

Avaliação do Desempenho de Diferentes Metodologias de Aplicação das Funções de Bloqueio E Disparo por Oscilação de Potência e Perda de Sincronismo Utilizando um Simulador Digital em Tempo Real (RTDS)

Tatiana Maria T. de S. Alves, Denise Borges de Oliveira, Antônio Carlos da R. Duarte, Igor de S. Cardoso, Alex de Castro, Henildo M. de Barros, Antônio Felipe da C. de Aquino, Alexandre G. Massaud, Adriano de A. Barbosa, e Leandro D. Penna, *Operador Nacional do Sistema Elétrico Andrei Coelho, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.*

Resumo—O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da metodologia tradicional de identificação de oscilação de potência através da utilização de características quadrilaterais concêntricas e temporizadores e da metodologia que identifica a oscilação de potência a partir do monitoramento da taxa de variação de tensão no centro elétrico (Swing Center Voltage – SCV) [1]. Para esse estudo, foi modelado o tronco de 230 kV da região Acre/ Rondônia, utilizando um Simulador Digital em Tempo Real (RTDS) com relés SEL-411L. Os resultados aumentaram as alternativas para a aplicação das funções de oscilação de potência no Sistema Interligado Nacional – SIN, permitindo o uso da evolução tecnológica.

Ressalta-se a parceria produtiva com o fabricante SEL, fornecendo o IED utilizado para realização do trabalho e participação nas análises de desempenho de suas funções.

Palavras-chave—oscilação de potência, bloqueio e disparo por oscilação de potência, RTDS

I. INTRODUÇÃO

O fenômeno de oscilação de potência geralmente tem como origem distúrbios na rede elétrica, tais como: curtos-circuitos, alteração da topologia da rede, perda de carga ou de grandes blocos de geração. Essas perturbações causam, dinamicamente, oscilações nos ângulos do rotor das máquinas e nos fluxos de potência das linhas de transmissão. Essas oscilações, através das ações dos dispositivos de controle das unidades geradoras, podem atingir um novo ponto de operação aceitável, caracterizando assim uma oscilação estável. Em contrapartida, quando o novo ponto de operação não é aceitável, temos então uma oscilação instável, que irá culminar no fenômeno de perda de sincronismo, podendo esse ocorrer entre um gerador e o resto do sistema, ou entre grupos de geradores.

Dessa forma, para garantir a segurança da Rede e a seletividade dos Sistema de Proteção durante esses fenômenos, as funções de oscilação de potência devem bloquear a atuação das proteções de distância durante oscilações de potência estáveis, impedindo a propagação da perturbação, e devem promover a separação do sistema de forma rápida e segura quando identificada uma oscilação instável com perda de sincronismo. Essa abertura do sistema deverá ser realizada em

pontos previamente selecionados, onde seja possível o estabelecimento do equilíbrio aproximado entre geração e carga nos subsistemas formados, e seja mantido o sincronismo de cada grupo de geradores dos sistemas isolados. Dessa forma, a filosofia básica de proteção de oscilações de potência consiste em impedir os desligamentos de linhas de transmissão durante a ocorrência de oscilações estáveis de potência e de promover a separação de partes do sistema durante condições de perda de sincronismo, caracterizadas por oscilações instáveis.

II. MÉTODOS DE DETECÇÃO DE OSCILAÇÃO DE POTÊNCIA

Atualmente os IEDs de proteção das linhas de transmissão disponibilizam as funções de bloqueio e disparo por oscilação de potência (68 OSB e 68 OST), entretanto, além do método de detecção de oscilação de potência tradicional, com características concêntricas e baseados na taxa de variação da impedância medida, alguns fabricantes oferecem métodos alternativos, sendo um deles inclusive com a proposta de Zero Settings, não necessitando de ajustes ou parâmetros da rede para seu correto funcionamento. Esse último está disponível nos Relés da SEL, baseado na variação da tensão no centro elétrico (SCV– Swing Center Voltage).

Com o crescimento do Sistema Elétrico Brasileiro, entrada de grandes blocos de energia conectados por sistemas assíncronos (HVDC), aumento dos Parques Eólicos e o consequente aumento da sua complexidade, exacerbou-se a necessidade de avaliação de novos métodos de controle de distúrbios dinâmicos no SIN. Sendo assim, com esse objetivo, foi realizado um estudo comparativo do desempenho do método tradicional de detecção de oscilação de potência e do método de SCV, disponível nos relés da SEL. Para essa comparação, foi utilizado um Simulador Digital em Tempo Real (RTDS) em teste em malha fechada com IEDs de proteção (relés SEL-411L), para simulação de perturbações com oscilações estáveis e instáveis. A seguir, segue uma breve descrição desses dois métodos.

A. *Método de Características Quadrilaterais Concêntricas ou Duplo Blinder Baseados na Taxa de Variação da Impedância Medida*

Este método se baseia no princípio de que a impedância medida pelo relé no diagrama R-X varia lentamente durante oscilações de potência e varia quase que instantaneamente do ponto de carga para o ponto de falta durante a ocorrência de curtos-circuitos. Dessa forma, para calcular a velocidade da impedância medida, o relé mede o tempo Δt que a trajetória da impedância leva para percorrer a distância entre o *blinder* externo e o *blinder* interno e o compara com os ajustes de temporização OSBD (Out-of-Step Block Time Delay) e OSTD (Out-of-Step Trip Delay). O objetivo desses ajustes é apresentado na Tabela I.

TABELA I
TEMPORIZADORES OSBD E OSTD

Funções de disparo por oscilação ou perda de sincronismo (68 OST/78) – temporizadores OSBD e OSTD		
	Fenômeno identificado	Ação
Δt (medido) < OSTD	Curto-circuito	Sem ação
OSBD > Δt (medido) > OSTD	Oscilação Instável	Disparo para o DJ
OSBD < Δt (medido)	Oscilação estável	Bloqueio das unidades de distância ajustadas
Funções de bloqueio por oscilação (68 OSB) – temporizador OSBD		
	Fenômeno identificado	Ação
Δt (medido) < OSBD	Curto-circuito	Sem ação
Δt (medido) > OSBD	Oscilação	Bloqueio das unidades de distância ajustadas

Os esquemas de duplo *blinder*, ou características quadrilaterais concêntricas, permite que os disparos por oscilação (68 OST) sejam ajustados para *Trip* na entrada da característica (TOWI – *Trip On The Way In*) ou na saída da característica (TOWO – *Trip On The Way Out*) para perda de sincronismo (78).

Os ajustes dos *blindens* das características quadrilaterais devem considerar alguns aspectos, tais como:

- O *blinder* externo deve ser ajustado de modo a não alcançar a região de carga.
- O *blinder* interno deve ser ajustado de modo a ficar fora do alcance da maior zona de distância que se quer bloquear. Normalmente devem ser bloqueadas as unidades de distância de zona 1 e as unidades de distância associadas à teleproteção. No caso da aplicação da função como disparo por oscilação (68 OST), o mesmo deve ser ajustado para o ângulo de abertura entre os sistemas equivalentes em que se deseja promover a separação (120 ° é um ajuste típico, pois a partir desse ângulo não é mais esperado o retorno da estabilidade do sistema).
- Com base nos ajustes dos *blindens*, os temporizadores das funções de bloqueio por oscilação de potência (OSBD do 68 OSB) e disparo por oscilação de potência (OSTD do 68 OST) são calculados através das relações expressas na Fig. 1 [3]

