representam as potências ativas e reativas respectivamente na tensão nominal, P_p , I_p e Z_p são os coeficientes ZIP para potência ativa e os de índice q para potência reativa.

A definição dos coeficientes do modelo ZIP depende de diversos fatores como o tipo do dia (fim de semana ou dia de semana), a classe de serviço do consumidor (residencial, comercial, industrial), uma subdivisão das classes de serviço (residencial classe A e B), temperatura e período do dia (diurno e/ou noturno), localidade do alimentador, data da modelagem (que caracterizará a tecnologia daquele específico momento), estação do ano dentre outras. Assim é importante contextualizar a forma em que o modelo a ser utilizado foi obtido.

3 Metodologia

3.1 Formulação do Problema

O objetivo principal do problema é determinar de forma eficiente o nível de potência de saída das unidades de geração distribuídas para atenderem a demanda de carga prevista com o mínimo custo de produção de energia (D. P. Kothari., 2006). Para tanto, devem ser atendidas as restrições impostas no problema no período sob análise, considerando fontes de geração térmicas. O problema principal, representado pela função objetivo que deve ser minimizada, portanto, pode ser escrito como:

$$F(P_{gi}) = \sum_{i=1}^G \sum_{n=0}^E \left(a_{c(n,i)} P_{gi}^n \right) \$ / h \quad (4)$$

Onde, $F(P_{gi})$ é função objetivo custo a ser minimizada num determinado instante de tempo, i corresponde a um determinado gerador, G corresponde ao total de geradores existentes, n é a ordem da função custo sob análise, E é a ordem máxima da função quadrática do custo, $a_{c(n,i)}$ corresponde aos coeficientes de custo da unidade de geração i de ordem n , P_{gi}^n é a potência ativa gerada da unidade i na barra g no tempo t com ordem n e $\$/h$ corresponde a unidade monetária fictícia/hora do custo horário da geração.

O problema de otimização está sujeito a restrições seguintes:

- Balanço de potência ativa: a soma total das unidades de geração distribuída deve ser igual a demanda total mais as perdas total do sistema:

$$\left(P_{L(t)} - \sum_{i=1}^G P_{g(t,i)} + \sum_{j=1}^B P_{d(t,j)} \right) = 0 \quad (5)$$

Onde: $P_{L(t)}$ corresponde as perdas de potência ativa

no tempo t , $\sum_{i=1}^G P_{g(t,i)}$ corresponde ao somatório das unidades de GD, de i a G , no tempo t ,

$\sum_{j=1}^B P_{d(t,j)}$ é a soma das demandas de todas as cargas, B no tempo t .

- Balanço de potência reativa: a soma total das unidades de geração distribuída deve ser igual a demanda total mais as perdas total do sistema:

$$\left(Q_{L(t)} - \sum_{i=1}^G Q_{g(t,i)} + \sum_{j=1}^B Q_{d(t,j)} \right) = 0 \quad (6)$$

Onde: $Q_{L(t)}$ corresponde as perdas de potência ativa

no tempo t , $\sum_{i=1}^G Q_{g(t,i)}$ corresponde ao somatório

das unidades de GD, de i a G , no tempo t ,

$\sum_{j=1}^B Q_{d(t,j)}$ é a soma das demandas de todas as cargas, B no tempo t .

- Restrições de Limites de Potência:

$$P_{g(t,i)}^{\min} \leq P_{g(t,i)} \leq P_{g(t,i)}^{\max} \quad (7)$$

$$Q_{g(t,i)}^{\min} \leq Q_{g(t,i)} \leq Q_{g(t,i)}^{\max} \quad (8)$$

Onde: $P_{g(t,i)}^{\min}$ e $Q_{g(t,i)}^{\min}$ correspondem a mínima po-

tência que pode ser gerada e $P_{g(t,i)}^{\max}$ e $Q_{g(t,i)}^{\max}$ corres-

pondem a máxima potência que pode ser gerada no instante t para um gerador específico i .

