INSTRUMENTOS PARA TESTES ELÉTRICOS

Tutorial de Teste

Tipo de Equipamento: Relé de Proteção

Marca: SCHWEITZER (SEL)

Modelo: 421

Funções: 68 ou PPAM/ RPSB - Bloqueio por Oscilação de Potência (PSB) & 78 ou PPAM/ RPSB - Out-of-Step (OoS)

Ferramenta Utilizada: CE-6006, CE-6706, CE-6710, CE-7012 ou CE-7024

Objetivo: Teste do PSB e OoS em Condições de Oscilações de Potência Síncrona, Assíncrona e com Falta.

Controle de Versão:

Versão	Descrições	Data	Autor	Revisor
1.0	Versão inicial	31/10/2016	A.C.S.	M.R.C.

Sumário

Filosofia da proteção de Power Swing Blocking e Out-of-Step do relé SEL-421 5
1. Conexão com o CE-6006 7
1.1 *Fonte Auxiliar* 7
1.2 *Bobinas de Tensão e Corrente* 7
1.3 *Entradas Binárias* 8
2. Comunicação com o relé SEL 421 8
3. Parametrização do relé SEL 421 9
3.1. *General Global Settings* 9
3.2. *Line Configuration* 10
3.3. *Relay Configuration* 10
3.4. *Mho Phase Distance Element Reach* 11
3.5. *Phase Distance Element Reach* 12
3.6. *Out-of-Step Tripping/Blocking* 12
3.7. *Trip Logic* 13
3.8. *Main Board* 14
4. Ajustes do software PSB OoS 15
4.1 *Abrindo o PSB OoS* 15
4.2 *Configurando os Ajustes* 16
4.3 *Sistema* 17
5. Ajustes Distância 18
5.1. *Tela Distância > Ajuste Prot. Distância* 18
5.2. *Inserindo as Zonas (Fase-Fase)* 18
5.3 *Inserindo os Blinders* 20
6. Configurações de Hardware 21
7. Direcionamento de Canais 21
8. Restauração do Layout 22
9. Estrutura do teste para as funções PSB_OoS 22
9.1 *Configurações dos Testes* 22
9.2. *Simulação de Trajetórias* 23
9.3. *Simulação de Trajetórias Oscilação Síncrona* 23
9.4. *Simulação de Trajetórias Oscilação Assíncrona* 27
9.5. *Simulação de Trajetórias Oscilação Assíncrona com falta A-B* 30
10. Relatório 33

APÊNDICE A 34
A.1 Designações de terminais 34
A.2 Dados Técnicos 34
APÊNDICE B 35

Termo de Responsabilidade

As informações contidas nesse tutorial são constantemente verificadas. Entretanto, diferenças na descrição não podem ser completamente excluídas; desta forma, a CONPROVE se exime de qualquer responsabilidade, quanto a erros ou omissões contidos nas informações transmitidas.

Sugestões para aperfeiçoamento desse material são bem vindas, bastando o usuário entrar em contato através do email suporte@conprove.com.br.

O tutorial contém conhecimentos obtidos dos recursos e dados técnicos no momento em que foi escrito. Portanto a CONPROVE reserva-se o direito de executar alterações nesse documento sem aviso prévio.

Este documento tem como objetivo ser apenas um guia, o manual do equipamento a ser testado deve ser sempre consultado.

ATENÇÃO!

O equipamento gera valores de correntes e tensões elevadas durante sua operação.
O uso indevido do equipamento pode acarretar em danos materiais e físicos.

Somente pessoas com qualificação adequada devem manusear o instrumento. Observa-se que o usuário deve possuir treinamento satisfatório quanto aos procedimentos de manutenção, um bom conhecimento do equipamento a ser testado e ainda estar ciente das normas e regulamentos de segurança.

Copyright

Copyright © CONPROVE. Todos os direitos reservados. A divulgação, reprodução total ou parcial do seu conteúdo, não está autorizada, a não ser que sejam expressamente permitidos. As violações são passíveis de sansões por leis.

Filosofia da proteção de Power Swing Blocking e Out-of-Step do relé SEL-421

Uma oscilação de potência é um evento transitório que pode ocorrer no sistema devido a vários fatores tais como mudanças de geração, mudanças de carga, curto circuito, entre outros. Por exemplo, quando um grande gerador ou uma grande carga entra/saí do sistema elétrico.

Nessas condições o sistema elétrico acaba oscilando e caso consiga recuperar o equilíbrio, caracteriza-se como uma oscilação síncrona (estável). Nesse tipo de oscilação o relé de distância poderia executar um falso trip, pois a impedância vista pelo relé pode entrar na região de detecção de falta. Para que não ocorram operações indevidas, o relé deve detectar a oscilação e emitir um sinal bloqueio, ou seja, ativar o PowerSwing Blocking (PSB).

Para o caso de uma oscilação assíncrona, a função Out-of-Step (OoS) é responsável por identificá-la e comandar o trip de modo a retirar o gerador do sistema. Neste caso dizemos que ocorreu uma perda de sincronismo.

Cada fabricante de relé utiliza uma filosofia e um algoritmo para detectar esses dois tipos de oscilações. O relé da SEL-421 utiliza duas zonas a 6 e a 7 para que dependendo do tempo que a trajetória da impedância demorar a transpor essas duas zonas uma ação é tomada. A figura a seguir mostra as duas zonas:

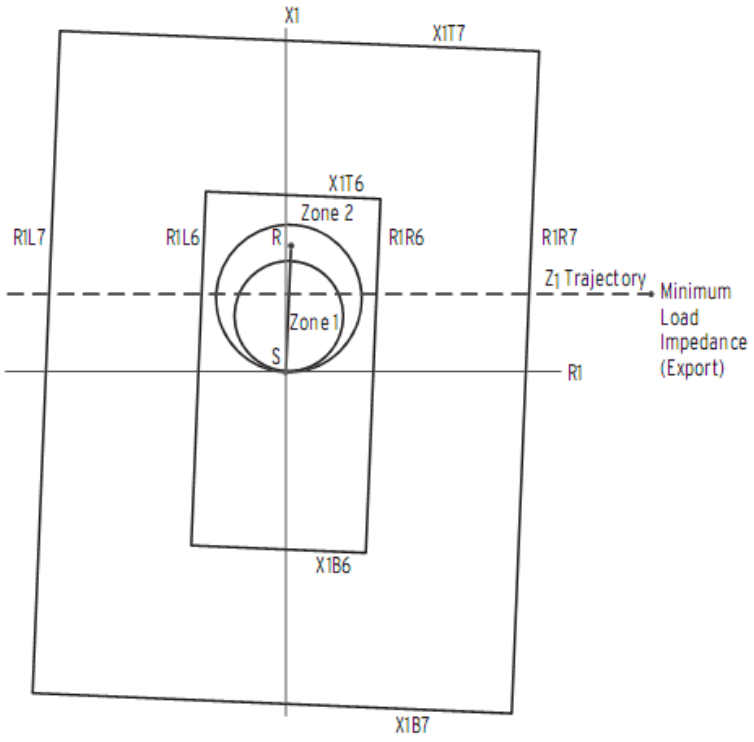

Figura 1

Para efetuar o ajuste dois tempos devem ser ajustados. O primeiro *"Out-of-Step Block Time Delay"* ou *"OSBD"* que deve ser sempre maior que o segundo *"Out-of-Step Trip Delay"* ou *"OSTD"*. No momento em que a trajetória da impedância atinge a zona 7, dois cronômetros são inicializados, o primeiro relativo ao *"OSBD"* e o segundo relativo ao *"OSTD"*. A partir desse ponto podem ocorrer três situações distintas:

- A trajetória do vetor de impedância atingir a zona 6 após o tempo do cronômetro relativo ao *"OSTD"* ter expirado e antes do tempo do *"OSBD"* ser ultrapassado. Nesse caso, um sinal de *"trip"* é comandado (OoS).

- A trajetória atingir a zona 6 após expirar o tempo do *"OSBD"*. Nesse caso, um sinal de bloqueio é enviado (PSB).

- A trajetória atingir a zona 6 antes de expirar o tempo do *"OSTD"*. Nesse caso nenhum sinal relativo à detecção de oscilação de potência é enviado e a função de distância fica habilitada a funcionar normalmente.

1. Conexão com o CE-6006

No apêndice A mostram-se as designações dos terminais do relé.

1.1 *Fonte Auxiliar*

Ligue o positivo (borne vermelho) da Fonte Aux. Vdc ao pino 29 no terminal do relé e o negativo (borne preto) da Fonte Aux Vdc ao pino 30 do terminal do relé.

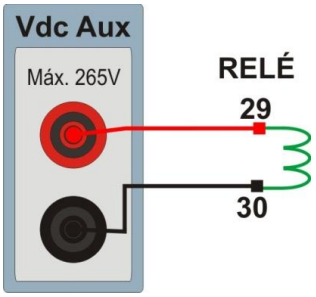

Figura 2

1.2 *Bobinas de Tensão e Corrente*

Para estabelecer a conexão das bobinas de tensão, ligue os canais de tensão V1, V2 e V3 aos pinos 13, 15 e 17 do terminal Z do relé e conecte os comuns dos canais de tensões aos pinos 14, 16 e 18 do terminal Z do relé. As bobinas de Tensão utilizadas do relé são VAY, VBY e VCY. Para os canais de corrente I4, I5 e I6 realize as ligações com os pinos 1, 3 e 5 do terminal Z do relé e os comuns aos pinos 2, 4 e 6. Observando que as bobinas de corrente utilizadas são IWA, IWB e IWC.

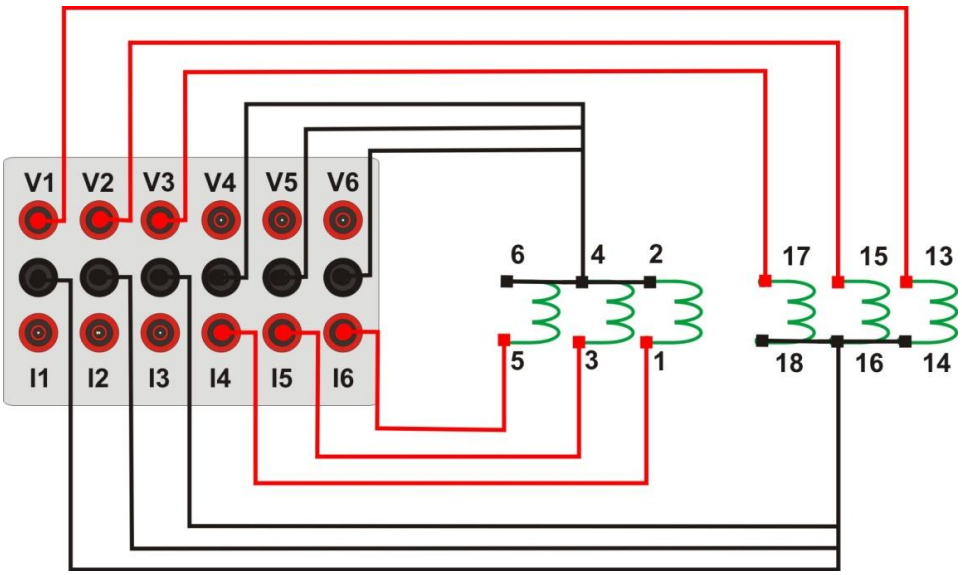

Figura 3

1.3 *Entradas Binárias*

Ligue as entradas binárias do CE-6006 às saídas binárias do relé.

- BI1 ao pino 08 e seu comum ao pino 07.
- BI2 ao pino 09 e seu comum ao pino 10.
- BI3 ao pino 13 e seu comum ao pino 12.

A figura a seguir mostra o detalhe dessa ligação.

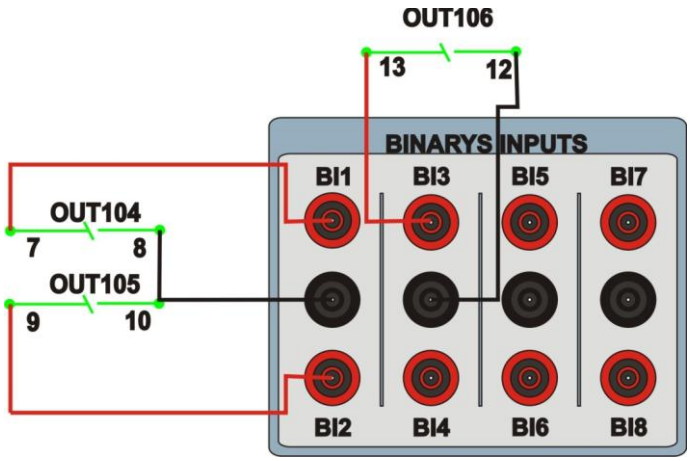

Figura 4

2. Comunicação com o relé SEL 421

Primeiramente abre-se o ***"AcSELerator QuickSet"*** e liga-se um cabo ethernet (ou serial) do notebook com o relé. Em seguida clica-se duas vezes no ícone do software.

Figura 5

Para realizar a leitura dos ajustes do relé clique no ícone destacado a seguir. Escolha as funções a serem lidas e em seguida clique em *"OK"*.

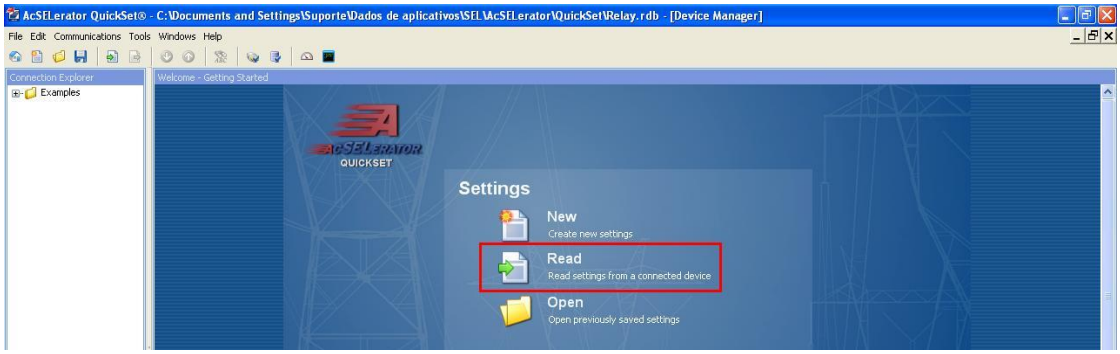

Figura 6

Figura 7

Caso o usuário opte por ler todas as funções certo tempo será exigido.

3. Parametrização do relé SEL 421

Os ajustes do *"Out-of-Step"* são de um exemplo que foi retirado do manual do relé sendo que no Apêndice C encontra-se toda a parte matemática desses ajustes. Os campos que estiverem destacados em vermelho são cruciais para que o teste ocorra de maneira adequada.

3.1. *General Global Settings*

Após a comunicação ser efetivada clique em *"Global"* e em seguida *"General Global Settings"*. Nessa aba ajustam-se os valores nominais de frequência (60 Hz) e sequência de fase (ABC).

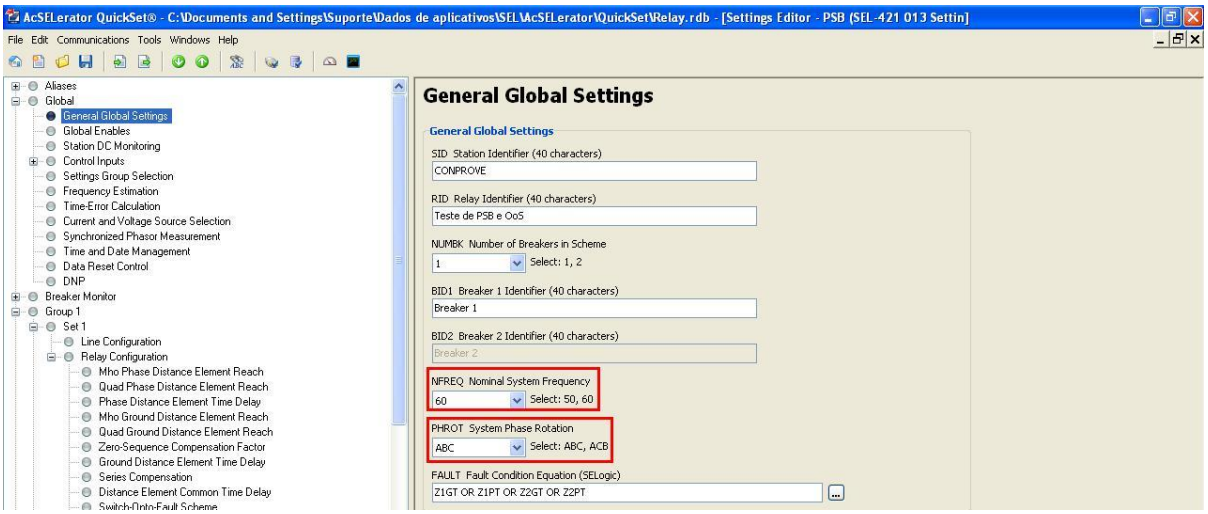

Figura 8

3.2. *Line Configuration*

Clique em *"Group 1"* (no sinal de *"+"*), *"Set 1"* (no sinal de *"+"* e em *"Line Configuration"*. Dessa maneira visualizam-se os ajustes das relações de transformação dos TPs e TCs, a impedância de sequência positiva da linha (8,00|87,6°Ω) e a impedância de sequência zero.