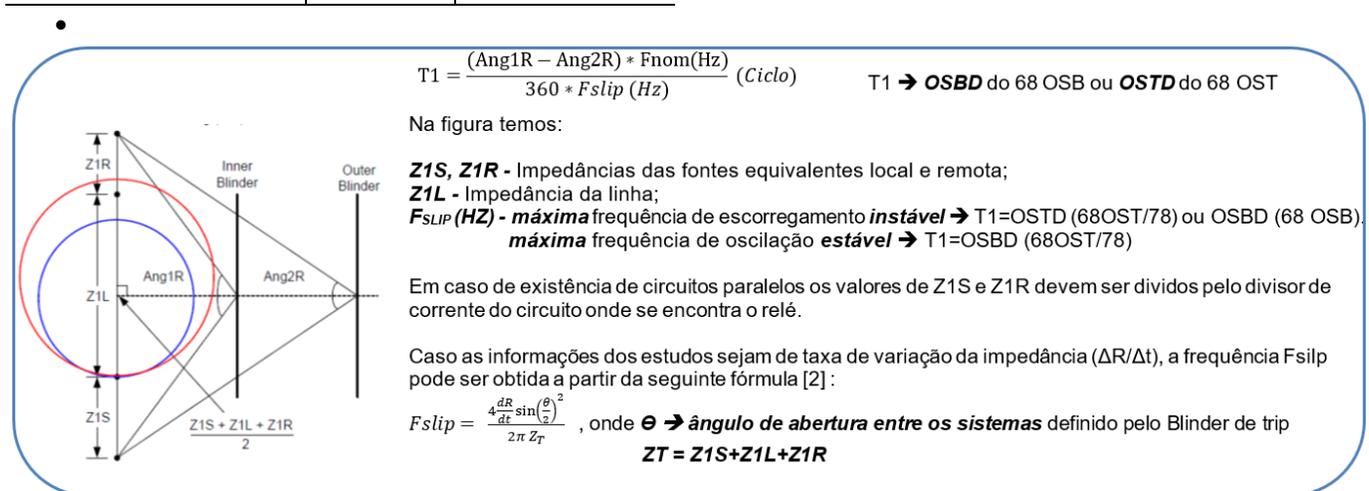


Fig. 1. Método de características quadrilaterais concêntricas.

B. Método de Variação da Tensão no Centro Elétrico (SCV – Swing Center Voltage)

Ao contrário da filosofia convencional, a filosofia Zero Settings [1] não necessita de ajustes ou parâmetros da rede para seu correto funcionamento. Tal filosofia visa, a partir dos valores medidos localmente pelo relé, estimar a tensão no centro elétrico (SCV – *Swing Center Voltage*) e, a partir dessa estimativa, monitorar seu comportamento e decidir se a situação em estudo é uma oscilação de potência ou um curto-circuito.

Supondo o unifilar de um sistema de duas fontes equivalentes, representado por S e R, como na Fig. 2. Os relés de proteção de linhas estão instalados nas subestações terminais, e buscam estimar a tensão do centro elétrico, que pode estar por exemplo, no meio da linha.

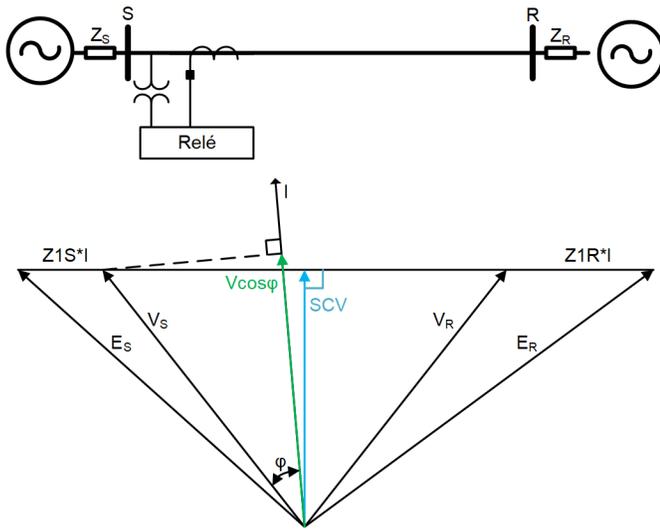


Fig. 2. Sistema equivalente de 2 fontes (esquerda); Perfil das tensões e correntes do sistema (direita).

A partir do diagrama unifilar é apresentado o perfil das grandezas elétricas, a direita da Fig. 2. São representadas as tensões ES e ER (tensões fictícias das fontes), VS e VR (tensões terminais dos barramentos, medidas pelos relés) e I (a corrente de carga também medida pelos relés).

O centro elétrico é definido como o ponto onde a tensão vale zero, caso o ângulo das duas fontes equivalentes esteja com defasagem de 180°. Na Fig. 2, o centro elétrico é representado através da linha azul como SCV. Essa tensão não pode ser medida, mas pode ser estimada. O relé da Barra S, ao multiplicar a tensão local VS pelo cosseno do ângulo de carga φ , obtém o valor representado em verde na Fig. 2. Essa aproximação apresenta uma estimativa da tensão do centro elétrico, com pequena divergência em magnitude. Este pequeno erro não compromete o funcionamento do algoritmo, uma vez que as decisões são fundamentadas nas taxas de variação da tensão de centro elétrico e não em sua magnitude. Resume-se então a tensão de centro elétrico com a equação:

$$SCV \cong |V_s| \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

1) Algoritmo de Bloqueio por Oscilação de Potência

A Fig. 3 apresenta o funcionamento do algoritmo de detecção de oscilações de potência [1].

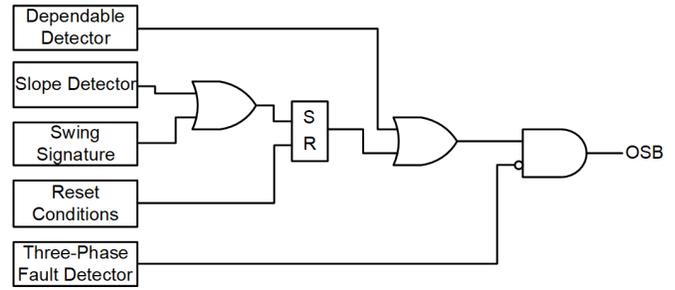


Fig. 3. Diagrama lógico da função SCV para detecção de oscilação de potência.

Na ocorrência de uma oscilação de potência, a tensão do centro elétrico gradativamente diminui. O bloco *Slope Detector* monitora a primeira derivada da tensão do centro elétrico e compara com níveis definidos pelo desenvolvedor (ou seja, o usuário não precisa parametrizar os limites). Caso o módulo da primeira derivada da tensão do centro elétrico seja maior que um valor mínimo, é provável haver oscilação de potência. O bloco *Slope Detector* detecta a maioria das condições de oscilação de potência.

O *Swing Signature* complementa o *Slope Detector*. É feita uma verificação do comportamento da tensão de centro elétrico antes da impedância atingir a característica de distância. Se a impedância atingir uma zona de atuação durante uma oscilação de potência, é esperado não encontrar descontinuidades no valor da tensão de centro elétrico, ou seja, mudanças bruscas de magnitude. Caso a impedância adentre à característica e haja descontinuidade da tensão de centro elétrico, existe forte indício de uma falta real no sistema e o elemento OSB (*Out-of-Step Blocking*) não atuará.

Existem situações onde a impedância de sequência positiva pode atingir a Zona 1 muito rapidamente (antes mesmo das duas detecções apresentadas anteriormente). Para essas situações, existe o *Dependable Detector*, que emite um sinal de bloqueio temporário enquanto os algoritmos *Slope Detector* e *Swing Signature* definem se devem acionar o bloqueio por oscilação de potência.

O *Three-Phase Fault Detector* é um bloco lógico que cancela o bloqueio por oscilação de potência caso detecte que, durante a oscilação, haja uma falta trifásica na linha. Essa detecção é feita com base em algumas premissas na ocorrência de uma falta trifásica: o módulo da segunda derivada da tensão de centro elétrico terá um alto valor no momento da falta, e em sequência, o módulo da tensão de centro elétrico e sua respectiva primeira derivada apresentarão valores baixos.

