

# ESTUDO DA APLICAÇÃO DE SINCROFASORES PARA MONITORAÇÃO DE CORREDORES DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO FUNÇÃO ENERGIA NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)

**GAT-25 / Rafael Fernandes\***  
- **ONS**, A.Massaud-ONS, D.  
Dotta-Unicamp, L.Pereira-  
Unicamp





- [illegible]



$$M\ddot{\delta} = P_a = P_m - P_e = P - P_{max}\sin(\delta - \theta)$$

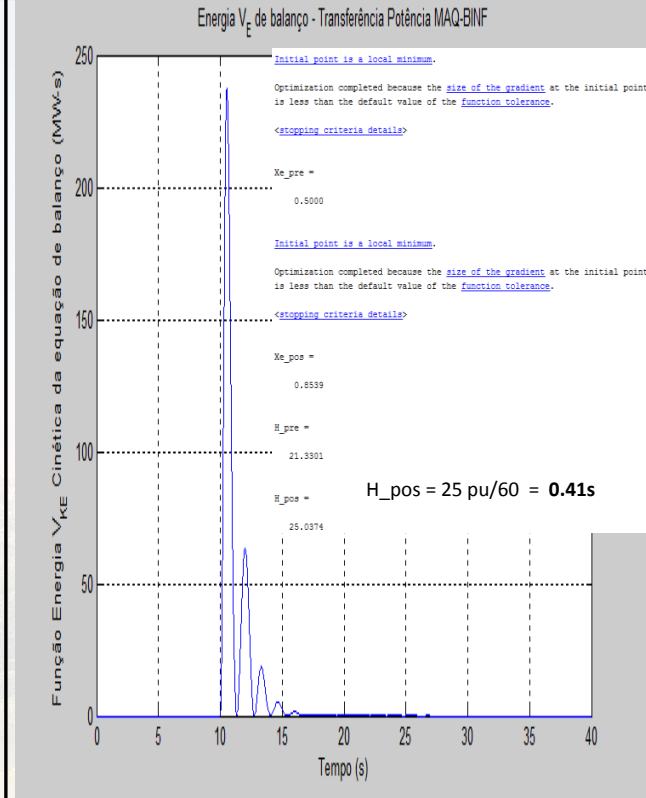
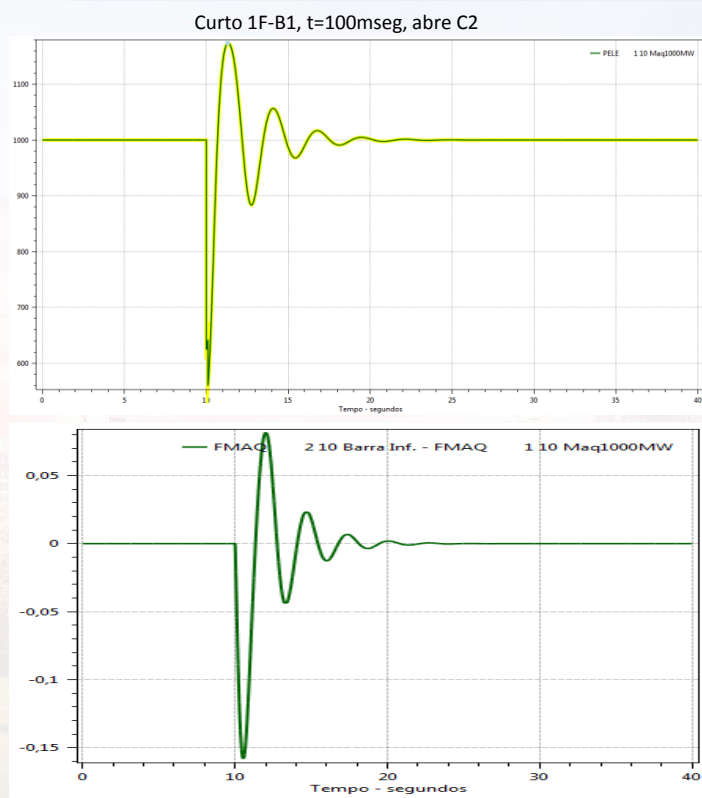
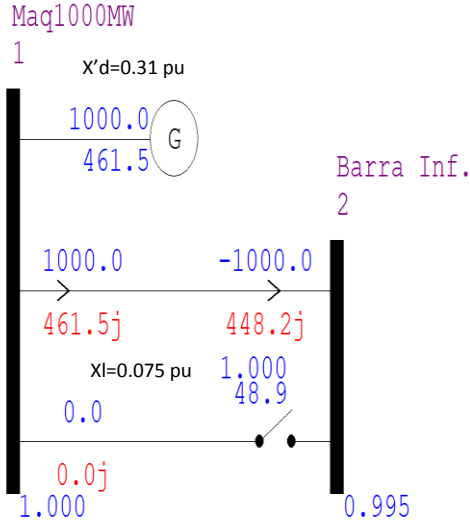