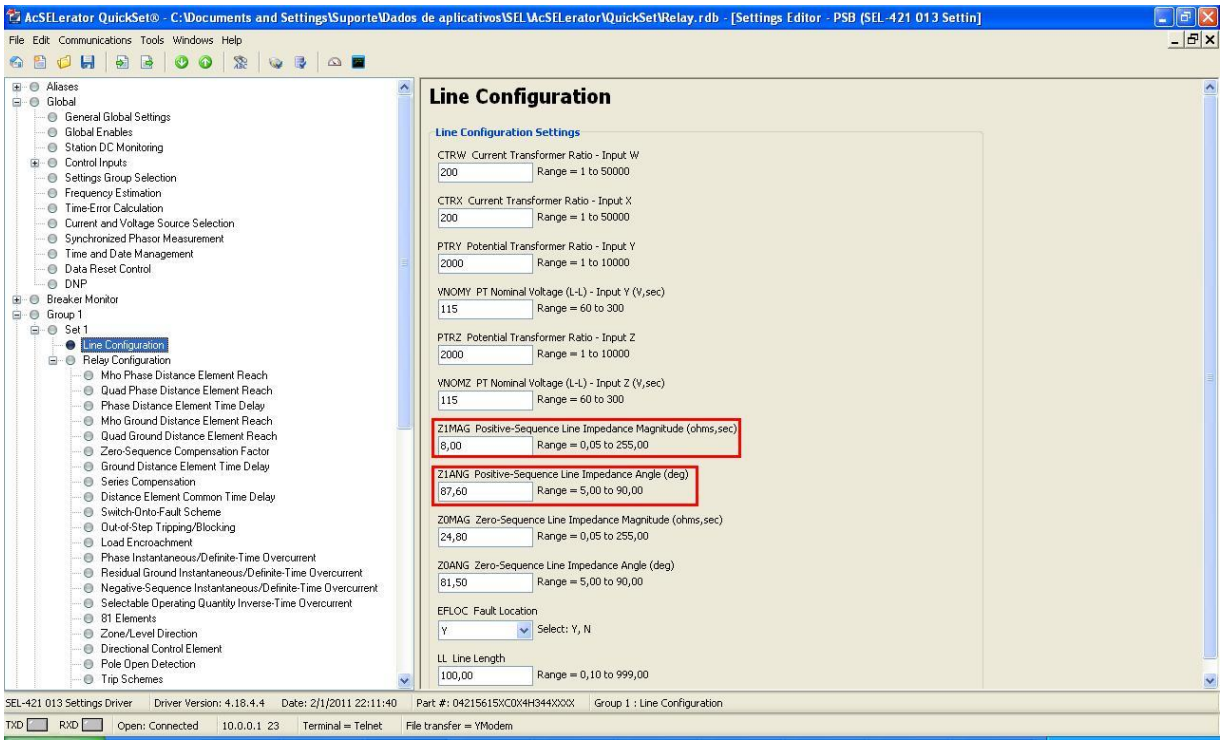

Figura 9

3.3. *Relay Configuration*

Nessa tela ajustam-se quais funções estão ativas. É de fundamental importância que o usuário desabilite as funções que não irão ser testadas de maneira a evitar falsas atuações. O relé da SEL permite que até 5 zonas sejam inseridas. Nesse exemplo, além da habilitação da função *"Out of Step"*, serão utilizadas 2 curvas com característica *"MHO"* para faltas fase-fase.

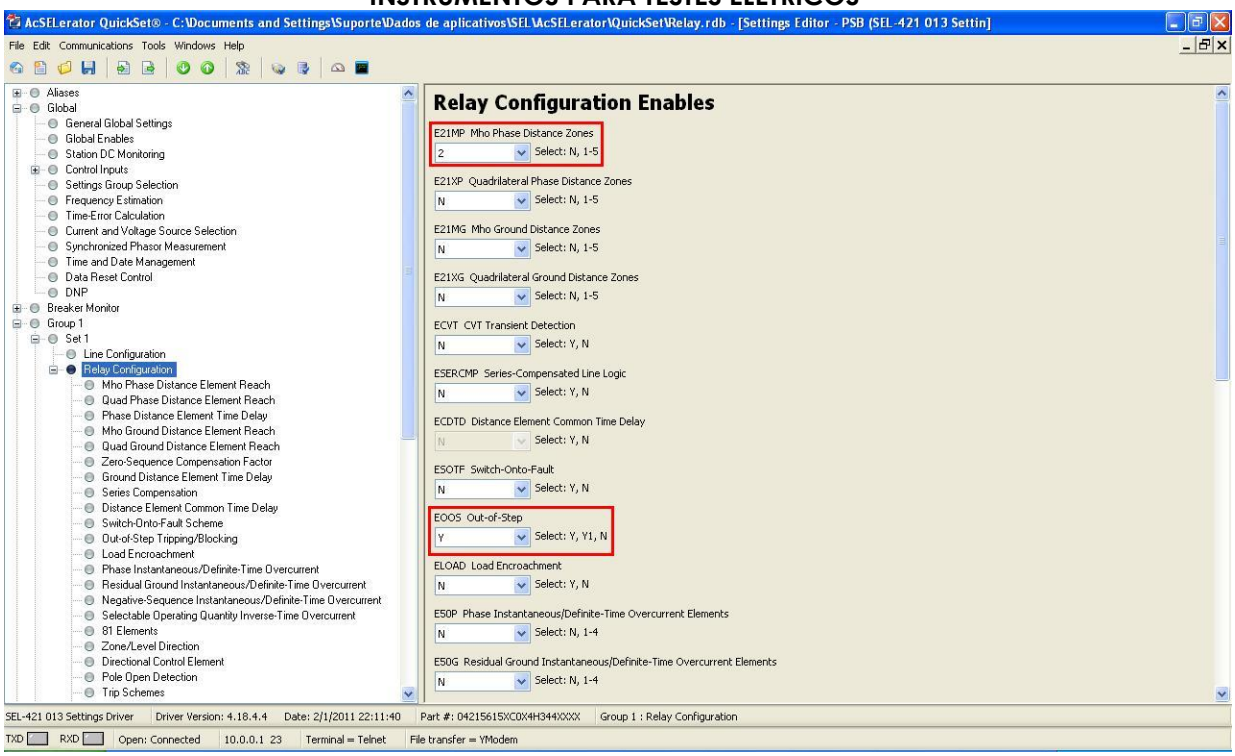

Figura 10

As outras funções (não mostradas) devem ser desabilitadas.

3.4. *Mho Phase Distance Element Reach*

Nesse campo ajustam-se os valores dos diâmetros das zonas *"MHO"*. Para zona 1 o valor de *"Z1MP"* é igual a 6,24Ω e para a zona 2 o *"Z2MP"* é igual a 9,36Ω.

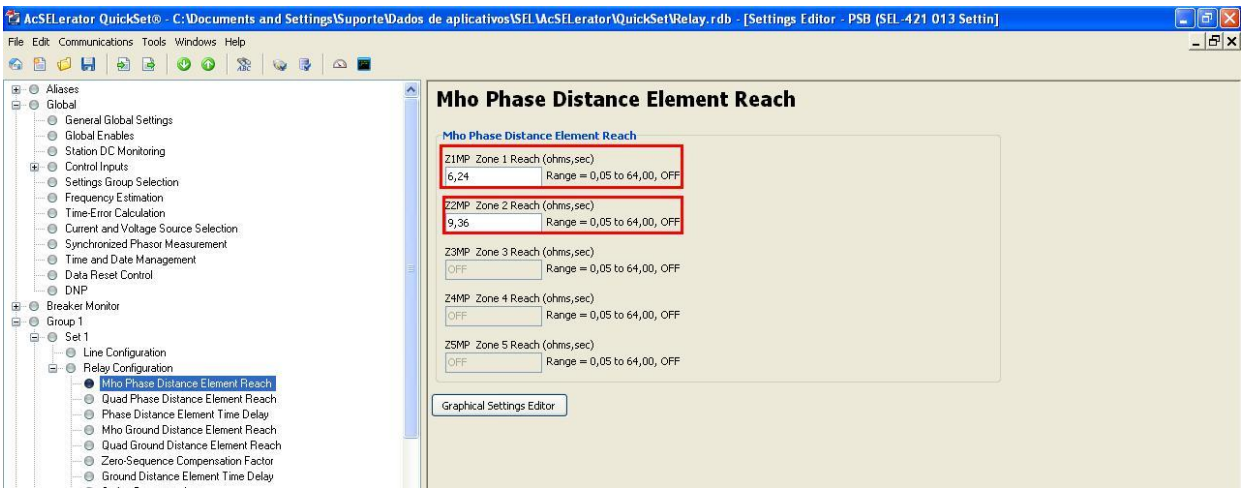

Figura 11

3.5. *Phase Distance Element Reach*

Nesse campo ajusta-se a temporização de cada zona. Sendo que a Zona 1 terá uma temporização de 3 ciclos e a Zona 2 uma temporização de 6 ciclos.

Figura 12

3.6. *Out-of-Step Tripping/Blocking*

Nessa aba ajustam-se os valores de resistência e impedância das zonas 6 e 7. Os cálculos desses parâmetros podem ser encontrados no apêndice C.

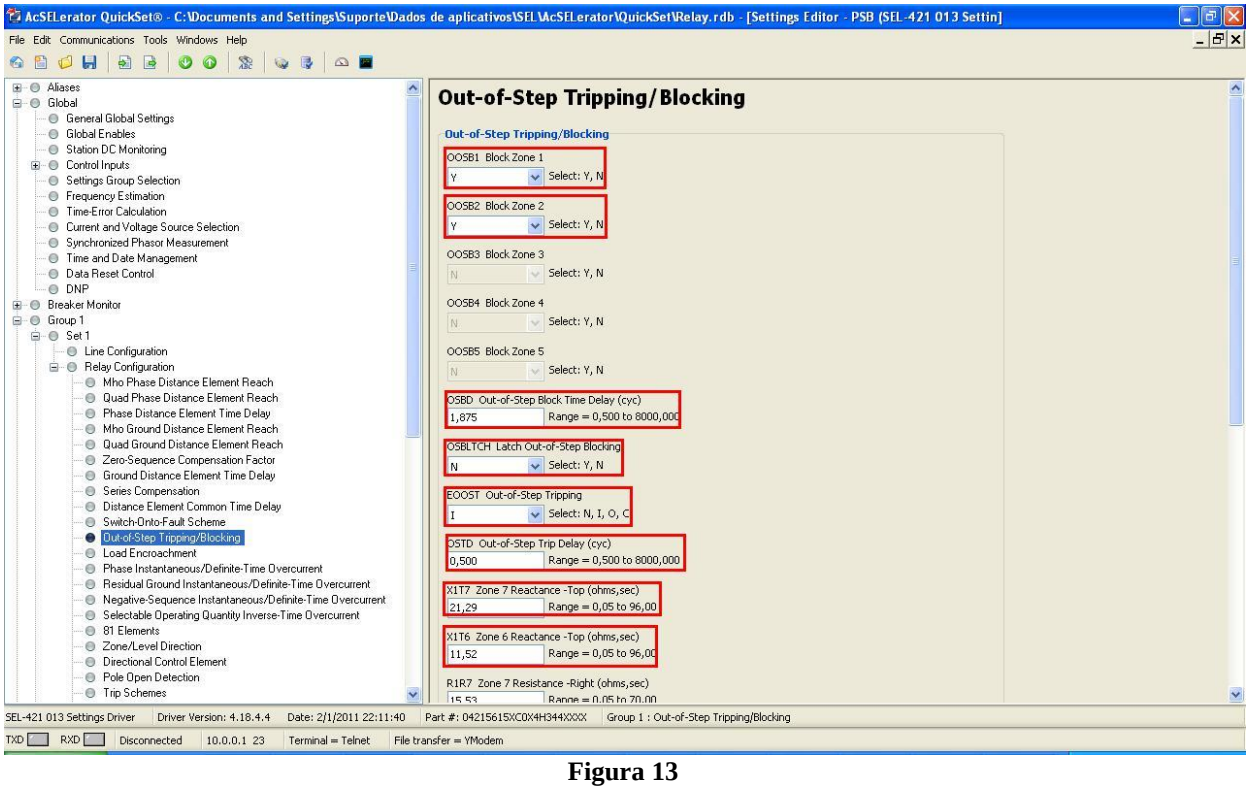

Figura 13

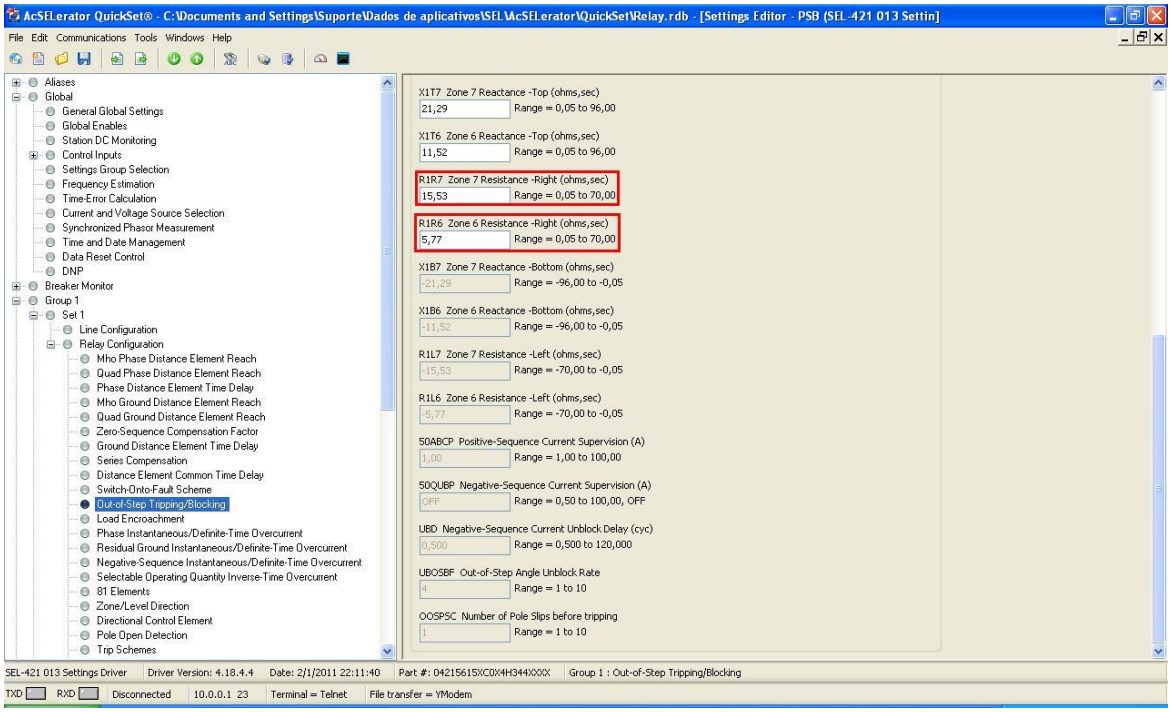

Figura 14

3.7. *Trip Logic*

Nesse campo ajustam-se os *"Relay Word Bits"*, que representam os sinais de atuação das zonas. Nesse caso foram escolhidas as atuações das zonas 1 e 2 de fase.

