	RELATÓRIO		Nº: RL-ANP-FPL-028	
	CLIENTE: ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS			FOLHA: 1 de 12
	PROGRAMA: MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS			-
	TÍTULO: Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Paulínia – Jacutinga (GASPAJ)			-

Faculdades Católicas – PUC-Rio – **SIMDUT**

ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	EMISSÃO ORIGINAL
A	REVISÃO APÓS COMENTÁRIOS DA ANP/SCM

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	22/05/2015	15/06/2015							
PROJETO	ANP	ANP							
EXECUÇÃO	L.Pires	L.Pires							
VERIFICAÇÃO	I.Patrocino	I.Patrocino							
APROVAÇÃO	P.Krause	P.Krause							

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA ANP, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-028**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 2 de 12**TÍTULO:** Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Paulínia – Jacutinga (GASPAJ)

-

-

ÍNDICE

1	OBJETIVO	3
2	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	3
3	DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO	3
4	PREMISSAS DE CÁLCULO	4
4.1	CONDIÇÕES DE REFERÊNCIA	4
4.2	MODELO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	4
4.3	TEMPERATURA DO SOLO	5
4.4	CORRELAÇÕES ADOTADAS	5
4.5	SOFTWARE UTILIZADO	5
4.6	CARACTERÍSTICAS DO GÁS	5
4.7	TEMPERATURA AMBIENTE (REF. 2.1)	5
4.8	VISCOSIDADE (REF. 2.5)	5
5	CARACTERÍSTICAS DO GASODUTO PAULÍNIA - JACUTINGA	6
5.1	DIÂMETRO, ESPESSURA E PMOA	6
5.2	PERFIL ALTIMÉTRICO	7
5.3	RUGOSIDADE	7
5.4	PONTOS DE ENTREGA	7
5.5	PONTOS DE RECEBIMENTO	8
6	CONDIÇÕES DE CONTORNO	8
6.1	PERFIL DE CONSUMO	8
6.2	PRESSÃO MÁXIMA DE OPERAÇÃO ADMISSÍVEL	8
6.3	PRESSÃO DE ENTREGA NOMINAL CONTRATUAL	8
6.4	INTERCONEXÕES	8
7	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	9

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-028**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 3 de 12**TÍTULO:** Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Paulínia – Jacutinga (GASPAJ)

-

-

1 OBJETIVO

Documentar as informações necessárias para a criação do modelo computacional do gasoduto Paulínia - Jacutinga (GASPAJ) e apresentar as características físicas e valores limites de projeto dos diversos elementos que compõe o modelo de simulação termo-hidráulica. Permitindo, assim, a reprodutibilidade do modelo por qualquer interessado.

O modelo foi criado para o programa de simulação *PipelineStudio* versão 3.4.1.0 da *Energy Solutions*.

2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Os documentos técnicos codificados utilizados como referência para elaboração do Relatório são:

- 2.1. RT-PSL-09.09 – Relatório de Simulação Termo-hidráulica do Gasoduto Paulínia - Jacutinga
- 2.2. MO-5TP-00158-0 – Manual de Operação do Gasoduto GASPAJ
- 2.3. DE-4300.89-6521-948-CZP-001 a 094 – Perfil
- 2.4. Processo ANP nº 48610.010500/2012-40
- 2.5. RL-ANP-FPL-007_RA – Análise da Influência de Parâmetros Utilizados no Modelo de Cálculo da Capacidade
- 2.6. RL-ANP-FPL-029_RA - Cálculo de Capacidade do GASPAJ (Gasoduto Paulínia – Jacutinga)
- 2.7. Procedimento Mútuo de Operação da Interligação entre o Gasoduto GASPAJ e o Gasoduto da TBG

3 DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO

O Gasoduto Paulínia – Jacutinga (GASPAJ) é composto por uma linha tronco de 14" de diâmetro nominal e extensão aproximada de 93 km. Uma visão geral desse gasoduto é apresentada na Figura 1.

O GASPAJ tem início na Estação lançadora de *pig* da REPLAN, onde recebe o gás natural do gasoduto Bolívia – Brasil (GASBOL), em Paulínia no estado de São Paulo. O gás é enviado para Jacutinga, Minas Gerais.

O modelo de simulação desenvolvido compreende todo o gasoduto. Para o desenvolvimento do modelo foi utilizado o programa comercial *Pipeline Simulator* da



EnergySolutions Inc, versão 3.4.1.0. A representação gráfica do modelo está apresentada na Figura 2.



