

Uma Reflexão Sobre Controladores Híbridos Aplicados a Sistemas com Geração Distribuída

Yan Vilela Tresso
Thiago Souza Menezes
Fabrício Augusto Matheus Moura
Marcus Vinícius Borges Mendonça
Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Departamento de Engenharia Elétrica
Uberaba, Brasil
yan.uftm@hotmail.com
thiagosouzamenezes@hotmail.com
fabricio.moura@uftm.edu.br
marcusmvbm@gmail.com

Madeleine Rocio Medrano Castillo
Arnaldo Rosentino Júnior
Paulo Henrique Oliveira Rezende
Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Departamento de Engenharia Elétrica
Uberaba, Brasil
rociodelpilar_21@hotmail.com
arnaldo.rosentino@uftm.edu.br
paulohenrique16@gmail.com

Resumo — Atualmente nota-se um aumento significativo na geração de energia elétrica conectada diretamente às redes de distribuição das concessionárias. Esse procedimento é definido como geração distribuída, em que o autoprodutor gera sua própria energia podendo fornecer o excedente para a rede de distribuição. Entretanto, para assegurar a excelência dos serviços de distribuição, alguns estudos devem ser feitos, entre eles o de sobrevivência da ilha possível de ser formada. Dessa forma, a máquina da geração distribuída deve estar apta a operar em paralelo e em situações ilhadas mantendo o mesmo padrão de qualidade e confiabilidade ao sistema. Assim, esse artigo apresenta estudos operacionais quanto as metodologias de controle empregadas para consubstanciar a operação harmônica e eficaz perante a inserção de novos acessantes.

Palavras-chaves — Ilhamento Intencional, Regulador de Tensão, Regulador de Fator de Potência, Regulador de Velocidade, Geração Distribuída, Qualidade da Energia Elétrica.

I. INTRODUÇÃO

Devido ao crescente consumo de energia em todo o mundo, o interesse governamental sobre a instalação de gerações distribuídas vem se tornando cada vez maior, principalmente por apresentar poucos impactos ambientais e se mostrar como uma alternativa viável de manter o fornecimento de energia aos consumidores finais, ou parte deles.

Ao mesmo tempo em que as gerações distribuídas (GD) fornecem inúmeras vantagens, alguns cuidados devem ser tomados, entre eles a qualidade de energia, tais como os níveis de tensão, distorção harmônica, o sincronismo com a rede de distribuição, e por fim o ilhamento, que é definido como a operação do sistema elétrico de forma isolada, ou seja, parte da rede mantém-se energizada e suas cargas são atendidas pela GD conectada em sua proximidade [1]-[2].

O ilhamento não intencional ocorre quando os dispositivos de proteção não detectam o mesmo, causando assim alguns problemas para o sistema, como por exemplo, alterações na qualidade da energia e riscos de segurança, já que parte da rede está energizada sem que seja do conhecimento de todos.

No ilhamento intencional a rede continua energizada propositalmente, melhorando a continuidade de serviço.

Porém, para a realização do mesmo, deve-se utilizar de equipamentos e metodologias de proteção e controle, que sejam capazes de identificar o ilhamento, de forma a manter a ilha operando com estabilidade, dentro dos índices de qualidade de energia [3].

Atualmente, a IEEE 1547-2003 diz que, o ilhamento deve ser detectado e a geração distribuída desligada, no máximo, dentro de 2 segundos. No entanto, com o aumento da concorrência entre as empresas de energia elétrica para garantir cada vez mais clientes, a pressão para manter um alto grau de qualidade do serviço de alimentação ininterrupta é sentida pelas empresas. Assim, as práticas atuais de desconectar o GD após uma perturbação poderão ser revistas, como resultado, a IEEE Std. 1547-2003 analisa isso como uma de suas tarefas para futuras considerações: a implementação de ilhamentos intencionais com GD [4]-[6].

Mediante as abordagens apresentadas, torna-se essencial a análise de sistemas elétricos contendo gerações distribuídas, na ocorrência de ilhamentos intencionais. Com isso, o presente artigo visa avaliar modelos de sistemas de controle de excitação e velocidade, implementados no *Alternative Transients Program* – ATPDraw, realizando uma análise sobre a qualidade de energia, e o desempenho da máquina síncrona, quando conectada com a concessionária do sistema de distribuição, e ao operar de forma isolada. Sendo que, as configurações dos reguladores são modificadas através do relé *Rate of Change of Frequency* – taxa de variação da frequência (ROCOF), modelado de acordo com [7], responsável por identificar o ilhamento através da taxa de variação da frequência no sistema elétrico, que irá ocorrer caso haja algum distúrbio.