3.2 Estratégias de Solução

Assim como informado previamente, para a solução do despacho econômico bem como para a solução do fluxo de potência utilizou-se do método numérico de Newton-Raphson. Para tanto, inicialmente, o problema com as restrições anteriores é convertido em um problema sem restrições através do multiplicador de Lagrange para maximizar ou minimizar a função, assim a função será definida como de forma completa (potências ativa e reativa) conforme (D. P. Kothari., 2006) para um período qualquer, por:

$$\begin{aligned} L(P_{gi}, Q_{gi}, \lambda_p, \lambda_q) = & F(P_{gi}) + \\ & + \lambda_p \left(P_{L(t)} - \sum_{i=1}^G P_{g(t,i)} + \sum_{j=1}^B P_{d(t,j)} \right) + \\ & + \lambda_q \left(Q_{L(t)} - \sum_{i=1}^G Q_{g(t,i)} + \sum_{j=1}^B Q_{d(t,j)} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

Onde: λ_p é o multiplicador de Lagrange para a potência ativa, p , λ_p é o multiplicador de Lagrange para a potência reativa, q , e $L(p_{gi}, Q_{gi}, \lambda_p, \lambda_q)$ é a nova função objetivo sem restrições de balanço de potência e em função das potências e multiplicadores de Lagrange além da função custo.

Considerando que a potência inserida numa determinada barra como P_g e Q_g corresponde a potência gerada, $P_{g(gd)}$ menos a demandada pela carga conectada a barra, $P_{g(load)}$ tem-se:

$$P_L = \sum_{g=1}^{NB} \sum_{m=1}^{NB} (P_{g(gd)} - P_{g(load)}) B_{gm} (P_{m(gd)} - P_{m(load)}) \quad (10)$$

Após manipulações matemáticas e uso da forma de Kron obtêm-se as equações citadas anteriormente que serão úteis no algoritmo computacional de solução:

$$P_{L(t)} = B_{00} + \sum_{g=1}^{NG} (B_{g0} P_{g(gd)}) + \sum_{m=1}^{NG} \sum_{g=1}^{NG} (P_{g(gd)} B_{gm} P_{m(gd)}) = 0 \quad (11)$$

Conjunto similar de equações são aplicadas para potência reativa, Q .

Após inserir o modelo de carga ZIP conforme as equações (1), (2) e (3) tem-se que somente os valores relacionados as demandas das barras (NB) sofrerão variação conforme a tensão, portanto os valores relacionados aos somatórios com os geradores serão mantidos constantes. A condição necessária para que problema de otimização da equação da função objetivo (9), sujeita as equações de balanço, tenha um ponto de mínimo ou máximo no ponto P_{gi} é que a derivada de primeira ordem da função L , com relação a cada um dos argumentos seja zero. A definição de máximo ou mínimo está relacionada ao sinal da derivada segunda sendo negativa ou positiva para cada um dos casos respectivamente considerando uma função bem-comportada. A solução destas equações não lineares, pode ser obtida pelo método de Newton-Raphson nas quais as alterações em P_{gi} , Q_{gi} , λ_p , λ_q podem ser obtidas pela expansão das referidas equações sobre valores iniciais através da expansão de Taylor. Dessa forma as equações poderão ser reescritas matricialmente para o caso geral com g geradores:

$$\begin{bmatrix} \nabla P_g P_g & \nabla P_g Q_g & \nabla P_g \lambda_p & \nabla P_g \lambda_q \\ \nabla Q_g P_g & \nabla Q_g Q_g & \nabla Q_g \lambda_p & \nabla Q_g \lambda_q \\ \nabla \lambda_p P_g & \nabla \lambda_p Q_g & \nabla \lambda_p^2 & \nabla \lambda_p \lambda_q \\ \nabla \lambda_q P_g & \nabla \lambda_q Q_g & \nabla \lambda_q \lambda_p & \nabla \lambda_q^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta P_g \\ \Delta Q_g \\ \Delta \lambda_p \\ \Delta \lambda_q \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \nabla P_g \\ \nabla Q_g \\ \nabla \lambda_p \\ \nabla \lambda_q \end{bmatrix} \quad (12)$$

Onde:

$[H]$ Representa a primeira matriz, Hessiana;

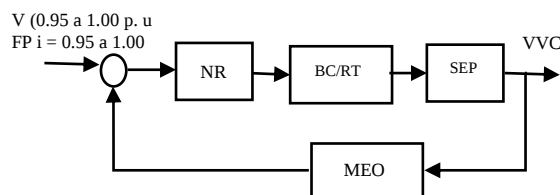
$[\Delta X]$ Representa a matriz com incrementos das variáveis de potências e multiplicadores de Lagrange a serem encontradas;

$[J]$ Representa a terceira matriz, Jacobiana;

A solução de cada uma das equações completa-se com a solução de cada uma das derivadas de primeira e segunda ordens que compõem as matrizes Hessianas e Jacobianas conforme pode-se verificar pelas explicações e algoritmos do próximo tópico.