O bloco *Reset Logic* visa retirar o bloqueio por oscilação de potência quando o sistema apresentar um comportamento que demonstre que o bloqueio não é mais necessário. Dentre as condições de *reset*, é possível citar a detecção de disjuntor aberto, tensão de centro elétrico acima de um valor mínimo (ou seja, tensão normalizada) ou impedância fora da *Starter Zone* (área que envolve todos os elementos de distância que o algoritmo deve bloquear). Algoritmo de Disparo por Oscilação de Potência

A lógica de bloqueio por oscilação de potência supervisiona a lógica de disparo por oscilação de potência. É feita a parametrização do ponto de disparo no plano de impedâncias, ou seja, a partir do momento que existe detecção de oscilação de potência e a impedância atinge o *blinder* previamente configurado, é feita a emissão do sinal de disparo por oscilação de potência. Esse *blinder*, da mesma forma que é feito no método tradicional, deve ser ajustado para o ângulo de abertura entre os sistemas equivalentes em que se deseja promover a separação. Existem três filosofias para disparo que o usuário pode selecionar:

1. *Trip* na saída (TOWO) durante primeiro *swing*;
2. *Trip* na saída (TOWO) após um número fixo de *swings*;
3. *Trip* na entrada (TOWI).

São parametrizados alcances reativos e resistivos, que definem a posição da impedância na entrada e na saída da característica. A Fig. 4 apresenta um digrama no plano R-X que exemplifica a posição do *Trip* na Entrada e do *Trip* na Saída.

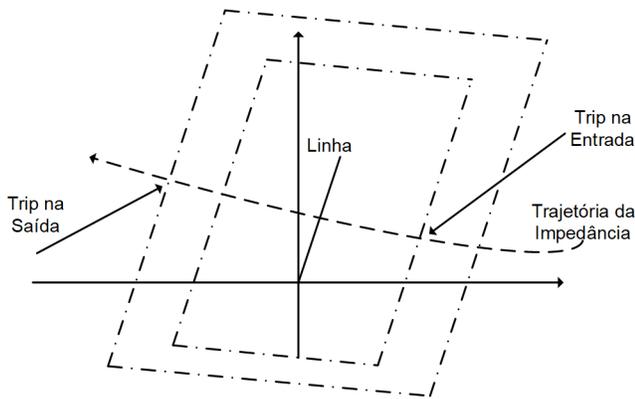


Fig. 4. Disparo por oscilação de potência.

III. TESTES PARA AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE OSCILAÇÃO DE POTÊNCIA

Comumente os testes das funções de oscilação de potência são realizados a partir da imposição de escorregamento de frequência entre fontes equivalentes, entretanto para a realização deste estudo foi estabelecido como premissa inicial a realização de testes em condições mais próximas do real, e para isso foi utilizado o Simulador Digital em Tempo Real (RTDS) do ONS em teste em malha fechada com IEDs de proteção (relés SEL-411L). O arranjo de testes é apresentado na Fig. 5.

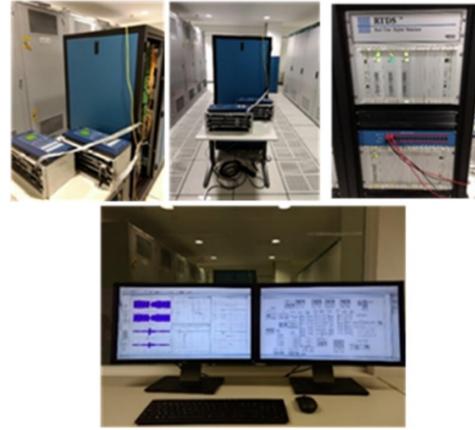


Fig. 5. Plataforma de testes montada no RTDS.

A. Modelagem do Sistema no RTDS

Para a realização do estudo, o subsistema escolhido foi o tronco de 230 kV da região Acre/ Rondônia, por se tratar de uma região peculiar, composta de uma interligação com o SIN em 230 kV, potencialmente exportadora, escoando o excedente da energia gerada nas Usinas Hidráulicas (UHE Samuel e UHE Santo Antônio 230 kV) e injetada pelo Sistema Madeira através das estações conversoras *back-to-back* de Porto Velho. Portanto, esse tronco foi modelado de forma adequada para a realização de estudos de estabilidade, utilizando um Simulador RTDS em testes em malha fechada e aberta com os relés SEL-411L.

Nessa configuração e em rede alterada, contingências no sistema 230 kV, perdas de carga na região Acre/Rondônia, bloqueios do *back-to-back* e até mesmo falhas de comutação no sistema HVDC, provocam oscilações no sistema, colocando em prova as funções de oscilação de potência ajustadas no referido tronco.

A representação da rede elétrica no simulador RTDS contemplou a modelagem dos Sistemas de transmissão do Acre/Rondônia e Mato Grosso/Rondônia em 230 kV, contemplando a SE Porto Velho, SE Abunã, SE Rio Branco, SE Ariquemes, SE Ji-paraná, SE Pimenta Bueno, SE Vilhena e SE Jauru; Compensadores Estáticos em Rio Branco e Vilhena; equivalentes de geração em Porto Velho, Samuel e Santo Antônio 230 kV; equivalentes de curto-circuito em Jauru 230 kV e Coletora Porto Velho 500 kV; e o *back-to-back* 500 kV–230 kV na SE Coletora Porto Velho.

Para a rede de transmissão foram individualizados todos os componentes, tais como Linhas de transmissão com a respectiva compensação reativa; transformações conectadas ao 230 kV e respectivas cargas com representação dinâmica do tipo ZIP, e banco de capacitores. O modelo dos geradores ou equivalentes de geração contemplaram a representação dos reguladores. O modelo dos Compensadores Estáticos de Reativos (CER) empregou a representação de controlador típico. Para a conexão *back-to-back*, foi empregada a réplica de cubículos de controle e proteção idênticas às implementadas em campo. A Fig. 6 a seguir apresenta o sistema modelado.

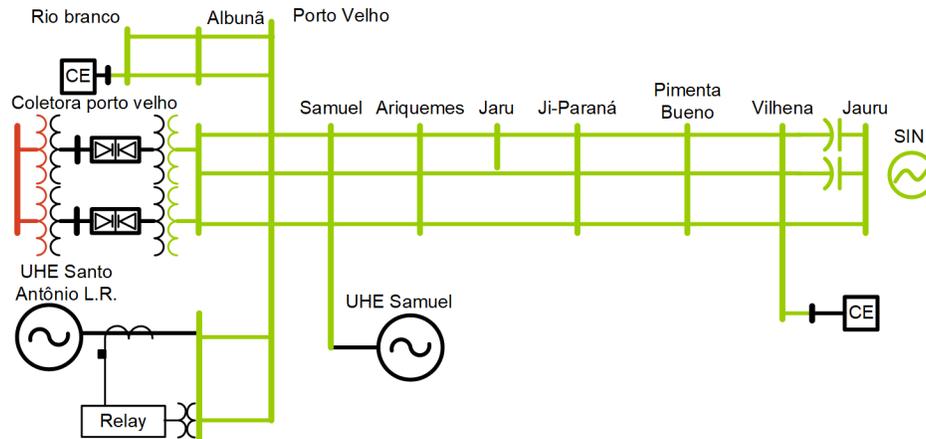


Fig. 6. Diagrama da rede elétrica do Acre-Rondônia simulada no RTDS.