# Validação do Algoritmo Proposto

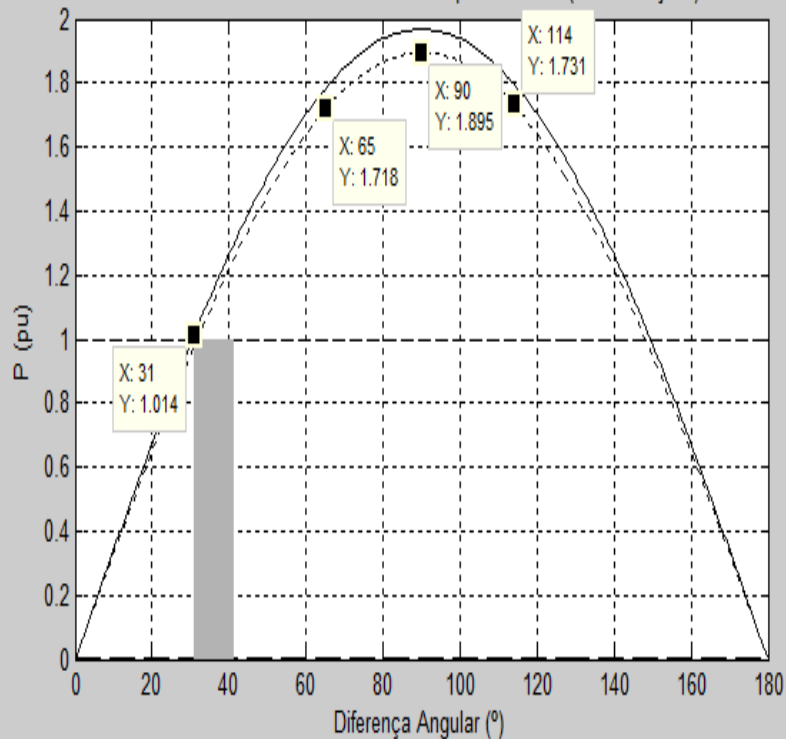
## Máquina x Barramento Infinito



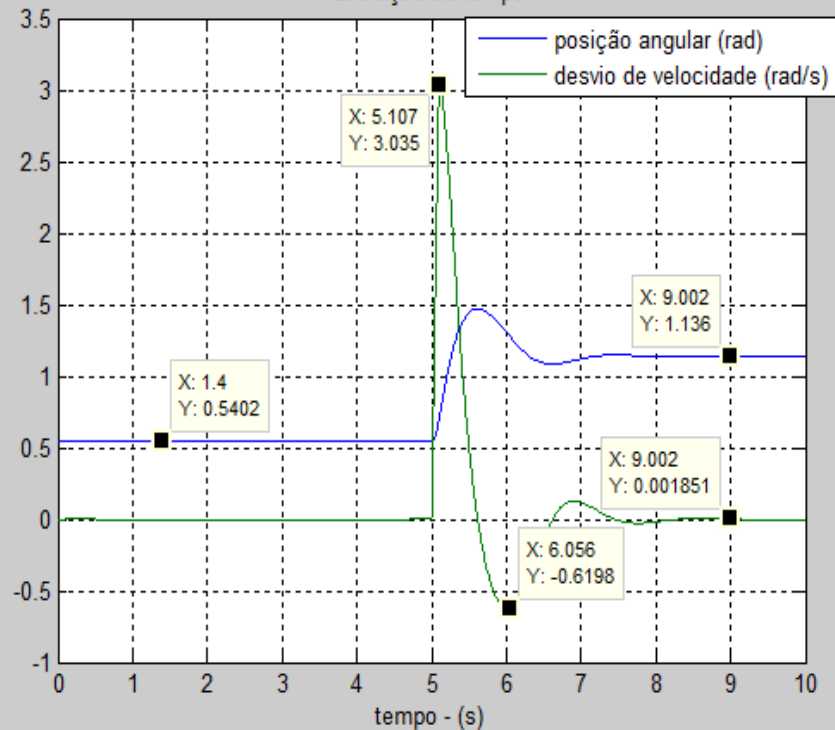


$D=0,1$  p.u.,  $t_{elim.} = 100\text{mseg}$ ,  $x_{tr} = 0.12$  pu

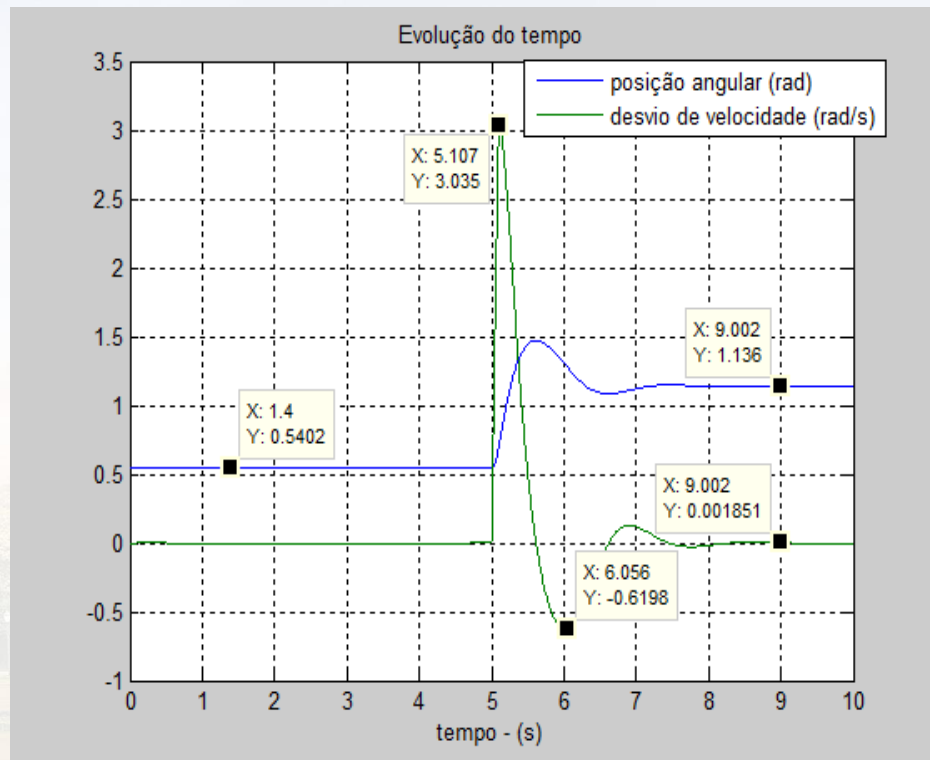
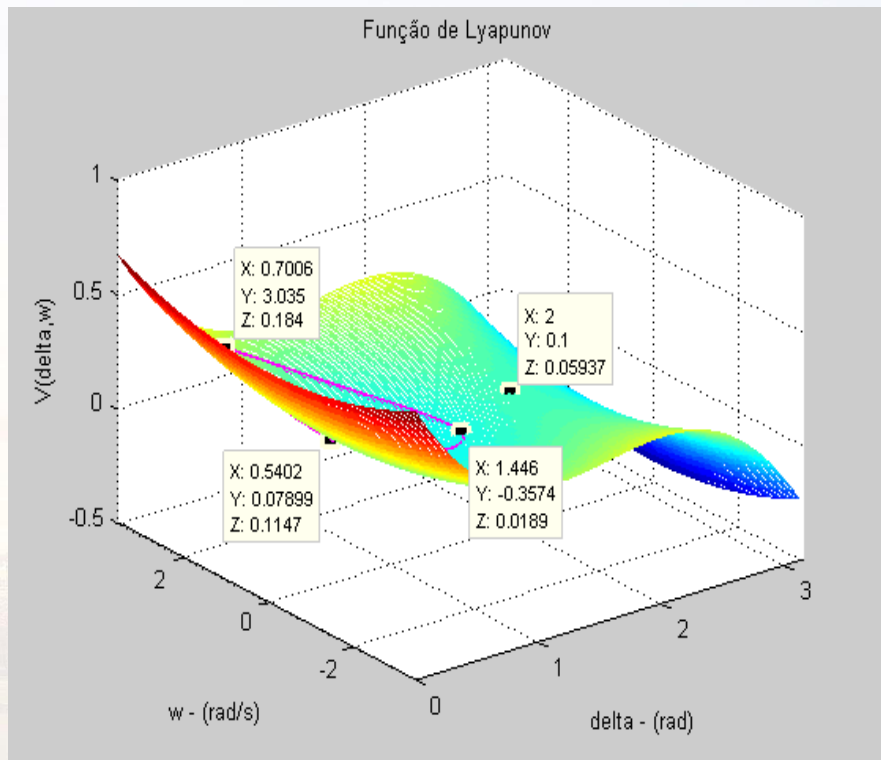
Transferência de Potência - Antes e Após o Evento (linha tracejada)



