

6 - SIMULAÇÕES E TESTES NO ALGORITMO

Neste capítulo, procura-se, com as simulações no *software* MATLAB, validar melhor as idéias e propostas efetuadas ao longo dos capítulos 4 e 5. No ítem 6.1, modelou-se as formas de onda de corrente das três condições operativas (curto, oscilação e ilhamento) e simulou-se os algoritmos propostos nos diagramas de blocos das Figuras 4.3.4 e 5.1 e nas equações 21 a 25, dando enfoque maior nos aspectos de partida e classificação.

No ítem 6.2, detalha-se o modelamento do circuito da Figura 2.1.1 no *software* ATP para em seguida obter as formas de onda de corrente e tensão. Por último, no ítem 6.3, complementam-se as simulações efetuadas no ítem 6.1 com testes de uma forma mais ampla do algoritmo proposto no diagrama de blocos da Figura 5.1.

6.1 - Simulação do algoritmo COGERA através das formas de onda de corrente modeladas no *software* MATLAB.

Neste ítem, procura-se obter uma sensibilidade maior do algoritmo proposto, analisando seu desempenho frente aos sinais típicos de cada evento, gerados com a utilização do *software* MATLAB.

● **Oscilação** : As formas de onda das correntes foram geradas conforme as equações abaixo :

$$i(t)_{Osc} = A_I \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot t) \quad 0 \leq t \leq T_1 \quad (46)$$

$$i(t)_{Osc} = \left[\left(B_I \cdot \left(e^{-at} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_m \cdot t) \right) + 1 \right) \right] \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot t) \quad t \geq T_1 \quad (47)$$

Em que f_m corresponde à frequência da oscilação eletromecânica que se pretende representar. Nessa simulação, considera-se que o evento de oscilação ocorreu a partir do instante T_1 .

Com o objetivo de avaliar a sensibilidade do esquema de medição proposto, variou-se a frequência f_m entre 1 e 10 Hz, com passos de 1 Hz, e se calculou os coeficientes Wavelets através das equações 24 a 25 e conforme o diagrama de blocos da Figura 4.3.4.

Para o processo de demodulação do sinal, utilizou-se um filtro digital passa-baixa, classe Butterworth de quinta ordem e frequência de corte de 10 Hz. O desvio-padrão dos coeficientes Wavelets do nível 7, tanto do período de pré quanto de pós-evento são mostrados na tabela 3.

**TABELA 3 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO NO MATLAB
DOS CASOS DE OSCILAÇÃO ELETROMECAÂNICA**

Frequência de Modulação (Hz)	$A_1 = 0.95$, $B_1 = 0.578$, $\alpha = - 0.33$		
	N_{7Pr}	N_{7Po}	N_{7Po}/N_{7Pr}
1	11.69	16.32	1.39
2	11.69	18.38	1.57
3	11.69	18.49	1.58
4	11.69	18.65	1.59
5	11.69	19.38	1.65
6	11.69	19.10	1.63
7	11.69	19.21	1.64
8	11.69	19.8	1.69
9	11.69	19.6	1.67
10	11.69	19.71	1.68

Os resultados obtidos indicam uma boa captura do evento no nível 7. Evidentemente que as relações expressas em (24,25) podem ser ampliadas à medida que se aumente o tamanho da janela de observação definida de 20 ciclos para outras de tamanho maior.

● **Ilhamento** : Para esta condição operativa, considera-se a situação mais difícil, em termos de detecção de sua ocorrência, que corresponde à operação do sistema com fluxo de potência ativa próxima de zero na interligação. Nessa situação, antes da ocorrência do ilhamento ($t < T_I$), a corrente na interligação é constituída apenas pela corrente de magnetização do transformador, o qual, como indicado por (48), será modelada pela componente fundamental de 60 Hz e pelas quinta e sétima harmônicas (a circulação da terceira harmônica é bloqueada pela conexão em delta do transformador).

Após o ilhamento ($t \geq T_I$), a corrente na interligação será constituída somente por uma pequena componente de 60 Hz correspondente à energização de algumas cargas do sistema da concessionária através do gerador da indústria (49).

$$I_{Mtot} = A_I \cdot [\cos(2 \cdot \pi \cdot 300 \cdot t) + \cos(2 \cdot \pi \cdot 420 \cdot t)] + B_I \cdot [\cos(2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot t)] \quad t < T_I \quad (48)$$

$$I_{ilha}(t) = C_I \cdot [\cos(2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot t)] \quad t \geq T_I \quad (49)$$

Para o conseqüente modelamento de (48), adotam-se algumas condições fixas tais como :

- A porcentagem da quinta e sétima harmônicas são iguais sobre a corrente de magnetização.
- A porcentagem da corrente de carga após a perda da geração da concessionária será cinco vezes maior que o valor da corrente de magnetização do transformador.
- A magnitude de cada uma dessas componentes consideradas na análise são mostradas na tabela 4.

O desvio - padrão dos coeficientes Wavelets do nível 1, utilizados para detectar esse tipo de ocorrência, são mostrados na tabela 4, considerando quatro diferentes alternativas para o conteúdo harmônico da corrente de magnetização do transformador.

**TABELA 4 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO NO MATLAB
DOS CASOS DE ILHAMENTO**

CASOS	A_1	B_1	C_1	N_{1Pr}	N_{1Po}	N_{1Po}/N_{1Pr}
1	0.1	0.9	5	.034	.0161	2.1668
2	0.2	0.8	5	.113	.0161	7.0866
3	0.3	0.7	5	.31	.0161	19.30
4	0.4	0.6	5	.73	.0161	45.6997

Observa-se, portanto, uma boa detecção desse fenômeno, mesmo para a condição mais crítica que é a primeira condição da tabela 4. Em simulações adicionais, observou-se que, mesmo variando a carga da concessionária alimentada pelo gerador da indústria, essas relações mantêm-se.