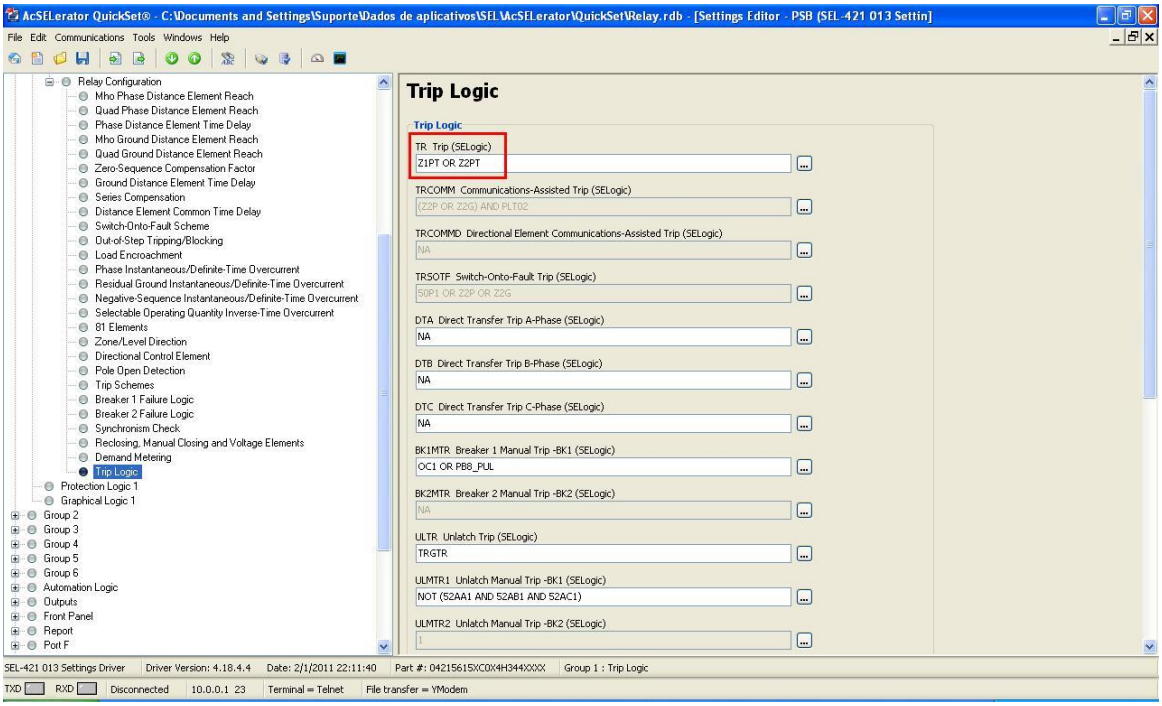

Figura 15

3.8. *Main Board*

Clique em *"Outputs"* e em seguida em *"Main Board"* para escolher qual saída será responsável pelo envio dos sinais de trip. Nesse caso utiliza-se a *"OUT 104"* para trip de distância a *"OUT 105"* para o trip do *"Out of Step"* (OoS) e a *"OUT106"* para o trip de bloqueio de *"Power Swing"* (PSB).

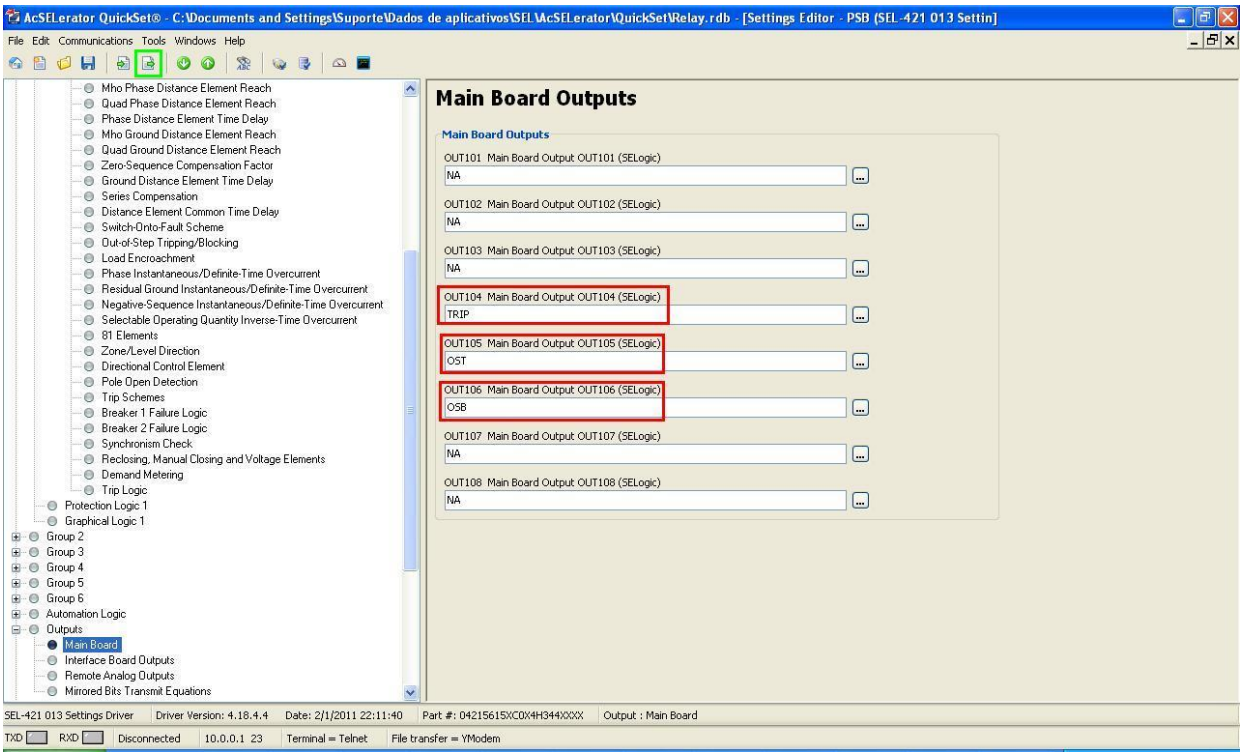

Figura 16

Após realizar todos os ajustes clique no ícone destacado em verde da figura anterior para enviar as modificações para o relé. A próxima figura mostra as opções que foram modificadas. Para enviar as mudanças clique em *"OK"*.

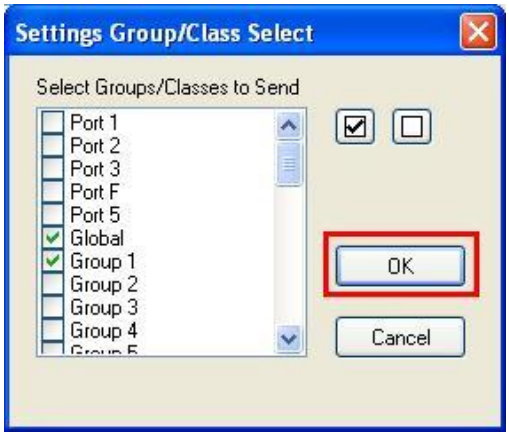

Figura 17

4. Ajustes do software PSB OoS

4.1 *Abrindo o PSB OoS*

Clique no ícone do gerenciador de aplicativos *"CTC"*.

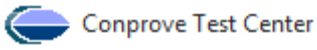

Figura 18

Efetue um clique no ícone do software *"PSB OoS"*.

Figura 19

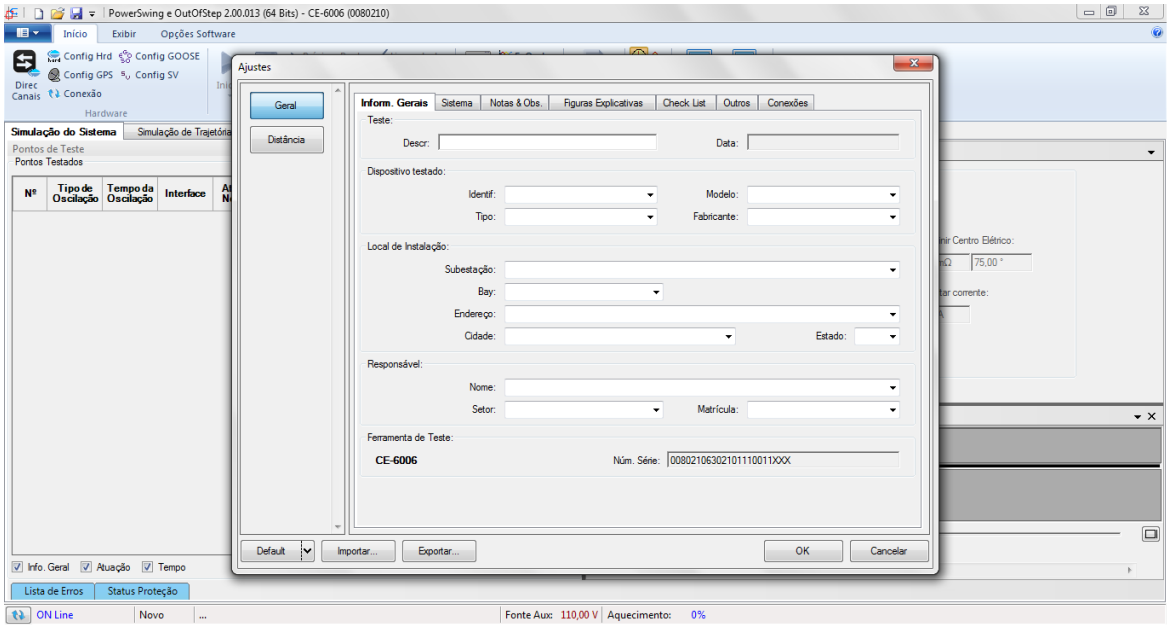

Figura 20

4.2 *Configurando os Ajustes*

Ao abrir o software a tela de *"Ajustes"* abrirá automaticamente (desde que a opção *"Abrir Ajustes ao Iniciar"* encontrado no menu *"Opções Software"* esteja selecionada). Caso contrário clique diretamente no ícone *"Ajustes"*.

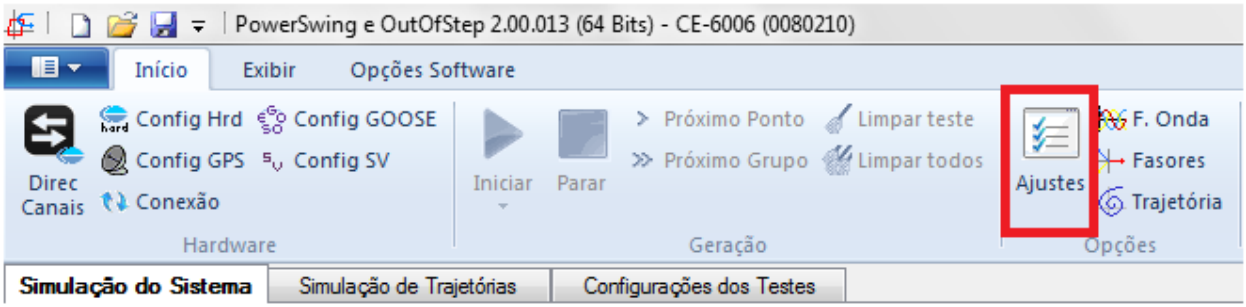

Figura 21

Dentro da tela de *"Ajustes"* preencha a aba *"Inform. Gerais"* com dados do dispositivo testado, local da instalação e o responsável. Isso facilita a elaboração relatório sendo que essa aba será a primeira a ser mostrada.

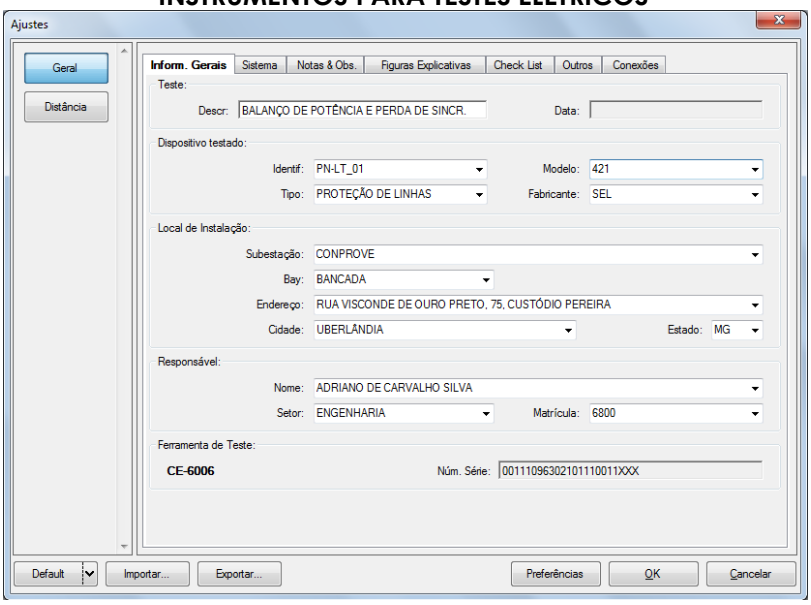

Figura 22

4.3 *Sistema*

Na tela a seguir dentro da sub aba *"Nominais"* são configurados os valores de frequência, sequencia de fase, tensões primárias e secundárias, correntes primárias e secundárias, relações de transformação de TPs e TCs. Existe ainda duas sub abas *"Impedância"* e *"Fonte"* cujos dados não são relevantes para esse teste.

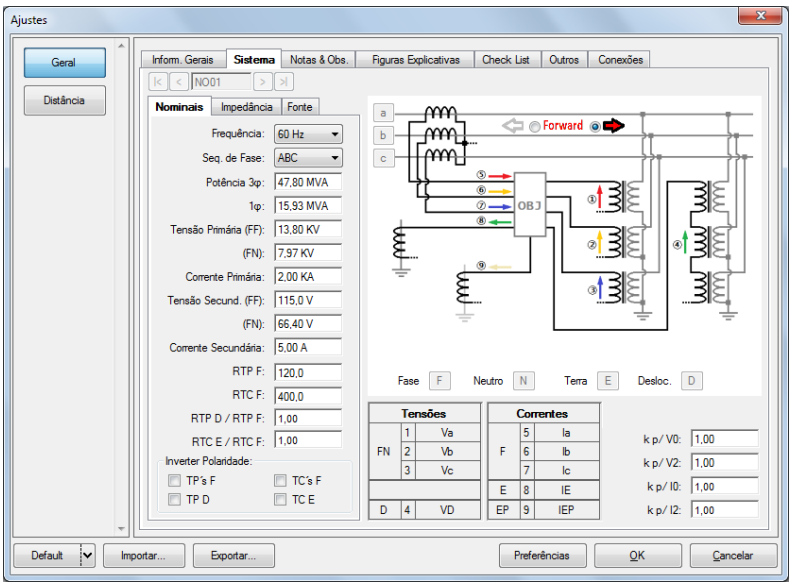

Figura 23

Existem outras abas onde o usuário pode inserir notas e observações, figuras explicativas, pode criar um *"check list"* dos procedimentos para realização de teste e ainda criar um esquema com toda a pinagem das ligações entre mala de teste e o equipamento de teste.

5. Ajustes Distância

5.1. *Tela Distância > Ajuste Prot. Distância*

O primeiro passo é ajustar o comprimento e ângulo da linha. Não é necessário ajustar o fator de compensação de terra.

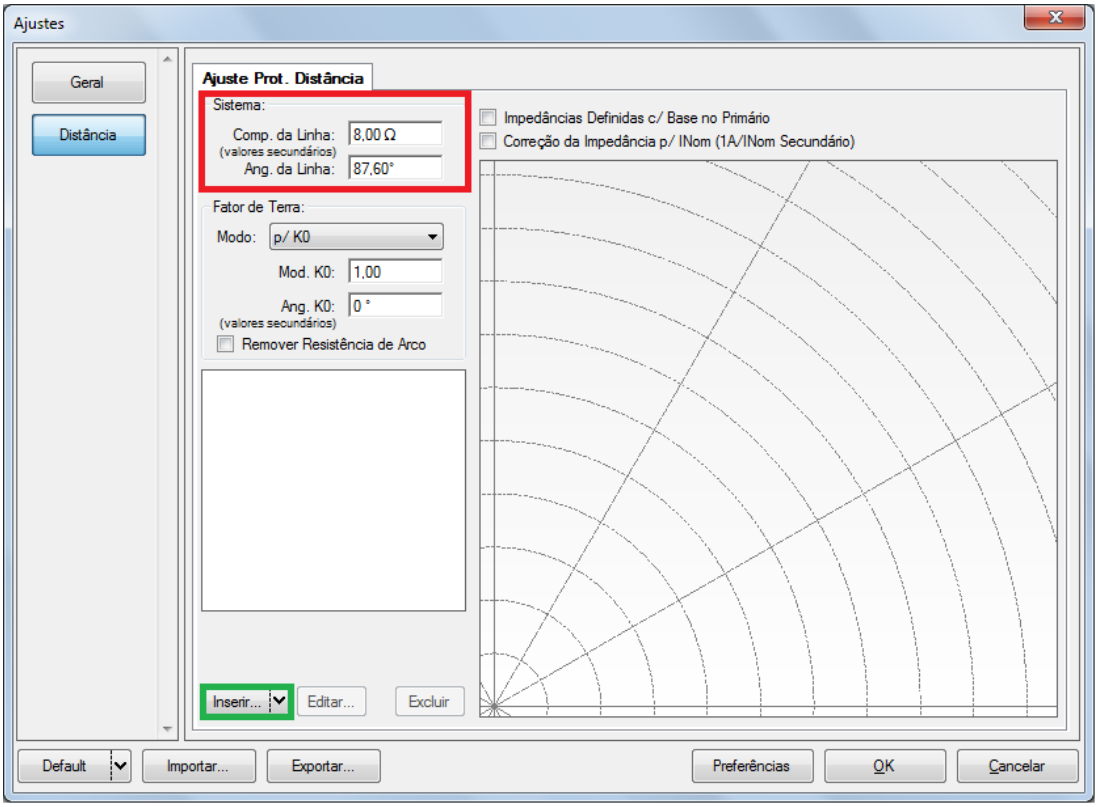

Figura 24

5.2. *Inserindo as Zonas (Fase-Fase)*

A primeira zona a ser inserida será a zona-1 (FF). Clique no campo *"Inserir"* destacado na cor verde da figura anterior. Na tela de ajustes, primeiramente escolher-se a máscara do relé *"SEL 421 Mho."*. Deve-se ajustar o tempo de atuação, escolher o tipo de falta (*"loop"*) e inserir as características da zona. Após as configurações clique em *"OK"*.