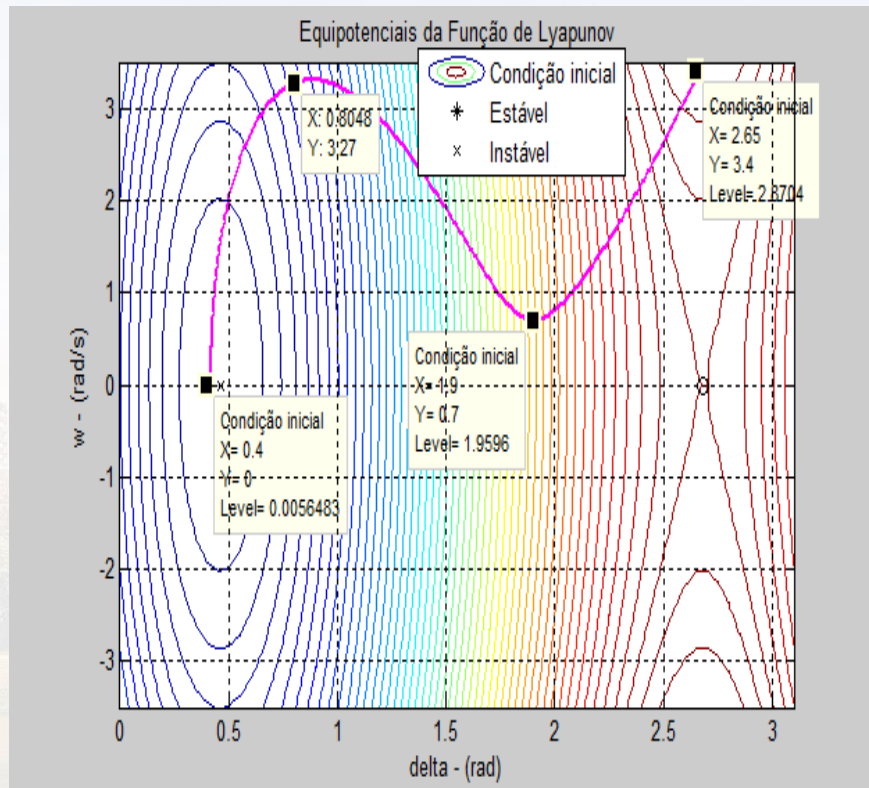
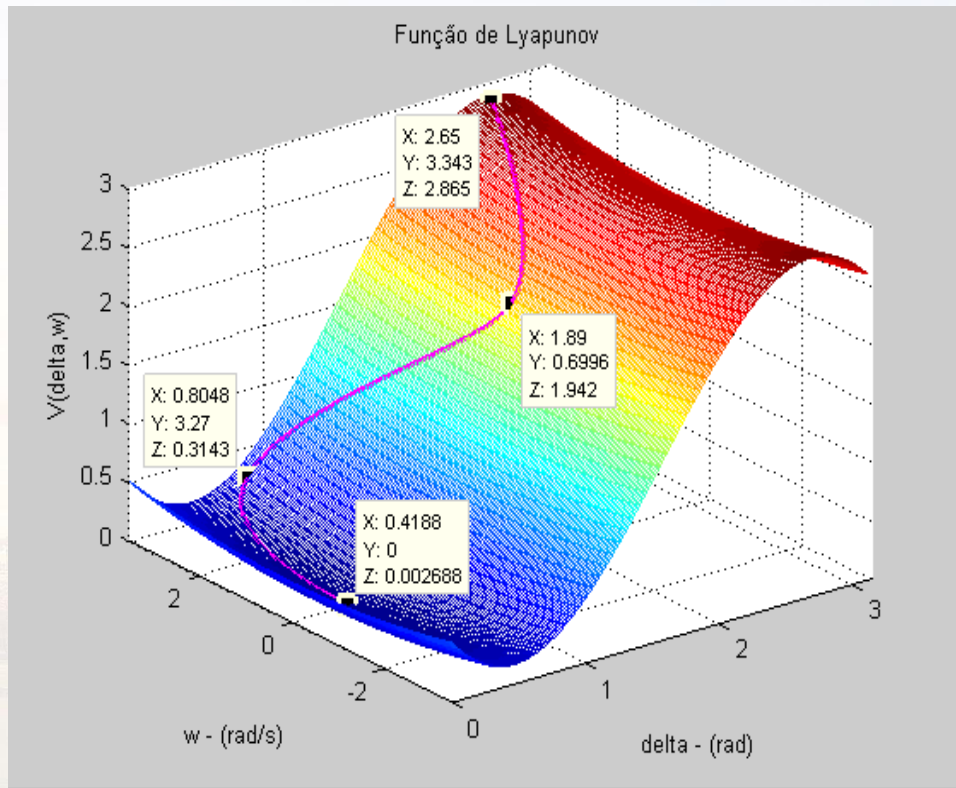
Evolução do tempo

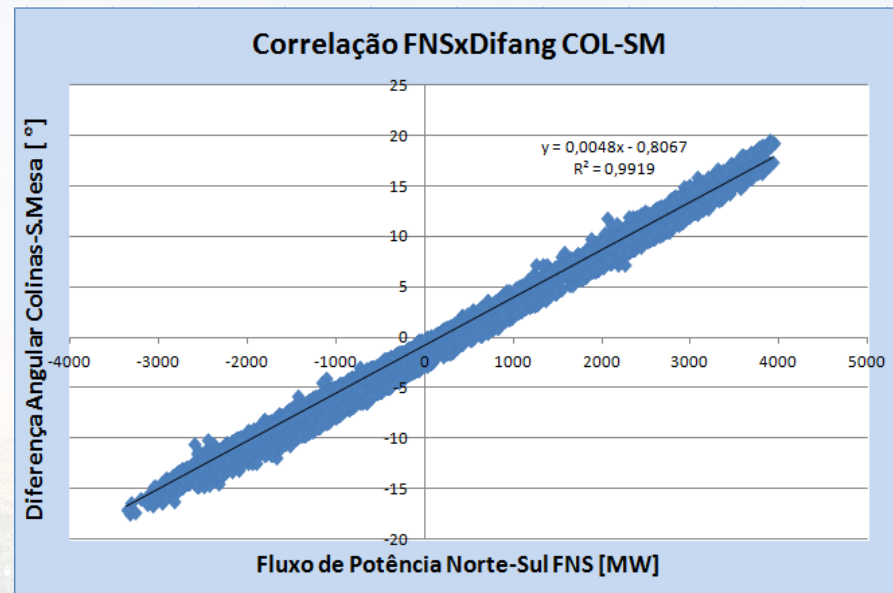
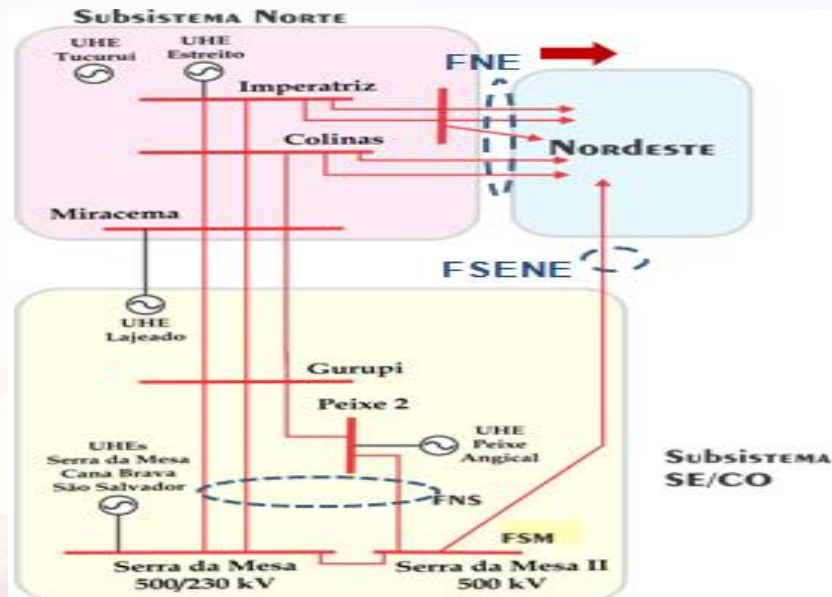