Figura 1 – Visão geral dos gasodutos do Rio de Janeiro e São Paulo e Minas Gerais¹



Figura 2 – Fluxograma do modelo do GASPAJ

4 PREMISSAS DE CÁLCULO

4.1 Condições de Referência

- Pressão: 1 atm
- Temperatura: 20°C

4.2 Modelo de Transferência de Calor

- Coeficiente de transferência de calor global solo-tubo: 1,9 kcal/hm²°C (Ref. 2.1)

¹ No mapa, apesar do GASPAJ faz parte do modelo.

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-028**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 5 de 12**TÍTULO:** Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Paulínia – Jacutinga (GASPAJ)

-

-

4.3 Temperatura do Solo

Valor apresentado na referência 2.1.

- Paulínia-Jacutinga: 28°C

4.4 Correlações Adotadas

De forma a seguir as orientações gerais para construção de modelos de simulação computacional de gasodutos apresentadas na referência 2.5, as seguintes correlações foram adotadas:

- Equação de Estado: BWRS
- Fator de Atrito: Colebrook

4.5 Software Utilizado

- Pipeline Studio versão 3.4.1.0

4.6 Características do Gás

A composição do gás natural utilizado no modelo tem como base janeiro de 2015 (Ref. 2.4) e está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição média do gás natural

Componente	Sigla	Fração Molar (%)
Metano	C1	89,51
Etano	C2	6,03
Propano	C3	1,87
i-Butano	iC4	0,40
n-Butano	nC4	0,49
i-Pentano	iC5	-
n-Pentano	nC5	-
Oxigênio	O ₂	-
Nitrogênio	N ₂	0,65
Dióxido de Carbono	CO ₂	1,52

4.7 Temperatura Ambiente (Ref. 2.1)

Valor apresentado na referência 2.1.

- Paulínia-Jacutinga: 20°C

4.8 Viscosidade (Ref. 2.5)

- Correlação LGE

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-028**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 6 de 12**TÍTULO:** Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Paulínia – Jacutinga (GASPAJ)

-

-

5 CARACTERÍSTICAS DO GASODUTO PAULÍNIA - JACUTINGA

O Gasoduto Paulínia - Jacutinga (GASPAJ) é composto de uma linha tronco de aproximadamente 93 km, com diâmetro externo de 14 polegadas e um ponto de entrega, conforme a referência 2.2.

5.1 Diâmetro, Espessura e PMOA

O gasoduto é constituído de tubulação de aço carbono de especificação API 5L X65, de 14 polegadas de diâmetro externo, espessuras de parede variando de 0,219 polegada a 0,312 polegada (referência 2.2). A pressão de projeto é de 100 kgf/cm²g para a temperatura de até 50 °C (referências 2.1 e 2.2).

Os valores de espessura utilizados por trecho no modelo de simulação são valores ponderados a partir dos valores citados na referência 2.2.

A Tabela 2 apresenta os trechos do gasoduto que foram modelados para refletir o perfil de elevação do mesmo.

Tabela 2 - Trechos de dutos e espessuras

Trecho	Diâmetro (pol)	Comprimento (km) *	Espessura (pol)**	Cota (m)***
Duto1	13,44	3,27	0,281	E 600 - D 620
Duto2	13,48	7,04	0,274	E 620 - D 540
Duto3	13,38	6,04	0,219	E 540 - D 630
Duto4	13,39	5,03	0,281	E 630 - D 580
Duto5	13,52	7,73	0,234	E 580 - D 703
Duto6	13,53	2,6	0,219	E 703 - D 623
Duto7	13,55	7,27	0,219	E 623 - D 700
Duto8	13,49	8,31	0,256	E 700 - D 670
Duto9	13,50	7,91	0,244	E 670 - D 605
Duto10	13,53	7,73	0,239	E 605 - D 825
Duto11	13,48	6,98	0,263	E 825 - D 670
Duto12	13,56	3,78	0,252	E 670 - D 885
Duto13	13,52	1,42	0,229	E 885 - D 750
Duto14	13,41	2,96	0,294	E 750 - D 823
Duto15	13,39	3,03	0,304	E 823 - D 1010
Duto16	13,41	1,51	0,292	E 1010 - D 815
Duto17	13,44	1,76	0,282	E 815 - D 990
Duto18	13,48	9,23	0,276	E 990 - D 975

* - Comprimento a partir da REPLAN;

** - Espessura média do segmento;

*** - O programa de simulação usado só permite cota nos nós, E significa a cota do lado esquerdo do e D do lado direito do segmento.