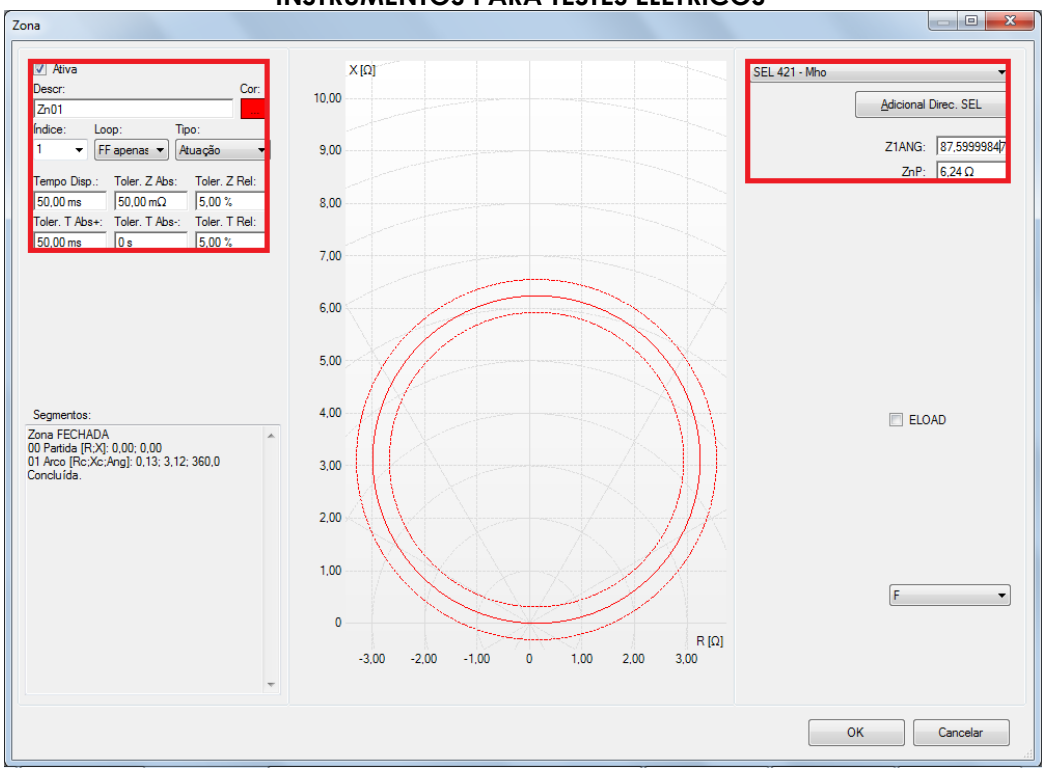

Figura 25

Clicando em *"inserir"* ajustam-se os valores para zona 2.

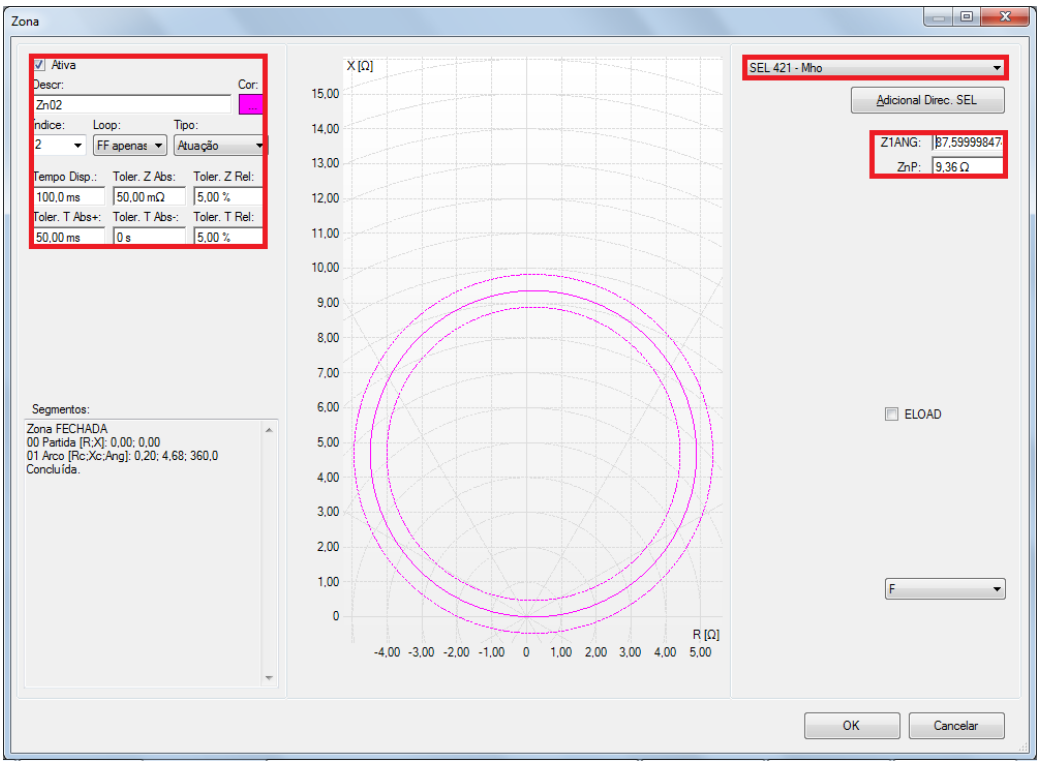

Figura 26

5.3 *Inserindo os Blinders*

Clicando em *"Inserir"* novamente ajustam-se os valores de duas zonas com características quadrilaterais para representar os *"blinders"* sendo um interno e um externo. Dependendo do tempo que a trajetória de impedância levar para passar entre os dois *"blinders"* o relé decide qual ação deverá tomar.

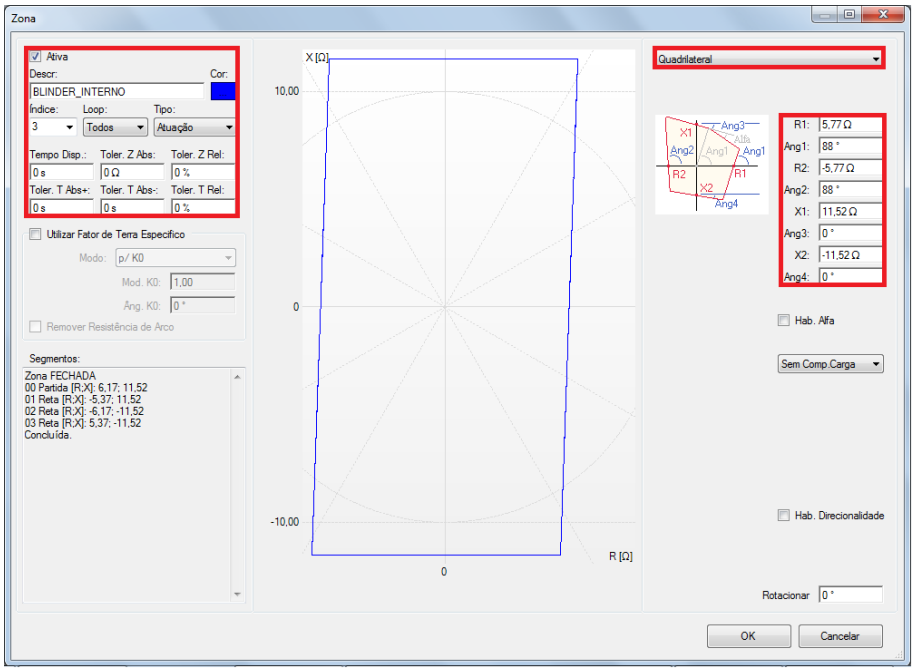

Figura 27

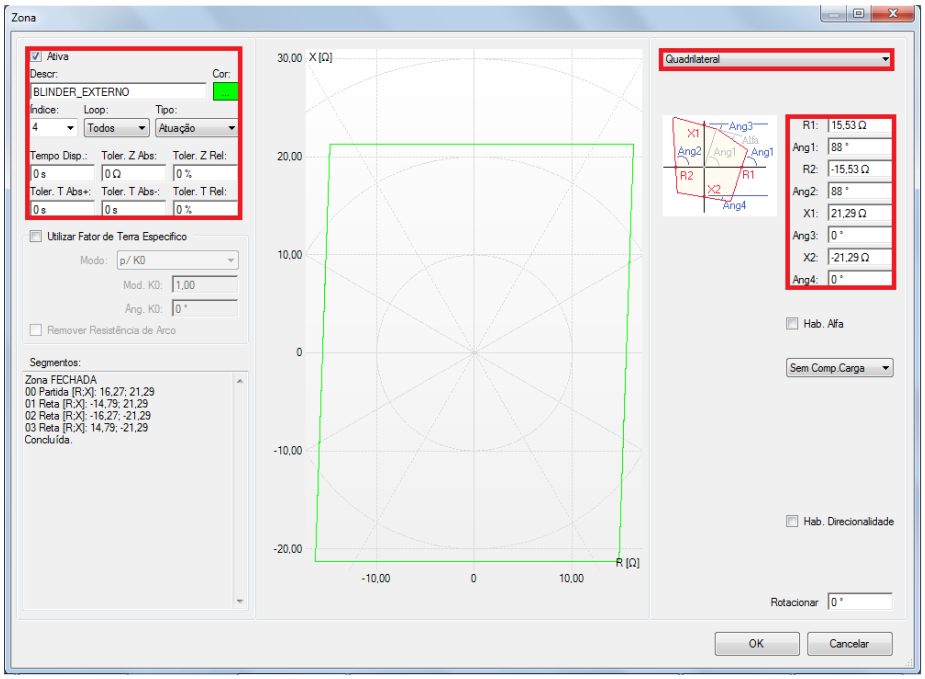

Figura 28

6. Configurações de Hardware

No menu *"Início"* clique no botão *"Config Hrd."* para configurar a fonte de alimentação, estipular a configuração dos canais de gerações e o método de parada das binárias de entrada.

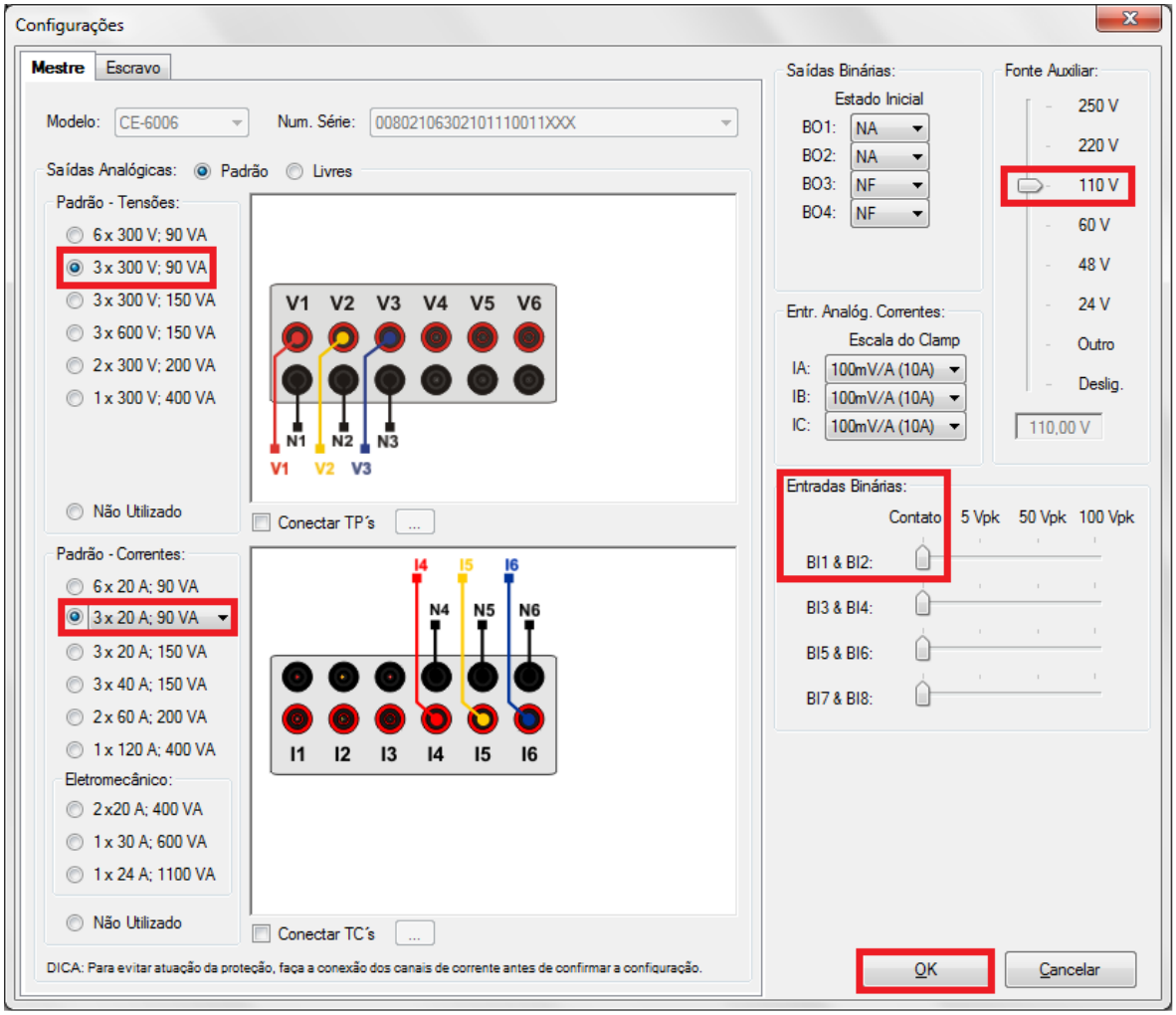

Figura 29

7. Direcionamento de Canais

Após realizar a configuração do hardware clique no ícone destacado para associar os canais criados com os nós de modo automático. Escolha para isso a opção *"Básico"*.

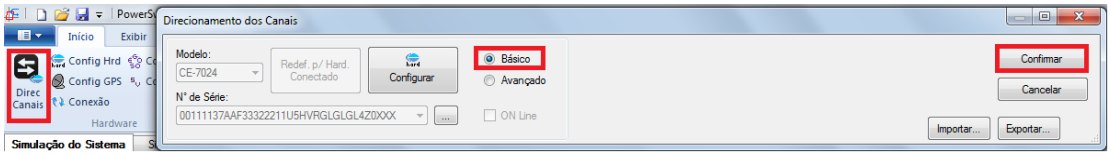

Figura 30

8. Restauração do Layout

Devido a grande flexibilidade que o software apresenta permitindo que o usuário escolha quais janelas sejam apresentadas e em qual posição utiliza-se o comando para restaurar as configurações padrões. Clique no botão *"Layout"* e em seguida em *"Recriar Gráficos"* repita o processo clicando em *"Layout"* e em *"Restaurar Layout"*. No decorrer do teste são excluídas as janelas que não sejam relevantes.

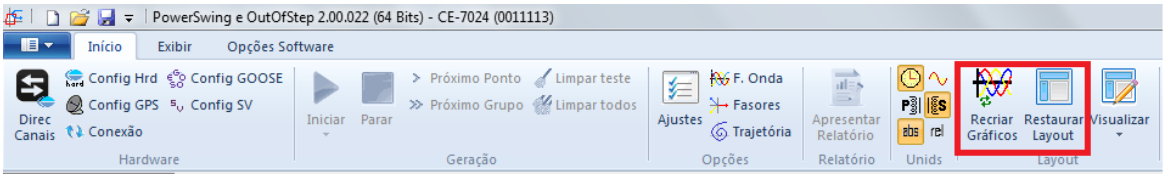

Figura 31

9. Estrutura do teste para as funções PSB_OoS

9.1 *Configurações dos Testes*

Clicando na aba *"Configurações dos Testes"* designam-se os canais de geração e as saídas binárias.