$D=0$ ,  $t_{elim.} = 100\text{mseg}$ ,  $x_{tr} = 0.12 \text{ pu}$



$D=0,1$  p.u.,  $t_{elim.} = 100\text{mseg}$ ,  $x_{tr} = 0,5$  pu



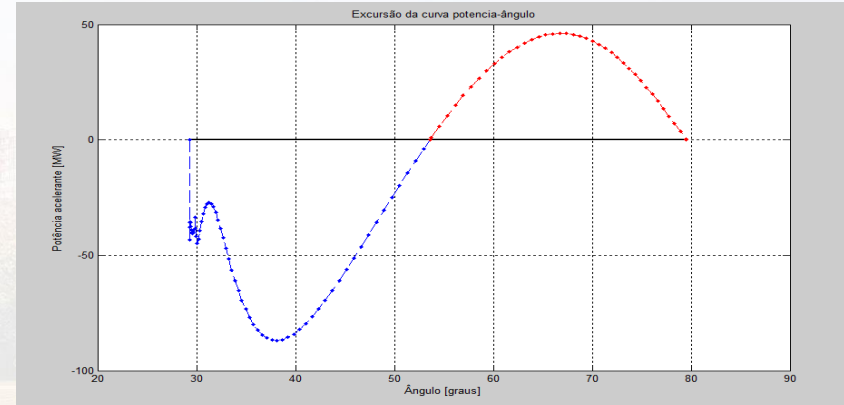
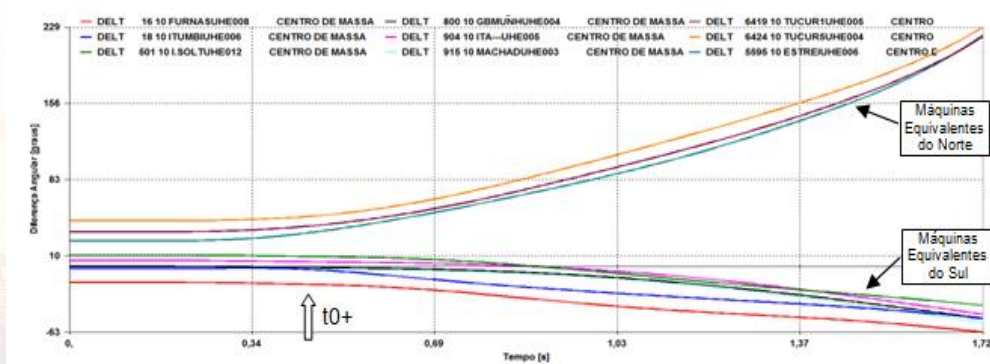


Intervalo de medição entre

**01/01/2016 à 01/01/2017**



- **Estudo preliminar** usando o software Anatem para a identificação do conjunto de máquinas coerentes para o corredor Norte-Sul.
- Aplicado **curto-circuito** na barra de Serra da Mesa, com queda de tensão de **35%**;
  - Remoção do curto-circuito **após 100ms**;
  - Abertos circuitos **Serra Mesa – Gurupi C1 e C2 e SM2-PX2**, isolando a Norte-Sul.

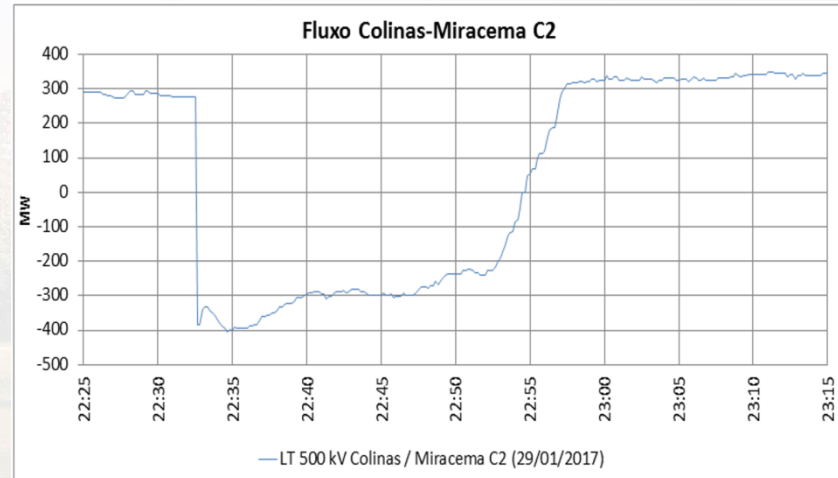
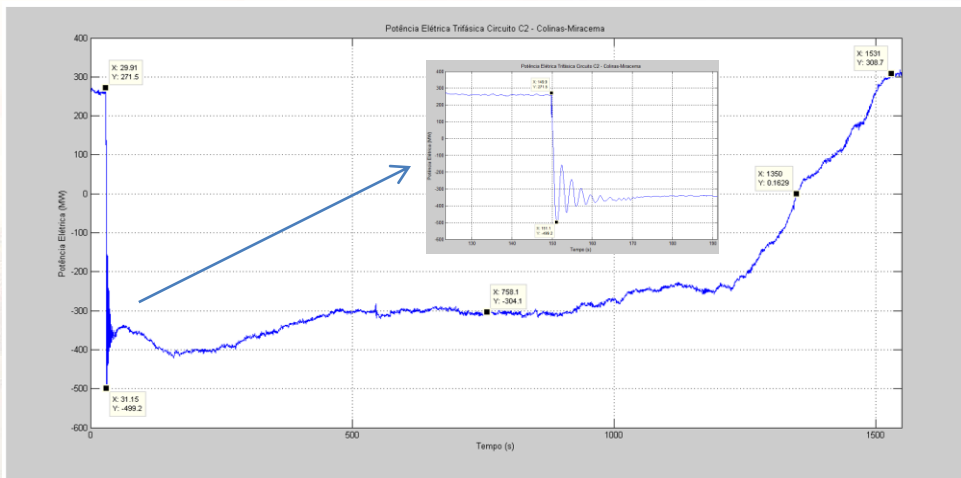


$$indice_{correlação} = \frac{\max(\delta_i) - \min(\delta_i)}{\max(\max(\delta_i) - \min(\delta_i))} + \frac{\max(P_{ai}) - \min(P_{ai})}{\max(\max(P_{ai}) - \min(P_{ai}))}$$

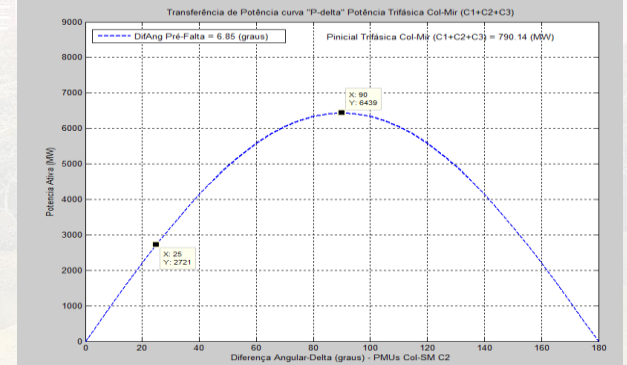
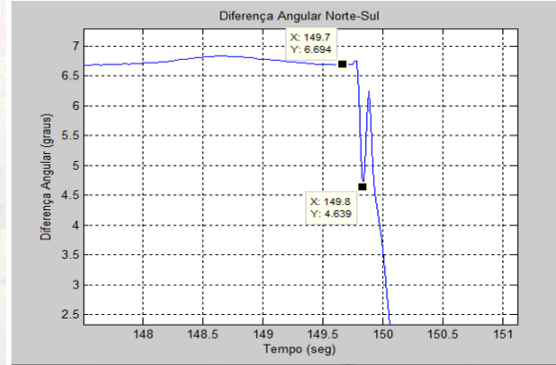
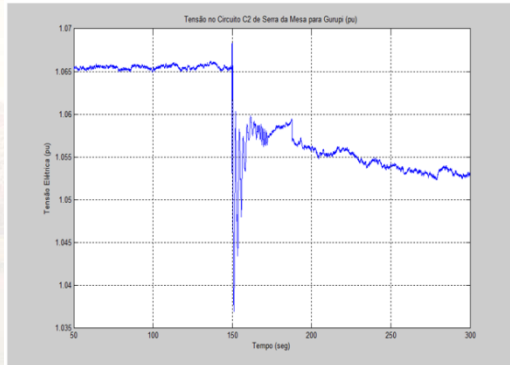
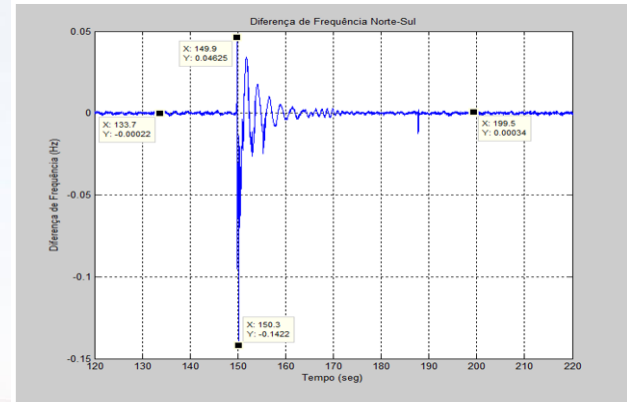
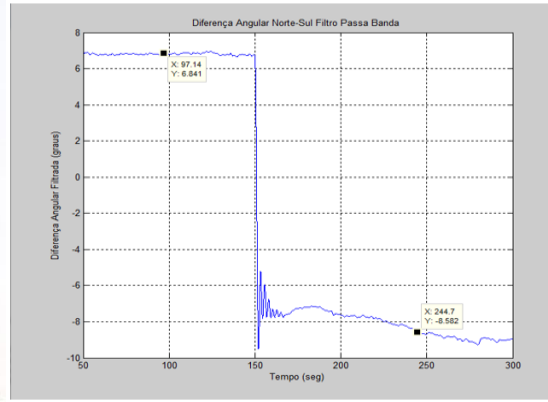
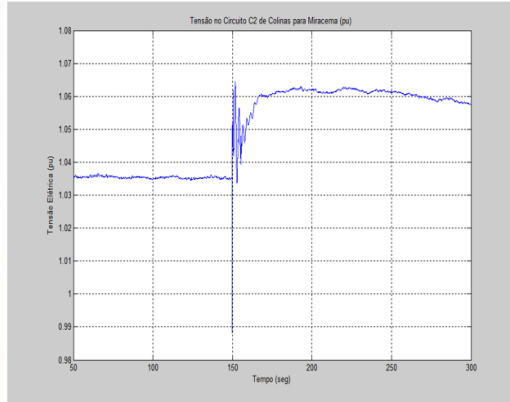
Área Aceleração	Área Desaceleração	Margem
1273,80 [MW.s]	774,36 [MW.s]	449,47 [MW.s]