Outra análise efetuada é a para pesquisar qual seria a porcentagem de A_1 em (48) necessária na forma de onda de corrente que pudesse manter ao menos a relação apresentada de detecção da perda da corrente de magnetização do transformador. Esses valores apresentaram-se em torno de 1%, o que apresenta uma boa sensibilidade ao método proposto.

● **Curto - Circuito** : Para um curto-circuito ocorrendo no instante T_1 , as correntes foram modeladas como descrito em (50) e (51).

$$i(t)_{Curto} = A_3 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot t) \quad t \leq T_1 \quad (50)$$

$$i(t)_{Curto-Pos} = A_2 \cdot \left[A_1 \cdot (e^{-at}) + \cos(2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot t) \right] \quad t > T_1 \quad (51)$$

A seguir na tabela 5, são apresentados os resultados das simulações efetuadas para alguns valores de A_1, A_2, A_3 e α (constante de tempo DC do sistema) mostrados na equação acima.

**TABELA 5 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO NO MATLAB
DOS CASOS DE CURTO - CIRCUITO**

CASOS	A_1	A_2	A_3	α	N_{3TOT}
1	-1	3	1	-90	102.7
2	-1	5	1	-90	283.5
3	-1	7	1	-90	555.7
4	-1	10	1	-90	1134

Os resultados obtidos para as três condições operativas na classificação do algoritmo COGERA apresentaram aspectos bastante satisfatórios e pelas simulações efetuadas observa-se que o método proposto se mostra efetivo quanto às medições dos fenômenos a serem classificados.

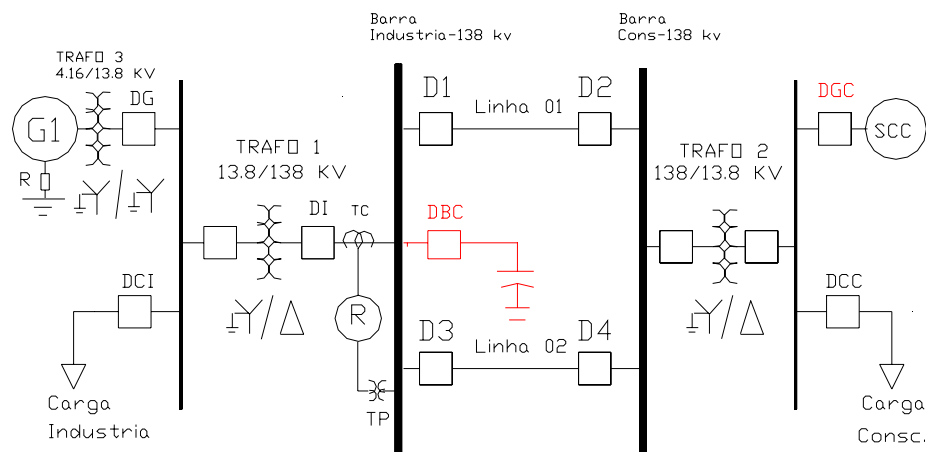
Entretanto, notam-se que em alguns casos ocorrem variações dos eventos em outros níveis, quando existe uma variação significativa em módulo entre as janelas de pré e pós evento, fazendo com que essa variação de energia se espalhe pelos demais níveis, desaparecendo à medida em que a janela de observação se insere dentro do fenômeno.

Essa ocorrência deve-se também ao fato de que a respectiva janela de observação ainda contém amostras de pré e pós evento no cálculo do desvio - padrão correspondente.

Portanto, fica claro que será conveniente que o algoritmo COGERA literalmente não considere a janela intermediária durante o processo de classificação, e para tal deverá contar com uma lógica que possa distinguir claramente os fenômenos de pré e pós evento conforme mostrado no capítulo 5 e apresentada na Figura 5.1.8.

6.2 - Modelamento do Sistema de Cogeração no ATP para obtenção das formas de onda de corrente e tensão.

Para a montagem do circuito no ATP, optou-se por usar critérios próximos de um sistema real na obtenção dos dados para a montagem do circuito como nas condições operativas do mesmo para posterior avaliação do algoritmo COGERA. Seja, portanto, o diagrama unifilar da Figura 2.1.1 modelado no ATP conforme a seguir.



Circuito Para Testes no ATP (Eletromagnetic Transient Program).

Figura 6.2.1 - Modelamento do circuito no ATP para obtenção das formas de onda.

Na Figura 6.2.1 acima, têm-se, portanto, os seguintes equipamentos abaixo listados:

Gerador Síncrono: (Simulado através do modelo S.M-59 sem a subrotina TACS).

Potência : 4 MVA - Tensão : 4.16 KV -Fator de Potência : 0.9

$X''_d = 0.22$ pu, $X'_d = 0.26$ pu, $X_o = 0.07$ pu , Resistência de Aterramento = 160 ohms.

Transformador Elevador do Gerador de 4.16/13.8KV - 4 MVA :

Modelado trifásicamente com perdas, mas sem sua curva de excitação, pois suporíamos que os fenômenos a serem simulados não necessitarão desta característica (Impedância de valor igual a 6 %).

Carga Industrial Passiva em 13.8 KV :

Típica composta de componentes resistivos/indutivos em série, com seus valores variando de acôrdo com a necessidade do caso em questão (valores de 0.1 a 10 MVA).

Transformador de Potência Industrial de 13.8/138 KV - 10 MVA - (x = 4.5 %)

Também modelado trifásicamente com perdas e com as mesmas características do anterior, sendo modelado também sua respectiva curva de excitação para a obtenção das condições de ilhamento mostradas ao longo dos capítulos 4 e 5.