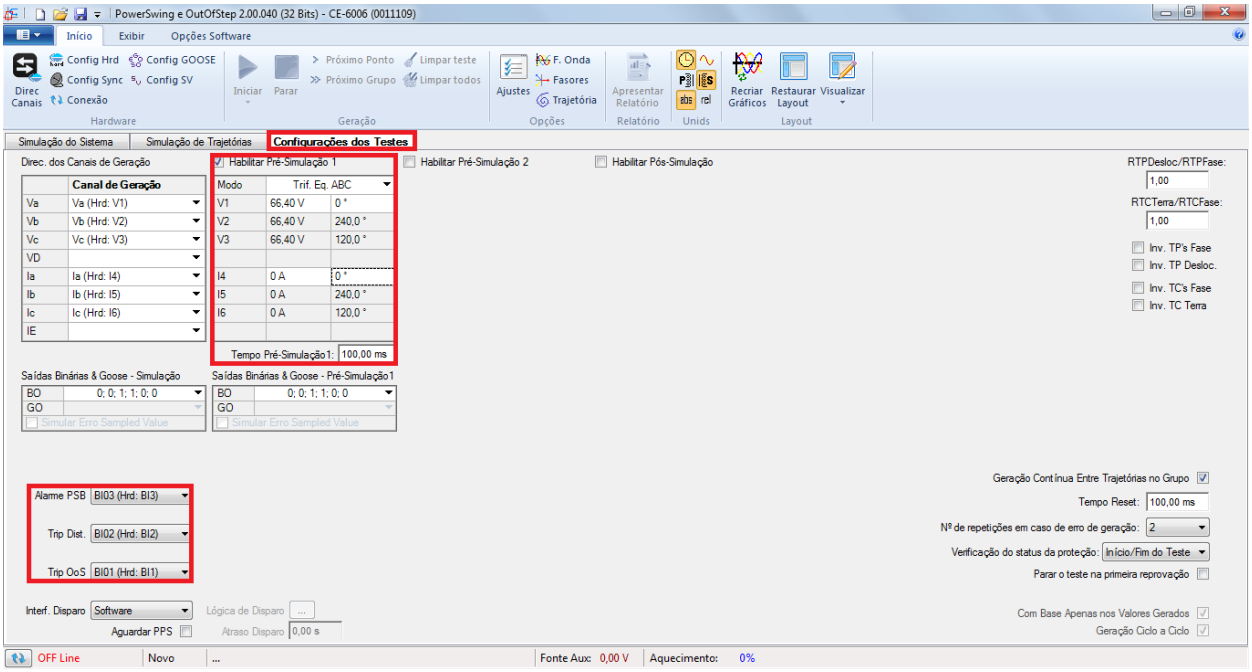

Figura 32

9.2. *Simulação de Trajetórias*

O teste simulação de Trajetória possibilita criar os mesmos testes da Simulação do Sistema, entretanto possui a grande vantagem de não ser amarrado às configurações reais do sistema, de modo que o usuário possui total liberdade para controlar a trajetória de impedância (*"dZ/dt"*). Para realizar o cálculo do *"dZ/dt"* foram inseridas as zonas 6 e 7.

.

9.3. *Simulação de Trajetórias Oscilação Síncrona*

No teste a seguir simula-se uma oscilação síncrona, onde a atuação do Alarme do Power Swing é esperada. Para realizar o teste clique em *"Nova Trajetória"* em seguida escolha o número de pontos, os valores da impedância e do ângulo. É importante salientar que esses pontos podem ser obtidos apenas clicando no gráfico, de forma a produzir a trajetória. O passo seguinte é inserir a taxa de variação da impedância que deve ser diferente de "0". Escolha o valor de *"dZ/dt"* igual a 287,28Ω.

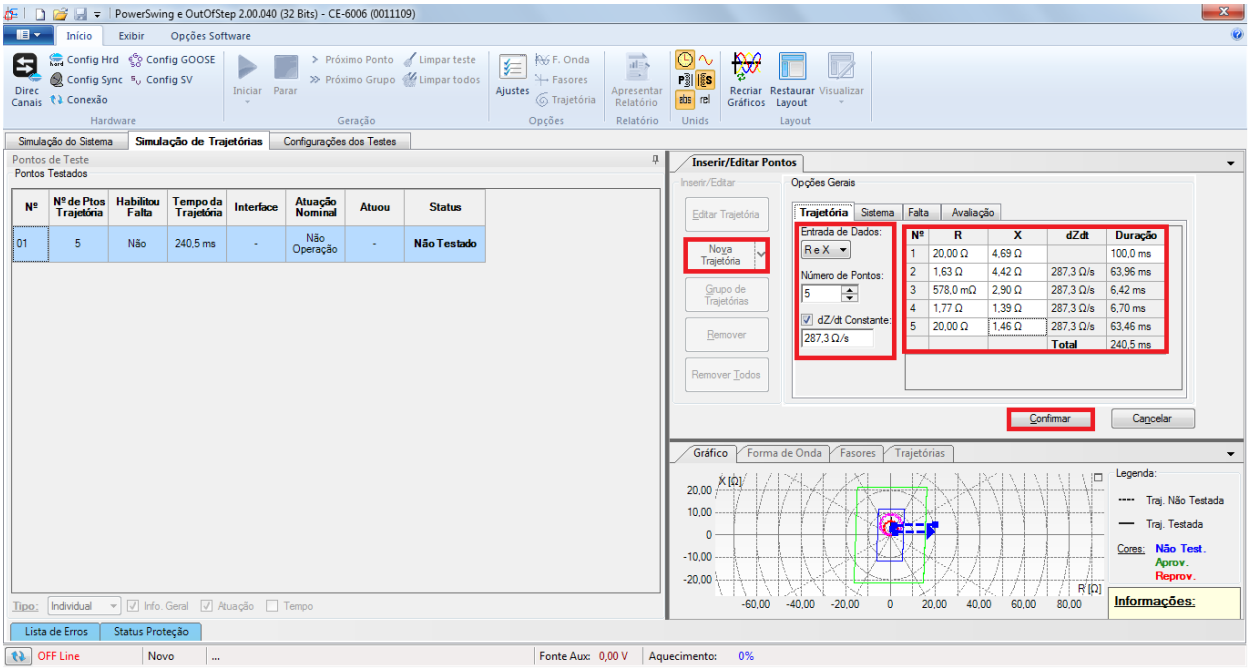

Figura 33

Para encontrar o valor de *"dZ/dt"* o primeiro passo é calcular o módulo da trajetória entre a zona 6 e 7. Para isso efetue um zoom no gráfico no local onde a trajetória intercepta a zona 7. Posicionando o mouse nesse ponto verifica-se o valor de módulo e ângulo. Na figura a seguir destaca-se o ponto e o valor.

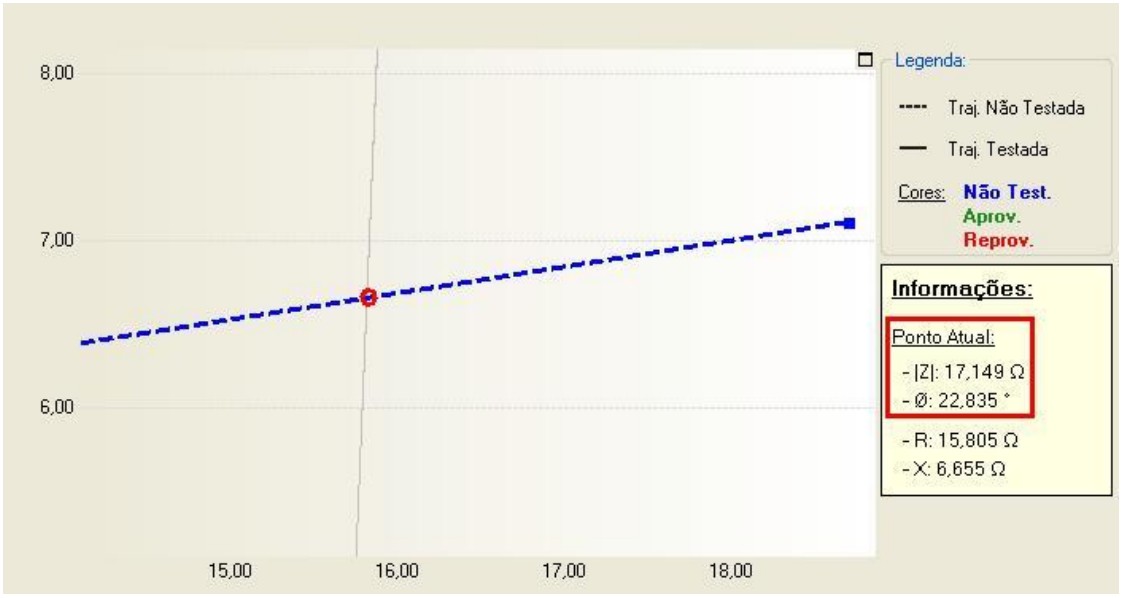

Figura 34

A figura a seguir mostra o ponto que intercepta a zona 6.

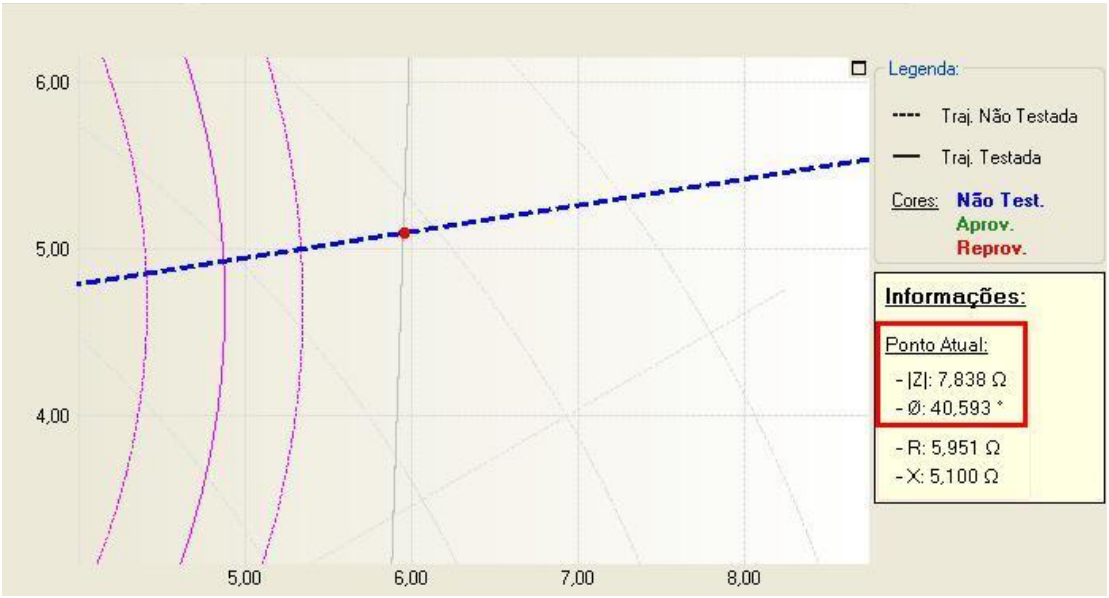

Figura 35

Fazendo a subtração dos dois pontos:

$$Z = (17{,}149|22{,}835°) - (7{,}838|40{,}593°)$$
$$\mathrm{Z} = (9{,}975|8{,}960°)\Omega$$

A distância entre a zona 7 e zona 6 é de 9,975Ω.

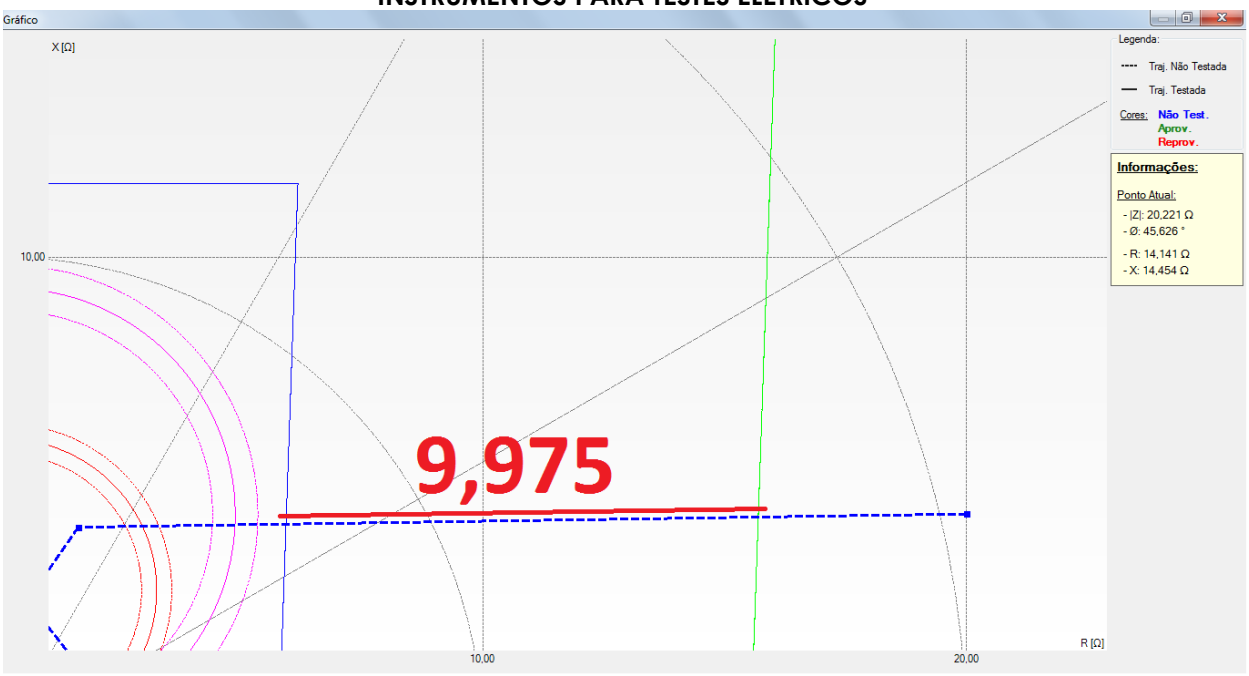

Figura 36

Sabendo que o tempo em segundos do *"OSTD"* é igual a 8,33ms e do *"OSBD"* é igual a 31,25ms chega-se a:

$$\frac{\mathrm{dZ}}{\mathrm{dtOSTD}} = \frac{9.975}{8{,}33\mathrm{m}} = 1197{,}47\,{}^{\Omega}/_{\mathrm{s}}$$

$$\frac{\mathrm{dZ}}{\mathrm{dtOSBD}} = \frac{9.975}{31{,}25\mathrm{m}} = 319{,}2\,{}^{\Omega}/_{\mathrm{s}}$$

Para atuação do *"Power Swing"* qualquer valor menor que os 319,2Ω/s pode ser utilizado. Nesse teste foi utilizado um valor 10% menor para garantir o bloqueio por PSB.

$$\frac{dZ}{dtAjuste} = 319{,}2 \times 0{,}9 = 287{,}28\,{}^{\Omega}/_{s}$$

Com essa variação garante-se que o tempo gasto para que a trajetória da impedância atravesse as zonas 7 e 6 supere o tempo de 31,25ms de modo a ocorrer o bloqueio. O passo seguinte é parametrizar a aba *"Sistema"*.

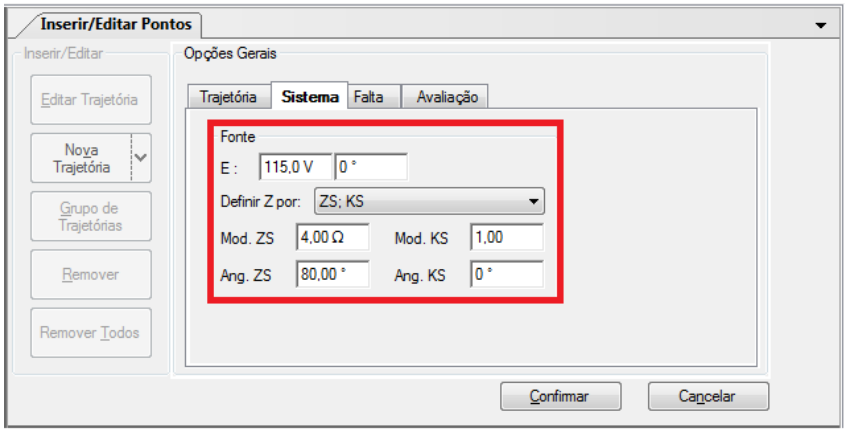

Figura 37

Não é necessário fazer nenhum ajuste na aba *"Falta"*. O próximo passo na aba *"Avaliação"* é marcar o campo de *"Atuação"* para *"Sim"* e a *"Interface"* para *"Alarme PSB"*.