B. Definição dos Grupos de Ajustes

Foram utilizados nos testes dois relés SEL-411L, um para cada terminal da LT 230 kV Ji-Paraná – Pimenta Bueno C1, para a avaliação completa das funções 68OST e 78 ajustadas, permitindo inclusive a análise do comportamento das mesmas frente a curtos-circuitos, externos e internos, e durante a ocorrência de oscilações estáveis. Foram ajustadas as unidades de distância de zonas 1, 2 e 3, além do esquema de teleproteção do tipo Permissivo por Sobrealcance (POTT). Os ajustes foram realizados atendendo à filosofia recomendada no relatório ONS RE 3/109/2011, de filosofia de proteções de Linha de Transmissão.

Para as funções de oscilação de potência (68 OST e 78) foram criados 3 grupos de ajustes em cada IED de proteção: 1 grupo contemplando o método tradicional de características quadrilaterais concêntricas e 2 grupos para o método da

variação da tensão no centro elétrico (SCV), um com *trip* na entrada e outro com *trip* na saída. No método SCV, embora a detecção da oscilação de potência seja realizada através de um algoritmo específico, não sendo necessário ajustes de temporizadores ou de qualquer outro parâmetro da rede para esta detecção, ainda devem ser ajustados os *blindings* dos quadriláteros concêntricos, porém esses ajustes, diferentemente do método tradicional, não possuem restrições de região de carga ou alcance das zonas de proteção. O *blinding* interno é utilizado para definir o ponto de disparo para *trip* na entrada. O *blinding* externo define a região para *trip* na saída além de também estar associado à região de *Starter Zone*.

Todos os grupos ajustados estão com a função de bloqueio por oscilação habilitada para bloquear a Zona 1 e Zona 2 associada ao esquema de teleproteção. A Tabela II apresenta um resumo dos critérios de ajustes

TABELA II
PREMISSAS USADAS PARA AJUSTES DAS FUNÇÕES DE OSCILAÇÃO DE POTÊNCIA (68 OST/78)

Método	Grupo	Ajuste
Tradicional de características quadrilaterais concêntricas	1	<p><i>Blinders</i> e temporizadores ajustados utilizando a filosofia tradicional, com disparo habilitado na entrada da característica mais interna.</p> <ul style="list-style-type: none"> Ângulo entre as fontes equivalentes no instante de disparo = 120° – utilizado no ajuste resistivo dos <i>blindings</i> internos (R1R6 e R1L6). Impedância mínima de carga (Z_{min}) = $285,66 \Omega$ Primários – utilizado no ajuste resistivo dos <i>blindings</i> externos (R1R7 e R1L7). Tensão e corrente, nos terminais da LT em estudo, para curtos-circuitos trifásicos nas Barras de 230 kV da SE Jauru e Samuel – utilizado nos alcances reativos das características internas (X1B6 e X1T6). Maior taxa de variação da impedância medida para uma oscilação instável – $\Delta Z/\Delta t = 1800 \Omega p/s$ (equivalente a F_{slip} de 2,96 Hz, com 120° entre as fontes equivalentes) – utilizado no cálculo do ajuste do temporizador OSTD. Maior taxa de variação da impedância medida para uma oscilação estável – $\Delta Z/\Delta t = 500 \Omega p/s$ (equivalente a F_{slip} de 0,82 Hz, com 120° entre as fontes equivalentes) – utilizado no cálculo do ajuste do temporizador OSBD.
	2	<p>Disparo na entrada da característica mais interna.</p> <ul style="list-style-type: none"> Ângulo entre as fontes equivalentes no instante de disparo = 120° – utilizado no ajuste resistivo dos <i>blindings</i> internos – R1R6 e R1L6. Ângulo entre as fontes equivalentes para <i>Starter Zone</i> = 75° – utilizado no ajuste resistivo dos <i>blindings</i> externos – R1R7 e R1L7.
Variação da tensão no centro elétrico (SCV)	3	<p>Disparo na saída da característica mais externa.</p> <ul style="list-style-type: none"> Utilizados os mesmos ajustes dos <i>blindings</i> do Grupo 2 Não necessita de dados de estudos dinâmicos para definição de ajuste.

TABELA III
ANÁLISE GERAL DOS CASOS SIMULADOS

Análise geral dos casos						
Caso	Sistema estável	FSlip (Hz)	Vmin (pu)	Rmin (Ω p)	X p/Rmin (Ω p)	Θ máx. (°) CPV/JAU
1	CC 1 ϕ seguido de perda dupla entre Ji-Paraná e Pimenta Bueno	0,44	0,75	70,42	-7,63	81,86
2	CC 1 ϕ seguido de perda dupla entre Ji-Paraná e Ariquemes	0,45	0,65	139,59	-80,85	108,85
3M	Caso 2 seguido de CC 1 ϕ a 50% da LT 230 kV Ji-Paraná – Pimenta Bueno C1, após 1,24 s da eliminação do 1° defeito	0,45	0,65	139,59	-80,85	108,85
3T	Caso 2 seguido de CC 3 ϕ a 40% da LT 230 kV Ji-Paraná – Pimenta Bueno C1, após 1,11 s da eliminação do 1° defeito	0,45	0,65	139,59	-80,85	108,85
4	Perda de 100% da carga em Rio Branco e 50% da carga em Rondônia	0,39	0,75	157,49	-42,02	90,63
Sistema instável		FSlip (Hz)				
5	CC 1 ϕ seguido de perda simples entre Samuel e Ariquemes, ponto de operação no limite da instabilidade	1,27				
6	CC 1 ϕ seguido da perda dupla entre Jauru e Vilhena	1,2				
7	CC 1 ϕ seguido de perda simples entre Samuel e Ariquemes, ponto de operação com instabilidade severa	0,94				

*CPV/JAU = Coletora Porto Velho/Jauru

A Fig. 7 apresenta os ajustes das características das funções de oscilação de potência testadas.

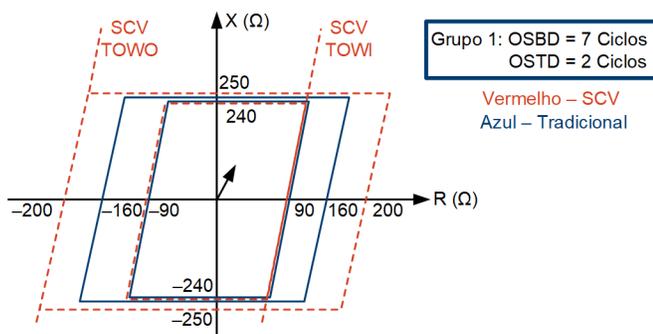


Fig. 7. Ajustes das características utilizadas nos 3 grupos de ajustes testados.

C. Definição dos Casos Simulados

Para realização dos testes, foram definidos 5 casos que ocasionaram oscilações estáveis no sistema e 3 casos instáveis. Os casos foram criados a partir de eventos gerados em diferentes pontos de operação do sistema, a fim de se obter casos com tendência de formação de centro elétrico em pontos distintos, obtidos pela variação da geração na UHE Santo Antônio e na UHE Samuel, e do fluxo da interligação Acre/Rondônia (FACRO). Para os casos estáveis foi buscado a resposta limite do sistema, visando a obtenção da mínima impedância vista pelo relé, e nos casos instáveis foi buscado pelo menos um caso instável limite e um caso instável severo. Também foram gerados casos estáveis seguidos de defeitos para avaliação das funções de detecção de falhas. O resumo dos casos é apresentado na Tabela III

D. Análise dos Resultados

Os casos estáveis foram simulados no RTDS e gravados em formato COMTRADE para serem injetados nos relés, em malha aberta, para cada grupo de ajuste. Desta forma, foi

possível comparar os métodos e ajustes para perturbações exatamente iguais. Nos casos instáveis, como havia a necessidade de avaliação do resultado da ação das proteções de disparo por oscilação de potência, através do monitoramento das condições sistêmicas do sistema ilhado, os mesmos foram executados em malha fechada sendo os seus disparos reproduzidos no sistema simulado. Nas simulações de cada caso instável o sistema teve que ser recomposto para pontos de operação mais próximos possíveis para a realização dos testes nos 3 grupos de ajuste avaliados.