## CASO REAL DE UMA PERTURBAÇÃO NO SIN

➤ No dia **29/01/17**, às **22h32min** ocorreu uma perturbação que teve início com o **desligamento** automático das **LTs 500kV Xingú-Tucuruí (C1 e C2)**, devido a um curto-circuito simultâneo, que isolou o sistema **Manaus/Macapá/Belo Monte** do restante do **SIN**. Essa perturbação causou uma variação significativa na diferença angular do corredor Norte-Sul. Após 25 min, as **máquinas do Norte** foram ressincronizadas ao **SIN**.



# MEDIÇÕES REALIZADAS COM AS PMUs



# ESTIMATIVA DA INÉRCIA E DA REATÂNCIA EQUIVALENTE

Três métodos diferentes: **1)** estimação via base de dados, **2)** ROCOF (df/dt) e 3) método proposto (mínimos quadrados não-linear).

USINA	Nº UNID	MVA UNID	H(s)	MW.s
FURNAS	8	160,00	5,00	6400,00
ITUMBIARA	6	365,00	4,31	9438,90
ILHA SOLTEIRA	12	178,60	3,85	8251,32
GBM	4	73,60	2,35	691,84
ITÁ	5	305,00	5,00	7625,00
MACHADINHO	3	418,50	3,00	3766,50
TUCURUI1	5	350,00	5,00	8750,00
TUCURUI5	4	350,00	4,00	5600,00
ESTREITO	6	151,80	6,00	5464,80
MANAUS/MACAPÁ	*	1042,00 (total)**	2,24	2334,08
BELO MONTE	*	2716,00 (total)**	4,50	12222,00
ENERGIA CINÉTICA TOTAL				70544,44

\* Grupo de Máquinas, \*\* MVA total do grupo

$$H_{eqNorte} = 4,40[s]$$

$$H_{eqSul} = 4,16[s]$$

$$H_{eq\_NSul} = \frac{H_{eqNorte} \times H_{eqSul}}{H_{eqNorte} + H_{eqSul}} ==> H_{eq\_NSul} = 2,13[s]$$

$$H_{eq\_NSul} = \frac{\frac{1}{2} f_n \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_i}{Rocof_i}}{\sum_{i=1}^n S_n^i}$$

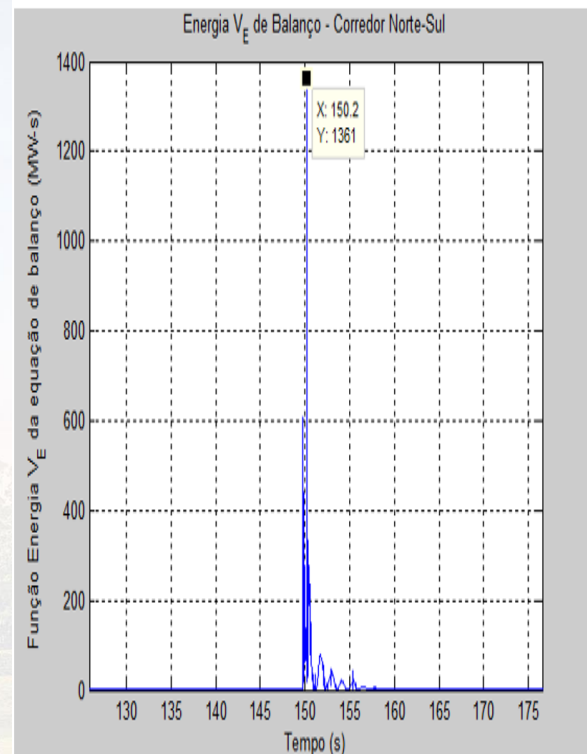
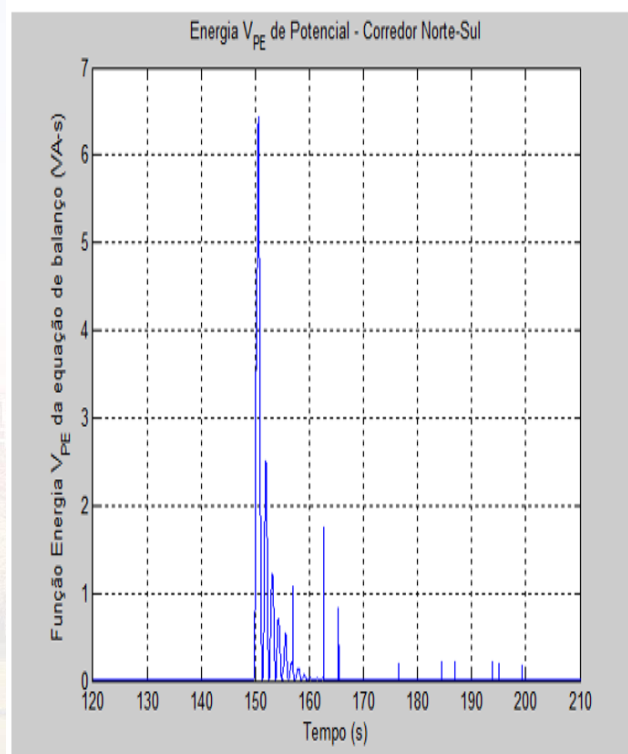
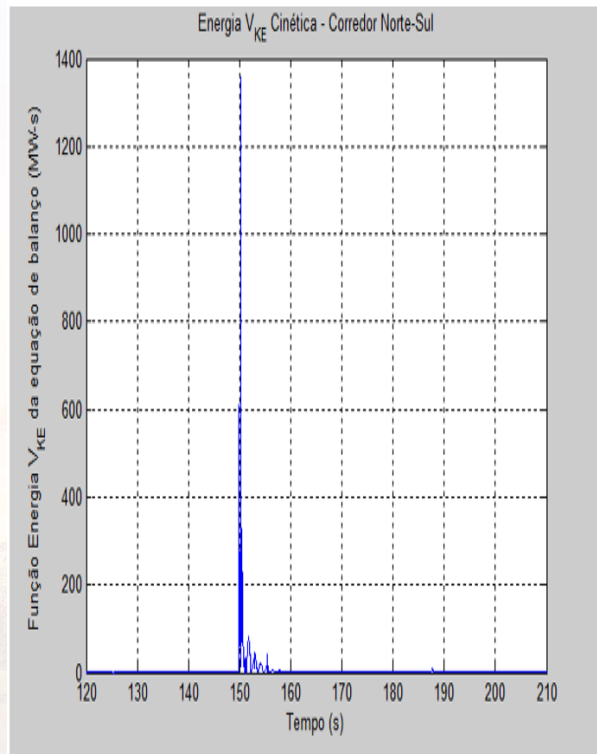
Tempo UTC (+3h)	PMU	ROCOF (Hz/seg)
2017-01-30 00:32:29.783	Colinas-Miracema C2	-4,72
2017-01-30 00:32:29.783	Serra da Mesa-Gurupi C2	-1,76