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-028**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 7 de 12**TÍTULO:** Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Paulínia – Jacutinga (GASPAJ)

-

-

Nesse documento, as localizações e extensões, expressas em km, referem-se ao comprimento desenvolvido (real), salvo quando disposto em contrário.

5.2 Perfil Altimétrico

A Figura 3 apresenta o perfil de elevação do GASPAJ, utilizado no modelo de simulação, que foi simplificado a partir dos perfis apresentados na referência 2.3.

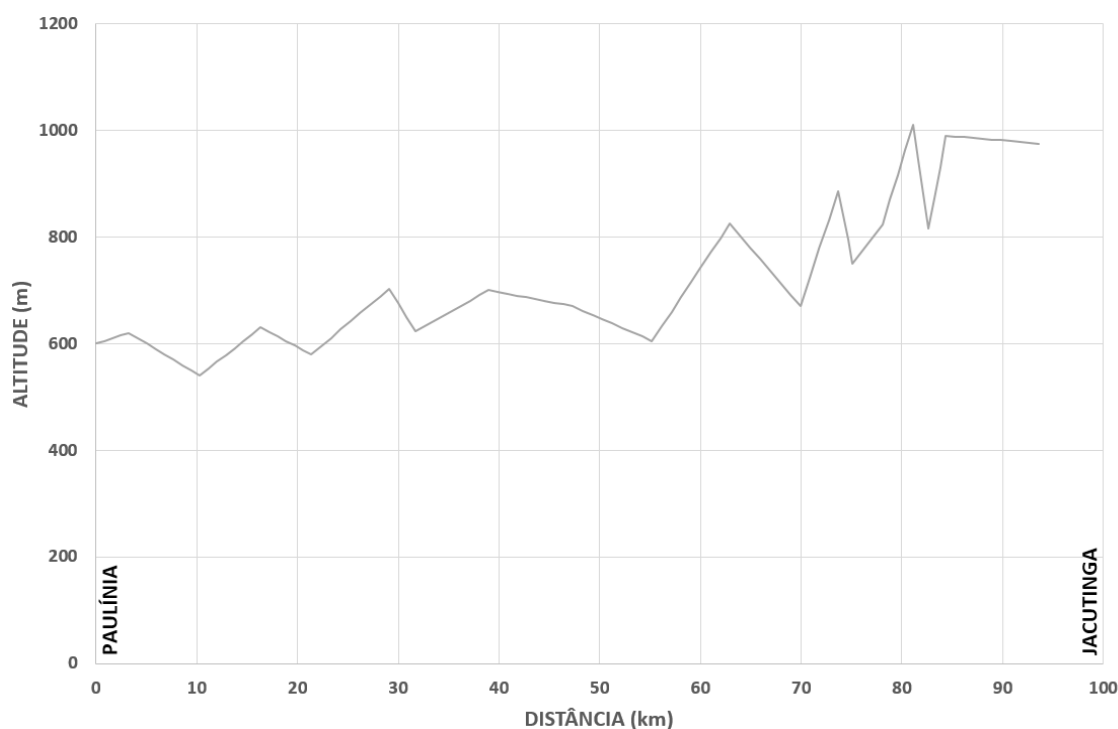


Figura 3 – Perfil do GASPAJ

5.3 Rugosidade

A rugosidade adotada para a simulação do GASPAJ foi a de um duto antigo no valor de 0,045 mm.

5.4 Pontos de Entrega

O GASPAJ possui um único ponto de entrega descrito na Tabela 3, conforme a referência 2.2.

Tabela 3 – Ponto de Entrega

Ponto de Entrega	Km Desenvolvido	Cota (m)	Vazão ($\times 10^3$ m ³ /dia)	
			Mínima	Máxima
Jacutinga	93,6	975	50	1.250

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-028**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 8 de 12**TÍTULO:** Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Paulínia – Jacutinga (GASPAJ)

-

-

5.5 Pontos de Recebimento

O Ponto de Recebimento do GASPAJ consiste na interconexão com o GASBOL, na Estação de Medição da REPLAN.

6 CONDIÇÕES DE CONTORNO**6.1 Perfil de Consumo**

A Tabela 4 apresenta o cenário de distribuição de demanda. O valor apresentado representa a média diária do mês de janeiro de 2015, conforme apresentado em. <http://tag.petrobras.com.br/main.jsp?lumChannelId=8A95ECEB2260CD61012266064C477B86>

Tabela 4 - Cenário de Distribuição de Demandas base Janeiro/2015

Ponto de Entrega	Vazão Média (x10 ³ m ³ /dia)
Jacutinga	281,903

6.2 Pressão Máxima de Operação Admissível

A pressão máxima de operação admissível do GASPAJ é 100 kgf/cm².