Para cada simulação foram coletados os registros oscilográficos dos IEDs de cada terminal da linha em estudo. A partir das oscilografias foram medidas as velocidades das impedâncias, sendo para os casos do Grupo 1 medidas entre os blinders ajustados ou, quando o blinder mais interno (R6) não era atingido, entre o blinder mais externo (R7) e o R medido após 200 ms. Para os Grupo 2 e 3, nos casos estáveis, as velocidades foram medidas no intervalo entre a ativação do detector de oscilação (OSB) e o comando de disparo por oscilação (OST), e nos casos que não havia ativação de OST, as velocidades foram medidas no intervalo de 200 ms após a ativação do detector de oscilação (OSB). Ainda para os casos instáveis, especialmente para o Grupo 3, as velocidades das impedâncias foram medidas no intervalo de 200 ms antes do comando de disparo por oscilação (OST).

A partir das velocidades medidas, foram calculadas as frequências de oscilação e, a partir da impedância medida no ponto de disparo da função ou no ponto especificado (Rmin do intervalo considerado) quando não havia atuação da mesma, foi calculado o ângulo entre as fontes equivalentes dos sistemas. Foi medido ainda, quando do disparo da função, o tempo de atuação da mesma a partir do início da oscilação e a tensão nas barras nesse instante. A Tabela IV sintetiza os resultados obtidos nas simulações.

TABELA IV
ANÁLISE GERAL DOS CASOS SIMULADOS

Casos Estáveis											
Caso	Grupo de ajuste	Terminal	OSB	OST	Trip	dR/dt (Ω pr/s)	Fslip (Hz)	Angulo entre fontes (°)	Tempo (ms)	Tensão na barra	
1	1 – Padrão	J-P	x			260,90	0,411	68,01	NA	NA	
		PB	x			261,04	0,447	71,42	NA	NA	
	1 – Alterado	J-P			x	OST	261,09	0,412	68,08	753,08	0,847
		PB			x	TDD	259,23	0,466	71,60	761,4	0,89
	1 – Alterado OSBD e <i>Blinders</i> (R612/R726)	J-P	x				211,56	0,352	70,19	NA	NA
		PB	x				210,59	0,373	72,78	NA	NA
	2– Ajuste padrão	J-P	x		x	OST	259,34	0,409	68,09	751	0,85
		PB	x		x	TDD	269,76	0,463	71,48	767,66	0,9
	2– Ajuste revisado (R612)	J-P	x				286,60	0,394	63,06	NA	NA
		PB	x				324,72	0,427	61,46	NA	NA
	3	J-P	x				263,08	0,414	68,05	NA	NA
		PB	x				274,71	0,471	71,43	NA	NA
2	1	J-P	x			53,07	0,055	103,57	NA	NA	
		PB				69,08	0,067	98,81	NA	NA	
	2	J-P	x				169,63	0,165	99,32	NA	NA
		PB	x				82,81	0,080	99,20	NA	NA
	3	J-P	x				172,38	0,167	99,24	NA	NA
		PB	x				85,54	0,083	99,39	NA	NA
3M	1	J-P			POTT				Inst.	NA	
		PB			Z1				Inst.	NA	
	2	J-P	x			POTT				Inst.	NA
		PB	x			POTT				Inst.	NA
	3	J-P	x			POTT				Inst.	NA
		PB	x			POTT				Inst.	NA
3T	1	J-P				POTT				Inst.	NA
		PB								Inst.	NA
	2	J-P	x		x	OST				Inst.	0,4
		PB				TDD				Inst.	0,47
	3	J-P	x			TDD				Inst.	NA
		PB				Z1T				Inst.	NA
4	1	J-P							NA	NA	
		PB							NA	NA	
	2	J-P	x				169,50	0,160	84,96	NA	NA
		PB	x				124,44	0,116	84,24	NA	NA
	3	J-P	x				160,24	0,151	84,85	NA	NA
		PB	x				124,62	0,116	84,11	NA	NA

Casos Instáveis

Caso	Grupo de ajuste	Terminal	OSB	OST	Trip	Fslip (Hz)	Angula entre fontes (°)	Tempo (ms)	Tensão na barra (pu)	
5	1 – Ajuste original	J-P 1ΩSW	x			0,243	126,35			
		PB 1ΩSW	x			0,2777	128,32			
		J-P 2ΩSW	x			3,990	127,84			
		PB 2ΩSW	x			4,213	129,55			
	1 – Ajuste modificado OSBD 35	J-P			x	OST	0,335	125,80	1,14	0,46
		PB			x	TDD	0,553	139,07	1,15	0,52
	1 – Ajuste modificado OSBD 35 + <i>Blinders</i>	J-P			x	OST	0,813	140,95	1,23	0,33
		PB			x	TDD	1,035	147,90	1,16	0,4
	2	J-P	x	x	x	OST	0,494	125,84	1,01	0,45
		PB	x	x	x	TDD	0,541	126,92	1,02	0,51
	3	J-P	x	x	x	OST	0,999	85,77	1,315	0,78
		PB	x	x	x	OST	0,868	77,37	1,317	0,8
6	1	J-P			x	TDD	1,508	129,05	0,74	0,47
		PB			x	OST	1,480	131,12	0,73	0,4
	2	J-P	x	x	x	OST	1,395	129,84	0,711	0,47
		PB	x	x	x	OST	1,289	129,88	0,707	0,41
	3	J-P	x	x	x	OST	1,342	96,24	0,9	0,77
		PB	x	x	x	TDD	1,087	89,10	0,906	0,72
7	1	J-P	x			TDD	0,723	125,69	0,871	0,42
		PB			x	OST	0,878	129,12	0,879	0,53
	2	J-P	x	x	x	OST	0,770	125,20	0,85	0,45
		PB	x	x	x	TDD	1,200	137,01	0,854	0,54
	3	J-P	x	x	x	OST	0,841	80,35	1,2	0,56
		PB	x	x	x	OST	0,759	74,70	1,2	0,85

Para cada caso ressaltam-se os seguintes pontos:

1) *Caso 1*

Dentre os casos estáveis este é o mais crítico para um bom desempenho dos métodos, visto que é o caso com o menor R medido ($R_{min} = 70,4 \Omega p$), atingindo o *blinder* de disparo dos 2 métodos ajustados para disparo na entrada ($R_{1R6} = 90 \Omega p$). Entretanto, por se tratar de um evento de perda dupla de circuitos paralelos, o ângulo entre as fontes equivalentes no *blinder* de disparo ajustado (R_{1R6}) não é mais próximo de 120° conforme previsto com a rede completa, e sim um ângulo bem menor, em torno de 70° (verificado tanto através das oscilografias quanto através da diferença angular entre as Barras de 230 kV Coletora Porto Velho/Jauru). Isso ocorre por que com a saída dos 2 circuitos paralelos o fator de correção de corrente, de 0,33 (linha com 3 circuitos) que dividia as impedâncias das fontes equivalentes não será mais utilizado, logo as impedâncias das fontes irão ficar 3 vezes maiores e, consequentemente, o ângulo entre as fontes equivalentes medidos no mesmo ponto será menor.