3.2.1 Algoritmo Utilizado

No fluxograma 2 tem-se o algoritmo do despacho econômico das unidades de geração distribuídas alocadas com as tensões nas barras controladas para o nível inferior de tensão e controle do fator de potência obtida pelo fluxograma 1.

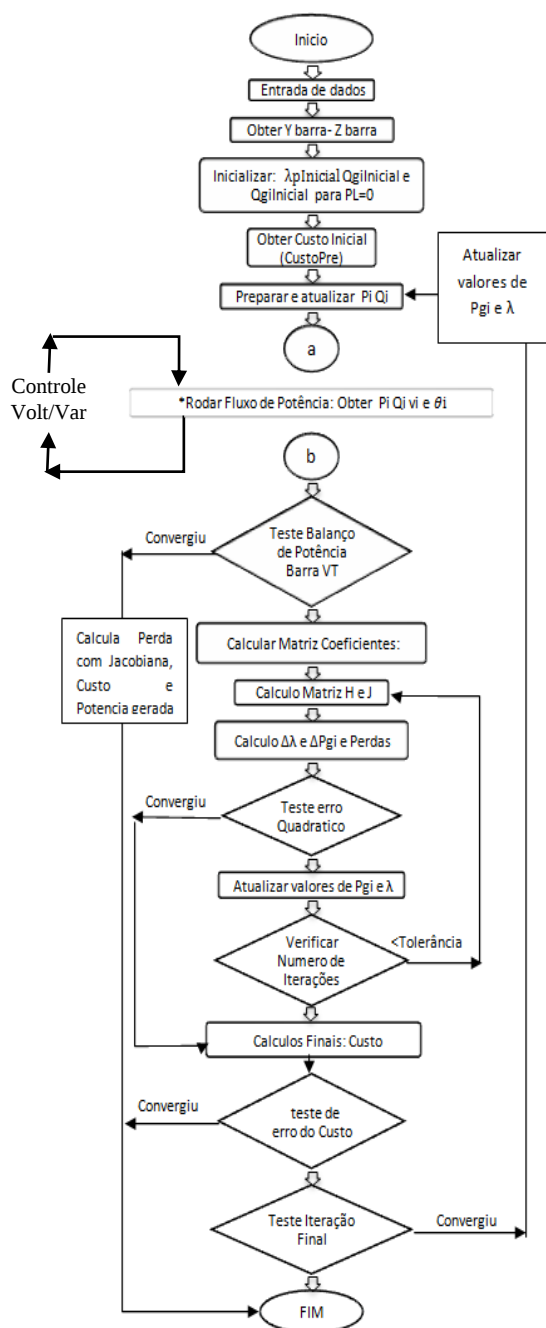


Fluxograma 1- Controle de Tensão e Fator de Potência (Volt/Var) no fluxo de potência. Fonte: autor

O fluxo de potência e o controle de tensão são partes constituintes do despacho econômico de geração.

4 Estudo de Caso, Dados, Resultados e Análises

As simulações foram feitas no sistema de teste IEEE 13 nós (Kersting, 1991), com todos os parâmetros presentes em e topologia do sistema conforme a figura 3. Fez-se a análise monofásica, da fase C, uma vez que é a fase que existe na maioria dos trechos. O DE foi realizado para geração numa condição do SEP ótima e futura onde unidades de gerações (GD's) distribuídas virão a ser alocadas em todas as barras, vislumbrando assim, contemplar, também, a penetração maciça de GD's renováveis na distribuição.



Fluxograma 2. Despacho econômico técnica NR.

Tabela 1. Casos Simulados.

