	RELATÓRIO		Nº: RL-ANP-FPL-005	
	CLIENTE: ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS			FOLHA: 1 de 29
	PROGRAMA: MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS			-
	TÍTULO: Procedimentos para segmentação de redes de gasodutos			-

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

ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	EMISSION ORIGINAL
A	INCLUSÃO DE NOVO EXEMPLO COM EDG

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	15/10/2013	19/02/2014							
PROJETO	ANP	ANP							
EXECUÇÃO	LPires	LPires							
VERIFICAÇÃO	M. Casarin	M. Casarin							
APROVAÇÃO	PKrause	PKrause							

AS INFORMAÇÕES DESTES DOCUMENTOS SÃO PROPRIEDADE DA ANP, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-005**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 2 de 29**TÍTULO:** Procedimentos para segmentação de redes de gasodutos

-

-

ÍNDICE

1	OBJETIVO	3
2	DEFINIÇÕES LEGAIS DE CAPACIDADE.	3
3	CÁLCULO DE CAPACIDADE EM REDES DE GASODUTOS	4
3.1	EXEMPLO 1: SISTEMA COM VÁRIOS PONTOS DE RECEBIMENTO E ENTREGA.	4
3.2	EXEMPLO 2: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE UM TRECHO PARALELO NO CÁLCULO DE CAPACIDADE.	9
3.3	EXEMPLO 3: COMPRESSOR SEM NECESSIDADE DE OPERAR NA CONDIÇÃO CONTRATUAL.	11
3.4	EXEMPLO 4: COMPRESSOR NECESSITA OPERAR NA CONDIÇÃO CONTRATUAL.	14
3.5	EXEMPLO 5: ESTAÇÃO DE REDUÇÃO DE PRESSÃO (ERP) REGULANDO.	17
3.6	EXEMPLO 6: ERP COMO FRONTEIRA ENTRE DOIS TRANSPORTADORES	20
3.7	EXEMPLO 7: ESTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS (EDG).	24
4	CONCLUSÃO	29

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-005**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 3 de 29**TÍTULO:** Procedimentos para segmentação de redes de gasodutos

-

-

1 OBJETIVO

Estender a metodologia de cálculo de capacidade para redes de gasodutos e definir procedimentos para simplificação do cálculo a partir da segmentação da rede.

2 DEFINIÇÕES LEGAIS DE CAPACIDADE.

A caracterização dos conceitos de capacidade de gasodutos deverá ser formulada de modo a atender às determinações do Decreto nº. 7382 de 02/12/2010, que regulamenta a Lei 11909/09 (Lei do Gás), estabelecendo os princípios para o seu cálculo.

Na Lei do Gás e na sua regulamentação são estabelecidas as definições de:

- Capacidade Contratada de Transporte: volume diário de gás natural que o transportador é obrigado a movimentar para o carregador, nos termos do respectivo contrato de transporte;
- Capacidade de Transporte: volume máximo diário de gás natural que o transportador pode movimentar em um determinado gasoduto de transporte;
- Capacidade Disponível: parcela da capacidade de movimentação do gasoduto de transporte que não tenha sido objeto de contratação sob a modalidade firme;
- Capacidade Ociosa: parcela da capacidade de movimentação do gasoduto de transporte contratada que, temporariamente, não esteja sendo utilizada;

Além disso, devem ser consideradas outras definições vigentes, como as estabelecidas por meio da Resolução ANP nº 27/2005: destacadas abaixo:

- Capacidade Contratada de Entrega: capacidade diária de retirada de gás natural em determinado Ponto de Entrega a qual o Transportador se obriga a disponibilizar para o Carregador, conforme o respectivo contrato de transporte;
- Capacidade Não Utilizada de Transporte: diferença entre a Capacidade Máxima de Transporte e o volume diário de gás natural programado para o Serviço de Transporte Firme;
- Capacidade Ociosa de Transporte: diferença entre a soma das Capacidades Contratadas de Transporte para Serviço de Transporte Firme e o volume diário de gás natural programado para o Serviço de Transporte Firme.



3 CÁLCULO DE CAPACIDADE EM REDES DE GASODUTOS

Para dutos interligados em rede, a metodologia de cálculo de capacidade adotada deve observar as características específicas da rede. Apesar dessa metodologia poder ser aplicada em redes complexas, sempre que possível, a rede deverá ser simplificada para facilitar a análise dos resultados. A segmentação da malha deve seguir a lógica de que os resultados obtidos para qualquer ponto com o modelo da rede integral serão os mesmos que com a rede segmentada.

Deve-se escolher a priori onde a rede poderia ser segmentada. Tipicamente deve-se estudar pontos da rede onde existem imposições de condições de contorno, o que tornaria as condições a montante e a jusante desse ponto iguais. Utilizando esse raciocínio, pode elencar:

- Ponto de recebimento - PTR
- Estações de compressão - ECOMP
- Estação de redução de pressão (ERP)
- Interconexão entre dois transportadores

O estudo da aplicação da segmentação da rede no procedimento de cálculo de capacidade será explicado através de exemplos apresentados a seguir.

3.1 Exemplo 1: Sistema com vários pontos de recebimento e entrega.

Tomando como exemplo a configuração da malha nordeste setentrional da TAG (Transportadora Associada de Gás) apresentado na Figura 1, pode-se observar a complexidade dessa parte limitada do sistema. Olhando com mais detalhes o trecho mais ao norte, será feito um estudo para verificar se é possível analisar uma parte da malha sem comprometer o resultado em relação a uma análise integrada.



RELATÓRIO

Nº **RL-ANP-FPL-005**

REV. **A**

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

FOLHA **5** de **29**

TÍTULO: **Procedimentos para segmentação de redes de gasodutos**



Figura 1: Trecho Setentrional da Malha de gasodutos da TAG

Esse trecho será simplificado por um modelo de simulação que considera 3 pontos de recebimento, 3 pontos de entrega e um trecho de duto paralelo (*loop*), conforme apresentado na Figura 3. Nesse diagrama deve-se utilizar a legenda apresentada na Figura 2:



Figura 2: Legenda dos diagramas

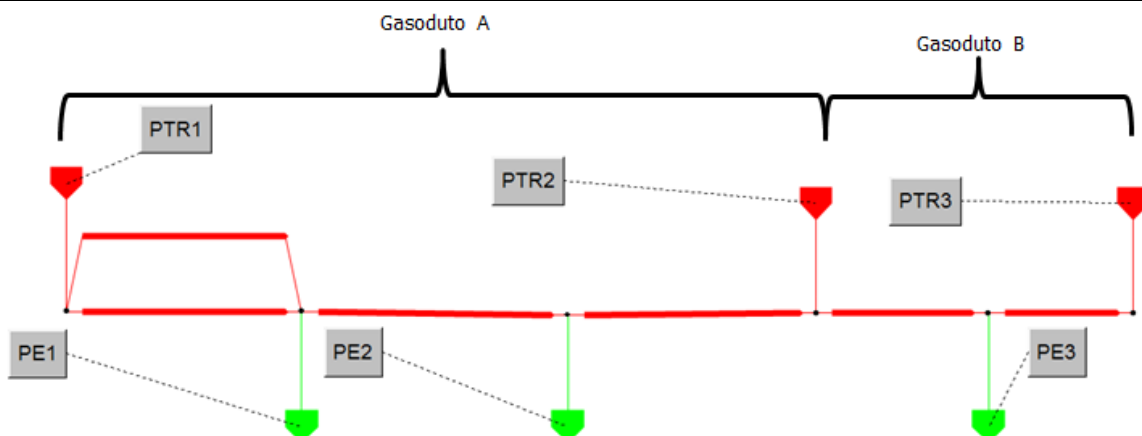


Figura 3: Modelo simplificado da malha setentrional

Nesse modelo, o PTR1 poderia representar o recebimento de GNL em Pecem, o PTR2 poderia representar o recebimento de gás em Guararé. O trecho entre esses dois PTRs foi denominado Gasoduto A (em analogia ao GASFOR, apesar desse não possuir o trecho em paralelo apresentado) e o trecho entre o PTR2 e o PTR3 foi denominado Gasoduto B (parte do Nordesteão) e o PTR3 o gás que chegaria ao Gasoduto B proveniente dos PTRs mais ao sul. Todos os pontos de entrega existentes foram simplificados nos três apresentados no diagrama. Os compressores existentes não foram incluídos por questão de simplicidade para a análise desse caso específico.