$$\Delta P = 45 MW, S_{pré-falta} = 395 MVA$$

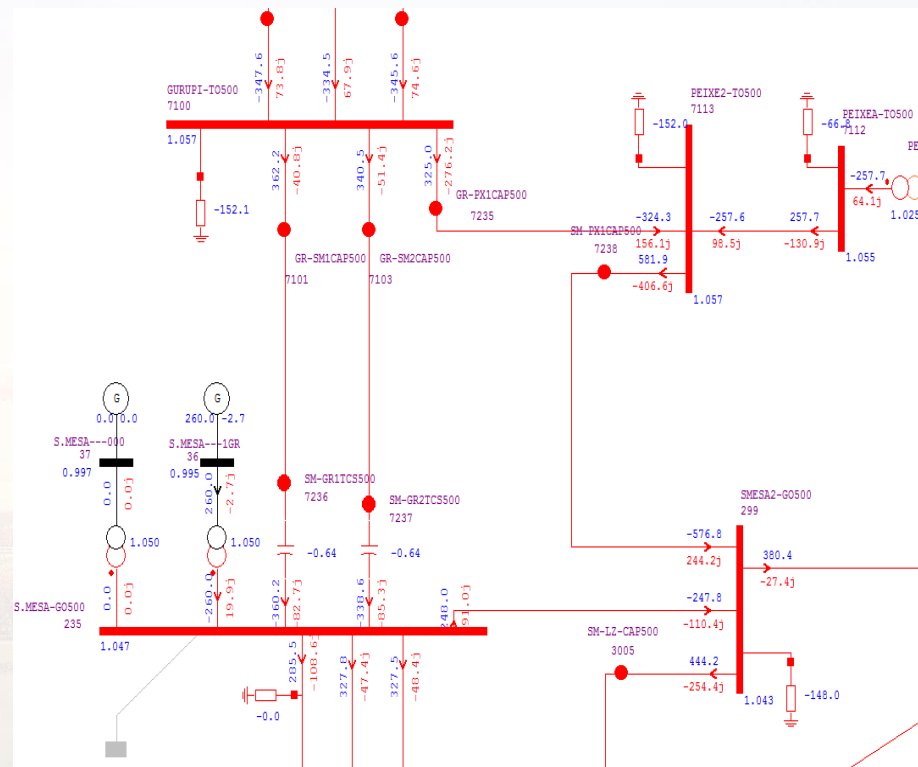
$$H_{eq\_NSul} = 2.44[s]$$



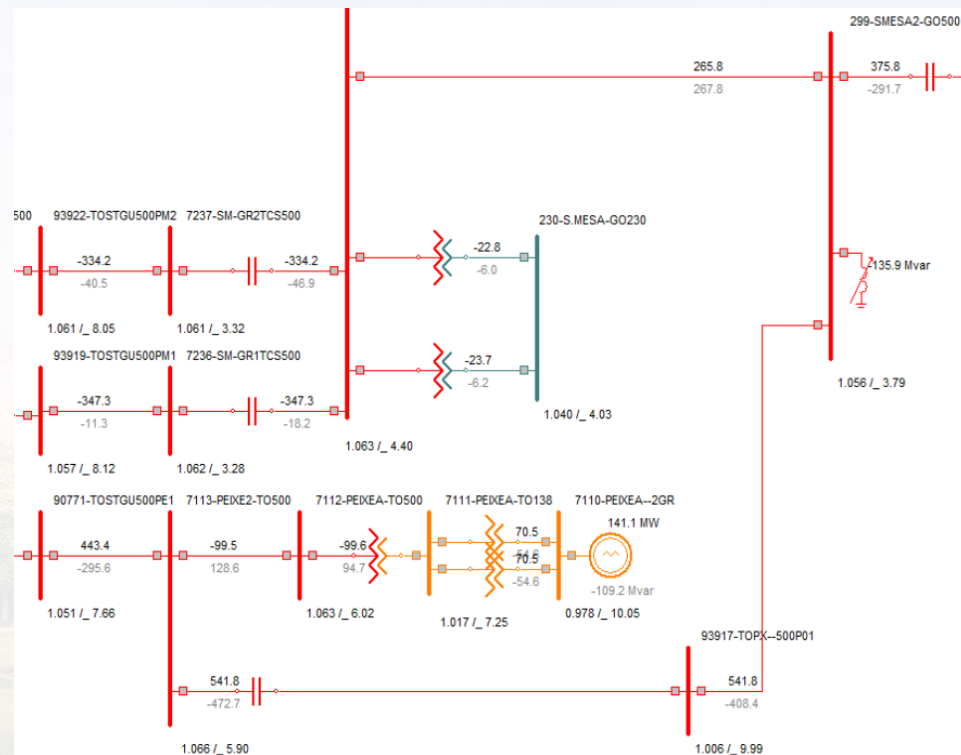


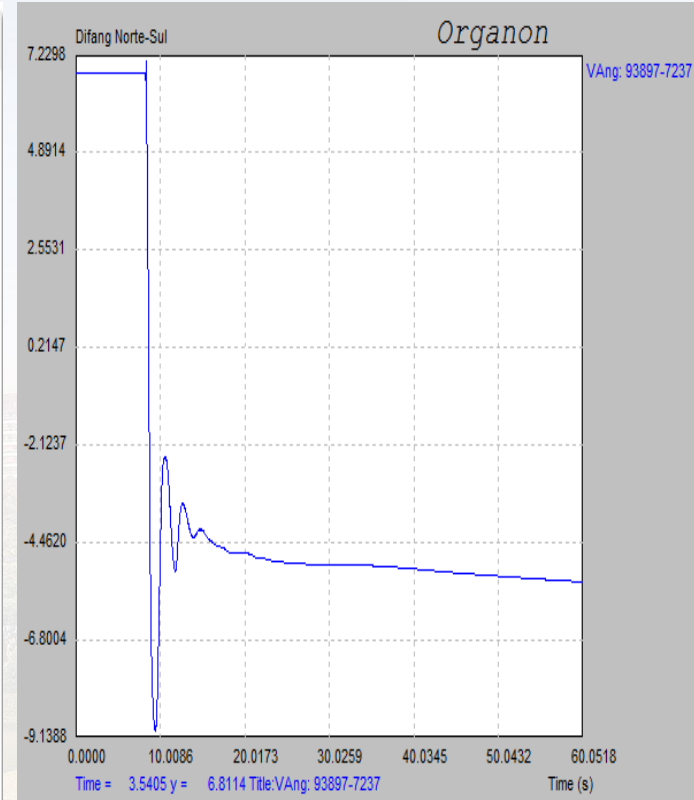
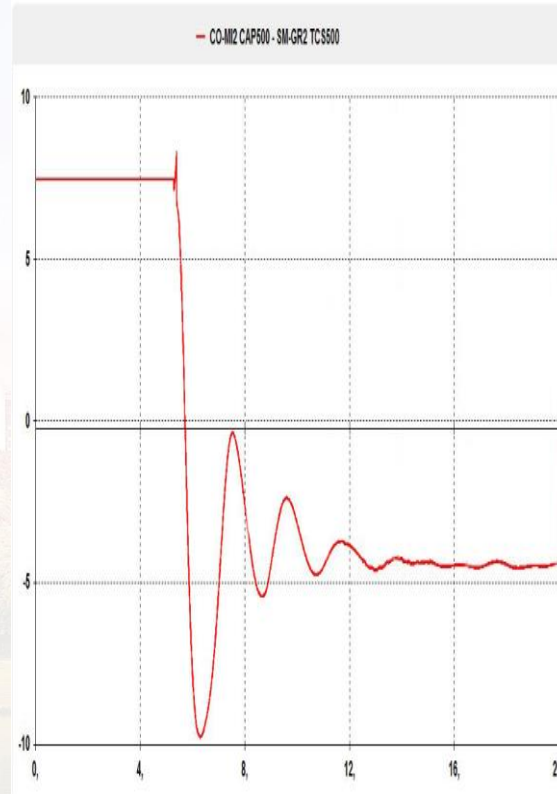
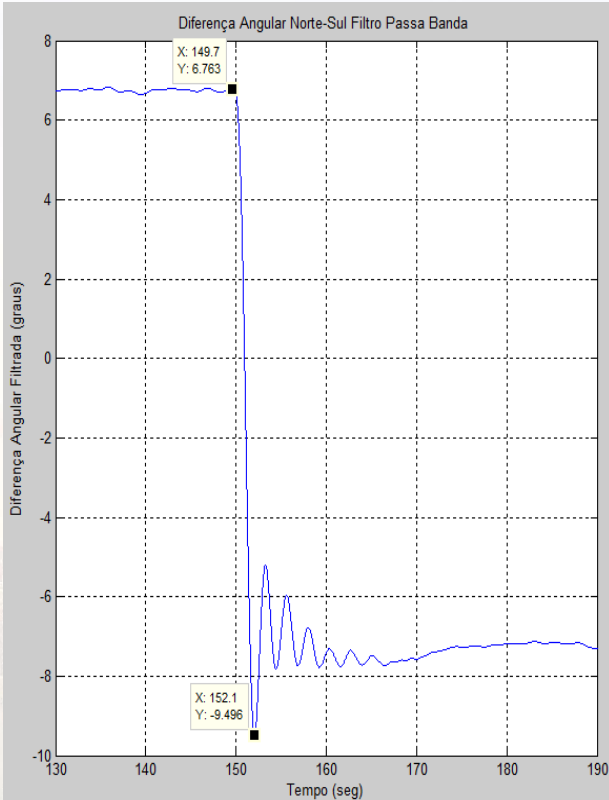


## ANAREDE



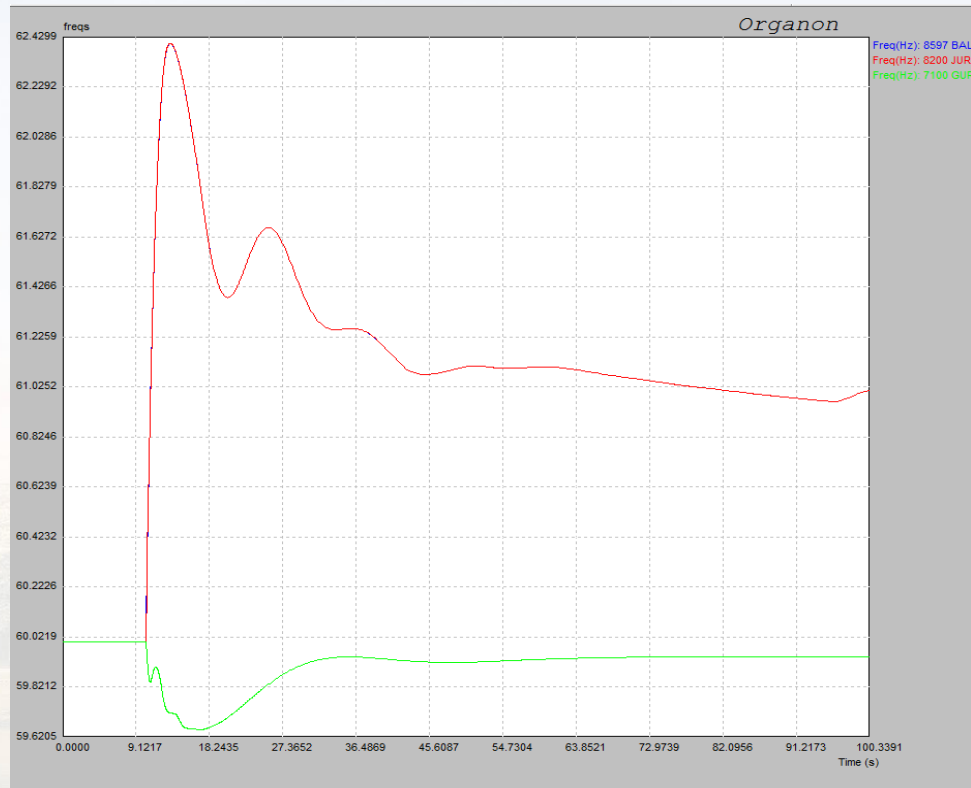
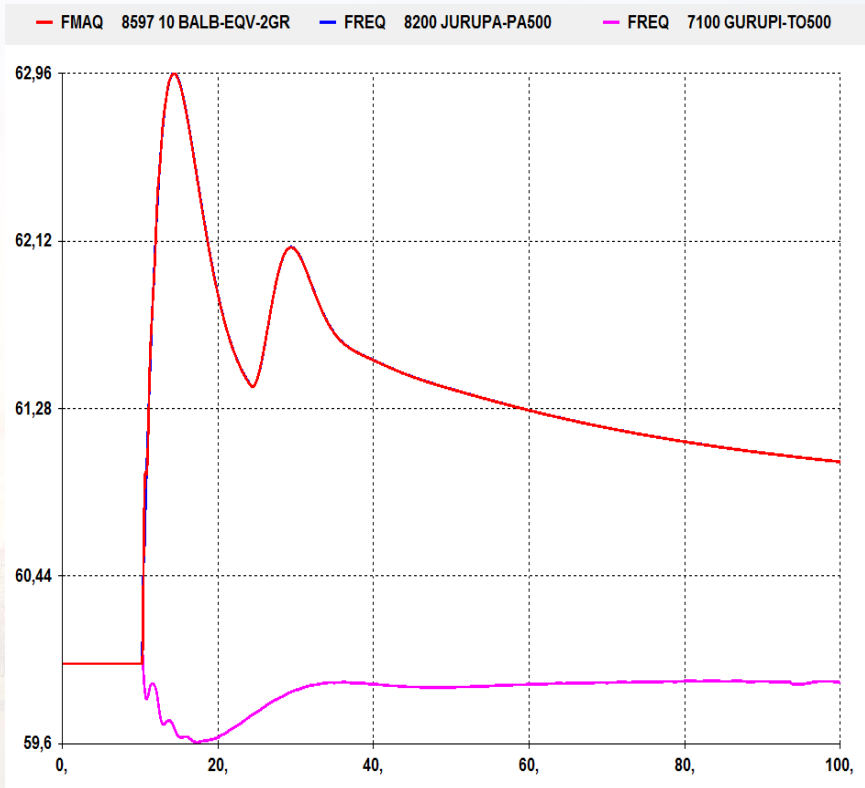
# ORGANON







# Comportamento de Frequência das Ilhas Geelétricas **Separadas** (Manaus/Macapá – SIN)



# FORMAÇÃO DE ILHAS - ORGANON

## CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESTABILIDADE

Net Data & Param/Options	Contingency	Margin(MW)	BackSwing	StabIndex	C 1	C 2	C 3
Synchr. Gen. Data	dupla-TU-XI+tr	0.0	Yes	0.537	6425		
Power Flow Results	dupla-TU-XI+tr	173.9	Yes	0.968	8224	8225	8595
Time Domain Summary	dupla-TU-XI+tr	648.6	Yes	1.000	7050	7064	
TD_01 Margin							