Dados de Entrada do SEP				
Casos	Tipos cargas	GD TÉRMICA	VVC	V_Reg (pu)
Base 1	a	Sem	Sem	1,0687
	b			
1	a	Sem	Com	
	b			
4	a	PgoQgo*	Sem	
	b			
7	a	PgoQgo*	Com	
	B			

*potência ativa e reativa ótimas.

Tabela 2. Coeficientes ZIP. Fonte: (M A. Aguiló, 2013)

Classe	Zp	Ip	Pp	Zq	Iq	Pq
a Industrial	0	0	1	0	0	1
b Residencial	0,85	-1,12	1,27	10,96	-18,73	8,77

Tabela 3. Características da geração. Fonte: (Fabricante: Diesel Service & Supply)

Barra Geração	Pgd_min (pu)	Pgd_max (pu)	ai (K\$/h.pu2)	bi (K\$/h.pu)	ci (\$)
1	1e-4	4e-3	3,7e-4	0,56	42
4	8,75e-4	3,5e-3	4,4e-4	0,56	39
6	7,5e-4	3e-3	4,5e-4	0,57	32
8	6,5e-4	2,6e-3	4,4e-4	0,61	25
11	6e-4	2,4e-3	5,2e-4	0,59	24

Tabela 4. Características da Demanda. Fonte: (Kersting, 1991)

Pd (MW)	Qd (MVar)	Barra
-	-	1
0.0585	0.034	2
0.120	0.090	4
0.555	0.371	7
-	-	9
0.290	0.212	8
0.170	0.080	11

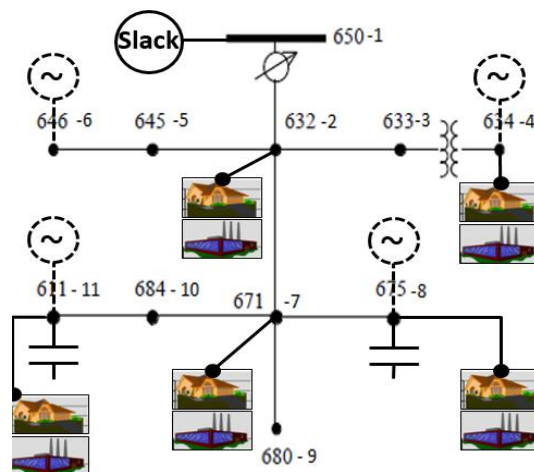


Figura 2. Sistema IEEE 13 nós. Fonte: Adaptado (Kersting, 1991)

Além dos 4 casos simulados no sistema de teste IEEE 13 barras, conforme tabela 1, foram simulados outros tipos de geração com potência ativas ótimas e potências reativas nulas, PgoQg0, e constantes, PgoQgc, utilizando o programa MATLAB. Os valores dos coeficientes do custo, tabela 3, foram obtidos do fabricante de geradores a diesel ((2016) Diesel Service & Supply website). Os resultados foram validados no software PowerWorld.

Analisando as tabelas 1 a 6 verifica-se que:

- Consumo: idêntico para cargas industriais independentemente do caso pois as cargas foram modeladas com ZIP potência constante; quando se modela as cargas de forma mais precisa (cargas residenciais) tem-se uma redução do consumo.

- Perdas: a inserção de GD's diminui expressivamente as perdas uma vez que a geração está mais perto da carga (4 e 7).
- Uma análise de desempenho entre os tipos de geração proporcionou verificar que, de forma geral, entre todos os tipos de geração dos casos, para a carga industrial o tipo de geração de potência ativa e reativa ótimas do caso 4 apresentou o melhor desempenho, considerando que os resultados são os melhores dentre a maioria dos critérios sob análise (Perdas, Geração, Consumo e custo). Já para cargas residenciais também o tipo de geração potência ativa e reativa ótimas proporcionou o melhor desempenho no caso 7. Este resultado demonstra a importância da realização da otimização da potência ativa e reativa das gerações distribuídas e, também que, o modelo de carga interfere nos resultados.

Tabela 5. Respostas para casos Base1 e caso 1.