Este trabalho está estruturado como se segue. Na seção II, apresentam-se os valores de tensão e frequência estabelecidos pelos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, para que o sistema elétrico opere na faixa adequada, atendendo aos índices de qualidade de energia. No próximo tópico, seção III, as modelagens computacionais e os métodos utilizados são abordados. Posteriormente, evidenciam-se os resultados e o desempenho da geração distribuída na seção IV, discutindo a

qualidade de energia antes e durante a ocorrência do ilhamento intencional. Na seção V encontram-se algumas considerações finais e a seção VI refere-se às principais conclusões que foram obtidas através desse estudo.

II. PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO

No caso de gerações distribuídas conectadas paralelamente com o sistema da concessionária, e também na ocorrência de ilhamentos intencionais, os valores de referência apresentados pelo PRODIST são exatamente os mesmos.

De acordo com [8], a faixa de frequência que varia de 59,9 Hz até 60,1 Hz é considerada favorável. Já para a tensão, apresentam-se diferentes faixas dependendo de sua tensão nominal no ponto de conexão. Para esse caso, utilizaram-se valores para tensão superior a 1KV e inferior a 69 KV, tendo como faixa adequada $0,93 \text{ pu} \leq V \leq 1,05 \text{ pu}$.

III. MODELAGEM DO SISTEMA

A. Sistema elétrico

Utilizou-se o software ATPDraw para realizar as simulações do sistema elétrico de distribuição, representado por uma geração distribuída (gerador síncrono) conectada ao sistema de distribuição da concessionária (G1), de acordo com a Fig. 1.

Quanto à geração distribuída, que alimenta a sua própria carga, notam-se sistemas de excitação e velocidade híbridos, que alteram suas configurações de controle caso haja a perda de paralelismo entre as gerações. A modificação ocorre devido ao sinal de trip que é enviado do relé aos reguladores.

O sistema de excitação consiste na modelagem de um regulador de fator de potência e outro de tensão, em que, primeiramente irá atuar o regulador de fator de potência, e ao operar isoladamente, a geração distribuída será controlada pelo regulador de tensão.

B. Regulador de fator de potência

O regulador de fator de potência consiste na excitação da máquina, a fim de manter a geração de potência reativa dentro de valores pré-determinados para que não seja injetado na rede valores em excesso. Esse método de excitação é uma boa estratégia quando conectado em paralelo com a concessionária, pois o regulador opera através da leitura do fator de potência no ponto de acoplamento comum (PAC)

entre a geração distribuída e a concessionária, evitando, assim, interferir no controle de tensão da rede de distribuição de energia.

Utilizou-se o modelo do IEEE tipo I [9], de acordo com a Fig. 2.

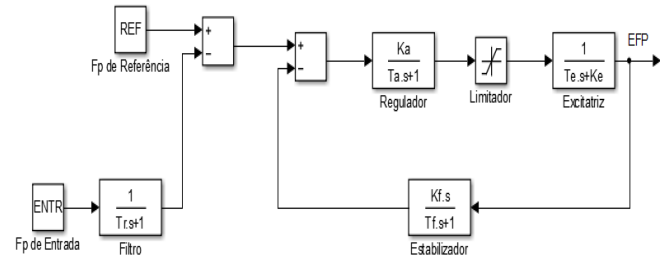


Fig. 2. Modelo do regulador de fator de potência utilizado.

C. Regulador de tensão

Este tem a finalidade de manter a tensão de saída da máquina de acordo com o valor previamente ajustado, e seu controle se baseia na comparação da tensão de terminal do gerador com a tensão de referência. A regulação na tensão de saída da máquina é feita através da tensão de campo.

Para esse regulador, utilizou-se do mesmo modelo apresentado pela Fig.2, porém a grandeza a ser medida será a tensão de terminal da máquina [9,10].

D. Sistema de controle de excitação híbrido

Após a modelagem de ambos os reguladores no software ATPDraw, implementou-se o sistema híbrido através da ferramenta *Transient Analyse of Control System - TACS*, cujo aplicativo final que resume todo o circuito de excitação pode ser observado através da Fig. 3. Os valores de entrada, utilizados neste trabalho, estão listados na Tabela I.



Fig. 3. Bloco do sistema de excitação híbrido.