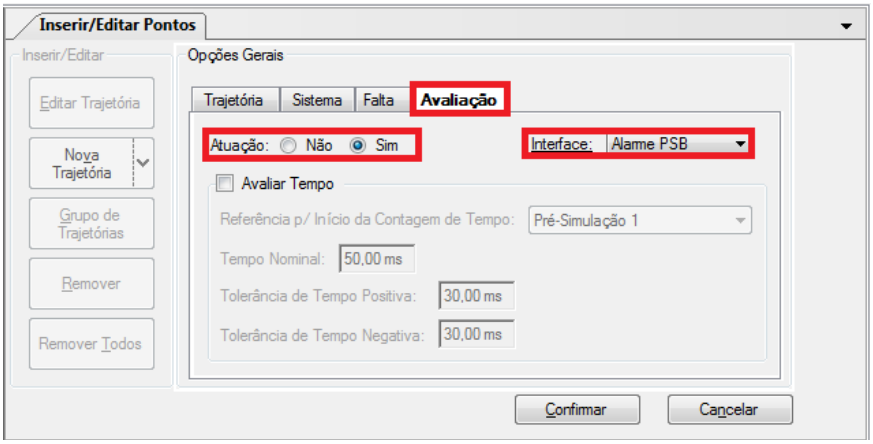

Figura 38

Em seguida clique em confirmar e mande gerar o teste através do atalho *"Alt + g"* ou pelo ícone . Após o término do teste pode-se visualizar as formas de onda, atuação das entradas binárias e as trajetórias de impedância e potência. Para isso clique em *"Trajetória de Impedância e Potência"*.

Figura 39

Na tela a seguir mostra a trajetória da impedância.

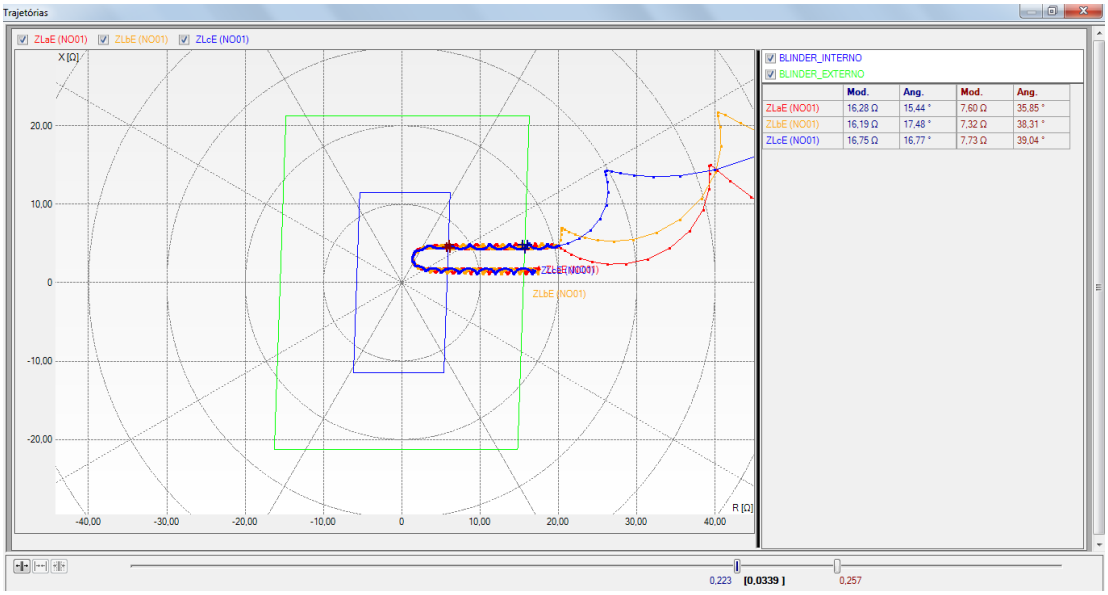

Figura 40

Resultado final do teste.

Nº	Nº de Ptos Trajetória	Habilitou Falta	Tempo da Trajetória	Interface	Atuação Nominal	Atuou	Status
01	5	Não	240,5 ms	Alarme PSB	Operação	Sim	Aprovado

Figura 41

9.4. *Simulação de Trajetórias Oscilação Assíncrona*

Para verificar a atuação do trip do *"OoS"* utiliza-se a mesma distância entre as zonas 6 e 7. Para isso clique no ícone *"Nova Oscilação"*, utilize os dois primeiros pontos do teste anterior, altere o terceiro ponto e não utilize o quarto e quinto pontos.

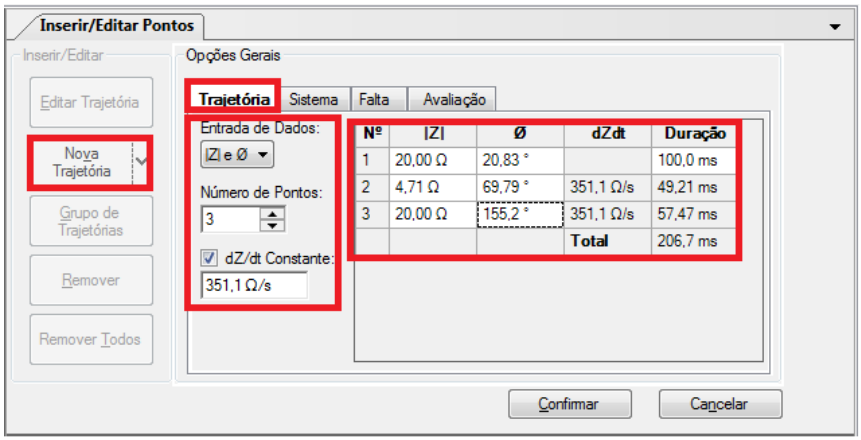

Figura 42

Conforme os cálculos apresentados anteriormente, a faixa de valores que *"dZ/dt"* pode assumir para esse teste é:

$$319{,}2\,{}^{\Omega}/_{s} \leq \frac{dZ}{dtAjuste} \leq 1197.47\,{}^{\Omega}/_{s}$$

Portanto um valor 10% maior que $319{,}2\,{}^{\Omega}/_{s}$, foi utilizado:

$$\frac{dZ}{dtAjuste} = 319{,}2 \times 1{,}1 = 351{,}12\,{}^{\Omega}/_{s}$$

O próximo ajuste é no campo *"Avaliação"* onde deverá ser marcada a *"Atuação"* para *"Sim"* e a *"Interface"* para *"Trip OoS"*.

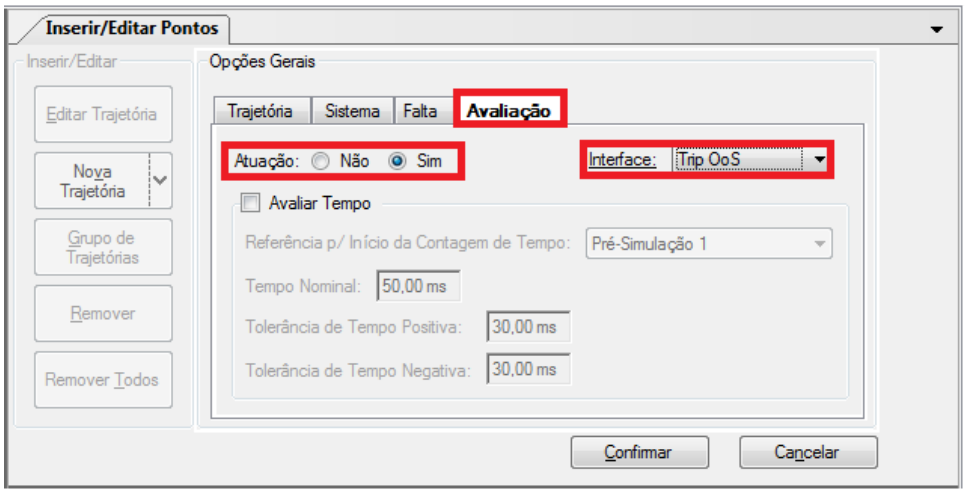

Figura 43

Em seguida clique em confirmar e mande gerar o teste através do atalho *"Alt + g"* ou pelo ícone . Após o término do teste pode-se visualizar as formas de onda, atuação das entradas binárias e as trajetórias de impedância e potência. Para isso clique em *"Trajetória de Impedância e Potência"*.

Figura 44

Na tela a seguir mostra a trajetória da impedância.

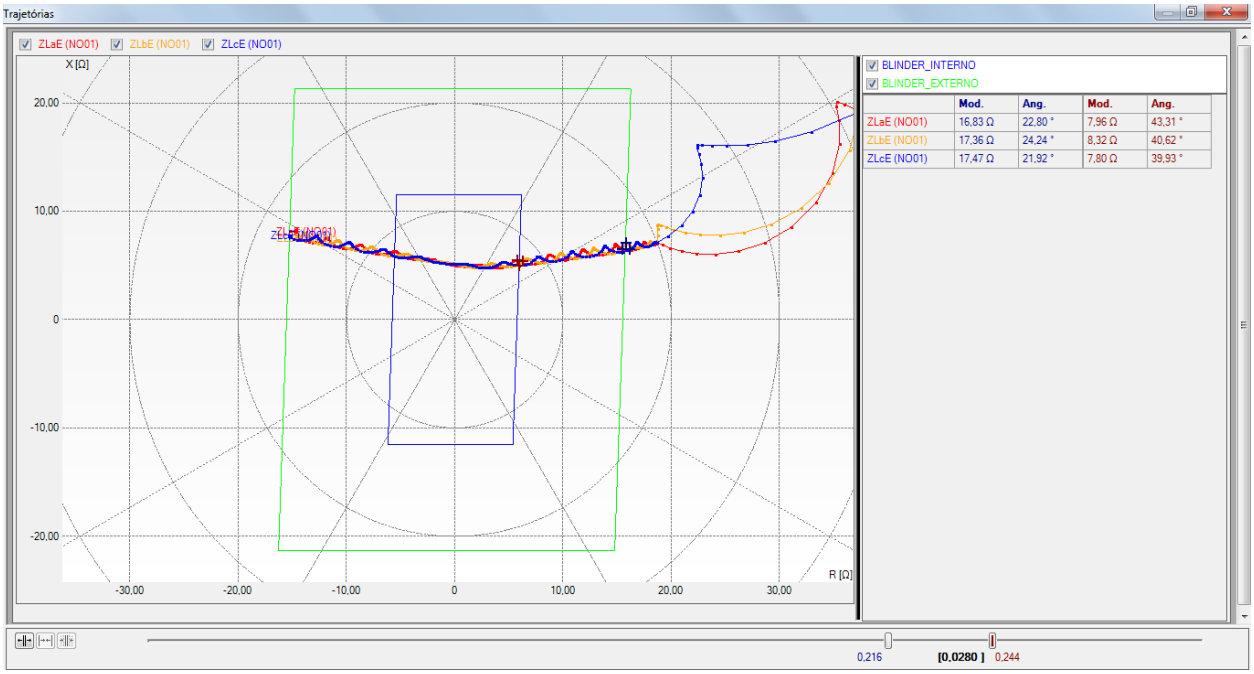

Figura 45

Resultado final do teste.

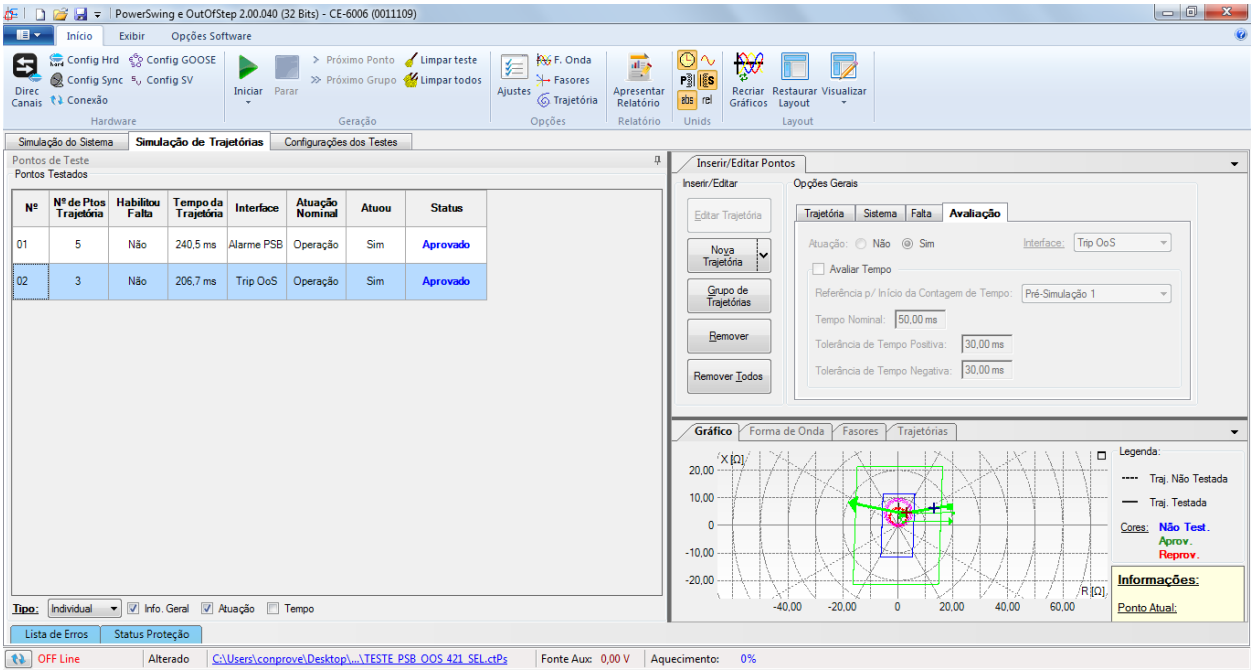

Figura 46

9.5. *Simulação de Trajetórias Oscilação Assíncrona com falta A-B*

Nesse teste verifica-se a atuação do trip de distância. Simula-se uma oscilação assíncrona em seguida uma falta A-B. Para isso clique em *"Nova Oscilação"*. Na aba *"Trajetória"* faça os seguintes ajustes.

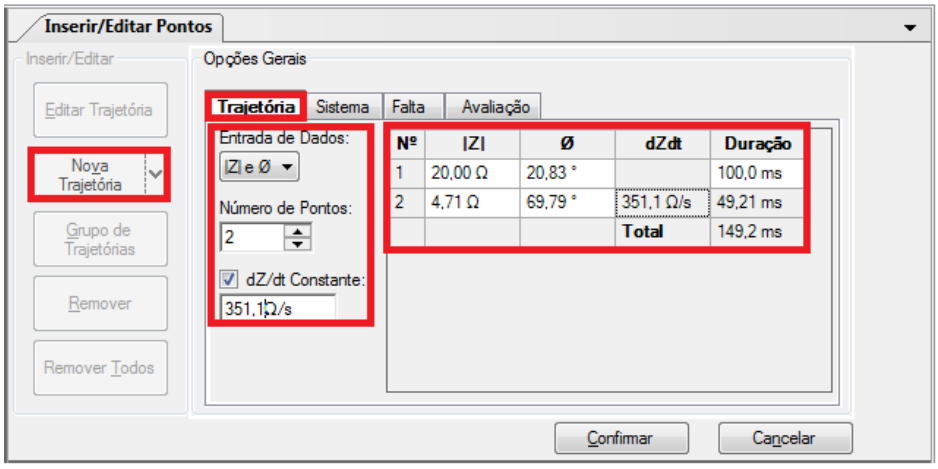

Figura 47

O próximo passo é ajustar a falta, portanto clique na aba *"Falta"* e em seguida em *"Habilitar Falta"*. Ajuste o valor da *"Corrente Constante"* para 5A e o tempo de duração da falta para 200ms. O tempo da falta deve ser sempre maior que a temporização da zona de proteção. Nesse caso o tempo de atuação para zona 1 é de 50ms. Outro detalhe é o *"Local da Falta"* que deve ser ajustado para 0,1 garantindo que a falta ocorra na zona 1.

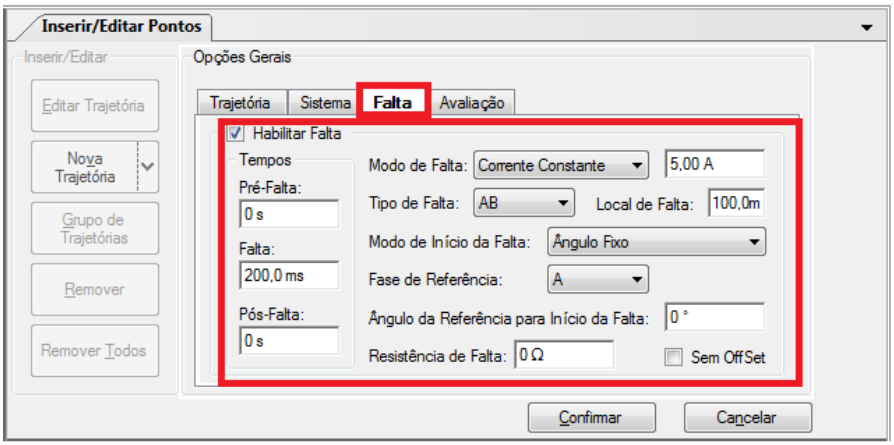

Figura 48

Na aba *"Avaliação"* marca-se o campo de *"Atuação"* para *"Sim"* e a *"Interface"* para *"Trip Dist."*.