Complementando as características do modelo, foi considerado que a PMOA de todo o sistema é de 100 kgf/cm² e que os PTEs tem as características apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1: Características dos PEs

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)
PE1	50	8,0	6,0
PE2	50	8,0	8,0
PE3	50	8,0	8,0

Para o cálculo das capacidades segundo a metodologia proposta, deve-se seguir os seguintes passos:

- Passo 1: Ajusta-se as pressões máximas no PTRs;
- Passo 2: Ajusta-se as vazões contratuais nos PEs e executa-se o cálculo termo-hidráulico nessa condição. O resultado está apresentado na Figura 4;

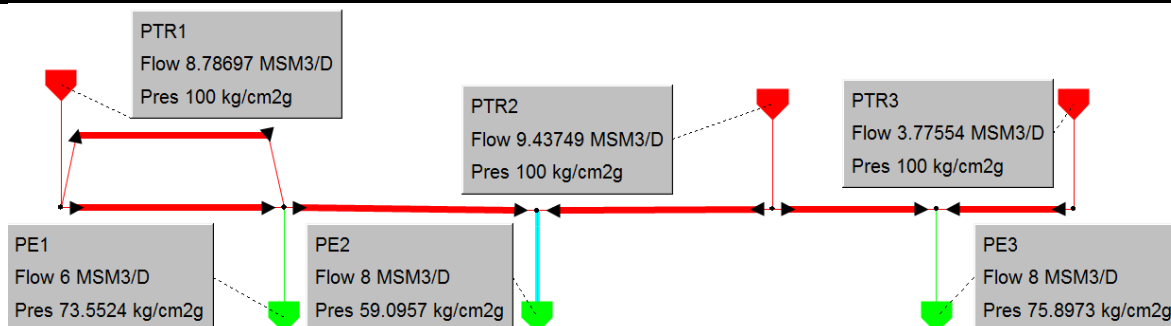


Figura 4: Resultado do cálculo de capacidade contratada nos PEs

- Passo 3) Eleva-se a vazão do PE1 até atingir a vazão limite de projeto do PE ou outro limite contratual. O resultado está apresentado na Figura 5;

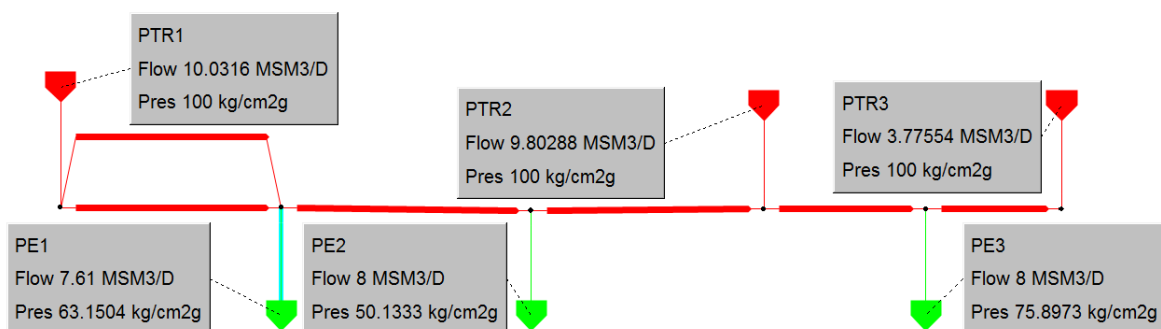


Figura 5: Resultado do cálculo de capacidade de transporte no PE1

- Passo 4) Eleva-se a vazão do PE2 até atingir a vazão limite de projeto. Nesse caso isso não é possível, pois tanto o PE2 quanto o PE3 já tem a vazão contratada iguala vazão limite de projeto desses PEs;
- Passo 5) Constrói-se a Tabela 2 e a Tabela 3 apresentando os valores de capacidade dos diversos PEs.

Deve-se observar que nesse procedimento ainda não está incluída a margem operacional que garantirá a flexibilidade nas operações da rede. Esse conceito será incluído em estudo próprio.

Tabela 2: Capacidade dos PTEs do Gasoduto A

PTE	Pressão mínima (kgf/cm²)	Limite de projeto (10 ⁶ m³/d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m³/d)	Capacidade transporte PTE (10 ⁶ m³/d)*	Capacidade disponível PTE (10 ⁶ m³/d)**
PE1	50	8,0	6,0	7,6	1,6
PE2	50	8,0	8,0	8,0	0,0

* A elevação de vazão é suprida tanto pelo PTR1 quanto pelo PTR2.

** Valores calculados de forma não cumulativa

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-005**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 8 de 29**TÍTULO:** Procedimentos para segmentação de redes de gasodutos

-

-

Tabela 3: Capacidade dos PTEs do Gasoduto B

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade transporte PTE (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade disponível PTE (10 ⁶ m ³ /d)
PE3	50	8,0	8,0	8,0	0,0

Ao comparar a Figura 4 com a Figura 5 observa-se que a elevação da vazão no PE1 não alterou as características operacionais do PE3. Isso ocorre porque o PTR2, ao trabalhar com limite de pressão máxima impede que o gás proveniente do PTR1 atenda o PE3 e que o gás proveniente do PTR3 atenda os PE1 e PE2. Logo a rede poderia ser segmentada no PTR2 e os resultados dos dois novos modelos apresentariam os mesmos resultados anteriores. Como exemplo, a Figura 6 apresenta o modelo da malha segmentada, com o valor de vazão do PE1 elevado ao valor máximo. Verifica-se que os valores de vazão e pressão ao longo do duto são os mesmos apresentados na Figura 4.

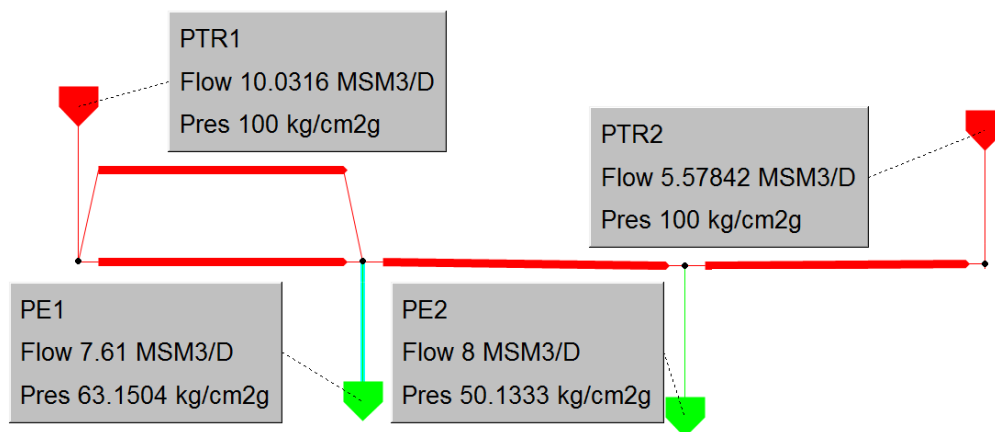


Figura 6: Resultado do cálculo de capacidade de transporte no PE1 com a rede segmentada

A outra parte da rede, com os valores calculados está apresentada na Figura 7. Verifica-se que os valores são os mesmos obtidos no cálculo com a rede integrada (Figura 5).

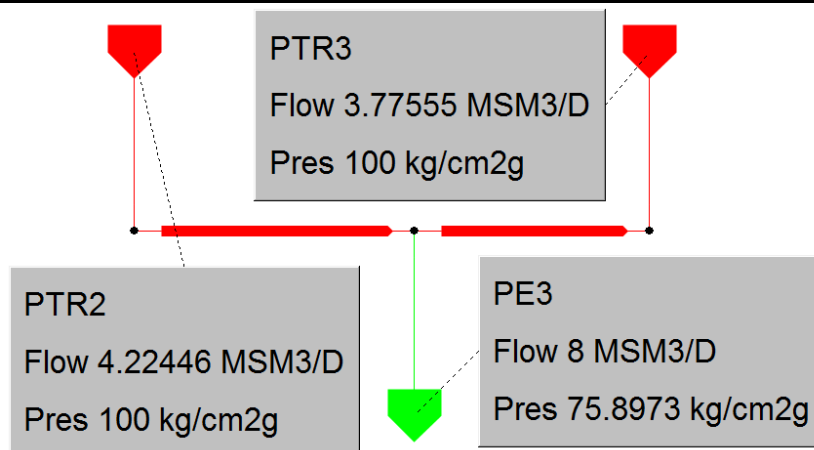


Figura 7: Resultado do cálculo de capacidade de transporte no PE3 com a rede segmentada

3.2 Exemplo 2: Estudo da Influência de um Trecho Paralelo no Cálculo de Capacidade.

Para esse estudo considera-se o modelo apresentado na Figura 8, sendo que a PMOA de todo o sistema é de 100kgf/cm² e que os PTEs tem as características apresentadas na Tabela 4:

Tabela 4: Características dos PEs

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)
PE1	50	8,0	6,0
PE2	50	8,0	8,0
PE3	50	8,0	8,0

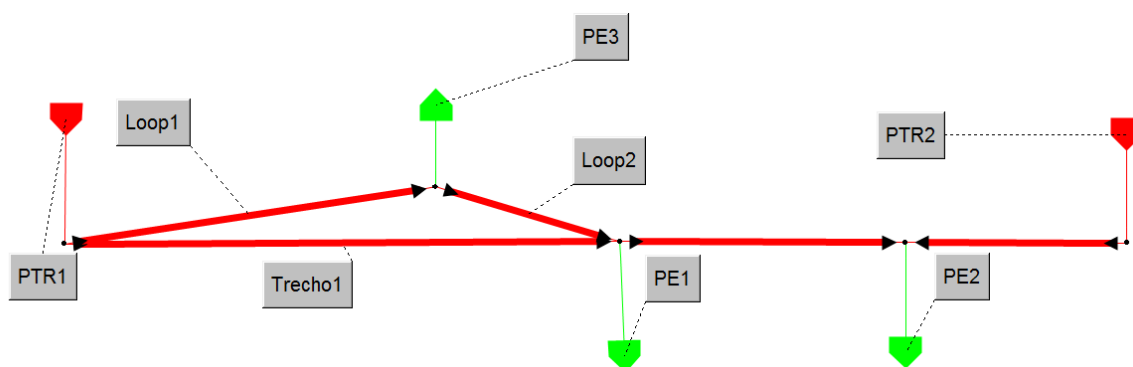


Figura 8: Modelo para o estudo de trecho em paralelo

Para o cálculo das capacidades segundo a metodologia proposta, deve-se seguir os seguintes passos:

- Passo 1) Ajusta-se as pressões máximas no PTRs;



- Passo 2) Ajusta-se as vazões contratuais nos PEs e executa-se o cálculo termo-hidráulico nessa condição. O resultado está apresentado na Figura 9.