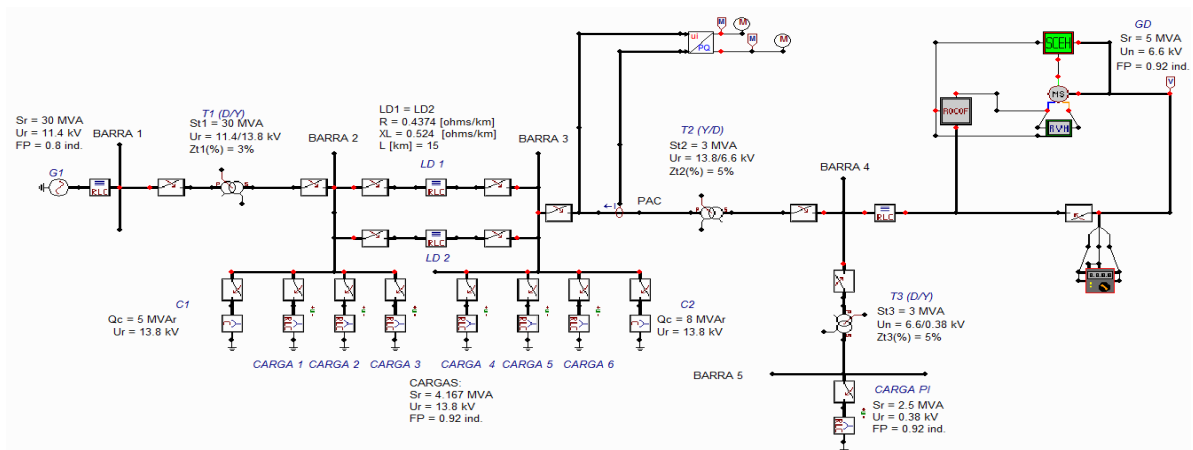


Fig. 1. Sistema elétrico modelado no ATPDraw.

TABELA I. PARÂMETROS DO SISTEMA DE CONTROLE DE EXCITAÇÃO HÍBRIDO.

Regulador de tensão		Regulador de fator de potência	
Parâmetros	Valor	Parâmetros	Valor
Tensão de referência [pu]	1	Fp de referência	0,95
Ka [s]	20	Ka [s]	600
Ta [s]	0,02	Ta [s]	0,01
Ke [s]	1	Ke [s]	1
Te [s]	0,3	Te [s]	0,08
Kf [s]	0,03	Kf [s]	0,01
Tf [s]	1	Tf [s]	0,1
Tensão nominal [V]	4008,108		

O parâmetro Ka representa o ganho da função de transferência do regulador, e Ta, a constante de tempo amplificada do regulador. Já Ke, denomina-se como, constante de excitação, e Te, constante de tempo da excitatriz. Por fim, Kf é o ganho de tempo do circuito estabilizante, e Tf a constante de tempo do estabilizador do regulador. Todos os parâmetros dos reguladores apresentados neste trabalho foram determinados a partir de [10] e de uma análise detalhada do lugar das raízes de cada regulador.

E. Regulador de velocidade híbrido.

O regulador de velocidade dos geradores síncronos tem a característica definida como “droop” (inclinação), sendo responsável por atender às variações na demanda de ativo do sistema, mantendo a frequência em valores adequados.

Vale ressaltar que, no caso de perda do paralelismo entre as gerações, e a microrrede formada seja alimentada apenas pela GD, necessita-se modificar a inclinação da reta de velocidade para que o regulador ajuste novamente a potência mecânica sobre o eixo da máquina, já que haverá uma mudança na demanda do sistema. Assim sendo, a malha de controle de velocidade deve estar apta a identificar e a alterar a sua topologia de operação.

A Fig. 4 apresenta a malha de controle do regulador, segundo [10].

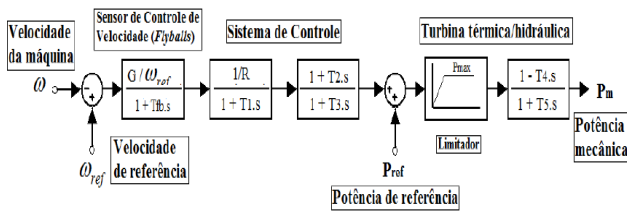


Fig. 4. Modelo do regulador de velocidade utilizado.

O que difere no regulador para diferentes turbinas é a constante de tempo T_4 , em que, para as turbinas térmicas a vapor $T_4 = 0$, e no caso de turbina hidráulica $T_4 = T_5 \times 2$. As constantes de tempo T_1 , T_2 e T_3 , são definidas como: primeira, segunda e terceira constante de tempo do controle. Já T_4 é a constante de tempo da turbina hidráulica e T_5 quinta constante de tempo da turbina (hidráulica ou térmica).

O sistema de controle baseia-se na comparação entre a velocidade da máquina, e a velocidade de referência ω_{ref} , que é obtida pelo número de polos do gerador (N_p), e da frequência do sistema elétrico, de acordo com a seguinte equação:

$$\omega_{ref} = (120 \cdot f / N_p) \cdot (2 \cdot \pi / 60) \text{ rad/s} \quad (1)$$

Feito isso, modelou-se no software ATPDraw o regulador de velocidade híbrido, contendo dois reguladores de velocidade, um atuando com droop de 5%, e outro de 0,5 %. Seus dados de entrada são apresentados na Tabela II.

TABELA II. PARÂMETROS DO REGULADOR DE VELOCIDADE HÍBRIDO.