Linhas de Transmissão Curtas em 138 KV :

Parâmetros de seqüência positiva :

$$R_l = 0.18333 \text{ ohm/ km.}$$

$$X_l = 0.4822 \text{ ohm / km.}$$

$$Y_l = 3.4124 \text{ Micro Mho / Km.}$$

Parâmetros de seqüência zero :

$$R_o = 0.361 \text{ ohm/ km.}$$

$$X_o = 1.6832 \text{ ohm / km.}$$

$$Y_o = 2.0261 \text{ Micro Mho / Km.}$$

Mútua entre os circuitos :

$$R_{om} = 0.177 \text{ ohm/ km.}$$

$$X_{om} = 1.2841 \text{ ohm / km.}$$

Neste ítem, como tem-se entre a subestação da indústria e da concessionária, distâncias de até no máximo 10 km, optou-se por modelar as linhas pelos parâmetros concentrados resistivos e indutivos de seqüência positiva e zero operando na forma Normal - Reserva.

Transformador de 138/13.8 KV-10 MVA na SE da Concessionária:

Idem ao transformador da indústria mostrado acima.

SE da Concessionária :

Nesta SE são simulados uma fonte ideal em 13.8 KV representando o equivalente da mesma nesta barra, e uma carga típica para que se possa simular situações de ilhamento no algoritmo. Também neste caso o valor da carga também variará de acordo com a situação em questão.

Diversos :

Os reguladores de tensão e velocidade não foram simulados, pois, devido ao elevado tempo da resposta desses componentes, os mesmos têm pouca influência nos fenômenos de interesse. Optou-se também por não modelar as características não lineares dos transformadores de corrente e de tensão (divisores capacitivos de potencial), por entender-se que seu modelamento transitório mais detalhado não influenciará nos resultados a serem obtidos. A frequência de amostragem utilizada típica para a obtenção das formas de onda de corrente e tensão é de 96 amostras/ciclo, e o tempo total de simulação é de 1 segundo com 24 ciclos de pré-falta e os restantes 36 ciclos para o evento em questão aproximadamente.

Esse tempo total de simulação deveu-se principalmente à necessidade de janelas maiores para a correta detecção e análise dos casos de oscilação. Foram simulados no total 49 casos divididos entre os eventos a serem classificados pelo algoritmo COGERA que são :

- Curto - circuito (29 casos);
- Oscilação de potência (10 casos); e
- Ilhamento (10 casos).

Para a oscilação de potência (*Power Swing*), retirou-se e inseriu-se grandes blocos de cargas na linha de interligação entre a concessionária e a indústria, variando também a constante de inércia da máquina entre mais e menos 5 %.

No casos de curto-circuito, foram modelados todos os tipos (fase/fase, fase/terra, fase / fase-terra e trifásico), com e sem resistência de falta, com maior enfoque no curto fase-terra, em que, para alguns desses casos modelou-se o arco elétrico através da subrotina MODELS [23,29,30] no *software* ATP.

Nessas referências, modelam-se basicamente o arco primário em uma forma de onda quadrada em fase com a corrente de defeito no local da ocorrência do mesmo. Na tabela 6 a seguir, são mostrados os tipos de defeito, sua localização e as respectivas resistências de falta.

TABELA 6 - SIMULAÇÕES DE CURTO - CIRCUITO

<i>Casos</i>	<i>Tipo</i>	<i>Localização</i>	<i>Resistência de falta</i>	<i>Arco</i>	<i>Tensão de Arco</i>
1	F-T	Direta	Não	Não	Não
2	F-T	Direta	Não	Não	Não
3	F-T	Direta	Não	Não	Não
4	F-T	Direta	Não	Não	Não
5	F-T	Reversa	Não	Não	Não
6	F-T	Reversa	Não	Não	Não
7	F-T	Reversa	Não	Não	Não
8	FF-T	Direta	Não	Não	Não
9	FF-T	Direta	Não	Não	Não
10	FF-T	Direta	Não	Não	Não
11	F-T	Direta	0.1 ohms	Sim	0.5 KV
12	F-T	Direta	0.1 ohms	Sim	1.5 KV
13	F-T	Direta	0.1 ohms	Sim	2.5 KV
14	F-T	Direta	0.1 ohms	Sim	3.5 KV
15	F-T	Direta	0.1 ohms	Sim	4.5 KV
16	F-T	Direta	0.1 ohms	Sim	5.5 KV
17	F-T	Direta	0.1 ohms	Sim	5.8 KV
18	F-T	Direta	0.1 ohms	Sim	6.5 KV
19	F-T	Direta	0.1 ohms	Sim	7.5 KV
20	F-T	Direta	0.1 ohms	Sim	8.5 KV
21	F-F	Direta	Não	Não	Não
22	F-F	Direta	Não	Não	Não
23	F-F	Reversa	Não	Não	Não
24	F-F	Reversa	Não	Não	Não
25	F-F	Reversa	Não	Não	Não
26	3 -F	Reversa	Não	Não	Não
27	3 -F	Direta	Não	Não	Não
28	3 -F	Direta	Não	Não	Não
29	3 -F	Direta	Não	Não	Não

Para a obtenção dos casos de ilhamento, procurou-se controlar a defasagem angular entre o gerador síncrono da indústria e o equivalente de geração da concessionária no circuito da Figura 6.2.1, para forçar a condição mais crítica que seria, conforme já mencionado ao longo do trabalho, a condição de que a corrente que circula pelo primário do transformador de alta tensão da indústria seja basicamente para magnetizar o mesmo, caracterizando uma troca praticamente nula (entre 1 e 5 % da potência total instalada da planta industrial) de potência ativa entre os dois sistemas.