6.3 Pressão de Entrega Nominal Contratual

A Tabela 5 apresenta a pressão de entrega nominal de cada trecho, conforme a referência 2.2.

Tabela 5 – Pressão de Entrega Nominal Contratual

Ponto de Entrega	Pressão (kgf/cm ²)
Jacutinga	45

6.4 Interconexões

As condições de contorno nos pontos de interconexão devem ser estabelecidas no acordo de interconexão. Na falta deste documento, utilizou-se no modelo as condições definidas na referência 2.7.

Para o ponto de recebimento da REPLAN foram consideradas as condições da Tabela 6.

Tabela 6 – Ponto de Entrega

Ponto de Recebimento	Km Desenvolvido	Cota (m)	Pressão (kgf/cm ²)
REPLAN	0	600	100

7 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

A pressão no ponto de entrega é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Pressão de Entrega Nominal Contratual

Ponto de Entrega	Pressão (kgf/cm ²)
Jacutinga	96,5

As distribuições de vazão e pressão no GASPAJ estão apresentadas na Figura 4.

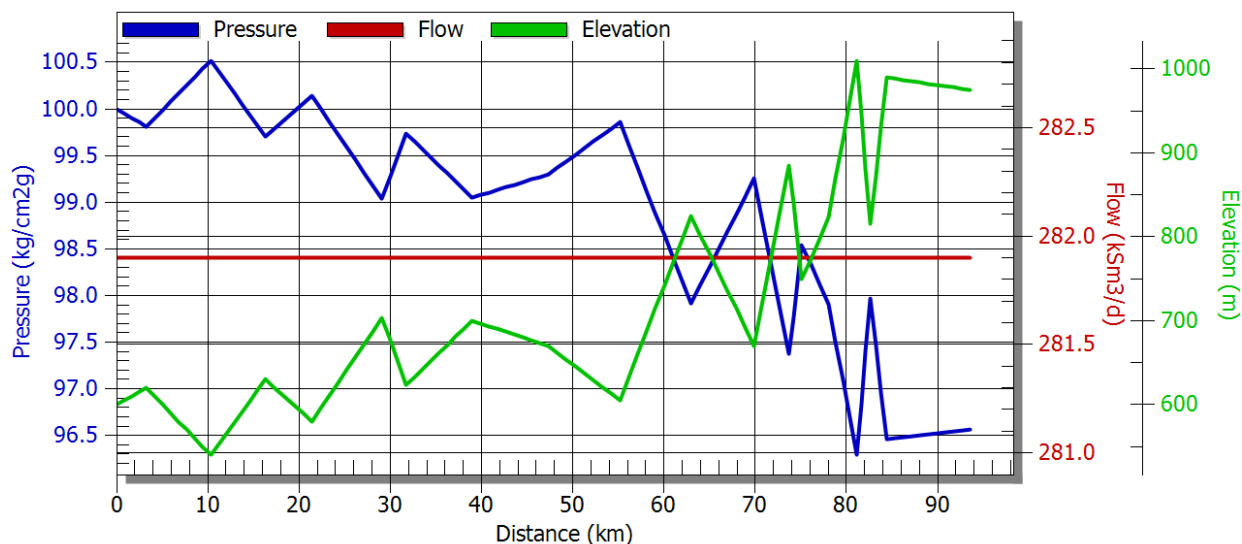


Figura 4 – Perfil de pressão e vazão do GASPAJ

Deve-se ressaltar que os resultados das simulações que detalham as capacidades de transporte comercial e disponível encontram-se na referência 2.6.



RELATÓRIO

Nº RL-ANP-FPL-028

REV. A

PROGRAMA: MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS

FOLHA 11 de 12

TÍTULO: Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Paulínia – Jacutinga (GASPAJ)

7 0.0001000 0.0000083 0.0000015 0.0000000 Pipe DUTO6

* SIMULACAO *

* Reference Conditions Report *
*****Reference Pressure = 0.00 KG/CM2G
Reference Temperature = 20.00 (DEG C)*****
* Leg Hydraulic Summary Report ----- Time = 0.000 (HRS) *