Com ângulos entre as fontes menores, é observado que os *blinders* ajustados estão localizados em um ponto onde o ângulo crítico entre os sistemas não foi atingido, podendo nessa situação casos de oscilações estáveis atingi-los e provocar um disparo incorreto. Em função do exposto, inicialmente foi verificada a atuação incorreta apenas do Grupo 2 (SCV *trip* entrada) devido aos ajustes, não sendo verificada a atuação dos Grupos 1 (Tradicional) e 3 (SCV *trip* na saída). Observa-se que mesmo sendo atingida a característica de disparo do Grupo 1 (R_{1R6}), o mesmo não emitiu disparo, já que esse método possui um temporizador ajustável (OSBD) para discriminar oscilações estáveis de instáveis. Dessa forma, como a variação da impedância entre os *blinders* ajustados foi de aproximadamente $260 \Omega p/s$ e o mesmo estava ajustado para não emitir disparo, e bloquear as unidades de distância (Z1 e Z2), para oscilações com taxas de variação menores que $500 \Omega p/s$, o mesmo teve um desempenho correto.

Todavia, após a simulação do caso 5, que será detalhada a seguir, ocorreu a recusa de atuação do Grupo 1 para um caso instável, o que levou à necessidade do reajuste do referido

temporizador (OSBD) de 7 ciclos para 35 ciclos. Com esse novo ajuste apenas serão consideradas oscilações estáveis aquelas com taxas de variação de impedância menores que $169 \Omega/\text{s}$. Como no caso 1 a variação da impedância entre os *blindings* ajustados foi de aproximadamente $260 \Omega/\text{s}$, agora, após o reajuste do OSBD, ocorreu também a atuação incorreta do Grupo 1.

Visto que a dependabilidade desta função é prioridade, devendo ser garantida a atuação da mesma para todos os casos instáveis, o ajuste desse Grupo deverá ser alterado. Para que os Grupos 1 e 2 não atuem incorretamente durante essa oscilação estável, existem as seguintes alternativas:

- Reajuste dos *blindings*: como o R_{\min} desse caso estável limite foi de $70,4 \Omega$, o *blinder* R6 deverá ser reduzido para 60Ω nos Grupos 1 e 2, e em especial para o Grupo 1 o *blinder* 7 também deverá ser deslocado na mesma proporção para não influenciar nos ajustes dos temporizadores da função. Entretanto, com esse reajuste, os *blindings* de disparo desses dois métodos não estariam mais configurados para o Ângulo de 120° entre as fontes equivalentes, conforme a premissa inicial de ajustes, e sim para próximo de 125° .
- Utilização de ajustes adaptativos: onde o IED seria informado do desligamento dos circuitos paralelos, chaveando, automaticamente, para um novo grupo de ajustes com valores de R6 menores. Ressalta-se que os reajustes propostos a partir deste caso não influenciarão no desempenho dos demais casos simulados, que foram rodados com os ajustes originais.

2) Caso 2

Trata-se de um caso estável limite, para perda dupla no trecho de Ji-paraná – Ariquemes, com tendência de formação de centro elétrico no próprio trecho. Para esse caso, conforme esperado, não houve a atuação de nenhum dos 3 grupos ajustados, sendo observado apenas que para o Grupo 1, não houve a atuação do bloqueio por oscilação (OSB) no terminal de Pimenta Bueno, mais distante do local onde havia a tendência de formação de centro elétrico. Porém, a não atuação da lógica de bloqueio não influenciou no desempenho da função, já que a oscilação não atingiu nenhuma zona de proteção.

3) Caso 3M

Este caso foi realizado a partir do caso 2, já que na sequência da oscilação estável provocada pela perda dupla no trecho de Ji-paraná – Ariquemes, foi aplicada uma falta monofásica no meio da linha em estudo. O objetivo deste caso é avaliar o desempenho das lógicas de bloqueio por oscilação que devem estar liberadas para atuar durante a falha. Como nesse caso a falta aplicada foi monofásica, foi verificado que os Grupos 2 e 3 (SCV), embora mantivessem ativos os detectores de oscilação (OSB), os mesmos não influenciaram na tomada de decisão de disparo das proteções de distância para faltas à terra, já que apenas são bloqueadas quando ocorre abertura monopolar. Com relação ao Grupo 1, não foi ativado o bloqueio por

oscilação (OSB), pois a função de bloqueio deste grupo depende de um temporizador que não completou o tempo até o início da falta. Portanto, as unidades de distância para faltas à terra nesse grupo também não foram influenciadas.

4) Caso 3T

Este caso também foi gerado a partir do caso 2, porém durante a oscilação estável foi aplicada uma falha trifásica a 40 % do terminal de Pimenta Bueno. Como o fenômeno de oscilação de potência é um fenômeno equilibrado, assim como o curto-circuito trifásico, todos os métodos testados possuem uma lógica específica para detecção de falha trifásica para inibir o bloqueio caso a mesma seja identificada. Para o Grupo 1 a referida lógica não chegou a ser solicitada, já que não sinalizou a atuação do bloqueio nesse grupo, pois não houve tempo suficiente para os temporizadores. Para os Grupos 2 e 3, a mesma foi testada pois para os dois casos houve detecção de oscilação (OSB), antes do início da falta, podendo ser observado o seguinte:

- No Grupo 2: houve a atuação da função de disparo por oscilação no terminal de Ji-Paraná, onde houve detecção de oscilação, antes da atuação das funções de distância para faltas entre fases. Isso ocorre por que, durante o curto-circuito, a impedância medida atinge o *blinder* de disparo (R6) da função 68 (OST) antes da liberação das unidades de distância pela lógica Three-Phase Fault Detector. Esse bloco lógico detecta a ocorrência de uma falta trifásica através de algumas premissas, associando-as a temporizadores de 3, 5 e 20 ciclos, que causam um certo atraso na atuação nas funções de distância, devido à dificuldade de detecção.
- No Grupo 3: Nesse caso, como o disparo por oscilação está habilitado para saída, ou seja, apenas após a oscilação cruzar o eixo Y (no plano R-X), não houve disparo pela função 78 (OST) durante o defeito como no grupo anterior, que o disparo é na entrada da característica. Sendo assim, foi possível observar que houve a atuação da lógica Three-Phase Fault Detector, cancelando o OSB depois de 5 ciclos, quando ocorreu a atuação das zonas 1 e 2 para faltas entre fases após 83,35 ms do início do defeito ($SCV=0,0169$ no instante que o OSB foi inibido).

5) Caso 4

Este caso foi uma reprodução da perturbação ocorrida no sistema Acre-Rondônia, onde a perda de carga na região provocou uma severa oscilação na região. Para esse caso, apenas foi detectado oscilação (OSB) pelos Grupos 2 e 3. Não houve a atuação de nenhuma função de proteção e o sistema estabilizou em um novo ponto de operação.

6) Caso 5

Este é um caso instável limite para perda simples da LT 230 kV Samuel – Ariquemes. É chamado de caso instável limite por que foi obtido de um ponto de operação estável para esta contingência, onde a partir de um processo iterativo, aumentando-se gradativamente o despacho interno no sistema Acre/Rondônia o caso tornou-se instável. Para essa contingência o centro elétrico foi formado entre

Ji-paraná/Ariquemes. Nos Grupos 2 e 3, as funções de disparo por oscilação atuaram corretamente abrindo todos os circuitos entre Ji-Paraná e Pimenta Bueno. A tensão nas barras no instante das aberturas, em ambos os terminais da linha, foi próxima de 0,5 pu para o Grupo 2 (*trip* na entrada) e 0,8 pu para o Grupo 3 (*trip* na saída). Com relação ao Grupo 1, método tradicional, houve a atuação da função de bloqueio por oscilação, sendo detectado incorretamente uma oscilação estável. Isso ocorreu por que o temporizador OSBD da função foi ajustado para bloquear oscilações com taxa de variação da impedância ($\Delta Z/\Delta t$) menores que 500 $\Omega p/s$ ($F_{slip} < 0,82$ Hz com 120° entre as fontes equivalentes). Como as velocidades das impedâncias medidas entre os *blindings* ajustados foi de 163,96 $\Omega p/s$ em Ji-Paraná e 183,3 $\Omega p/s$ em Pimenta Bueno, houve a atuação da função de bloqueio ao invés da função de disparo por oscilação de potência.