6.3 - Simulações do Algoritmo COGERA para as formas de onda geradas no ATP

6.3.1 - Condições de Curto - Circuito, Ilhamento e Oscilação

Para as três principais condições operativas definidas no trabalho, inseriu-se no *software* MATLAB os 49 arquivos gerados no ATP e mostrados no item 6.2. Primeiramente, é apresentado na Figura 6.3.1 o diagrama de blocos da partida do algoritmo de forma didática, na qual pode-se verificar todos os passos mostrados no capítulo 5 sobre esse item.

Nesse diagrama, são mostrados os critérios de superposição entre as janelas bem como o cálculo da energia entre as mesmas. Seja um sinal discreto $x(n)$ qualquer de comprimento N armazenado na memória da proteção digital proposta.

Define-se a partir desse dado os parâmetros R e M ligados à sobreposição desejada entre as janelas e o número de amostras por ciclo de 60 Hz dentro de cada janela (No algoritmo COGERA, há 3 ciclos ou 48 amostras no total para uma frequência de amostragem de 16 amostras /ciclo).

De posse desses valores, estima-se o número de janelas K que se pode obter sobre o sinal $x(n)$ e o parâmetro D mostrado em seguida estipula a amostra inicial de cada janela de acordo com a sobreposição desejada.

Em seguida, entra-se no *loop* para o preenchimento da primeira janela sem sobreposição ($i=1$) e sem o cálculo da energia, pois não se tem ainda a segunda janela.

A partir de $i=2$ até K , calcula-se a variação de energia dada pela equação 26 entre cada duas janelas consecutivas, obedecendo uma variação maior do que 10 % entre elas, positiva ou negativa para possibilitar a capturação das condições de oscilação eletromecânica e ilhamento, quando essas condições operativas apresentarem correntes decrescentes no instante de sua ocorrência. Já para a condição de curto - circuito supõe-se que essa variação será sempre no sentido positivo da variação da energia.

Em seguida, são detalhadas cada condição operativa a ser simulada no MATLAB.

● **Curto - Circuito :**

Segue mostrado por partes na tabela 7 os resultados obtidos para essa condição operativa, conforme indicado na tabela 6, em que se utiliza os valores de ajustes para os principais eventos conforme abaixo :

Para a classificação conforme a equação 23 : $N_{(3TOT)} = 150$.

Para o critério de direcionalidade conforme a equação 33 :

Sentido Direto (SD) = -500 e Sentido Reverso (SR) = 250.