Parâmetros	Regulador de Velocidade 1	Regulador de Velocidade 2
F [Hz]	60	60
Np	4	4
Pref [pu]	1	1
G	1	1
R [%]	5	0,5
T _{fb} [s]	0,2	0,2
T ₁ [s]	0	0
T ₂ [s]	0	0
T ₃ [s]	0,3	0,01
T ₄ [s]	0	0
T ₅ [s]	0,3	0,001
Pmin [pu]	-1,6	-1,6
Pmax [pu]	3	3

O sistema modelado através da TACS é representado pela Fig. 5.



Fig. 5. Bloco do regulador de velocidade híbrido.

Os entrada em velocidade do gerador e a saída de potência mecânica são conectados na máquina síncrona,. Já o sinal de entrada Trip é recebido pelo relé ROCOF.

IV. ESTUDOS DE CASO

Para realizar o estudo de casos, foram aplicadas contingências no sistema elétrico, levando o ROCOF à operação. Este atua abrindo as chaves de proteção que foram inseridas na rede, levando à formação de microrredes, em que, analisou-se o comportamento da geração distribuída e os níveis de qualidade de energia.

A. Geração distribuída alimentando apenas sua carga interna

Inseriu-se um sistema de chaveamento trifásico no ponto de acoplamento comum (PAC), e simulou-se a retirada da linha de distribuição LD1 no instante $t = 12s$. Assim, imediatamente após a abertura dos disjuntores da linha, a potência ativa gerada pela concessionária tende a diminuir. Tal fato é sentido pelo gerador síncrono da GD, ocasionando uma variação de frequência em seu barramento que tende a se estabilizar novamente, mas sensibilizará o relé ROCOF. O mesmo atua sobre as chaves inseridas, formando uma microrrede, com apenas a geração distribuída alimentando sua carga interna. Vale ressaltar que o relé ROCOF apresenta um bloqueio de subfrequência e sobrefrequência, e caso o mesmo esteja habilitado, o relé não iria atuar, pois ao retirar LD1 essa variação seria pequena. Portanto, para efetuar a simulação não se considerou esse parâmetro.

A Fig. 6 representa a geração de potência ativa e reativa da máquina síncrona da GD. Já a Fig. 7, demonstra a tensão no barramento 4, e por fim, ilustra-se a tensão no barramento 3 (PAC), através da Fig. 8.

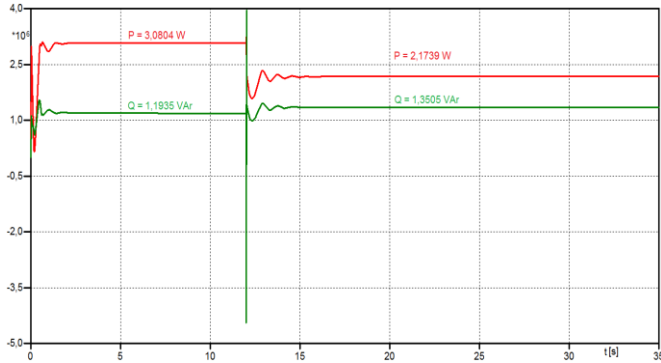


Fig. 6. Geração de potência ativa e reativa para o primeiro caso.

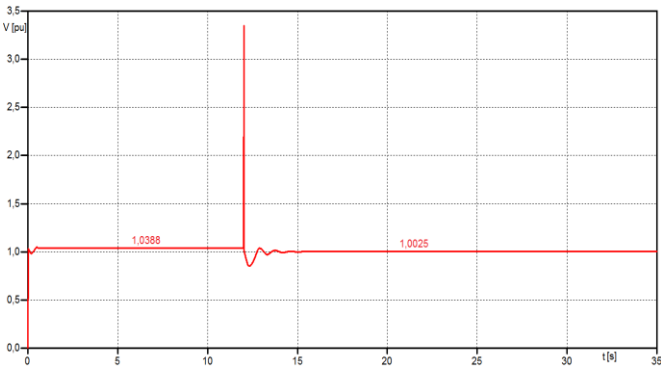


Fig. 7. Tensão no barramento 4 para o primeiro caso

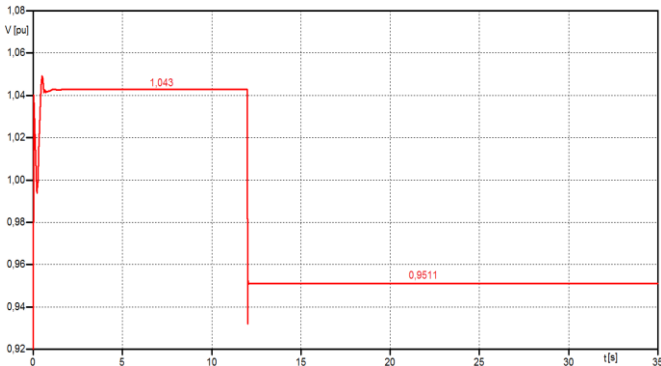


Fig. 8. Tensão no barramento 3 para o primeiro caso

Observa-se através da Fig. 6, pré-contingência, a estabilização na geração de potências ativa e reativa, onde a potência reativa gerada de 1,19MVar foi necessária para que se tenha no PAC um fator de potência igual a 0,95 indutivo. Já a geração de potência ativa foi de aproximadamente 3,1MW, sendo o excedente exportado para a concessionária.