A justificativa para o desvio observado entre a velocidade da impedância, utilizada para a definição do ajuste original, e a velocidade observada nas simulações, é que a primeira teve como origem a observação do sistema em ocorrências e estudos de estabilidade, cujas medidas foram realizadas no diagrama R-X próximas de 80° entre as fontes equivalentes. Porém, como para este estudo o *blinder* de disparo foi posicionado para atuação da função próximo de 120° , as velocidades seguiram outro padrão. Outro fator que influenciou na obtenção de uma velocidade menor do que a esperada, observado a partir do diagrama R-X do terminal de Ji-Paraná, é que o ângulo crítico entre os sistemas (próximo de 110°) foi atingido entre os *blindings* ajustados para medir as velocidades: dessa forma a impedância medida que vinha desacelerando e já estava quase parando, por se tratar de um caso limite, ao atingir o ângulo crítico começou a acelerar, influenciando na medida de velocidade. Portanto, a particularidade do caso e a característica de medida de velocidades do método o levou a uma recusa de atuação.

Após a perda de sincronismo do sistema, no 2º swing da oscilação, a impedância atravessou novamente os *blindings* ajustados, porém dessa vez com velocidades muito elevadas (2657 $\Omega p/s$ em Ji-Paraná e 2763 $\Omega p/s$ em Pimenta Bueno), não havendo ainda a atuação da função de disparo por oscilação do Grupo 1 pois o algoritmo interpretou como um curto-circuito ($\Delta Z/\Delta t > 1800 \Omega p/s$), devido ao ajuste do temporizador OSTD.

Como solução para esse problema, o ajuste do temporizador OSBD foi alterado de 7 ciclos para 35 ciclos, de forma que apenas sejam bloqueadas oscilações com velocidades menores que 120 $\Omega p/s$. Em seguida, o caso 5 foi rodado com o novo ajuste de OSBD implementado no Grupo 1, e desta vez o mesmo atuou corretamente. Esse caso também foi simulado

novamente, mesclando a solução proposta no caso 1, logo foram alterados tanto os *blindings* ($R_6=60$ e $R_7=130$) como o OSBD (35) do Grupo 1, havendo também a atuação correta do Grupo.

7) Caso 6

Esse foi um caso instável, gerado a partir de perda dupla no trecho de Jauru/ Vilhena, trazendo o centro-elétrico para trás do terminal Pimenta Bueno da LT Ji-Paraná – Pimenta Bueno. Nesse caso todos os 3 grupos testados atuaram corretamente abrindo todos os circuitos entre Ji-Paraná e Pimenta Bueno.

8) Caso 7

Esse é um caso instável severo para perda simples da LT 230 kV Samuel – Ariquemes. É chamado de caso instável severo porque foi obtido a partir do caso 5, que já estava em um ponto de operação instável para a referida contingência, e ainda assim foi aumentado gradativamente o despacho interno no sistema Acre/Rondônia até a velocidade entre os *blindings* do Grupo 1 atingir a velocidade ajustada originalmente para disparo. Mesmo tratando-se de um caso com um obstáculo já identificado para o método de medição de velocidade de impedância por *blindings*, que é o ângulo crítico ser atingido entre os *blindings*, como a velocidade até o ângulo crítico foi maior, por se tratar de um caso mais severo, houve a atuação do Grupo 1 com os ajustes originais. Os demais grupos do método de SCV também atuaram corretamente.

Por fim, como conclusão geral dos casos instáveis, a Fig. 8 mostra o comportamento das tensões e frequência na ilha formada no sistema Acre/ Rondônia para o caso 6. Através dos gráficos de tensão, foi observado que após a abertura da interligação pelos 3 grupos testados ocorrem sobretensões transitórias, que não atingiram níveis de proteção de sobretensão (instantâneas ou temporizadas), alcançando após alguns segundos de simulação, níveis aceitáveis de tensão (aproximadamente 1,15 pu), facilmente controlados por medidas operativas. Também foi analisado o gráfico de frequência da ilha, concluindo que após alguns segundos, com a ação dos reguladores de velocidade das máquinas e controle do Back-to-back, a frequência retornou a valores aceitáveis. Conclui-se também que para o Grupo 3, com disparo após a formação do centro elétrico, os níveis de tensão transitórias atingidos foram ligeiramente maiores que nos demais Grupos que abriram a interligação preditivamente, entretanto a frequência máxima atingida com a abertura na saída da característica foi consideravelmente menor que a dos demais grupos. Todos demais casos instáveis apresentaram comportamento similar.

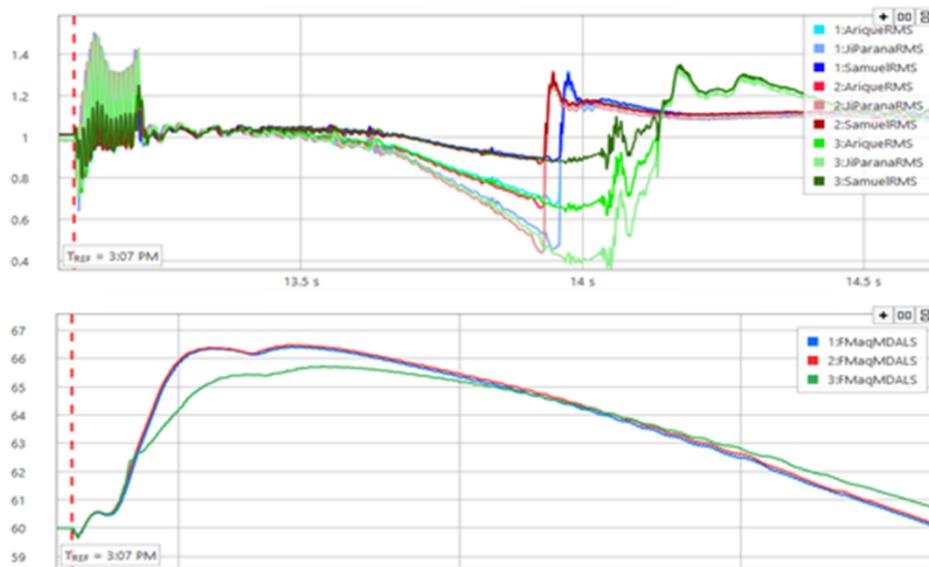


Fig. 8. Tensões e frequência da ilha formada no sistema Acre/ Rondônia para o caso 6 – (Azul) Grupo 1; (Vermelho) Grupo 2; (Verde) Grupo 3.

IV. CONCLUSÃO

Primeiramente conclui-se que a utilização da ferramenta RTDS para teste das funções de oscilação de potência se mostrou bastante eficaz e útil, tanto para validação dos ajustes e melhor entendimento dos algoritmos utilizados pelos relés quanto para complementação dos estudos dinâmicos do sistema, já que através desse foi possível conhecer as velocidades e frequências características das oscilações estáveis e instáveis, informações de grande valia para a determinação de um melhor ajuste das funções de oscilação de potência. Ressalta-se apenas que a modelagem da rede deve ser compatível com o objetivo do estudo, necessitando de uma boa representatividade da rede e dos controles das máquinas e dispositivos HVDC. Quanto aos métodos de detecção de oscilação de potência avaliados nesse trabalho, destacam-se as seguintes conclusões:

A. Método de Características Quadrilaterais Concêntricas ou Duplo Blinder Baseados na Taxa de Variação da Impedância Medida.