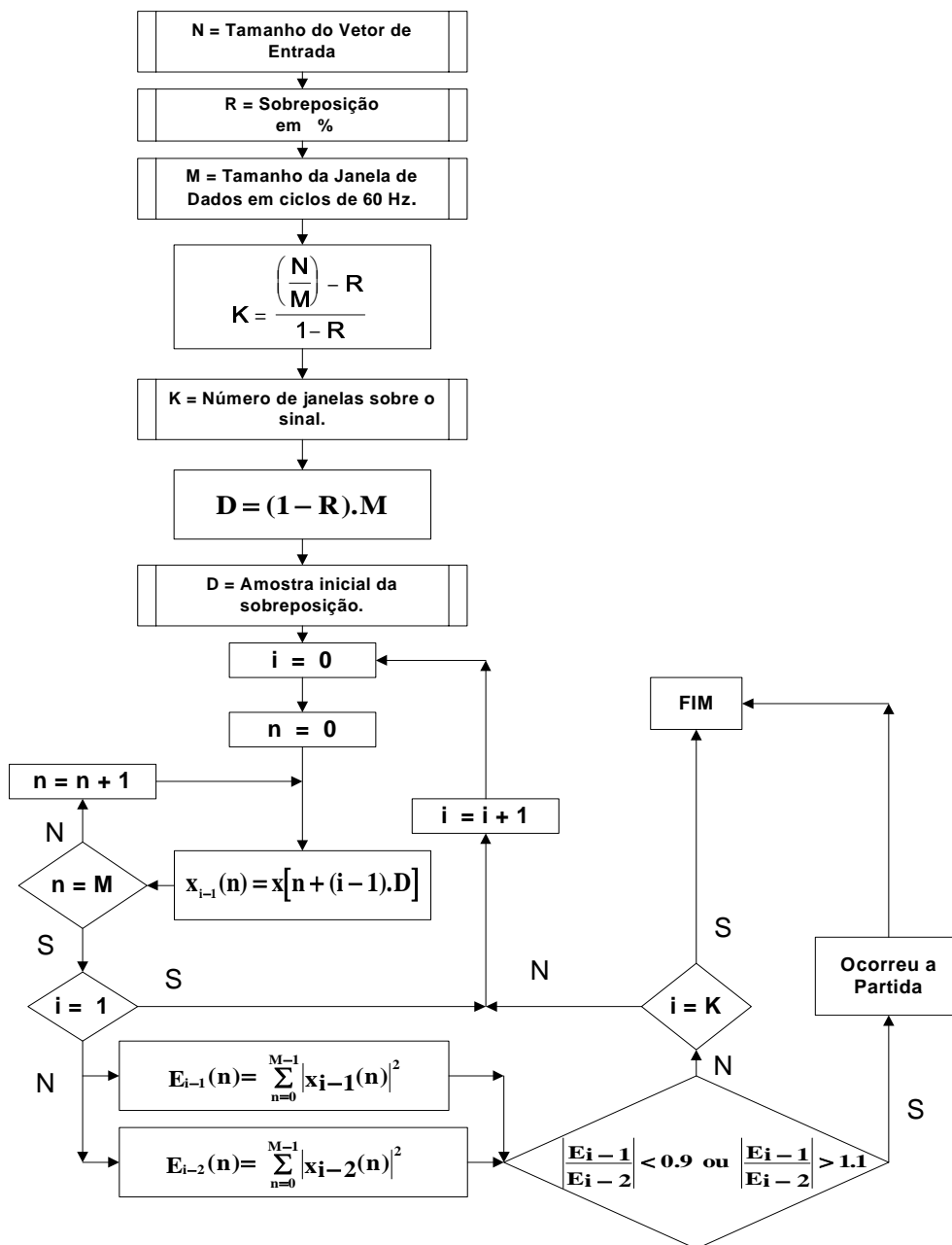


Figura 6.3.1 - Diagrama de Blocos da Simulação do Algoritmo de Partida

**TABELA 7 - TESTES DE CLASSIFICAÇÃO E
DIRECIONALIDADE**

CASOS	CLASSIFICAÇÃO	DIRECIONALIDADE
1	CORRETA	CORRETA
2	CORRETA	CORRETA
3	CORRETA	CORRETA
4	CORRETA	CORRETA
5	CORRETA	CORRETA
6	CORRETA	CORRETA
7	CORRETA	CORRETA
8	CORRETA	CORRETA
9	CORRETA	CORRETA
10	CORRETA	CORRETA
11	CORRETA	CORRETA
12	CORRETA	CORRETA
13	CORRETA	CORRETA
14	CORRETA	CORRETA
15	CORRETA	CORRETA
16	CORRETA	CORRETA
17	CORRETA	CORRETA
18	CORRETA	CORRETA
19	CORRETA	CORRETA
20	CORRETA	CORRETA
21	CORRETA	CORRETA
22	CORRETA	CORRETA
23	CORRETA	CORRETA
24	CORRETA	CORRETA
25	CORRETA	CORRETA
26	CORRETA	CORRETA
27	CORRETA	CORRETA
28	CORRETA	CORRETA
29	CORRETA	CORRETA

Pelos resultados obtidos mostrados na tabela anterior, observa-se que os critérios de classificação e de direcionalidade obtiveram 100 % de aproveitamento.

Para aumentar a sensibilidade do algoritmo e complementar a lógica apresentada no item 5.2.2, introduziu-se a seguinte relação entre as componentes de corrente de seqüência positiva, negativa e zero para o curto monofásico conforme mostrado abaixo :

$$\left| I_{neg}^{\bullet} \right| \geq (0.3) \cdot \left| I_{pos}^{\bullet} \right| \quad (52)$$

Essa condição visa principalmente garantir uma maior sensibilidade para curtos fase-terra principalmente devido a conexão em delta do transformador da indústria da Figura 2.1.1 e conforme requerimento da maioria das especificações das concessionárias para esse tipo de conexão (Figura 5.1).

● **Ilhamento** : Para essa condição operativa, simulou-se o algoritmo COGERA para as dez condições geradas no *software* ATP, obtendo 100 % de acerto na sua classificação, o que por si só já toma a decisão de abrir o disjuntor DI da Figura 6.2.1. Para tal, utilizou-se, para os coeficientes das equações 21 e 22, a relação de 20 entre elas.

Observa-se, para essa condição, uma situação na qual pode ocorrer um curto - circuito na planta quando a mesma estiver operando em condição de ilhamento conforme mostrado na Figura 4.1.3. Essa corrente de curto implica em um aumento da componente de 60 Hz, fazendo com que o algoritmo interprete a mesma como ilhamento, ou podendo haver uma classificação errada dependendo dos ajustes dos níveis citados no capítulo 4.

Para resolver esse problema, a proposta é de inserir uma supervisão por tensão (Subtensão) no algoritmo, pois, conforme já abordado ao longo do trabalho para a condição de ilhamento, o gerador da indústria deve suportar a perda da concessionária de forma a não apresentar variação não só no módulo da tensão da barra como no módulo da frequência, condição que o curto não apresenta, pois, por menor que seja essa corrente de defeito, ela apresentará uma variação de tensão na barra de interligação.

● **Oscilação Eletromecânica :** Os dez casos simulados para essa condição apresentaram 100 % de acerto para a condição de classificação onde se usou uma relação de 1.3 entre os coeficientes dados pelas equações 24 e 25. Esse valor baixo procura dar ao algoritmo uma maior sensibilidade para essa condição que apresenta aspectos peculiares, devido a presença da baixa frequência contida no sinal conforme mostrado ao longo do trabalho. Referente ao algoritmo de Minakawa apresentado no ítem 5.3.2, não houve perda de sincronismo para nenhum dos 10 casos simulados para testar essa condição operativa.

6.3.2 - Energização de transformadores e chaveamento de bancos de Capacitores

Para este ítem, vamos simular as condições de *inrush* dos transformadores e dos capacitores no *software* ATP para verificar não só o desempenho do algoritmo COGERA como um todo, mas principalmente seus critérios de classificação mostrados no capítulo 4, em que foram usados os conceitos de energia contidos no sinal. A simulação para o *inrush* do transformador constou de simplesmente se abrir o disjuntor do lado de baixa tensão da Figura 6.2.1 e energizar o mesmo em vazio através do disjuntor DI. A seguir, na Figura 6.3.2.1, é mostrado a forma de onda típica de corrente obtida no ATP.