PF_21 Phase Shift	Bus	Bus Name	Area	Zone	Island #	Swing #	Swing Name
PF_22 Swing Buses	8250	JURUPA-PA230	80	1	2	501	I.SOLT-19GR
PF_23 Islands	8225	CNUNE2--1GR	82	1	2	501	I.SOLT-19GR
PF_24 DC Links	8224	CNUNE1--3GR	82	1	2	501	I.SOLT-19GR
PF_23 Islands	8595	MAUABL--2GR	85	1	2	501	I.SOLT-19GR
PF_23 Islands	6425	TUCUR6--1GR	59	1	2	501	I.SOLT-19GR
PF_23 Islands	7050	SANTO---9GR	48	1	3	7064	SANTO--30GR
PF_23 Islands	7064	SANTO--30GR	48	1	3	7064	SANTO--30GR
PF_23 Islands	36	S.MESA--3GR	1	1	2	501	I.SOLT-19GR

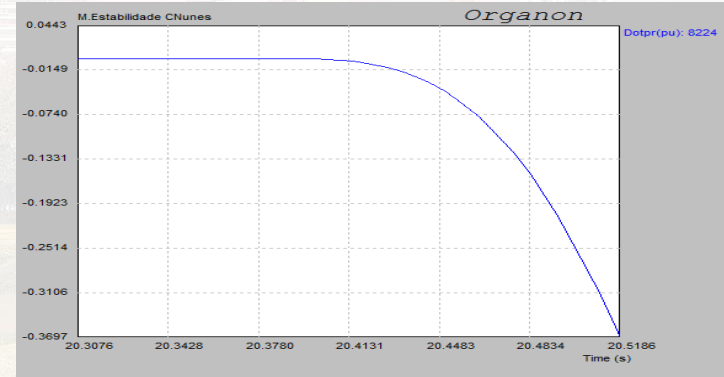
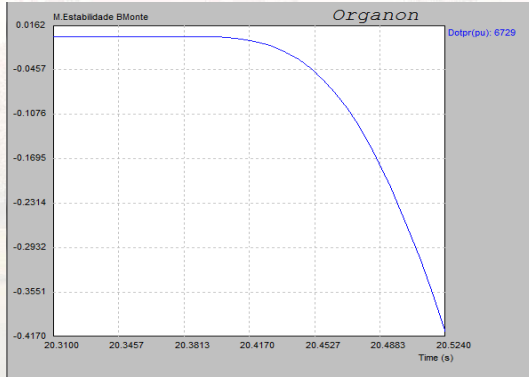
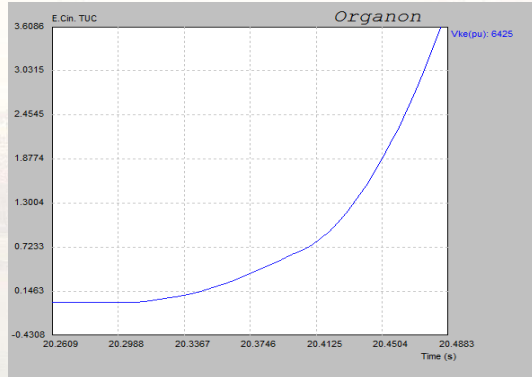
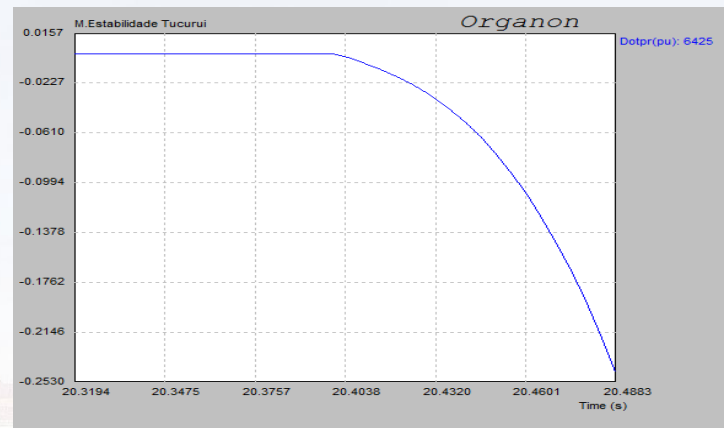
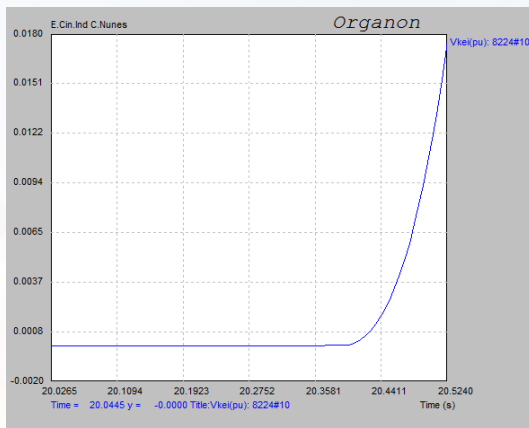
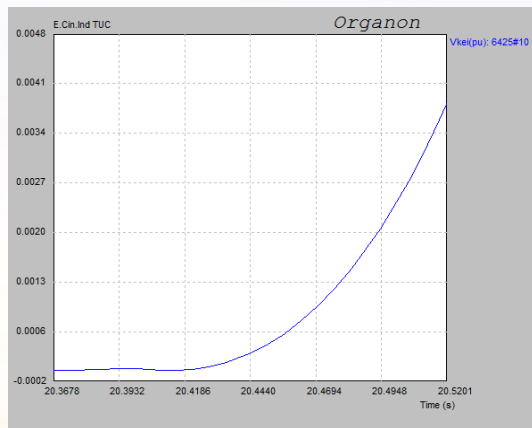
Fluxo  
Potência  
pré-falta











- Através de cenários de comparação entre os softwares Anatem e Organon, determinou-se com, com grande propriedade, o ponto inicial de operação, em cada simulação, cujas respostas, no domínio do tempo, foram, praticamente, as mesmas;
- A abordagem prática, de estabilidade transitória, através de métodos indiretos ou híbridos, como o SIME ainda não é aplicada em Centros de Controle através de DSA (Dynamic Security Assessment);
- A computação da Energia de Potencial ainda é um obstáculo pois é necessário ter-se o ângulo de equilíbrio, em regime permanente - após eliminado o evento;
- Esse trabalho trouxe uma contribuição nesse âmbito, através do uso de Medição Sincronizada de Fasores (PMUs), com a abordagem da determinação da Função Energia (Cinética e Potencial) através de modos dominantes da Energia;

- O software **Organon** possui implementado, no seu algoritmo, a Função Energia e as **Margens de Estabilidade** – através de índices numéricos – que se mostraram mais robustos do que através de margem por MW (acelerante ou desacelerante);
- O projeto de **Medição Sincronizada de Fasores (SMSF)** do ONS, em implantação, terá um módulo DSA com a finalidade de se determinar a **transferência dinâmica de limites nos principais corredores do SIN** – aonde, atualmente, **poucos** Centros de Controle ao redor do mundo o possuem, em operação, no **Tempo Real**;
- Por fim, esse trabalho mostrou a possibilidade e a viabilidade de, através do uso de PMUs, determinar a **Função Energia** de um modo **simples e eficiente, através da transferência de modos dominantes de Energia**.





## RAFAEL FERNANDES

---

 (21) 3444-9475

 (21) 3444-9400

 [rafael.fernandes@ons.org.br](mailto:rafael.fernandes@ons.org.br)

 [www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)