	Tipo de Carga	Caso	Valor	Caso	Valor
Perda (KW)	a		76,96		68,33
	b		67,95		63,56
Geração (KW)	a		1270,45		1261,83
	b	Base	1236,07	1	1235,43
Consumo (KWh)	a	1	1193,5		1193,5
	b		1168,13		1171,86
Custo (\$/h)	a		1005,05		997,90
	b		976,66		976,13

Tabela 6. Respostas para casos 4 e 7. Para PgoQgo.

	Tipo de Carga	Caso	Valor	Caso	Valor
Perda (KW)	a		12,46		14,38
	b		13,35		13,60
Geração (KW)	a		1205,95		1207,88
	b	4	1240,97	7	1191,19
Consumo (KWh)	a		1193,50		1193,50
	b		1227,62		1177,60
Custo (\$/h)	a		985,00		986,73
	b		1012,76		973,50

5 Conclusão

A implementação do VVC produziu benefícios significantes tanto isoladamente, caso 1, ou em conjunto com o DE, caso 7, uma vez que reduziu a tensão ao limite inferior da norma reduzindo o consumo das cargas residenciais. A inclusão da DE ótimo não prejudicou o controle VVC uma vez que o perfil de tensão ficou mais horizontal. As grandes diferenças de tensões nas barras que porventura viriam a existir com a inclusão aleatória de GD's e que elevariam a tensão nas barras deixam de existir ou diminuem com a implementação ótima do DE.

Pode-se verificar que a metodologia implementada, integração do despacho ótimo e controle VVC

para diferentes tipos de cargas, proporcionou diversos benefícios ao planejamento e operação do SEP desde o diretamente esperado, a redução dos custos, quanto outros inter-relacionados como redução das perdas, diminuição do consumo, a necessidade de menores gerações e a tentativa de impedir que ocorra no SEP um fluxo de potência excessivo, direta ou inversamente em virtude da penetração crescente de geração distribuída o que diminuiria o desempenho do sistema.

Referências Bibliográficas

- A.A. El Desouky, R. Aggarwal, M.M.Elkatib and F.Li, "Advanced hybrid genetic algorithm for short-term generation scheduling," IEE Proc-Gener.Transm.Distrib., vol. 148, no. 6, pp. 511–517, Nov 2001.
- Azza A. ElDesouky, "Security and Stochastic Economic Dispatch of Power System Including Wind and Solar Resources with Environmental Consideration," International Journal of Renewable Energy Reserch, vol.3, No.4 pp. 951–958, 2013.7.
- D. P. Kothari and J. S. Dhillon, Power System Optimization. New Delhi: Prentice-Hall, 2006.
- "EPRI report load modeling for power flow and transient stability computer studies," New York, EPRI, vol. 1.
- Gonen, Turan. Eletrical machines with matlab, second edition. NY: CRC Press, 2012.
- J.Hetzer,D.C.Yu,and K. Bhattaria, "An Economic Dispatch Model Incorporating Wind Power," IEEE Trans. Energy Convsion,Vol.23, no.2, Pp. 603-611, June 2008.
- M A. Aguiló, J.Sandraz, R. Macwan, "Field-Validated Load Model for the Analysis of CVR in Distribution Secondary Networks:Energy Conservation", IEEE Transation on Power Delivery, Vol. 28, NO. 4, pp.2428-2436, , Oct 2013.
- Notas sobre racionamento de energia elétrica no Brasil (1940-80). Rio de Janeiro, Centro da Memória da Eletricidade no Brasil/Eletróbras, 1995.
- S. G. Casper, C. O. Nwankpa, R. W. Bradish, H.-D. Chiang, C. Concordia, J. V. Staron, C. W. Taylor, E. Vaahedi, and G. Wu, "Bibliography on load models for power flow and dynamic performance simulation," IEEE Trans. Power Syst., vol. 10, no. 1, pp. 523–538, Feb. 1995.
- W. H. Kersting I. D. P. W. G. Report, "Radial distribution test feeders," IEEE Transation on Power Systems, vol. 6, 1991.
- X.Xia, A.M.Elaiw, "Optimal dynamic economic dispatch of generation: A review," Eletric Power System Research, Vol.80, Pp.975-986, Fev 2010.
- (2016) Diesel Service & Supply website [Online]. <http://www.dieselserviceandsupply.com>.