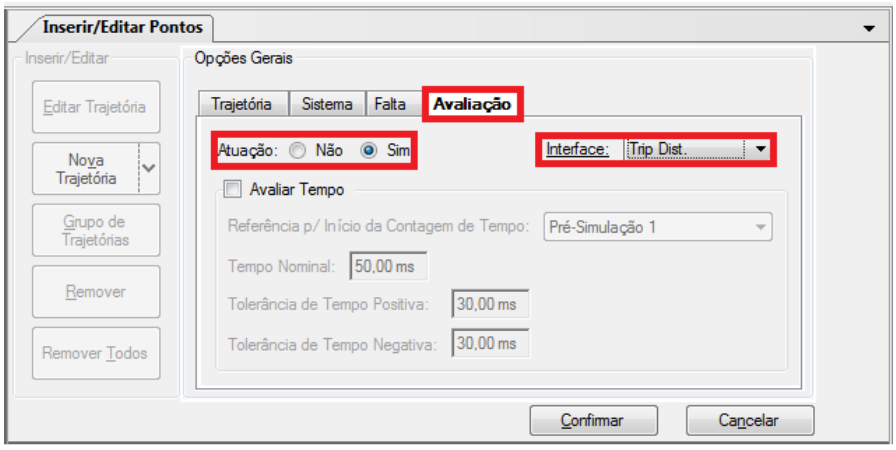

Figura 49

Em seguida clique em confirmar e mande gerar o teste através do atalho *"Alt + g"* ou pelo ícone . Após o término do teste pode-se visualizar as formas de onda, atuação das entradas binárias e as trajetórias de impedância e potência. Para isso clique em *"Trajetória de Impedância e Potência"*.

Figura 50

Na tela a seguir mostra a trajetória da impedância.

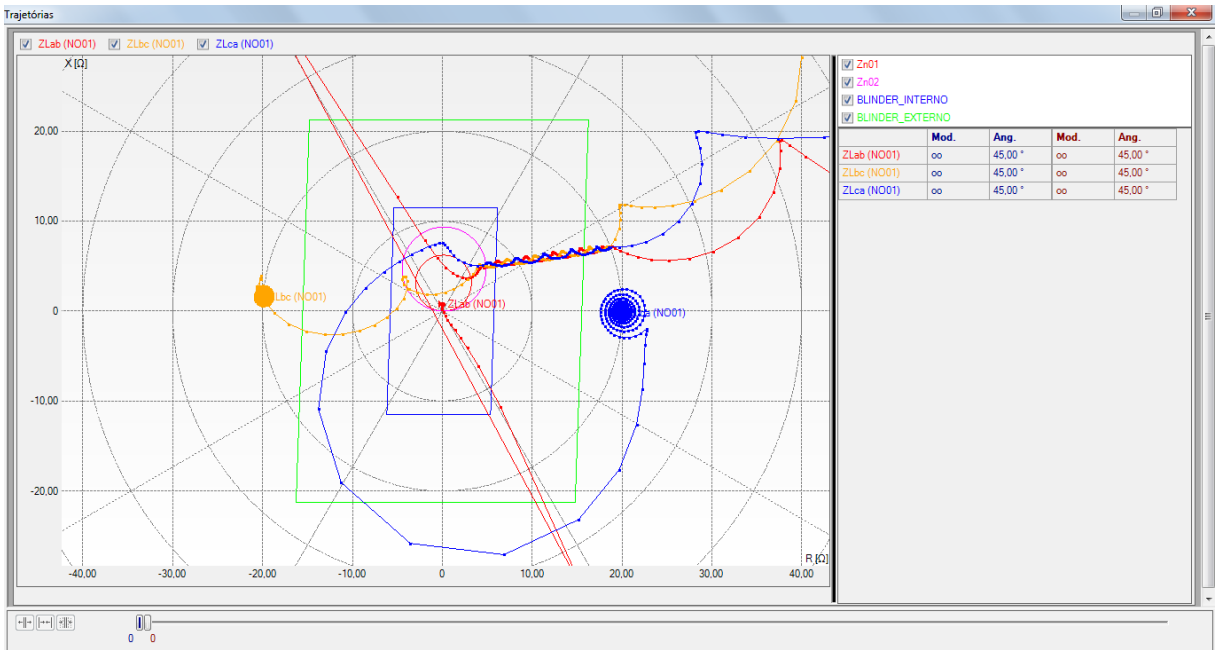

Figura 51

Resultado final do teste:

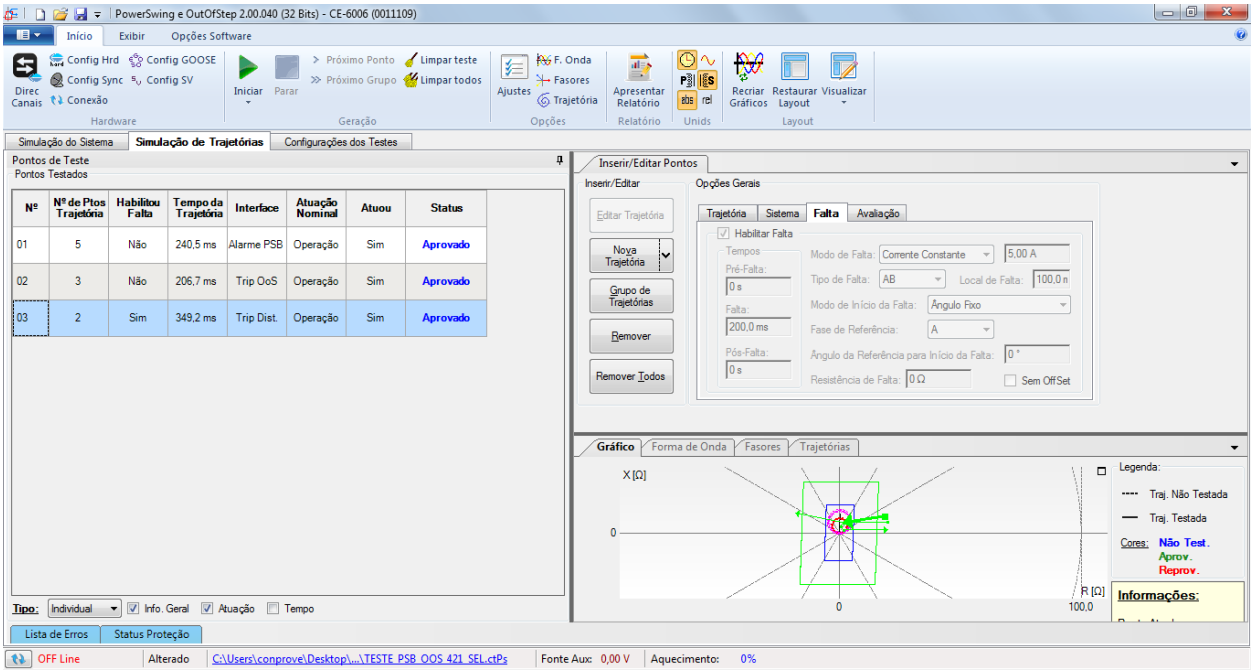

Figura 52

10. Relatório

Após finalizar o teste clique no ícone destacado na figura anterior ou através do comando *"Ctrl +R"* para chamar a tela de pré-configuração do relatório. Escolha a língua desejada assim como as opções que devem fazer parte do relatório.

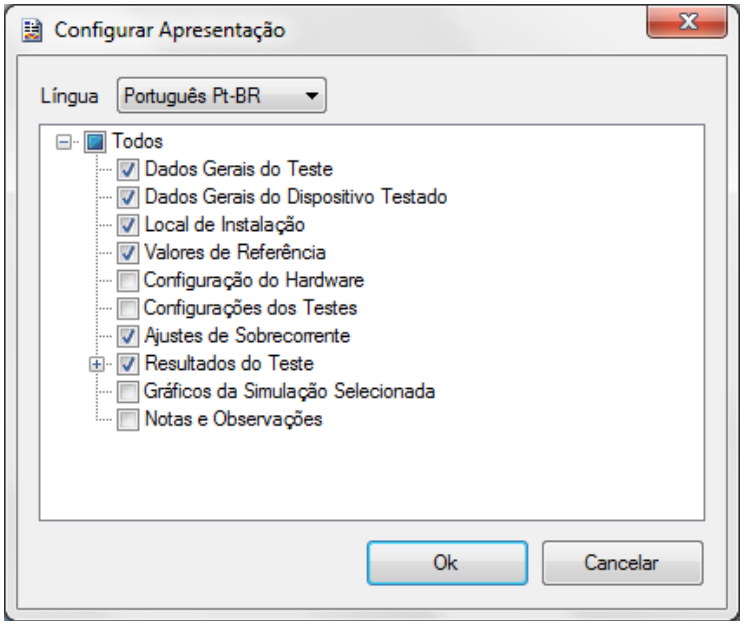

Figura 53

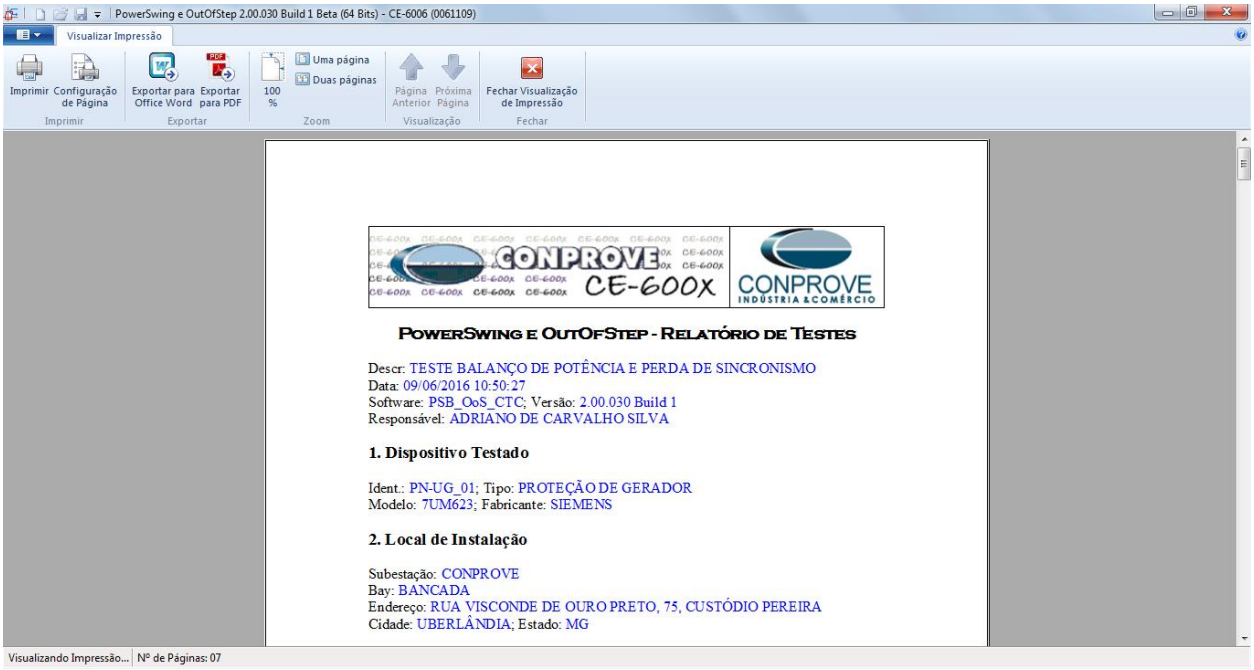

Figura 54

APÊNDICE A

A.1 Designações de terminais

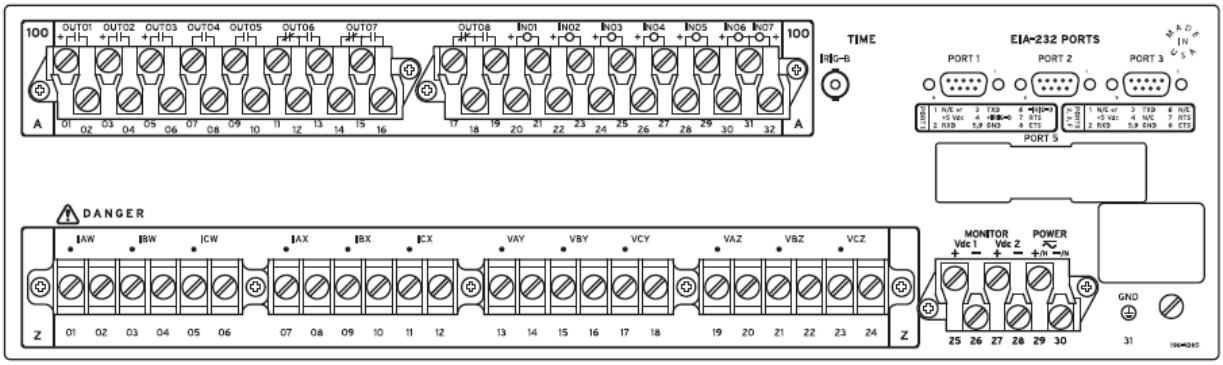

Figura 55

A.2 Dados Técnicos

Out-of-Step Elements

Blinders (R1) Parallel to the Line Angle

5 A Model:	0.05 to 70 Ω secondary –0.05 to –70 Ω secondary
1 A Model:	0.25 to 350 Ω secondary –0.25 to –350 Ω secondary

Blinders (X1) Perpendicular to the Line Angle

5 A Model:	0.05 to 96 Ω secondary –0.05 to –96 Ω secondary
1 A Model:	0.25 to 480 Ω secondary –0.25 to –480 Ω secondary

Accuracy (Steady State)

5 A Model:	±5% of setting plus ±0.01 A for SIR (source to line impedance ratio) < 30 ±10% of setting plus ±0.01 A for 30 ≤ SIR ≤ 60
1 A Model:	±5% of setting plus ±0.05 A for SIR (source to line impedance ratio) < 30 ±10% of setting plus ±0.05 A for 30 ≤ SIR ≤ 60
Transient Overreach:	<5% of setting *plus* steady-state accuracy

Positive-Sequence Overcurrent Supervision

Setting Range

5 A Model:	1.0–100.0 A, 0.01 A steps
1 A Model:	0.2–20.0 A, 0.01 A steps

Accuracy

5 A Model:	±3% of setting plus ±0.05 A
1 A Model:	±3% of setting plus ±0.01 A

APÊNDICE B

Equivalência de parâmetros do software e o relé em teste.

Tabela 1

Software PSB_OoS		Relé SEL 421	
Parâmetro	**Figura**	**Parâmetro**	**Figura**
Zn1		**Mho Phase Distance Element Reach**	
Z1ANG	**23**	**Positive – Sequence Line Impedance Angle**	**09**
ZnP	**23**	**Z1MP Zone 1 Reach**	**11**
Tempo Disp	**23**	**Z1PD Zone 1 Time Delay**	**12**
Zn6_OoS		**Mho Phase Distance Element Reach**	
R1	**54**	**R1R6 Zone 6 Resistance - Right**	**14**
R2	**54**	**R1R6 Zone 6 Resistance - Right (sinal oposto)**	**14**
X1	**54**	**X1T6 Zone 6 Reactance - Top**	**13**
X2	**54**	**X1T6 Zone 6 Reactance – Top (sinal oposto)**	**13**
Zn7_OoS		**Mho Phase Distance Element Reach**	
R1	**R1**	**R1R7 Zone 7 Resistance - Right**	**14**
R2	**R2**	**R1R7 Zone 7 Resistance - Right (sinal oposto)**	**14**
X1	**X1**	**X1T7 Zone 7 Reactance - Top**	**13**
X2	**X2**	**X1T7 Zone 7 Reactance – Top (sinal oposto)**	**13**

APÊNDICE C

Out-of-Step Logic Application Examples

The SEL-421 features OOS (out-of-step) logic for the following two functions:

- OSB (out-of-step blocking) logic blocks phase distance elements and Zone 1 ground distance elements during power swings.
- OST (out-of-step tripping) logic trips the circuit breaker(s) during unstable swings.

There are two application examples that explain how to apply OOS logic: an out-of-step blocking scheme and an out-of-step tripping and blocking scheme. The examples provide detailed setting procedures for a 5 A relay.

These examples are for three-pole tripping in a 500 kV power system. Applications for single-pole tripping are similar. Refer to *Figure 1.28* for a one-line diagram of the 500 kV system.