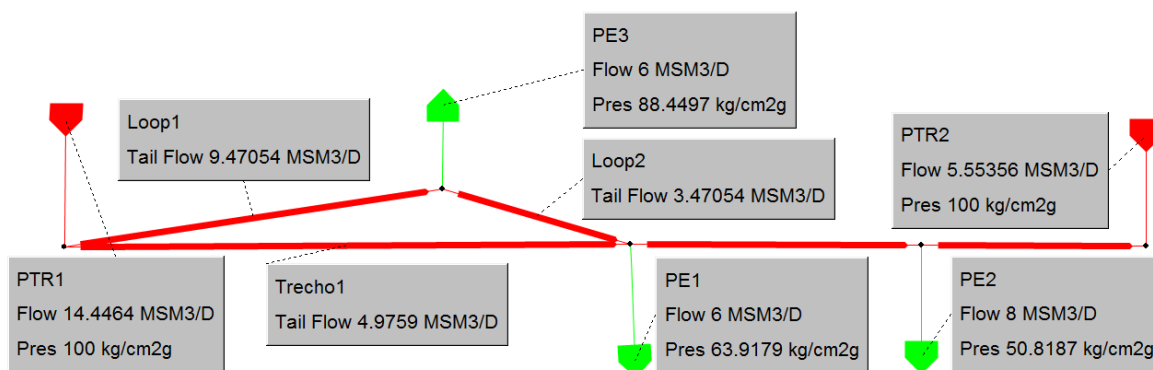


Figura 9: Resultado da capacidade contratada

- Passo 3) Eleva-se a vazão do PE1 até atingir a vazão limite de projeto do PE ou outro limite contratual. O resultado está apresentado na Figura 10;

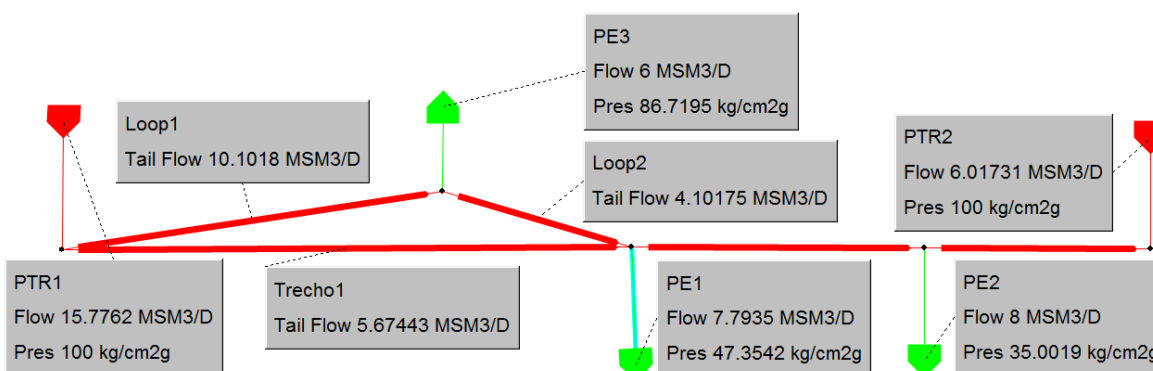


Figura 10: Resultado do cálculo de capacidade de transporte no PE1

- Passo 4) Eleva-se a vazão do PE2 até atingir a vazão limite de projeto. Nesse caso isso não é possível, pois o PE2 já tem a vazão contratada igual a vazão limite de projeto desse PE;
- Passo 5) Eleva-se a vazão do PE3 até atingir a vazão limite de projeto do PE ou outro limite contratual. O resultado está apresentado na Figura 11;

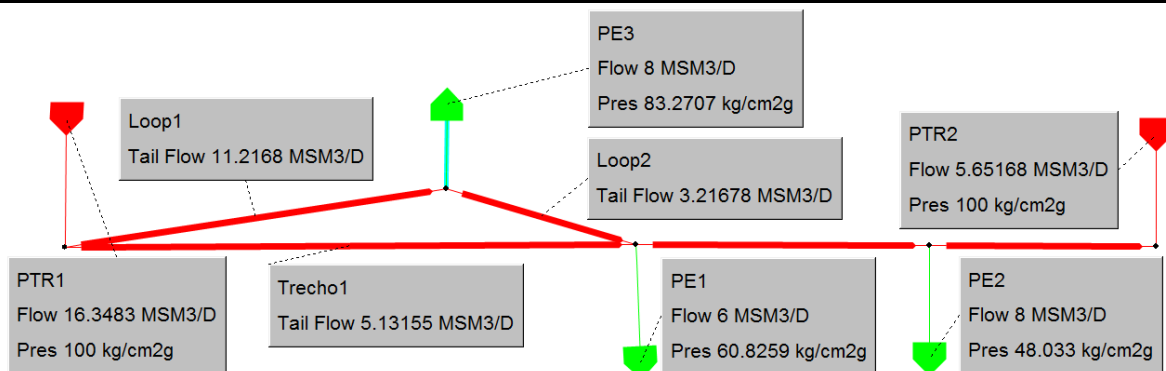


Figura 11: Resultado do cálculo de capacidade de transporte no PE3

- Passo 6) Constrói-se a Tabela 5 apresentando os valores de capacidade dos diversos PEs.

Tabela 5: Capacidades dos PEs

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade transporte PTE (10 ⁶ m ³ /d)*	Capacidade disponível PTE (10 ⁶ m ³ /d)**
PE1	50	8,0	6,0	7,7935	1,7935
PE2	50	8,0	8,0	8,0	0,0
PE3	50	8,0	6,0	8,0	2,0

* A elevação de vazão é suprida tanto pelo PTR1 quanto pelo PTR2.

** Valores calculados de forma não cumulativa

Observa-se que, comparando a Figura 10 e a Figura 11 com a Figura 9, ao alterar a vazão do PE1 as condições operacionais de pressão do PE3 são alteradas e vice-versa. Assim, o cálculo sempre deverá ser realizado com a malha integrada. Além disso, as vazões que passam nos trechos em paralelo (Loop1 e Loop2) dependem de cada situação (cenário) analisada. Dessa forma, um número global de qualquer capacidade para o Loop dependeria de um determinado cenário, que é a situação que se deseja evitar com a atual metodologia.

3.3 Exemplo 3: Compressor sem necessidade de operar na condição contratual.

Para esse estudo considera-se uma rede com compressão, porém na situação contratual inicial, o compressor não necessita operar. A configuração física da rede está apresentada na Figura 12. A Tabela 6 apresenta as pressões mínimas, a vazão de projeto e as condições contratuais dos PTEs.



Tabela 6: Condições contratuais e de projeto dos PTEs

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)
PE1	35	3,0	2,0
PE2	35	3,0	2,0
PE3	35	8,0	6,0

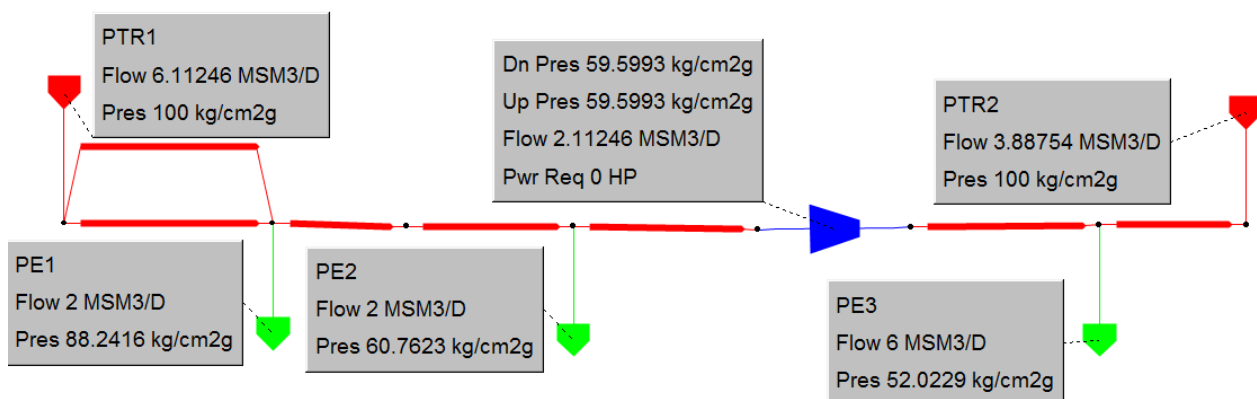


Figura 12: Configuração para o estudo com compressão desligada

Segundo o procedimento para o cálculo da Capacidade de Transporte para o PE1, deve-se proceder aos seguintes passos:

Passo 1) Ajusta-se as pressões máximas no PTRs

Passo 2) Ajusta-se as vazões contratuais nos PEs. Observa-se que nessa situação o compressor não necessita operar, uma vez que todas as pressões já estão acima das contratuais (Figura 12).

Passo 3) Eleva-se a vazão do PE1 até atingir a vazão limite de projeto do PTE ou outro limite contratual. O acréscimo de vazão poderá vir tanto dos PTRs a direita quanto a esquerda, dependendo das condições operacionais e contratuais (Figura 13).