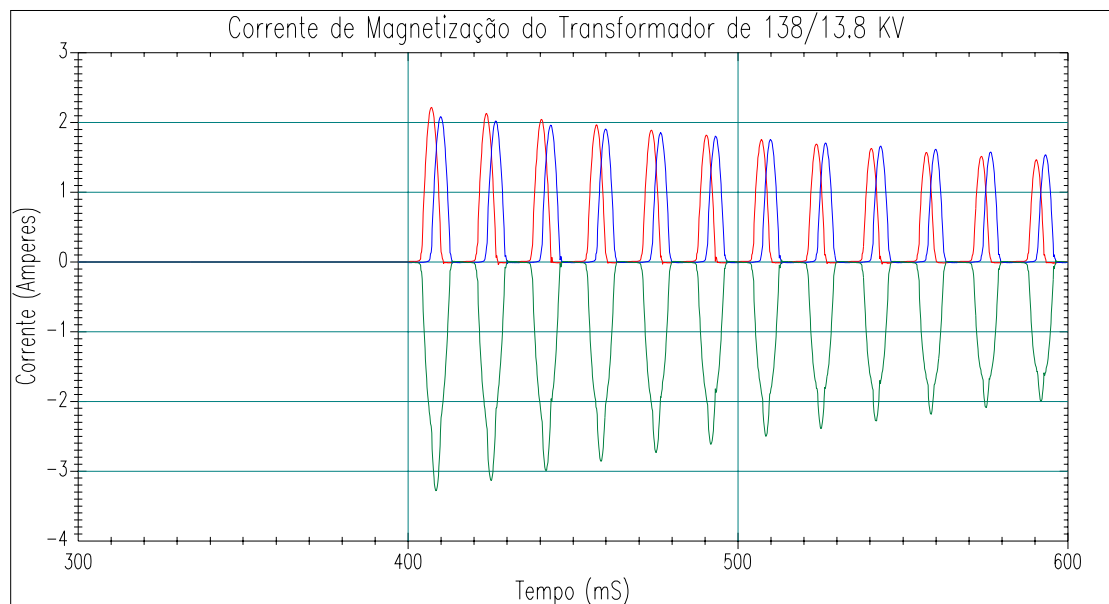


Figura 6.3.2.1 - Corrente de Magnetização do Transformador

Para os capacitores, modelou-se um banco de 10MVAR / 138 KV em conexão shunt na barra de 138 KV da interligação concessionária - indústria e, neste caso, foi modelado o fechamento do mesmo nessa barra (A curva típica obtida está mostrada na Figura 6.3.2.2 a seguir).

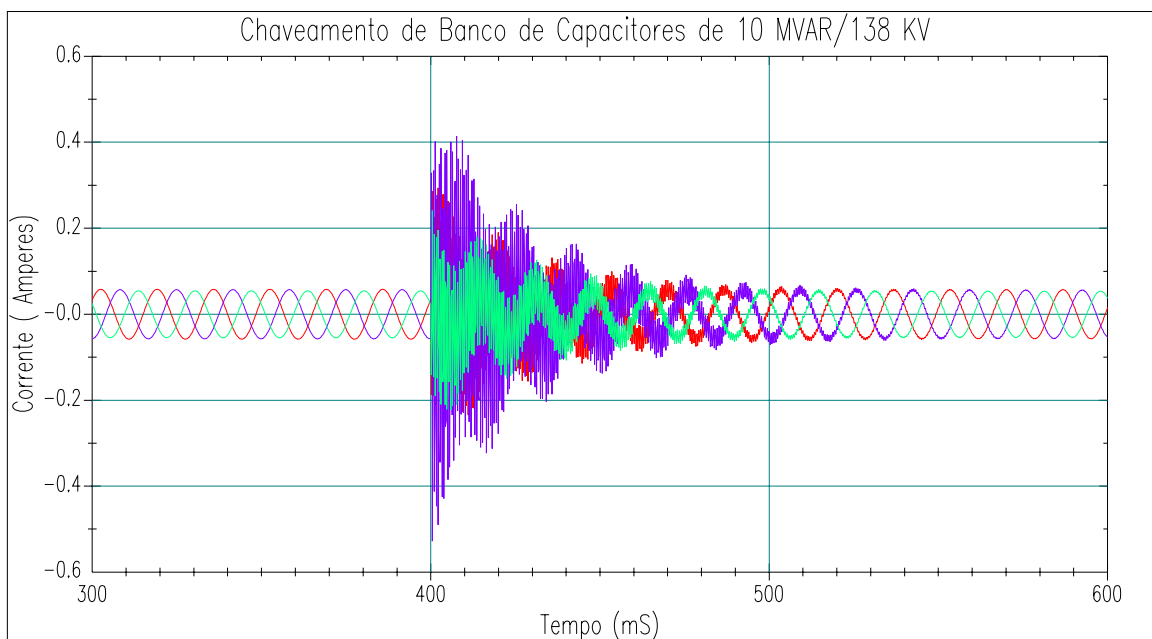


Figura 6.3.2.2 - Energização do Banco de Capacitores 10 MVAR / 138 KV

Ao simular o algoritmo COGERA para as duas condições mostradas nas figuras acima, obtêm-se, como era de esperar, a partida e classificação dos mesmos como evento de curto-circuito para a condição de *inrush*, devido principalmente aos baixos ajustes dos coeficientes wavelets para capturar o curto fase-terra na concessionária, à conexão em delta do transformador e à variação de energia entre as janelas com valor de 10 % na partida para possibilitar a detecção dos casos de oscilação.

Para evitar essa condição, a alternativa é desensibilizar-se os ajustes dos coeficientes wavelets do nível 3, habilitando-o para enxergar curtos bifásicos e trifásicos, sendo o curto fase-terra coberto pela lógica de seqüência negativa mostrada na equação 52, ou inserir a medição por subtensão para auxiliar no processo de classificação dos eventos de curto - circuito.

Por último, não houve partida e por conseqüência classificação do algoritmo para a energização do banco de capacitores na barra de 138 KV através do disjuntor DBC da Figura 6.2.1.