Esse método foi testado com a filosofia de disparo na entrada da característica interna da função, pois é a filosofia utilizada atualmente no Sistema Elétrico Brasileiro. Foi comprovado que para a determinação dos ajustes dessa função são necessários estudos de estabilidade dinâmica a fim de se conhecer o ângulo crítico entre os sistemas e a sua correspondência no diagrama R-X, para o melhor posicionamento dos *blindings*. Além da determinação dos casos estáveis e instáveis limites para obtenção das frequências de escorregamento (F_{slip}) e taxas de variação da impedância na região de medida, ou seja, entre os *blindings* ajustados.

É possível através dos ajustes dos alcances reativos dos *blindings* ajustar a função para detecção de centros elétricos em pontos remotos do sistema, todavia deve ser observado que oscilações com tendências de formação de centros elétricos mais distantes podem apresentar velocidades diferentes das previstas, dificultando os ajustes dos temporizadores da função.

Esse método permite ajuste para discriminar oscilações estáveis de instáveis (temporizador OSBD). Inclusive, esta é uma vantagem desse método quando comparado ao SCV com disparo na entrada, pois permite a seletividade do mesmo em condições estáveis cujas impedâncias medidas atingem o *blinder* interno. Todavia o ajuste do mesmo deve ser criterioso para garantir a dependabilidade da função, evitando recusas para oscilações instáveis, o que pode trazer grande prejuízo para o sistema.

Ajustes de *blindings* mais próximos do eixo Y, no diagrama RX, posicionados para disparo em ângulos maiores que o ângulo crítico entre os sistemas, garantem maior seletividade ao método. Isso ocorre por que diminui a probabilidade de oscilações estáveis atingirem o *blinder* mais interno, provocando disparo indevido, mesmo quando de situações de grande alteração da impedância da rede, conforme apresentado no Caso 1 deste estudo. Ressalta-se que para sistemas muito malhados, a contingência que causa alteração mais significativa para este método é o a perda de circuitos paralelos, que “diminuem” o ângulo entre as fontes equivalentes que está configurado o *trip*. Outro motivo que torna mais seletivo o ajuste de *blindings* mais próximos do eixo Y, no diagrama R-X, é que nessa faixa as velocidades e frequências de oscilação são bem características para eventos instáveis e estáveis, permitindo a realização mais segura dos temporizadores associados.

Uma desvantagem desse método com relação ao SCV, é que tanto a decisão de bloqueio quanto a de disparo por oscilação são dependentes dos *blindings*, logo o posicionamento do mesmo tem restrições, como estar fora da região de carga da linha e ao mesmo tempo fora da maior zona que deve ser bloqueada, considerando ainda uma margem de segurança. Isso limita a região de ajuste, inviabilizando muitas vezes ajustes ótimos, uma vez que dependendo das impedâncias das fontes equivalentes e impedância da linha em estudo é inviável ajustar o ângulo entre as fontes equivalentes indicado nos estudos.

No caso onde foi simulada a perturbações com oscilação estável seguida de falha trifásica interna, a lógica de detecção de falha trifásica deste método não foi testada, visto que no instante da aplicação do defeito não havia sido ativado o bloqueio por oscilação estável.

B. Método de Variação da Tensão no Centro Elétrico (SCV – Swing Center Voltage)

Esse método apresenta uma grande vantagem com relação ao método tradicional, que é a simplicidade de ajuste, pois é necessário apenas o ajuste dos *blindings* para *trip*, já que a detecção da oscilação de potência é feita por um algoritmo específico, sem ajuste, baseado na taxa de variação da tensão no centro elétrico. Para o estudo realizado esse algoritmo funcionou muito bem, detectando a oscilação em todos os casos simulados com maior sensibilidade do que no método tradicional, pois a detecção foi feita mais rápida. Quanto a função de disparo por oscilação, um ajuste importante para este detector de oscilação é o ajuste da característica mais externa, que tem influência na delimitação no diagrama R-X da região onde o algoritmo do SCV será executado.

Da mesma forma que no método tradicional, também é possível no SCV, através do ajuste dos alcances reativos dos *blindings*, ajustar a função para detecção de centros elétricos em pontos remotos do sistema, com a vantagem de não haver preocupação com as diferenças das velocidades da impedância, já que o método não é baseado nesse princípio. Todavia, essa sensibilidade tem um limite que deve ser verificado em estudo ou testes.

Esse método não possui discriminador de oscilações estáveis de instáveis, logo para disparo na entrada ainda é necessário estudo dinâmico para se verificar o ângulo crítico entre os sistemas e o melhor posicionamento do *blinding* de disparo (alcance resistivo da característica interna). Devem ser consideradas também alterações da impedância da rede, conforme apresentado no Caso 1 deste estudo, já que se for detectado oscilação e o *blinding* interno for atingido, o *trip* será emitido.

Embora nesse estudo os ajustes dos *blindings* de *trip* (RL6 e RR6) do método de SCV e tradicional tenham sido ajustados com os mesmos critérios, para o método do SCV não são necessárias restrições de ajuste em função de carga e alcance de zonas, podendo inclusive o *blinding* de disparo ser colocado dentro das características de proteção. Essa flexibilidade é de importante aplicação para linhas longas com características de proteção abrangentes no diagrama R-X.

Com relação as simulações de perturbação com oscilação estável seguida de falha interna monofásica, o método teve um bom desempenho, já que as unidades de distância para falhas à terra apenas são bloqueadas pelo OSB quando de abertura monopolar. Entretanto para falhas internas trifásicas, durante oscilação, foi verificado o seguinte: pode haver atuação da função de oscilação de potência antes das funções de distância, já que é necessário um tempo para desbloqueio das mesmas, porém sem consequências para o sistema, já que a falha é interna e a linha deverá ser aberta. E, no caso de disparo na saída, como a impedância medida durante o defeito não atinge o *blinding* de *trip*, não há atuação dessa função, contudo foi

verificado um atraso na atuação das funções de distância e consequente eliminação do defeito, já que para o desbloqueio dessas funções estão associados temporizadores, que dependendo da premissa atingida para desbloqueio, podem ser de 3, 5 ou 20 ciclos. No caso 3T, houve um atraso de 83,35 ms do início do defeito para atuação das zonas 1 e 2 para faltas entre fases.

De uma forma geral para todos os casos instáveis, a abertura da interligação promovida pelas funções de disparo por oscilação ajustadas foi favorável para o Sistema. De forma que o sistema Acre/ Rondônia permaneceu ilhado em condições operativas aceitáveis, inclusive para o caso de *trip* na saída, não sendo observado nenhuma instabilidade local em função do atraso da separação dos sistemas fora de sincronismo.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Benmouyal, G; Hou D. and Tziouvaras D.; Zero-Setting Power-Swing Blocking Protection, Schweitzer Engineering Laboratories TP6172-01, 2012.
- [2] Fischer N., Benmouyal G. et al.; “Tutorial on Power Swing Blocking and Out-of-Step Tripping”. 39th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, USA, 16-18 October, 2012.
- [3] REL INC; SEL-421 Relay Applications Handbook. USA: REL INC, 2013. Disponível em: <https://www.eiseverywhere.com/file_uploads/b7d76b2c131c0b2ec8d2e16ad2c25812_SEL421AH.pdf> Acesso em: 10 out. 2017.
- [4] Fischer N., Benmouyal G. et al.; “Tutorial on Power Swing Blocking and Out-of-Step Tripping”. 39th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, USA, 16-18 October, 2012.

VI. BIOGRÁFICOS

Tatiana Maria T. de S. Alves, Engenheira Eletricista formada pelo Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET-RJ em 2003. Em 2005, especializou-se em Proteção de Sistemas Elétricos pela Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Poli/UFRJ. Obteve grau de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ, no ano de 2011. Trabalha no ONS desde 2004 onde é Engenheira da Gerência de Proteção e Controle, com atuação na área de análise de perturbações.