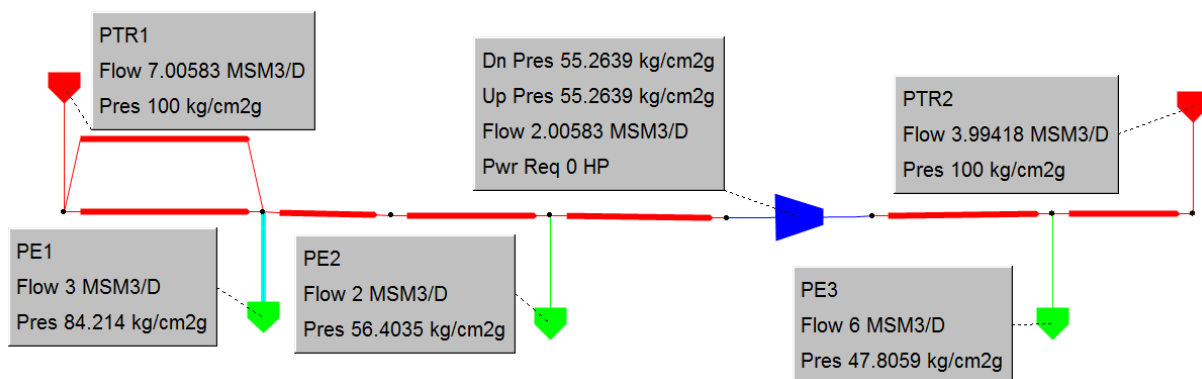


Figura 13: Capacidade de transporte do PE1

O procedimento para o PE2 deve seguir os passos 1 e 2 descritos anteriormente, e o passo 3 seria:

Passo 3: Eleva-se a vazão do PE2 até atingir a vazão limite de projeto do PE ou outro limite contratual. Observa-se que a pressão no PE2 é atendida, mas a do PE3 é violada, e que o compressor ainda está desligado (Figura 14).

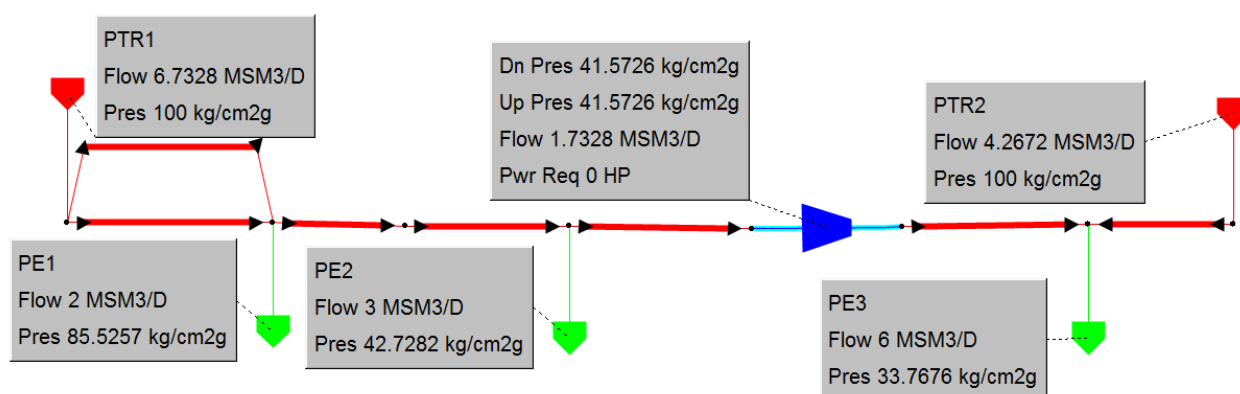


Figura 14: Capacidade de transporte do PE2 sem compressão

Assim, como o objetivo é determinar a capacidade de transporte, que considera a condição ótima de transporte para o PTE, o compressor deve ser ligado e a pressão de descarga ajustada para a potência mínima que atenda a condição de vazão máxima no PE2, sem violar nenhuma outra condição na rede. Para tal, o compressor deve ter uma pressão de descarga igual a 43kgf/cm² (Figura 15). Não há necessidade de uma pressão de descarga mais elevada, apesar de ser possível.

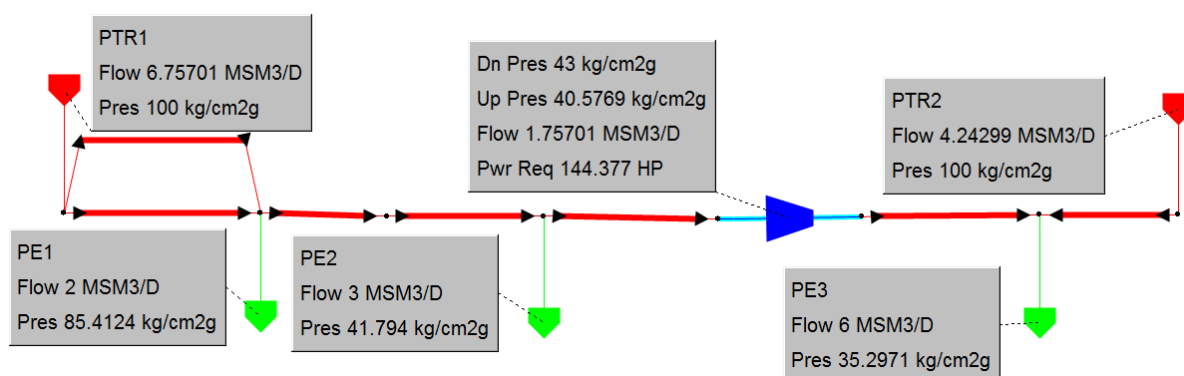


Figura 15: Capacidade de transporte do PE2 com compressão

Para o PE3, o mesmo raciocínio deve ser empregado, e a capacidade de transporte para o PE3 é determinada com a configuração apresentada na Figura 16.

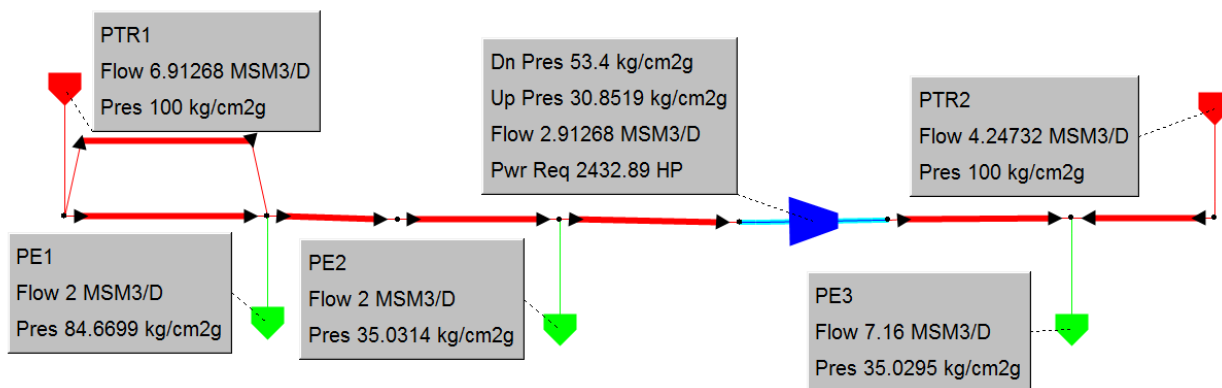


Figura 16: Capacidade de transporte do PE3 com compressão

As diversas capacidades dos PTEs estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Capacidades dos PTEs do Exemplo 3

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade transporte PTE (10 ⁶ m ³ /d)*	Capacidade disponível PTE (10 ⁶ m ³ /d)**
PE1	35	3,0	2,0	3,0	1,0
PE2	35	3,0	2,0	3,0	1,0
PE3	35	8,0	6,0	7,16	1,16

* A elevação de vazão é suprida tanto pelo PTR1 quanto pelo PTR2.

** Valores calculados de forma não cumulativa

Observando os resultados apresentados, verifica-se que as alterações de vazão nos PTEs a montante do compressor alteram as condições a jusante e vice-versa. Assim, não é possível segmentar a rede na estação de compressão.

3.4 Exemplo 4: Compressor necessita operar na condição contratual.

A Tabela 8 apresenta as pressões mínimas, a vazão de projeto e as condições contratuais dos PTEs para esse estudo. Considera-se uma rede com compressão, porém na situação contratual atual, o compressor necessita operar para manter as condições de pressão mínima, conforme apresentado na Figura 12.

Tabela 8: Condições contratuais e de projeto dos PTEs do Exemplo 4

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)
PE1	35	3,0	2,0
PE2	35	3,0	2,0
PE3	35	8,0	6,0

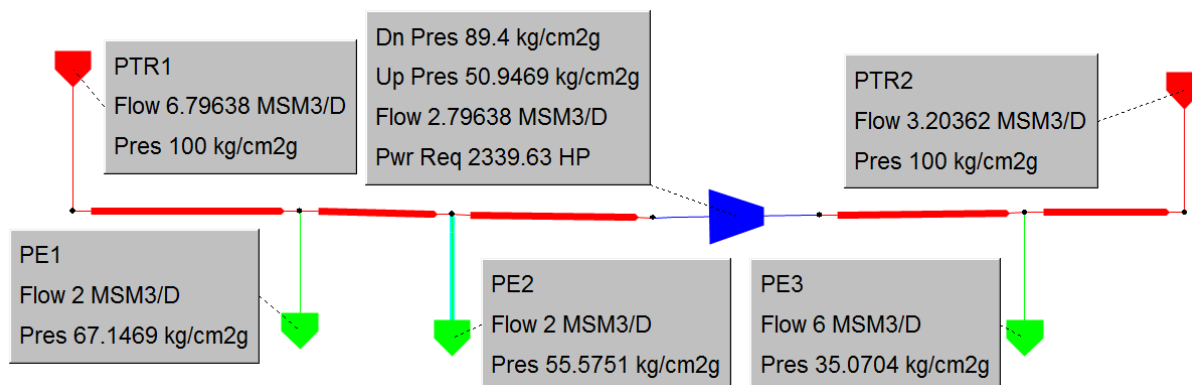


Figura 17: Configuração da rede para a condição contratual

O procedimento de cálculo de capacidade de transporte para o PE1 segue os passos descritos abaixo:

Passo 1: Ajusta-se as pressões máximas no PTRs

Passo 2: Ajusta-se as vazões contratuais nos PTEs. Ajusta-se o compressor para potência mínima de forma a atender a essa condição.