7 - CONCLUSÕES

A utilização da transformada wavelets e o desvio-padrão de seus coeficientes, em conjunto com os conceitos de energia contida nas variações dos sinais de corrente para a classificação das três condições operativas de curto, oscilação e ilhamento, apresentou-se como uma solução bastante razoável para a proposta efetuada ao longo do trabalho. Devem ser observados entretanto os critérios de ajustes (*thresholds*) que possam estabelecer os valores máximos e mínimos de cada nível para definir melhor a classificação dos eventos ocorridos no sistema.

Uma vez definido o evento como curto, sua localização pelo algoritmo de PRAKASH [12] mostrou-se bastante efetiva tanto para defeitos na indústria como para os defeitos ativos e passivos na concessionária, mostrando também uma boa sensibilidade.

Nos casos de oscilação, seu modelamento baseado no método das áreas iguais foi mais direto que os métodos convencionais de medição da impedância, e a proposta de Minakawa [35] obteve um bom desempenho para as condições apresentadas além de ser uma solução de fácil implementação por precisar somente de três condições para definir a perda de sincronismo.

Para a condição de ilhamento, a captura da perda da componente harmônica também apresentou-se efetiva e de fácil implementação sendo o suficiente para a tomada de decisão de se abrir o disjuntor de interligação (DI) entre os dois sistemas.

Um aspecto importante que deve ser levado em consideração na possibilidade de uma implementação do algoritmo em produto de escala comercial é avaliar sua efetiva aplicação em relação ao seu *hardware*, aspecto não focado em nenhuma etapa da tese. Portanto, não se têm uma idéia da sua necessidade quanto à essa plataforma e possíveis problemas de implementação computacional.

Convém ressaltar também que será preciso uma análise mais abrangente nas condições operativas simuladas para verificar o desempenho do algoritmo frente às outras condições que possam partir e classificar os eventos levando mais uma vez a uma análise mais depurada dos coeficientes apresentados nos capítulos 4 e 5.

Fica evidente, pela experiência adquirida durante a execução do trabalho, que soluções futuras dos atuais problemas aplicativos de proteção passam por novos enfoques no que diz respeito aos conceitos de processamento digital de sinais bem como de uma observabilidade mais abrangente desses sinais a serem analisados pelos algoritmos (determinísticos e/ou estocásticos) implicando em plataformas de *hardware* mais complexas, mas apresentando resultados mais efetivos de alguns problemas até hoje não devidamente solucionados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS :

[01] FITZGERALD A. E ; KINGSLEY C. Jr ;KUSKO A. **Máquinas Elétricas - Conversão Eletromecânica da Energia, Processos, Dispositivos e Sistemas.** São Paulo, McGRAW - HILL, 1975, 623 pgs.

[02] HARRIS F. J. On the use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform . **Proceedings of IEEE** -vol. 66, No. 1, January 1978, p.51-83.

[03] JOYCE S. J;KULIG T. ;LAMBRECHT D. Torsional Fatigue of Turbine Generator Shafts Caused by Different Electrical System Faults and Switching Operations. **IEEE/PAS/97/No. 5/September - October 1978, p.1965-1977.**

[04] JOYCE S. J;KULIG T. The Impact of High-Speed Reclosure of Single and Multi-Phase System Faults on Turbine-Generator Shaft Torsional Fatigue. **IEEE/PAS/ 99/No. 1/ January -February 1980, p 279-291.**

[05] ROOK M. J;GOFF L. E;POTOCHNEY G. J;POWELL L. J. Application of Protective Relays on a Large Industrial-Utility Tie with Industrial Cogeneration. **IEEE/PAS-100/No. 6/ June 1981, p.2804-2812.**

[06] PHADKE A. G;THORP J. S;ADAMIAK M. G. New Measurement Technique for Tracking Voltage Phasors, Local System Frequency, and Rate of Change of Frequency. **IEEE/PAS-102** /No. 5/May 1983, p.1025-1038.

[07] CROSSLEY P. A;MCLAREN P. G. Distance Protection Based on Travelling Waves **IEEE/PAS** - Vol. PAS-102/September 1983, p.2971-2983.

[08] DALEY M. J. Design Considerations for Operating On-Site Generators in Parallel with Utility Service. **IEEE/IA**-Vol. IA-21/No. 1/January-February 1985, p.69-80.

[09] NICHOLS N. The Electrical Considerations in Cogeneration. **IEEE/IA**/Vol. 21/No. 4/May-June 1985, p.754-761.

[10] POWELL L. J. An Industrial View of Utility Cogeneration Protection Requirements **IEEE/IA** - Vol. 24/No. 1/January-February 1988, p.243-259.

[11] CLARK H. K;FELTES J. W. Industrial and Cogeneration Protection Problems Requiring Simulation. **IEEE/IA** - Vol. 25/No. 4/July-August 1989, p.766-775.

[12] PRAKASH K. S;MALIK O. P;HOPE G. S. Amplitude Comparator Based Algorithm for Directional Comparison Protection of Transmission Lines.

IEEE/TPD - Vol. 04/No. 4/October 1989, p.2032-2041.

[13] LEE CHUEN CHIEN. Fuzzy Logic in Control Systems : Fuzzy Logic Controller - Part I. **IEEE/TSMC**- Vol. 207/No. 2/April 1990, p.404-418.

[14] LEE CHUEN CHIEN. Fuzzy Logic in Control Systems : Fuzzy Logic Controller - Part II. **IEEE/TSMC**- Vol. 207/No. 2/April 1990, p.419-435.

[15] ALESSANDRO F. ; SUPERTI-FURGA G. A New Approach to the Definition of Power Components in Three-Phase Systems Under Nonsinusoidal Conditions.