Na formação da microrrede, há a atenuação da geração de potência ativa devido à diminuição da demanda. Contudo, a potência reativa também foi controlada, pois após a contingência passa a atuar o regulador de tensão. Este manteve a tensão de terminal da máquina dentro dos limites permissíveis como pode ser vislumbrado através da Fig. 7, a tensão no barramento 4, $V_{antes} = 1,0388$ [pu] (faixa adequada

do PRODIST) e $V_{após} = 1,0025$ [pu] (faixa adequada do PRODIST).

A tensão no barramento 3 é apresentada através da Fig. 8. Após a abertura do disjuntor de interconexão a geração distribuída não injeta reativo na rede, e este aspecto aliado a perda de LD1, contribuem para uma sensível diminuição em magnitude da tensão, $V_{3após} = 0,9511$ [pu]. Porém, este valor ainda se mantém dentro da faixa adequada do módulo 8 do PRODIST.

Em relação à frequência da máquina síncrona, obteve-se o resultado apresentado pela Fig. 9.

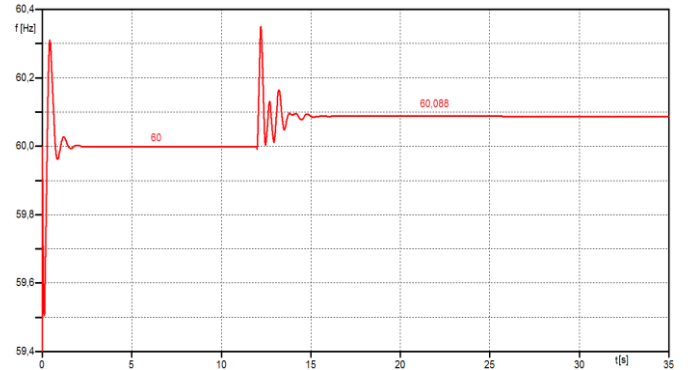


Fig. 9. Frequência para o primeiro caso

Enquanto as gerações operam em paralelo, o regulador de velocidade, ajustado com droop = 5%, estabilizou a máquina da GD com frequência de operação de 60 Hz. Dessa forma, a potência acelerante se mantém nula, equação (2).

$$M \cdot (d^2 \delta / dt^2) = P_m - P_e = P_a \quad (2)$$

Na equação (2), têm-se o momento inércia (M), ângulo de potência (δ), potência mecânica (P_m), Potência elétrica (P_e) e Potência acelerante (P_a).

Observa-se pela Fig. 6, que após a perda do paralelismo, houve uma diminuição de potência elétrica gerada, e nesse instante aumentou-se a frequência do sistema ($P_a > 0$), porém o regulador de velocidade atua diminuindo a potência mecânica sobre o eixo do gerador para que o sistema deixe de oscilar até que estabilize novamente ($P_a = 0$), em regime permanente com frequência de 60,088 Hz (faixa adequada do PRODIST). Logo, com droop = 5% e posteriormente de 0,5%, o sistema corresponde adequadamente. Deve-se também projetar os parâmetros das constantes de tempo T_3 e T_5 , que são responsáveis por fazer o sistema estabilizar e ter um tempo de oscilação curto.

B. Ilhamento intencional com carga de 1MVA do sistema de distribuição da concessionária

Enfatizando a análise da formação da ilha, simplesmente redistribuíram-se as potências nominais das cargas 4, 5 e 6, de forma a se ter uma carga de 1MVA, mais as cargas 4, 5, e 6 de 3,834 MVA cada uma. Assim, a potência total, das quatro cargas em conjunto, continua inalterada. No ilhamento, o gerador síncrono alimentará sua carga interna, e também a

carga do sistema de distribuição com valor de 1MVA e fator de potência de 0,92 indutivo, conectada ao barramento três.

Como não se alterou o sistema inicial, as respostas obtidas quando da utilização do regulador de fator de potência são as mesmas, porém na formação da ilha, quando opera com regulador de tensão, os resultados serão diferentes do caso anterior.