Passo 3: Eleva-se a vazão do PE1 até atingir a vazão limite de projeto do PTE ou outro limite contratual. A condição de descarga do compressor deve ser ajustada para atender essa nova situação (Figura 18).

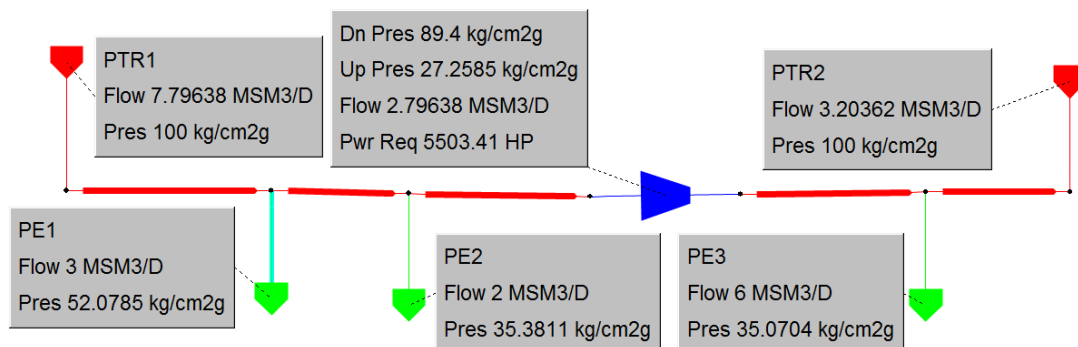


Figura 18: Configuração da rede para a capacidade de transporte do PE1

O mesmo procedimento pode ser realizado para o PE2 e o resultado está apresentado na Figura 19. Comparando a Figura 17 com a Figura 18 e a Figura 19 verifica-se que tanto para o PE1 quanto para o PE2, as condições operacionais do PE3 não foram alteradas.

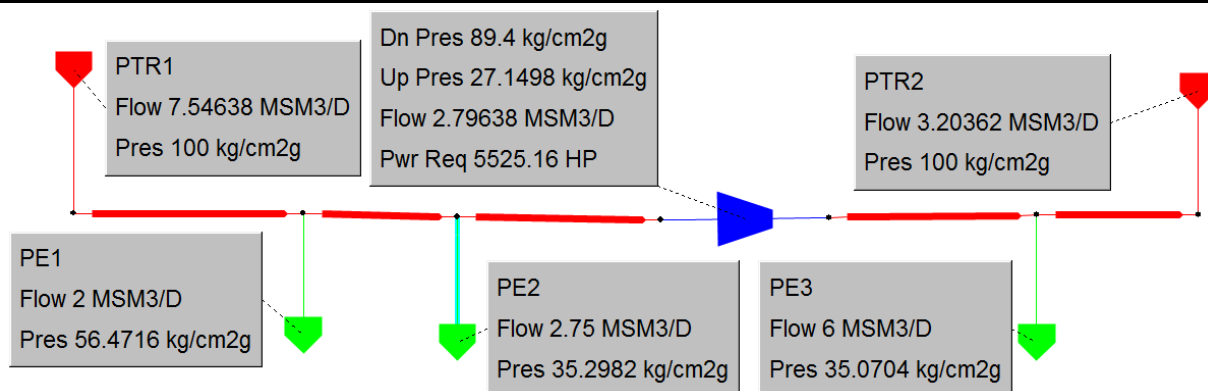


Figura 19: Configuração da rede para a capacidade de transporte do PE2

O procedimento de cálculo de capacidade de transporte aplicado ao PE3 apresenta o resultado ilustrado na Figura 20. Comparando com a Figura 16, verifica-se que as condições operacionais dos PE1 e PE2 foram alteradas. As capacidades dos PTEs para o exemplo estão apresentadas na Tabela 9.

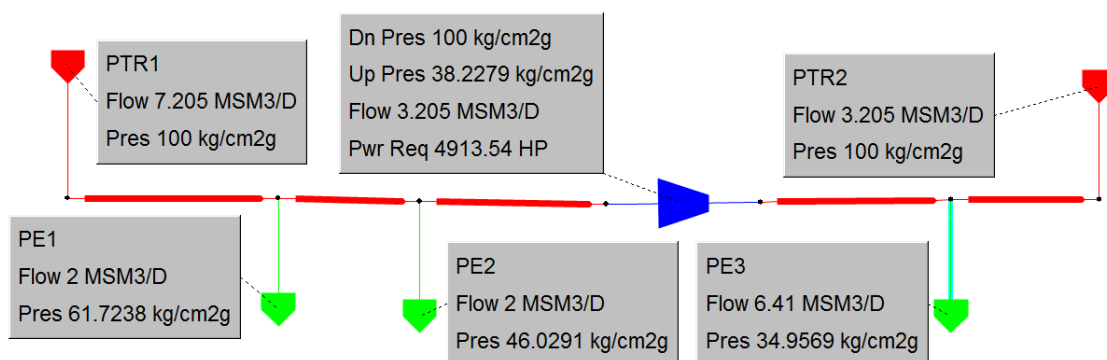


Figura 20: Configuração da rede para a capacidade de transporte do PE3

Tabela 9: Capacidades dos PTEs do Exemplo 4

PTE	Pressão mínima (kgf/cm²)	Limite de projeto (10 ⁶ m³/d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m³/d)	Capacidade transporte PTE (10 ⁶ m³/d)*	Capacidade disponível PTE (10 ⁶ m³/d)**
PE1	35	3,0	2,0	3,0	1,0
PE2	35	3,0	2,0	2,75	0,75
PE3	35	8,0	6,0	6,41	0,41

* A elevação de vazão é suprida tanto pelo PTR1 quanto pelo PTR2.

** Valores calculados de forma não cumulativa

Em resumo, a alteração nos PTEs a montante não altera as condições dos PTEs a jusante. Porém, as alterações nos PTEs a jusante alteram as condições dos PTEs a montante e, conseqüentemente, não é possível segmentar a malha no compressor.

3.5 Exemplo 5: Estação de Redução de Pressão (ERP) regulando.

A Tabela 10 apresenta as pressões mínimas, a vazão de projeto e as condições contratuais dos PTEs para esse estudo. A configuração da rede desse exemplo está apresentada na Figura 21. Complementando as informações quanto aos limites operacionais, considera-se que a PMOA entre o PTR1 e o compressor é de 65kgf/cm², e que a PMOA dos demais trechos é de 100kgf/cm².

Os resultados apresentados na Figura 22 mostram que a ERP está regulando para evitar que o trecho entre o PTR1 e o compressor trabalhe com pressão acima de 65kgf/cm² (a pressão a montante da ERP é igual a 74,2kgf/cm²). Além disso, o compressor está operando com uma pressão de descarga de 89,4kgf/cm².

Tabela 10: Condições contratuais e de projeto dos PTEs do Exemplo 5

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)
PE1	35	3,0	2,0
PE2	35	3,0	2,0
PE3	35	8,0	6,0
PE4	35	3,0	2,0