IEEE/TIM - Vol. 40/No. 3/June 1991, p.568-577.

[16] YALLA V. V. S MURTY. A Digital Multifunction Protective Relay.

IEEE/TPD/V. 07/No. 1/January 1992, p.193-201.

[17] REDFERN M. A;USTA O. Protection Against Loss of Utility Grid Supply for a Dispersed Storage and Generation Unit. **IEEE/TPD** - Vol. 8/No. 3/July 1993, p.948-954.

[18] AGGARWAL R. K ; JOHNS A. T ; SONG Y. H ; DUNN R. W ; FITTON D. S ;
Neural - Network Based Adaptive Single-Pole Autoreclosure Technique for EHV
Transmission Systems.**IEE Proc/Gener. Trans. Distrib** - vol. 141, March 1994,
p.155-160.

[19] TIMOSZCUK A;MATHIAS M; CABRAL JR. E. **Identificação de Pulsos Decádicos
em Linhas Telefônicas.** São Paulo, BT-PEE/94-07, EPUSP, 1994.

[20] ALESSANDRO F. ; SANGIOVANNI S. ;ZAPPITELLI E. A Fuzzy -Set Approach to
Fault -Type Identification in Digital Relaying.

IEEE/TPD - Vol. 10/No. 1/January 1995, p.169-175.

[21] REDFERN M. A ;CHECKSFIELD M. J. A New Pole slipping Protection Algorithm
for Dispersed Storage and Generation Using the Equal Area Criterion.

IEEE/ TPD - Vol. 10, No. 1, January 1995, p.194-202.

[22] REDFERN M. A;USTA O. A New Microprocessor Based Islanding Protection
Algorithm for Dispersed Storage and Generation Units.

IEEE/TPD - Vol. 10, N. 3, July 1995, p.1249-1254.

[23] DJURIC M. B;TERZIJA V. V. A New Approach to the Arcing Faults Detection for Fast Autoreclosure in Transmission Systems.

IEEE/TPD, Vol. 10, No. 04, October 1995,p.1793-1798.

[24] PHILIPS L. CHARLES;PARR M. JOHN. **Signals, Systems and Transforms.**

Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995, 708 páginas.

[25] FARIED S. O ; EL- SERAFI A. M. Effect of Adaptive Single - Pole Reclosing on Turbine-Generator Shaft Torsional Torques.

Electric Machines and Power Systems - 1996, p.227-234.

[26] DANTAS BRITO N. S. **Teoria Wavelet e sua Aplicação em Sistemas de Energia Elétrica.** Campinas, 1996, 129 p, Dissertação (Mestrado) - UNICAMP.

[27] WILKINSON W. A; COX M. D. Discrete Wavelet Analysis of Power System Transients **IEEE/ TPS** - Vol. 11, No. 4, November 1996, p.2038-2044.

[28] ROBERTSON D. C;MAYER J. S;GISH W. B. Wavelets and Eletromagnetic Power System Transients. **IEEE/ TPD** - Vol. 11, No. 2, April 1996, p.1050-1058.

[29] DJURIC M. B ; RADOJEVIC Z. M ; TERJIZA V. M. Digital Signal Processing Algorithm for Arcing Faults Detection and Fault Distance Calculation on Transmission Lines. **Electrical Power & Energy Systems** - Vol. 19, No. 03, 1997, p.165-170.

[30] ZORIC K. J ; DJURIC M. B ; TERJIZA V. M. Arcing Faults Detection on Overhead Lines from the Voltage Signals.

Electrical Power & Energy Systems - Vol. 19, No. 05, 1997, p.299-303.

[31] REDFERN M. A ;CHECKSFIELD M. J. A Study Into a New Solution for the Problems Experienced with Pole Slipping Protection.

IEEE/ TPD - Vol. 13, No. 2, April 1998, p. 394-404.

[32] BAUSCHKE S ; WEHREND H ; REIS FILHO F. A. Loss of Mains Protection Using Enhanced Combination of Protection Criteria.

IV INDUSCON - USP - Maio de 1998, p.91-98.

[33] SENGER E. C ;SANTANA N. N. Pré-Filtragem da Componente Aperiódica Exponencial para os Algoritmos Utilizados em Relés de Distância. VI Seminário Técnico de Proteção e Controle - **STPC** - Natal - Setembro/1998, p. 81-84.

[34] SALAMA M. M. A ;SULTAN M. R ; CHIKHANI A. Y. Power Quality Detection and Classification Using Wavelet-Multiresolution Signal Decomposition .

IEEE/ TPD - Vol. 14/ No. 4/October 1999, p.1469-1476.

[35] MINAKAWA T. ;SATO M; ICHIKAWA Y. ;ISHIHARA Y. A New Method for Detecting Loss of Synchronism Using Power and Current Measured on a Line .

IEEE/ TPD -Vol. 14/ No. 1/January 1999, p.68-73.

[36] **Requisitos Gerais para o Paralelismo de Consumidores Autoprodutores de Energia Elétrica com os sistemas de Subtransmissão de 138 e 69 KV da CPFL.**

NT-1202/01.12.99

[37] **Ligação de Autoprodutores em Paralelo com o Sistema de Distribuição da CPFL - 15 KV.** NT-202 /12/98.

[38] **Nota Técnica - 06.005 / ELETROPAULO -METROPOLITANA.**

[39] **IEEE Guide for Protective Relaying of Utility - Consumer Interconnections.**

An American National Standard - ANSI/IEEE C37.95-1973.

[40] **Sistema de Proteção para Interligação Concessionária - Consumidor a partir de 69 KV - Procedimento** - ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).
NBR 9030 - Set / 1985.