Com o acréscimo da carga de 1MVA, sistema ilhado, o regulador de tensão necessitou aumentar a excitação para manter a tensão terminal da máquina próxima da referência. Assim, aumentou-se a geração de reativo na ocorrência do ilhamento, e a potência ativa praticamente se não alterou já que a demanda de ativo do circuito é praticamente a mesma Fig. 10.

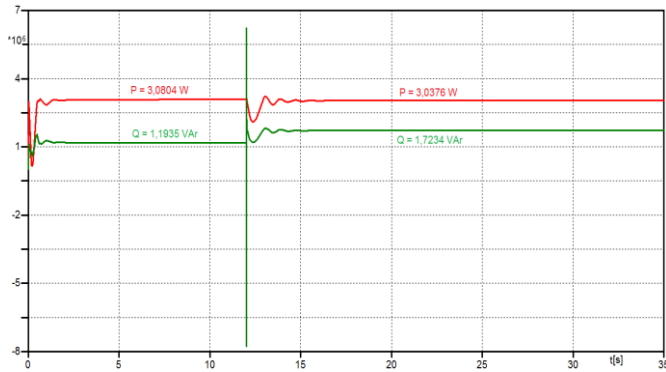


Fig. 10. Geração de potência ativa e reativa para o segundo caso.

Para o sistema atuando com os reguladores híbridos, têm-se a tensão no barramento 4 de, $V_{\text{antes}} = 1,0388$ [pu] (faixa adequada do PRODIST) e $V_{\text{após}} = 0,99437$ [pu] (faixa adequada do PRODIST), Fig. 11. Todavia, observa-se que durante o intervalo de tempo necessário para a alteração da topologia de controle de excitação, há um transitório tal que a tensão alcance a magnitude de 4,0pu. Isto se deve a perda, mesmo que instantânea, da excitação até que a tensão de campo do regulador de tensão seja injetada na máquina da GD. Tal fato, repercute na tensão do PAC, Fig. 13, pelo fato das barras 4 e 3, estarem eletricamente próximas. Contudo, a máquina síncrona não alcançara o valor apresentado de 4,0 pu pelo fato da mesma saturar em aproximadamente 1,28pu, [10].

No barramento 3, local em que está conectada a carga de 1MVA, observa-se que o consumidor seria atendido com valores de tensão dentro da faixa adequada nas duas situações, $V_{\text{antes}} = 1,043$ [pu] e $V_{\text{após}} = 0,98792$ [pu], Fig. 12.

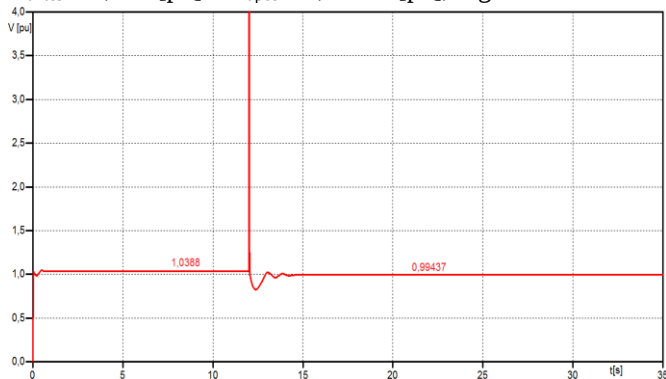


Fig. 11. Tensão no barramento 4 para o segundo caso.

O valor da frequência pouco se alterou, mantendo-se inicialmente em 60 Hz, e após a formação da ilha em 60,003 Hz, Fig. 13.

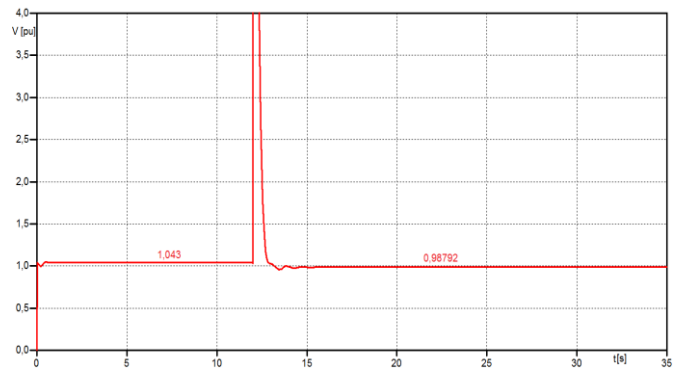


Fig. 12. Tensão no barramento 3 para o segundo caso.