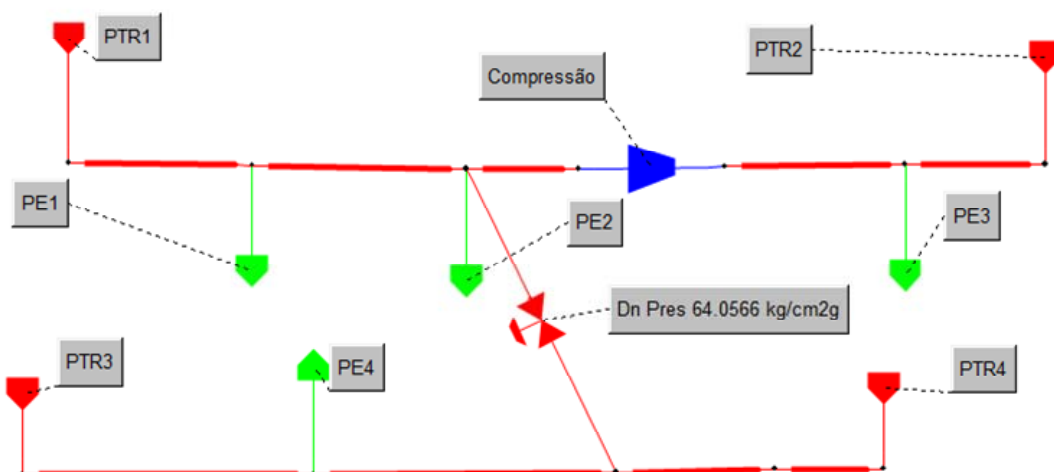


Figura 21: Configuração da rede para o Exemplo 5

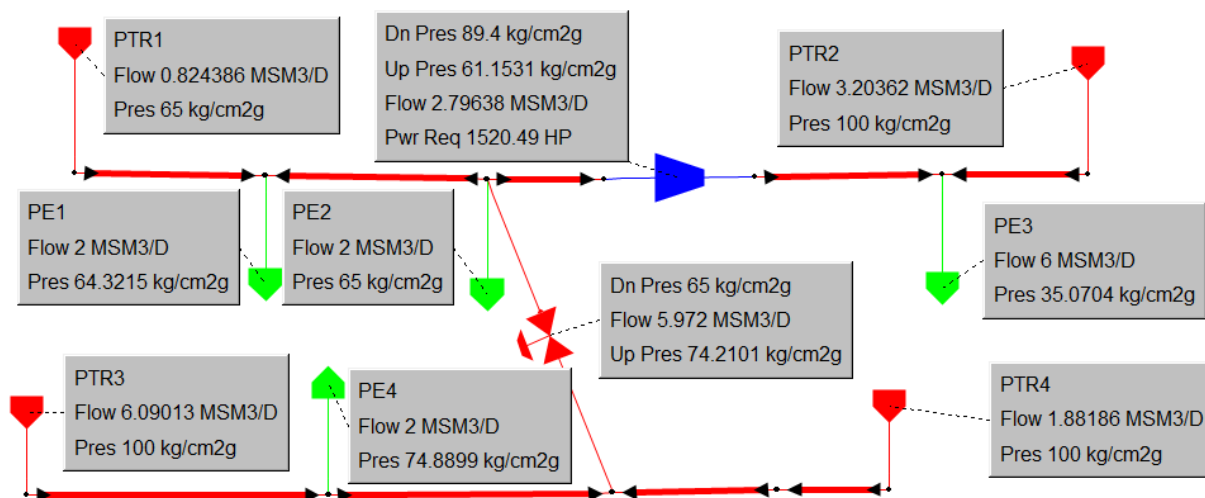


Figura 22: Configuração capacidade contratada da rede para o Exemplo 5

Seguindo o procedimento para o cálculo de capacidade de transporte para o PE1, após a configuração dos PTRs com pressão máxima e dos PTEs com a vazão contratual (Figura 22), eleva-se a vazão do PE1 até que algum limite contratual ou operacional seja atingido, conforme apresentado na Figura 23.

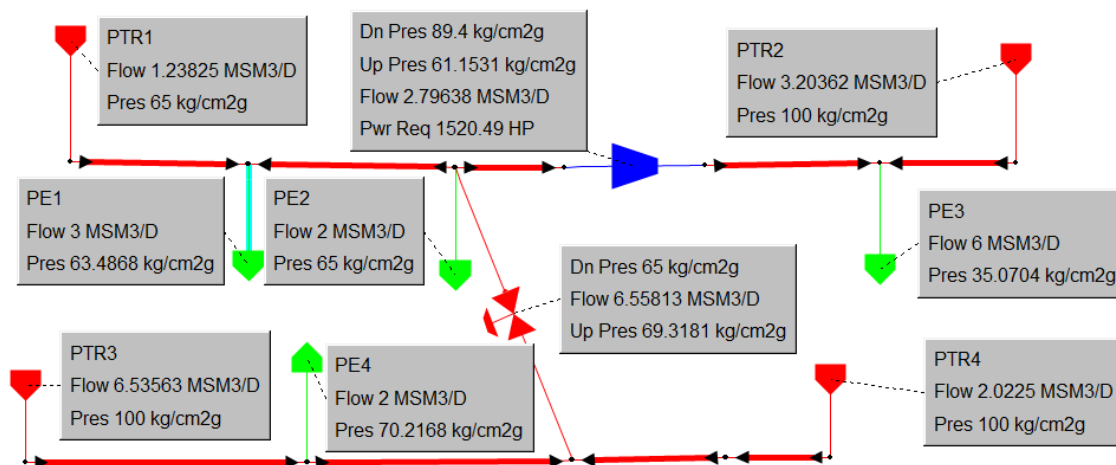


Figura 23: Capacidade de transporte do PE1

Esse procedimento é repetido para o PE2 (Figura 24) e para o PE3 (Figura 25). Para esse último foi necessário elevar a pressão de descarga do compressor para o limite máximo de 100kgf/cm². Por fim, repete-se o procedimento para o PE4, ajustando o compressor para a pressão otimizada (Figura 26).



RELATÓRIO

Nº **RL-ANP-FPL-005**

REV. **A**

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

FOLHA 19 de 29

TÍTULO: Procedimentos para segmentação de redes de gasodutos

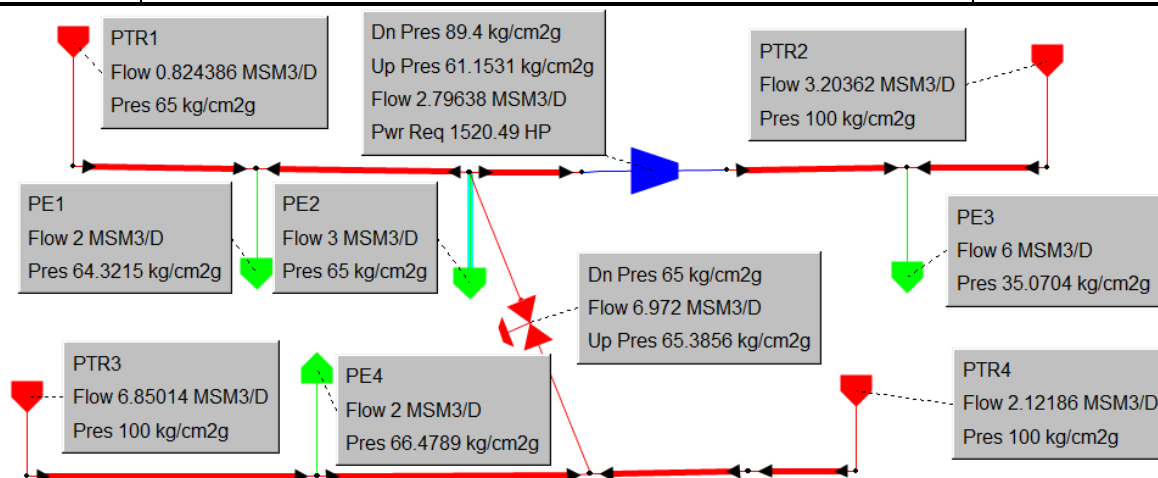


Figura 24: Capacidade de transporte do PE2

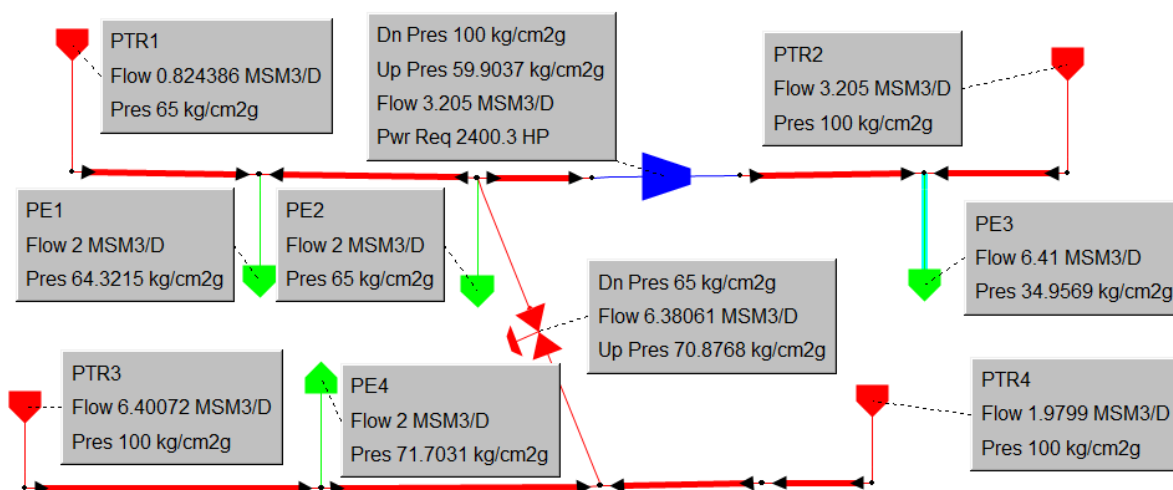


Figura 25: Capacidade de transporte do PE3

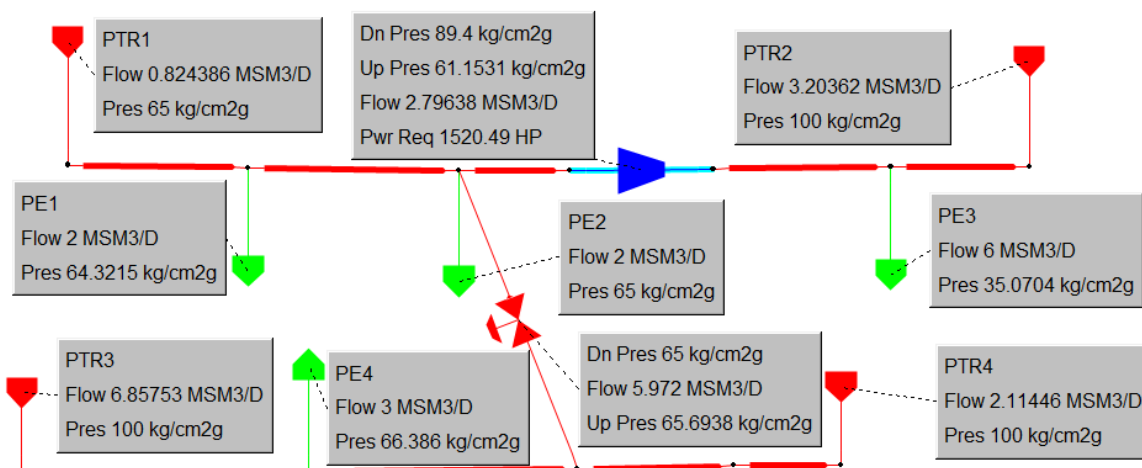


Figura 26: Capacidade de transporte do PE4



Os resultados de capacidade tabelados estão apresentados na Tabela 11. Verifica-se que a alteração dos PEs a montante não altera as condições dos PEs a jusante (contanto que a pressão na ERP não seja reduzida abaixo do ponto de ajuste). A alteração das condições nos PTEs a jusante da ERP altera as condições a montante. Logo, não é possível segmentar a rede na ERP.