Leg ID	Pressure KG/CM2G		Flow (KSM3/D)		Line Pack (KSM3)	Temperature (DEG C)	
	Head	Tail	Head	Tail		Head	Tail
DUTO1	100.00	99.81	281.900	281.900	36.2102	20.00	24.18
DUTO10	99.86	97.92	281.900	281.900	82.6635	28.14	27.55
DUTO11	97.92	99.25	281.900	281.900	73.7257	27.55	28.27
DUTO12	99.25	97.38	281.900	281.900	40.3300	28.27	27.44
DUTO13	97.38	98.54	281.900	281.900	14.9975	27.44	28.18
DUTO14	98.54	97.91	281.900	281.900	30.8166	28.18	27.84
DUTO15	97.91	96.29	281.900	281.900	31.1388	27.84	27.28
DUTO16	96.29	97.96	281.900	281.900	15.5394	27.28	28.32
DUTO17	97.96	96.46	281.900	281.900	18.2039	28.32	27.51
DUTO18	96.46	96.57	281.900	281.900	95.3060	27.51	27.97
DUTO2	99.81	100.52	281.900	281.900	76.5806	24.18	27.46
DUTO3	100.52	99.71	281.900	281.900	64.1268	27.46	27.64
DUTO4	99.71	100.14	281.900	281.900	53.2652	27.64	28.03
DUTO5	100.14	99.04	281.900	281.900	83.1578	28.03	27.74
DUTO6	99.04	99.74	281.900	281.900	27.9277	27.74	28.14
DUTO7	99.74	99.05	281.900	281.900	78.3260	28.14	27.85
DUTO8	99.05	99.30	281.900	281.900	88.5093	27.85	28.04
DUTO9	99.30	99.86	281.900	281.900	84.6857	28.04	28.14

* External Regulator Hydraulic Report ----- Time = 0.000 (HRS) *
*****::: External Regulator Flow Balance Report :::
::: External Regulator Flow Balance Report :::

	Mass Units (TONN/H)	Volumetric Units (KSM3/D)
Total input flow	8.926	281.900
Total output flow	8.926	281.900
Network flow balance	0.000	0.000

::: External Regulator Hydraulic Summary Report :::
::: External Regulator Hydraulic Summary Report :::

External Regulator ID	Mode of Control	Pressure KG/CM2G	Flow (KSM3/D)	Temperature (DEG C)	Specific Gravity	Heating Value (MJ/M3)
JACUTINGA	Max Flow	96.57	281.900	27.97	0.6312	39.68
REPLAN	Max Pres	100.00	-281.900	20.00	0.6312	39.68

External Regulator ID	Current Flow Rate (KSM3/D)	Accumulated Volume (KSM3)	Timer Value (HRS)
JACUTINGA	281.900	0.000	0.000



RELATÓRIO

Nº **RL-ANP-FPL-028**

REV. **A**

PROGRAMA: MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS

FOLHA 12 de 12

TÍTULO: Documentação do Modelo de Simulação do Gasoduto Paulínia – Jacutinga (GASPAJ)

REPLAN -281.900 0.000 0.000

::: Supply External Regulator Hydraulic Summary Report :::

Supply Xreg ID	Mode of Control	Pressure KG/CM2G	Flow (KSM3/D)	Temperature (DEG C)	Specific Gravity	Heating Value (MJ/M3)
REPLAN	Max Pres	100.00	-281.900	20.00	0.6312	39.68

Supply Xreg ID	Current Flow Rate (KSM3/D)	Accumulated Volume (KSM3)	Timer Value (HRS)
REPLAN	-281.900	0.000	0.000

::: Delivery External Regulator Hydraulic Summary Report :::

Delivery Xreg ID	Mode of Control	Pressure KG/CM2G	Flow (KSM3/D)	Temperature (DEG C)	Specific Gravity	Heating Value (MJ/M3)
JACUTINGA	Max Flow	96.57	281.900	27.97	0.6312	39.68

Delivery Xreg ID	Current Flow Rate (KSM3/D)	Accumulated Volume (KSM3)	Timer Value (HRS)
JACUTINGA	281.900	0.000	0.000

* Node Mass Balance Error Report ----- Time = 0.000 (HRS) *

Threshold Level = 0.0100 (KSM3/D)
No Mass Balance Errors above Threshold

::: Pressure/Flow Violation Reports :::

ALL XREGS FALL WITHIN PRESSURE BOUNDS
ALL INTERNAL LEG KNOTS FALL WITHIN PRESSURE BOUNDS

::: Setpoint/Constraint Violation Reports :::

ALL XREGS COMPLY WITH MONITORED CONSTRAINTS

TRANSIENT GAS NETWORK MODEL (TGNET)
RELEASE 7.6 LEVEL 00 30-SEP-2008

STEADY-STATE MODULE