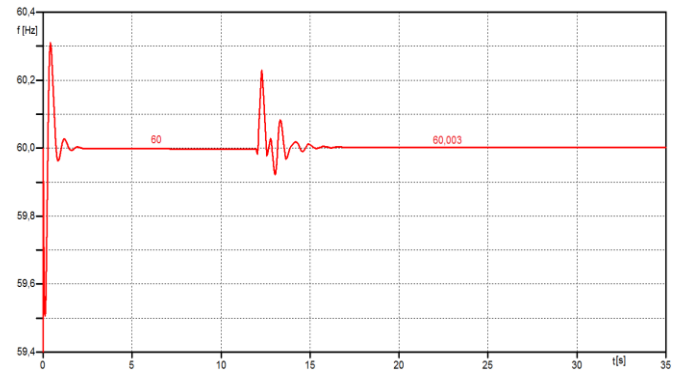


Fig. 13. Frequência para o segundo caso

Portanto, os sistemas híbridos de excitação e de velocidade atuaram satisfatoriamente. Mostrando assim, alternativas de controle para manter a sobrevivência da ilha em regime permanente, e trazendo como vantagem a possibilidade de analisar várias combinações entre os reguladores.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Tabela III, referente ao primeiro caso, apresenta os valores para todas as formas possíveis de atuação dos reguladores. Interpreta-se a tabela da seguinte maneira: A – Regulador de fator de potência sem o regulador de velocidade híbrido, B – Regulador de fator de potência com o regulador de velocidade híbrido, C – Regulador de tensão sem o regulador de velocidade híbrido, D – Regulador de tensão com o regulador de velocidade híbrido, E – Regulador de excitação híbrido e regulador de velocidade híbrido. Sendo E, a excitação do gerador síncrono, V_4 a tensão no barramento quatro, V_3 tensão no barramento três e F a frequência do sistema.

Mediante a Tabela III, quando atua apenas o regulador de fator de potência (Caso 1-A e Caso 1- B), observa-se que após a perda do paralelismo, o gerador opera sobreexcitado, $E = 1,6$ pu, atingindo o limite ajustado. Isso se deve ao fato da leitura do fator de potência de entrada, para a malha do regulador, ter perdido seu valor de referência, já que para este cenário, o fator de potência de entrada é mensurado no PAC. Contudo, com a desconexão do paralelismo perde-se aquele valor. Vale ressaltar que em um sistema real, contendo

dispositivos de proteção, a máquina seria desconectada da rede elétrica.

TABELA III. VALORES PARA A PRIMEIRA SITUAÇÃO

Parâmetro	Caso 1-A	Caso 1-B	Caso 1-C	Caso 1-D	Caso 1-E
E_{antes} (pu)	1,005	1,005	0,875	0,875	1,005
$E_{após}$ (pu)	1,600	1,600	0,931	0,935	0,935
$V4_{antes}$ (pu)	1,039	1,039	1,006	1,006	1,039
$V4_{após}$ (pu)	1,668	1,709	1,002	1,003	1,003
$V3_{antes}$ (pu)	1,043	1,043	1,023	1,023	1,043
$V3_{após}$ (pu)	0,951	0,951	0,951	0,951	0,951
F_{antes} (Hz)	60	60	60	60	60
$F_{após}$ (Hz)	57,065	59,683	61	60,088	60,088
δ_{antes} (°)	36,215	36,215	44,522	44,522	36,215
$\delta_{após}$ (°)	28,524	27,744	27,307	27,625	27,625
P_{antes} (MW)	3,080	3,080	3,081	3,081	3,080
$P_{após}$ (MW)	6,122	6,331	2,159	2,174	2,174
Q_{antes} (MVar)	1,194	1,194	0,305	0,305	1,194
$Q_{após}$ (MVar)	3,510	3,891	1,380	1,350	1,350

Para o segundo caso, no ilhamento intencional, têm-se a Tabela IV.

TABELA IV. VALORES PARA A SEGUNDA SITUAÇÃO

Parâmetro	Caso 2-A	Caso 2-B	Caso 2-C	Caso 2-D	Caso 2-E
E_{antes} (pu)	1,005	1,005	0,875	0,875	1,005
$E_{após}$ (pu)	1,6	1,6	1,096	1,091	1,091
$V4_{antes}$ (pu)	1,039	1,039	1,006	1,006	1,039
$V4_{após}$ (pu)	1,424	1,455	0,994	0,994	0,994
$V3_{antes}$ (pu)	1,043	1,043	1,023	1,023	1,043
$V3_{após}$ (pu)	1,416	1,446	0,987	0,988	0,988
F_{antes} (Hz)	60	60	60	60	60
$F_{após}$ (Hz)	56,835	59,663	60,07	60,003	60,003
δ_{antes} (°)	36,215	36,215	44,522	44,522	36,215
$\delta_{após}$ (°)	35,348	34,263	34,238	34,135	34,135
P_{antes} (MW)	3,080	3,080	3,081	3,081	3,080
$P_{após}$ (MW)	6,347	6,518	3,042	3,038	3,038
Q_{antes} (MVar)	1,194	1,194	0,305	0,305	1,194
$Q_{após}$ (MVar)	3,292	3,663	1,713	1,723	1,723

No segundo caso, Tabela IV, manteve-se o ponto de referência, mas o regulador de fator de potência não atuou satisfatoriamente, evidenciando a necessidade de se estabilizar o sistema novamente perante melhor ajuste dos controles e das condições iniciais da máquina da geração distribuída.