Tabela 11: Capacidades dos PTEs do Exemplo 5

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade transporte PTE (10 ⁶ m ³ /d)*	Capacidade disponível PTE (10 ⁶ m ³ /d)**
PE1	35	3,0	2,0	3,00	1,00
PE2	35	3,0	2,0	2,75	0,75
PE3	35	8,0	6,0	6,41	0,41
PE4	35	3,0	2,0	3,00	1,00

* A elevação de vazão é suprida de qualquer PTR.

** Valores calculados de forma não cumulativa

3.6 Exemplo 6: ERP como fronteira entre dois transportadores

Esse exemplo utiliza a configuração do Exemplo 5, porém considera que a válvula reguladora de pressão define a fronteira entre dois transportadores distintos, conforme apresentado na Figura 27.

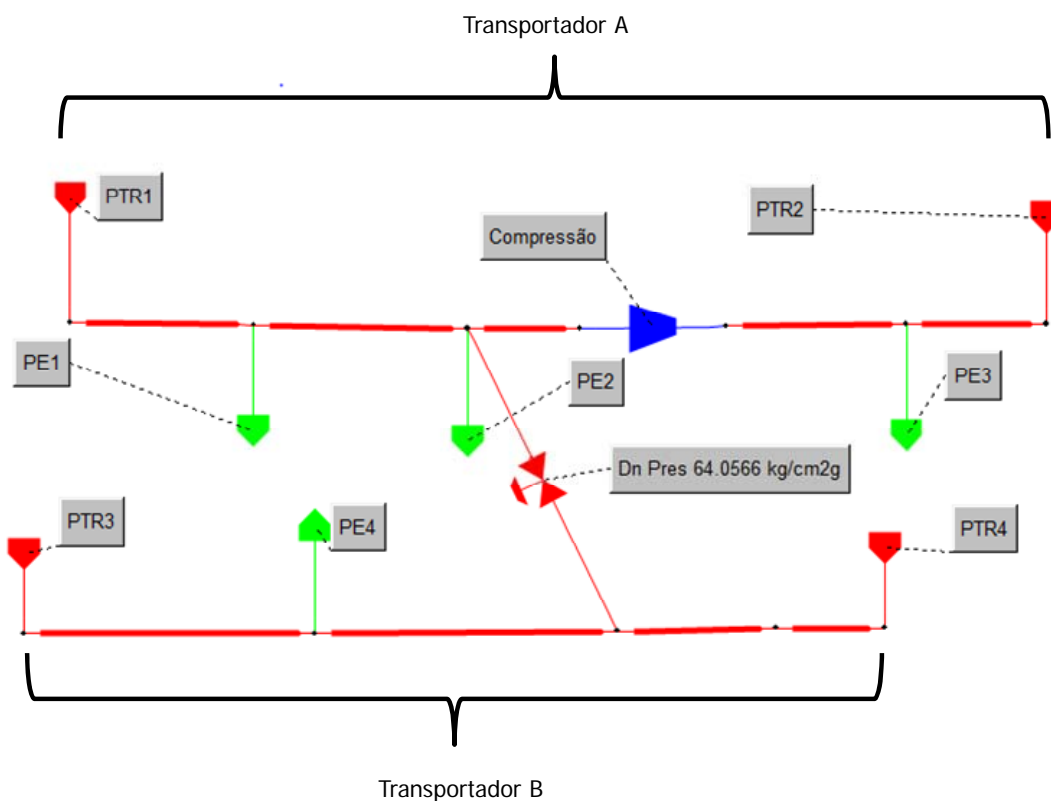




Figura 27: Configuração com dois transportadores

Considera-se ainda que exista um contrato de transporte entre eles, nas condições apresentadas na Tabela 12. No caso, a pressão máxima existe para garantir a integridade da rede do Transportador A, uma vez que o trecho que recebe gás do Transportador A tem uma PMOA de 65kgf/cm².

Tabela 12: Condições do acordo de transporte

Fluxo	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Vazão Máxima (10 ⁶ m ³ /d)	Pressão máxima (kgf/cm ²)
Transportador B para Transportador A	60	6,0	65,0

Seguindo o procedimento de cálculo, a situação para o PTE1, ao se elevar a vazão do valor contratado até o limite de projeto do PTE, ou até que outro limite seja violado, está apresentada na Figura 28. Observa-se que a vazão demandada na interconexão é o valor contratual, mas devido às condições operacionais do Transportador B, a pressão a montante de válvula controladora está em 73,99kgf/cm², acima do mínimo contratual. Por outro lado, o Transportador B precisa manter uma pressão acima da mínima (no caso igual a 62,55kgf/cm²) para que a vazão demandada possa ser transferida.

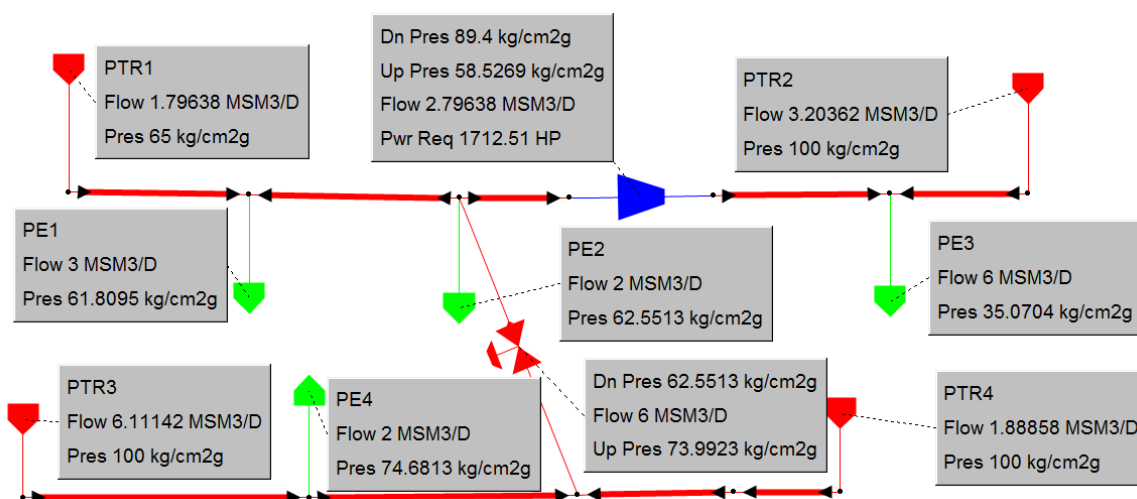


Figura 28: Resultado do cálculo de capacidade de transporte no PE1

A continuação do procedimento para o PTE2 está apresentada na Figura 29. Para o PTE3 e PTE4 os resultados estão apresentados na Figura 30 e na Figura 31. O resultado consolidado está apresentado na Tabela 13 e na Tabela 14.