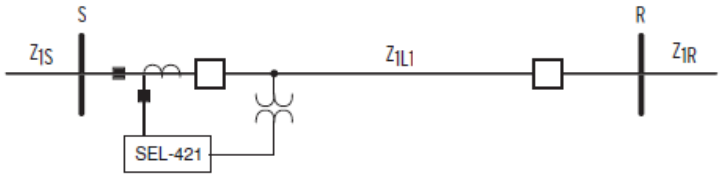

Figure 1.28 500 kV Power System

Power System Parameters

Table 1.32 lists the power system parameters.

Table 1.32 Positive-Sequence Impedances (Secondary)

Parameter	Value
Line impedances: Z_{1L1}	8.00 Ω ∠87.6° secondary (Z1MAG Ω ∠Z1ANG°)
Zone 2 Phase Distance Reach: Z2MP	9.60 Ω secondary
Source S impedances: Z_{1S}	8.8 Ω ∠88° secondary
Source R impedances: Z_{1R}	3.52 Ω ∠88° secondary
Nominal frequency (f_{nom})	60 Hz
Nominal current (I_{nom})	5 A secondary
Line Length	100 miles

Out-of-Step Blocking

This example demonstrates setting OSB function. Use this logic to discriminate between power swings and faults to prevent unwanted distance element trips. This application example assumes that you have set the phase-to-phase mho distance element Zone 2 reach. First, enable the OOS logic. Next, calculate the impedance reach settings for Zones 6 and 7 (R1R6, R1R7, X1T6, and X1T7), and then calculate OSBD (out-of-step block time delay). All of the OOS settings appear in *Table 1.33* and *Table 1.34* at the end of this example.

Enable OOS Logic

NOTE: The relay automatically calculates and hides settings when you set EADVS to N and EOOST to N. Table 1.33 lists these settings.

Access Group settings to enable the out-of-step logic.

EOOS := **Y** Out-of-Step (Y, N)

You do not need to enable the Advanced Settings for this application example.

EADVS := **N** Advanced Settings (Y, N)

Out-of-Step Tripping

Disable the OST logic for this particular application example.

EOOST := **N** Out-of-Step Tripping (N, I, O)

Phase Distance Element Blocking

OSB logic blocks phase distance protection during a swing when the measured positive-sequence impedance enters the operating characteristics of the phase distance elements (see Zone 1 and Zone 2 in *Figure 1.29*). In practice, it is not necessary to block all zones. In this application example, the OSB logic blocks zones that generate instantaneous tripping. The OSB logic blocks instantaneous Zone 1 and Zone 2 (Zone 2 is part of the communications-assisted tripping scheme).

The OSB logic typically supervises forward-looking Zones 1 and 2 because the operation time of these two zones is ordinarily shorter than the time period during which the impedance of a power swing resides in these protection zones. For example, if the period of a swing is 1.5 seconds, OSB logic should supervise instantaneous Zone 1 and communications-assisted Zone 2.

During a power swing, the relay typically does not block overreaching zones of protection that provide time-delayed tripping. Do not block reverse-looking Zone 3 when this zone serves as a starting element for the DCB (directional

Rua Visconde de Ouro Preto, 77 - Bairro Custódio Pereira - Uberlândia – MG - CEP 38405-202
Fone (34) 3218-6800 Fax (34) 3218-6810
Home Page: www.conprove.com.br - E-mail: conprove@conprove.com.br

comparison blocking) scheme or when this zone provides current reversal guard for the POTT (permissive overreaching transfer tripping) scheme. For example, if the OSB logic inhibits the DCB blocking signal during swings that pass behind the local relay, over-tripping can occur at the remote terminal. If a power swing enters both the local reverse-looking Zone 3 and the remote overreaching Zone 2, high-speed tripping occurs at the remote terminal because OSB logic removes the local Zone 3 element DCB scheme block.

Set the relay to block Zone 1 and Zone 2.

```
00SB1 := Y  Block Zone 1 (Y, N)
00SB2 := Y  Block Zone 2 (Y, N)
00SB3 := N  Block Zone 3 (Y, N)
```

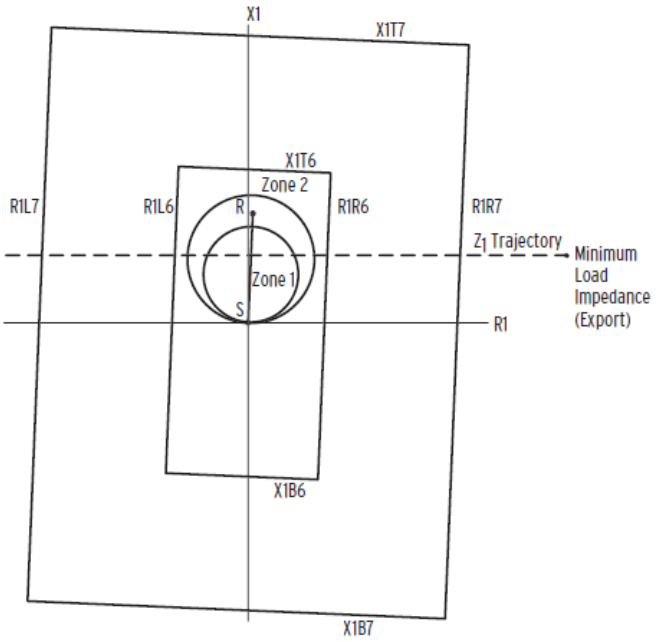

Figure 1.29 OOS Characteristic Settings Parameters

Zone 6 and Zone 7 Impedance Settings

The OOS logic uses two zones of concentric polygons, outer Zone 7 and inner Zone 6 (see *Figure 1.29*). The relay uses Zone 6 and Zone 7 for OOS logic timing to differentiate between power swings and faults. The relay measures a traveling positive-sequence impedance locus (Z_1) in Zone 6 and Zone 7 when a power swing or fault occurs. Two factors affect the Zone 6 and Zone 7 impedance settings:

- The outermost overreaching zone of phase distance protection that you want to block.
- The load impedance that the relay measures during maximum load (minimum load impedance locus).

Rua Visconde de Ouro Preto, 77 - Bairro Custódio Pereira - Uberlândia – MG - CEP 38405-202
Fone (34) 3218-6800 Fax (34) 3218-6810
Home Page: www.conprove.com.br - E-mail: conprove@conprove.com.br

NOTE: This settings philosophy provides the most time for the relay to decide whether a fault or a power swing has occurred.

Set inner Zone 6 (X1T6, R1R6, X1B6, and R1L6) to encompass the outermost zone of phase distance protection that you have selected for out-of-step blocking. Set Zone 7 so that the closest minimum load impedance locus is outside the Zone 7 characteristic for all loading conditions.

Resistance Blinders

Zone 2 is the outermost characteristic for this particular example. Include a safety margin (20 percent for this example).

$$\begin{aligned} R1R6 &= 1.2 \bullet \frac{Z2MP}{2 \bullet \sin(Z1ANG)} \\ &= 1.2 \bullet \frac{9.60\ \Omega}{2 \bullet \sin(87.6°)} \\ &= 5.77\ \Omega \end{aligned}$$ **Equation 1.69**

where:

Z2MP = Zone 2 mho phase distance element reach (see *Table 1.32*).

R1R6 := **5.77** Zone 6 Resistance—Right (0.05–70 Ω secondary)

Set Zone 7 outer resistance blinders according to maximum load. In other words, set the Zone 7 outer right-hand resistance blinder just inside the corresponding minimum export load impedance locus (maximum load locus). The maximum load current is 2.41 A secondary, determined from load studies. The corresponding line-to-neutral voltage during maximum load at Station S is 61.44 V secondary.

$$I_{L(max)} = 2.41\ A$$
$$V_{LN} = 61.44\ V$$

Determine the minimum load impedance that the relay measures:

$$\begin{aligned} Z_{L_{min}} &= \frac{V_{LN}}{I_{L(MAX)}} \\ &= \frac{61.44\ V}{2.41\ A} \\ &= 25.49\ \Omega \end{aligned}$$ **Equation 1.70**

Assume that the maximum load angle is ±45°. Use trigonometry to calculate R1R7, which is the distance from the origin to the right-hand resistance blinder along line OP, the c side of the right triangle (see *Figure 1.30*). The resistance blinders are parallel to the line characteristic impedance Z_{1L1}, for which the angle is setting Z1ANG.

$$\cos(A) = \frac{c}{b}$$ **Equation 1.71**

where:

A = 45° + (90°–∠Z1ANG)
b = $Z_{L(min)}$
c = setting R1R7

Rua Visconde de Ouro Preto, 77 - Bairro Custódio Pereira - Uberlândia – MG - CEP 38405-202
Fone (34) 3218-6800 Fax (34) 3218-6810
Home Page: www.conprove.com.br - E-mail: conprove@conprove.com.br

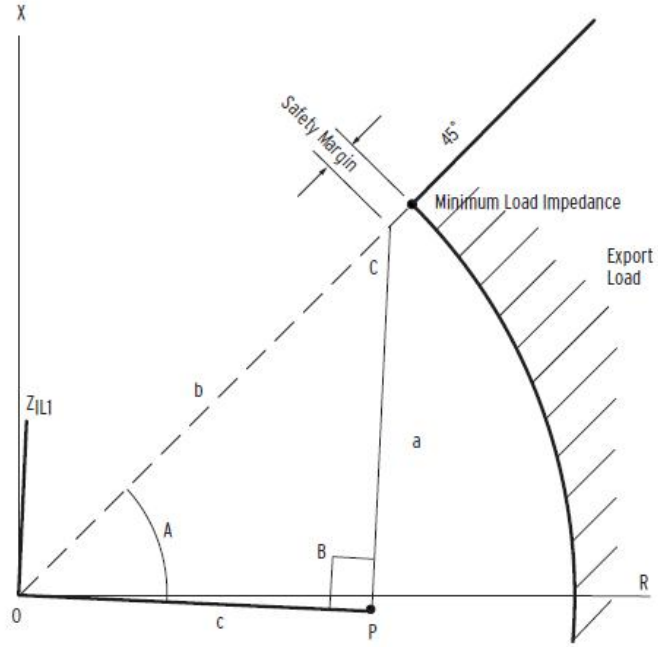

Figure 1.30 Calculating Setting R1R7

Rearrange *Equation 1.71* and multiply by a safety factor of 90 percent to calculate R1R7.

$$\begin{aligned} R1R7 &= 0.9 \bullet Z_{L(min)} \bullet \cos(A) \\ &= 0.9 \bullet Z_{L(min)} \bullet \cos[45° + (90° - Z1ANG)] \\ &= 0.9 \bullet 25.49 \bullet \cos[45° + (90° - 87.6°)] \\ &= 0.9 \bullet 25.49 \bullet \cos(47.4°) \\ &= 15.53\ \Omega \end{aligned}$$ **Equation 1.72**

R1R7 := **15.53** Zone 7 Resistance—Right (0.05–70 Ω secondary)

Reactance Lines

Zone 6 inner reactance lines X1T6 and X1B6 should completely encompass the outermost zone of phase distance protection that you want to block from tripping during a power swing. Include a safety margin (20 percent).

$$\begin{aligned} X1T6 &= 1.2 \bullet Z2MP \\ &= 1.2 \bullet 9.60\ \Omega \\ &= 11.52\ \Omega \end{aligned}$$ **Equation 1.73**

where:

Z2MP = Zone 2 mho phase distance element reach

X1T6 := **11.52** Zone 6 Reactance—Top (0.05–96 Ω secondary)

Rua Visconde de Ouro Preto, 77 - Bairro Custódio Pereira - Uberlândia – MG - CEP 38405-202
Fone (34) 3218-6800 Fax (34) 3218-6810
Home Page: www.conprove.com.br - E-mail: conprove@conprove.com.br

The distance between Zones 6 and 7 top reactance lines should equal the distance between Zones 6 and 7 right-hand resistance blinders.

NOTE: The value for X1T7 must be at least 0.1 Ω greater than that for X1T6.

$$\begin{aligned} X1T7 &= X1T6 + (R1R7 - R1R6) \\ &= 11.52\ \Omega + (15.53\ \Omega - 5.76\ \Omega) \\ &= 21.29\ \Omega \end{aligned}$$ **Equation 1.74**

X1T7 := **21.29** Zone 7 Reactance—Top (0.05–96 Ω secondary)

Out-of-Step Block Time Delay

When the Z_1 impedance locus initially moves inside Zone 7, the relay starts the OSBD (out-of-step block time delay) timer. The Z_1 impedance trajectory is shown in *Figure 1.31* for the case of $|E_A| = |E_B|$ (E_A is the voltage at Node A and E_B is the voltage at Node B). The OSBD timer detects slow swings. If the OSBD timer expires before the Z_1 trajectory enters Zone 6, the relay detects a power swing blocking condition.

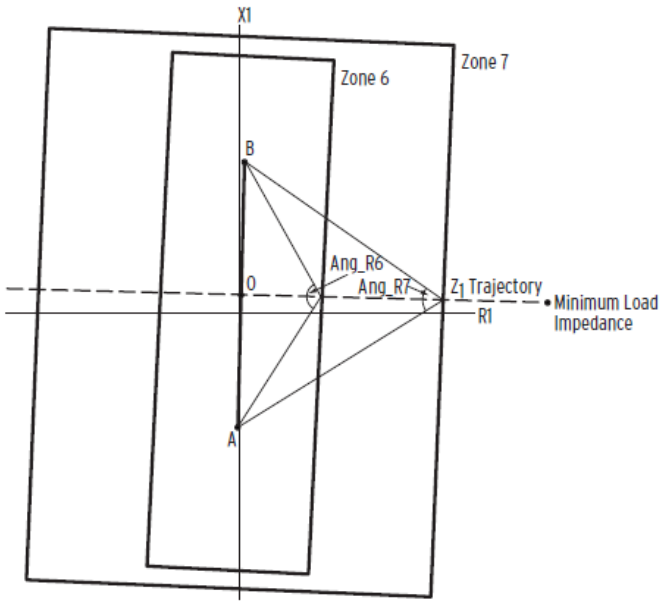

Figure 1.31 Swing Trajectory to Determine the OSBD Setting

Use *Equation 1.75* through *Equation 1.78* to calculate the OSBD setting. These equations are derived from the impedance trajectory shown in *Figure 1.31*. Line section AB is the transfer impedance, Z_T. The horizontal dashed line represents the trajectory of the power swing perpendicular to line section AB. The trajectory passes through the midpoint of line section AB.

$$Z_T = Z_{1S} + Z_{1L1} + Z_{1R}$$ **Equation 1.75**

where:

Z_T = transfer impedance
$Z1_S$ = positive-sequence source impedance
$Z1_{L1}$ = positive-sequence impedance for Line 1
$Z1_R$ = positive-sequence remote impedance

Rua Visconde de Ouro Preto, 77 - Bairro Custódio Pereira - Uberlândia – MG - CEP 38405-202
Fone (34) 3218-6800 Fax (34) 3218-6810
Home Page: www.conprove.com.br - E-mail: conprove@conprove.com.br

$$\text{Ang_R6} = 2 \cdot \text{atan}\left[\frac{\frac{|Z_T|}{2}}{(R1R6)}\right]$$

$$= 2 \cdot \text{atan}\left[\frac{\frac{|8.8\ \Omega\angle 88° + 8.00\ \Omega\angle 87.6° + 3.52\ \Omega\angle 88°|}{2}}{5.77\ \Omega}\right]$$

$$= 120.9° \qquad \textbf{Equation 1.76}$$

$$\text{Ang_R7} = 2 \cdot \text{atan}\left[\frac{\frac{|Z_T|}{2}}{R1R7}\right]$$

$$= 2 \cdot \text{atan}\left[\frac{\frac{|8.8\ \Omega\angle 88° + 8.00\ \Omega\angle 87.6° + 3.52\ \Omega\angle 88°|}{2}}{15.53\ \Omega}\right]$$

$$= 66.4° \qquad \textbf{Equation 1.77}$$

A typical stable swing frequency is $f_{slip} = 5$ Hz. Use this value in *Equation 1.78* to find setting OSBD.

$$\text{OSBD} = \frac{(\text{Ang_R6} - \text{Ang_R7}) \cdot f_{nom}}{\frac{360°}{\text{cycle}} \cdot f_{slip}} \text{ cycles}$$

$$= \frac{(120.9° - 66.4°) \cdot 60\ \text{Hz}}{\frac{360°}{\text{cycle}} \cdot 5\ \text{Hz}} \text{ cycles}$$

$$= 1.82 \text{ cycles} \qquad \textbf{Equation 1.78}$$

where:

f_{nom} = nominal power system frequency (Hz)
f_{slip} = maximum slip frequency (Hz)

The OSBD timer settings are in increments of 0.125 cycle; round up to the nearest valid relay setting.

OSBD := **1.875** Out-of-Step Block Time Delay (0.500–8000 cycles)