Com apenas o regulador de tensão (Caso 2-C e Caso 2-D), nota-se que a resposta obtida, para a condição de ilhamento, apresenta níveis satisfatórios no que se refere a qualidade de energia.

Não obstante, antes da perda do paralelismo, evidencia-se uma maior magnitude de potência reativa gerada, quando a GD opera com o regulador de fator de potência, se comparada ao regulador de tensão, pois o regulador de fator de potência foi ajustado justamente para manter o FP em 0,95ind. no PAC, e com isso há a necessidade de uma maior parcela de reativo a ser injetado na barra 3. Já o regulador de tensão, atua de forma a manter a tensão de terminal da máquina no valor previamente ajustado em seus controles, assim a potência reativa gerada apresentou uma magnitude menor. Dessa forma, evidencia-se a funcionalidade dos reguladores e fica evidente as funcionalidades de cada um.

Nota-se que o regulador de velocidade híbrido é de suma importância, pois caso não se realize as alterações nos

parâmetros, não seria possível atender os níveis de qualidade de energia elétrica, principalmente no que se refere à frequência elétrica da microrrede formada mediante o ilhamento intencional.

VI. CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentados diferentes modelos de reguladores de excitação, propostos pelo IEEE, a serem utilizados de acordo com a necessidade, e concluiu-se que os modelos híbridos operaram adequadamente, melhorando sensivelmente o desempenho do sistema, bem como da geração distribuída, enquanto conectados em paralelo com a rede de distribuição, e também durante a formação da microrrede.

De acordo com as observações realizadas no decorrer das modelagens computacionais, e principalmente nos resultados dos estudos de casos, o trabalho atendeu aos planejamentos elaborados, implementando sistemas híbridos de excitação e velocidade que possam melhorar os indicadores de continuidade de serviço e a qualidade do produto numa rede de distribuição, atendendo os critérios estabelecidos pelos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) da ANEEL. Com isso, aponta-se a necessidade de estudos prévios de controle, para uma análise mais aprofundada do regulador de fator de potência averiguando sua sensibilidade, e também técnicas para amenizar o transitório na comutação dos reguladores, para uma conexão segura e eficaz da geração distribuída.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] A. Saidian, D. Mirabbasi, M. Heidari, "The Effects of DG on Voltage Flicker and Voltage Sag in Closed-Loop Distribution System," *IEEE Conference on Industrial Electronics and applications*, pp. 68- 72, 2010.
- [2] H. J. Moghaddam, S. H. Hosseini, B. Vahidi, "An Introduction to Active Distribution Networks Islanding Issues," *Proceedings of 17th Conference on Electrical Power Distribution*, pp. 1- 6, 2012.
- [3] M. Brenna, F. Foiadelli, P. Petroni, G. Sapienza, D. Zaninelli, "Distributed generation regulation for intentional islanding in Smart Grids," *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, pp. 1- 6, 2012.
- [4] P. Fuangfoo, W. J. Lee, K. A. Nigim, "Intentional Islanding Operation to Improve the Service Reliability of Thailand Electric Power System," *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, pp. 1- 7, 2007.
- [5] P. Mahat, Z. Chen, B. B. Jensen, "Review on Islanding Operation of Distribution System with Distributed Generation," *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1- 8, 2011.
- [6] I. J. Balaguer, Q. Lei, S. Yang, U. Supatti, F. Z. Peng, "Control for Grid-Connected and Intentional Islanding Operations of Distributed Power Generation," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 1, pp. 147- 157, 2011.
- [7] T. S. Menezes, "Analysis and computer modelling of a Rate of Change of Frequency Relay for islanding detection in the software ATPDraw," Course Competition Assignment in Electrical Engineering - Federal University of Triângulo Mineiro, 2016. {In Portuguese}
- [8] ANEEL - National Electric Energy Agency (2016). Normative Resolution n° 728. Accessed in March 16, 2017, in http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbd3058d19. {In Portuguese}
- [9] M. J. B. B. Davi, "Analysis of the Influence of Exciting Controllers in Systems with Distributed Generation - An Analysis Through ATP-EMTP", Course Competition Assignment in Electrical Engineering - Federal University of Triângulo Mineiro, 2014. {In Portuguese}
- [10] F. A. M. Moura, J. R. Camacho, J. W. Resende, W. R. Mendes, "ATP on the Impact Analysis of an Independent Power Producer in a Distribution Network", ICHQP 2008 - XIII International Conference on Harmonics and Quality of Power, Wollongong, Australia, 2008.