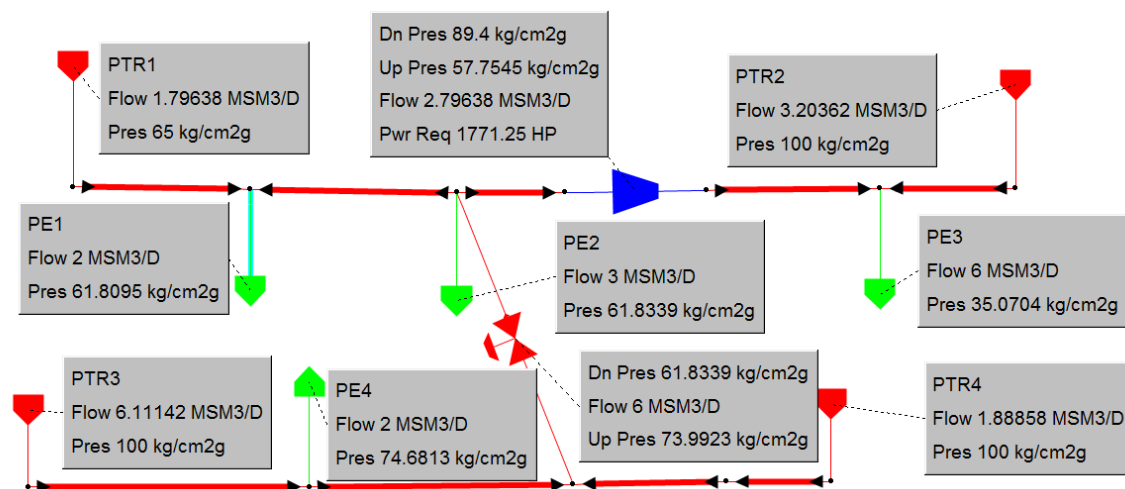


Figura 29: Resultado do cálculo de capacidade de transporte no PE2

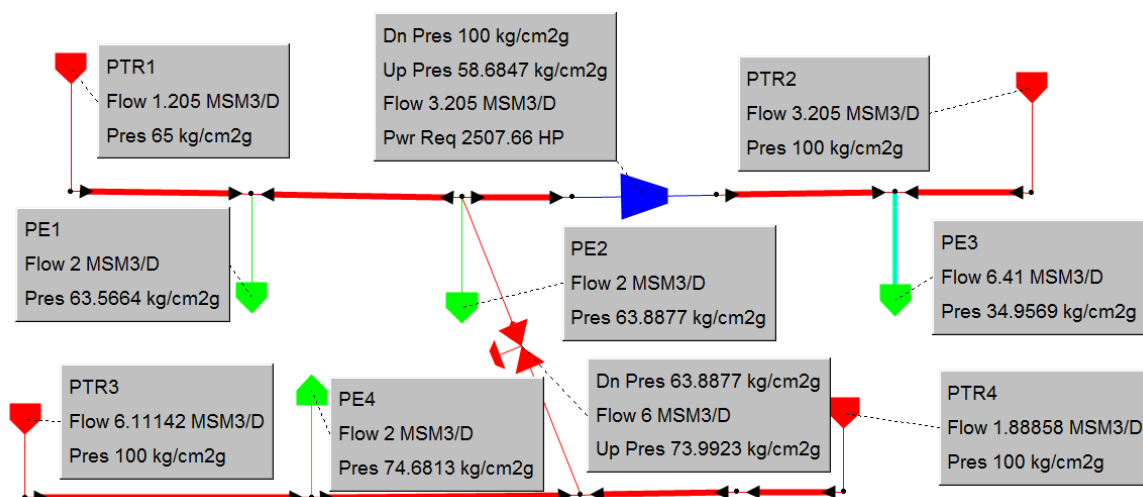


Figura 30: Resultado do cálculo de capacidade de transporte no PE3

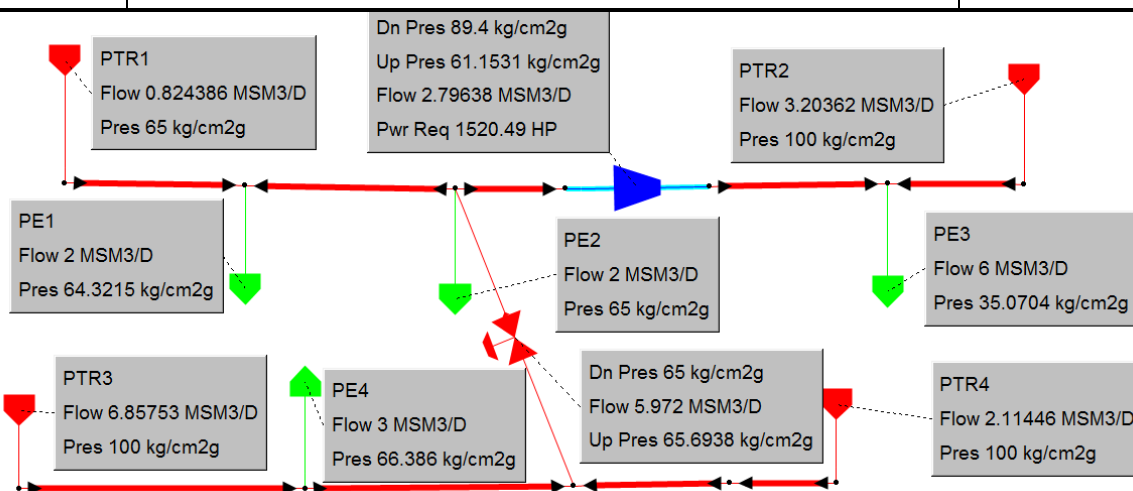


Figura 31: Resultado do cálculo de capacidade de transporte no PE4

Tabela 13: Capacidades dos PTEs para o Transportador A

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade transporte PTE (10 ⁶ m ³ /d)*	Capacidade disponível PTE (10 ⁶ m ³ /d)**
PE1	35	3,0	2,0	3,00	1,00
PE2	35	3,0	2,0	2,75	0,75
PE3	35	8,0	6,0	6,41	0,41

* A elevação de vazão é suprida por qualquer PTR.

** Valores calculados de forma não cumulativa

Tabela 14: Capacidades dos PTEs para o Transportador B

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade transporte PTE (10 ⁶ m ³ /d)*	Capacidade disponível PTE (10 ⁶ m ³ /d)**
PE4	35	3,0	2,0	3,00	1,00

Comparando Tabela 11 com a Tabela 13 e a Tabela 14 verifica-se que as capacidades disponíveis nos PTEs não foram alteradas. Por outro lado, a origem do gás para atender essas novas condições foi alterada. Isso é observado comparando as vazões nos PTRs nos dois exemplos, além da vazão que passa pela controladora, representando o gás que é recebido pelo Transportador A do Transportador B, conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15: Vazão na controladora para os Exemplos 3 e 4

PTE	Exemplo 3 (10 ⁶ m ³ /d)	Exemplo 4 (10 ⁶ m ³ /d)
-----	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-005**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 24 de 29**TÍTULO:** Procedimentos para segmentação de redes de gasodutos

-

-

Contrato	5,972	5,972
PE1	6,558	6,000
PE2	6,972	6,000
PE3	6,381	6,000
PE4	5,972	5,972

3.7 Exemplo 7: Estação de Distribuição de Gás (EDG).

Normalmente as Estações de Distribuição de Gás (EDG) fazem a interconexão de trechos de gasodutos através de equipamentos. Entre esses, podem-se citar válvulas de bloqueio, válvulas de segurança, válvulas de retenção, lançadores recebedores de pigs, medidores de vazão, entre outros. Devido a complexidade do projeto de uma EDG, a sua modelagem pode ser uma tarefa muito detalhada. Assim, devem ser incorporados ao modelo de simulação de uma EDG somente os itens relevantes. Importante mencionar que caso existam dentro de uma EDG unidades compressoras, equipamentos de controle/redução de vazão ou pressão do gás natural, tais instalações devem ser modeladas pelo responsável pela realização da simulação, seguindo os critérios de segmentação apresentados ao longo deste documento.

Cada componente e complemento da instalação é projetado para operar em condições normais e em condições limites (tanto máximas como mínimas). Assim, ao modelar uma EDG numa rede de gasodutos, esses limites devem ser considerados.

Especificamente em relação a pressão máxima desses equipamentos, ela é normalmente igual ou acima da pressão de projeto do duto e, dessa forma, não se torna um limitante adicional. Porém, no caso da vazão máxima de projeto, a sua utilização pode impactar significativamente no resultado do cálculo. Caso não existam elementos de controle na EDG para limitar operacionalmente essa variável, a sua observância deve ser assegurada pela correta aplicação das condições de contorno nos outros elementos da rede e, também, através da análise dos resultados pelo responsável pela simulação.

Cabe destacar que a direção do escoamento de gás natural através de uma EDG pode ser assegurada introduzindo no seu modelo as válvulas de bloqueio e de retenção que fisicamente estão instaladas nesta instalação. Entretanto, convém esclarecer que essas válvulas não precisam necessariamente estar na modelagem, ficando a cargo do responsável pela realização da simulação elaborar um modelo que suficientemente reproduza a realidade. Ademais, a inversão de fluxo em uma EDG só é observada quando ocorre a alteração das condições de contorno do modelo.

Sempre que houver uma mudança da geometria do sistema associada à EDG, decorrente, por exemplo, por uma intervenção externa ao escoamento (operador muda um alinhamento), a configuração do modelo deve ser alterada. Desta forma, ou constrói-se dois modelos, um com cada opção de alinhamento, ou coloca-se válvulas no modelo que permitam essa operação. Porém, nesse último caso, a mudança só ocorrerá se o responsável pela realização da

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-005**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA** 25 de 29**TÍTULO:** Procedimentos para segmentação de redes de gasodutos

-

-

simulação fizer essa alteração, modificando a configuração do modelo e, conseqüentemente todo o resultado do cálculo para essa nova situação.

Para exemplificar esse problema, será utilizada a configuração de uma EDG que está representada esquematicamente na Figura 32. Com exceção das válvulas que dão acesso aos scrapers, todas as demais válvulas de bloqueio estão abertas, permitindo o livre fluxo pelos tramos. No tramo que dá acesso ao Pipe_EDG4, existe uma válvula de retenção evitando o fluxo reverso nesse trecho.

A modelagem dessa instalação foi realizada conforme apresentado na Figura 33. Considerando que a perda de pressão nos diversos equipamentos é desprezível e que não existindo outras limitações, eles não irão interferir no resultado do cálculo termohidráulico e não precisam ser modelados. Observa-se que a válvula de retenção também não foi modelada e, dessa forma, a não reversão do escoamento nesse trecho deve ser observada pelas condições de contorno e pelo responsável pela realização da simulação.

A rede completa na qual essa EDG está instalada está apresentada na Figura 34. A pressão máxima operacional da rede é de 65kgf/cm². A Tabela 16 apresenta as pressões mínimas, a vazão de projeto e as condições contratuais dos PTEs para esse estudo.

Tabela 16: Condições contratuais e de projeto dos PTEs do Exemplo 7

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)
PE1	35	3,0	2,0
PE2	35	3,0	2,0
PE3	35	3,0	2,0
PE4	35	3,0	1,0

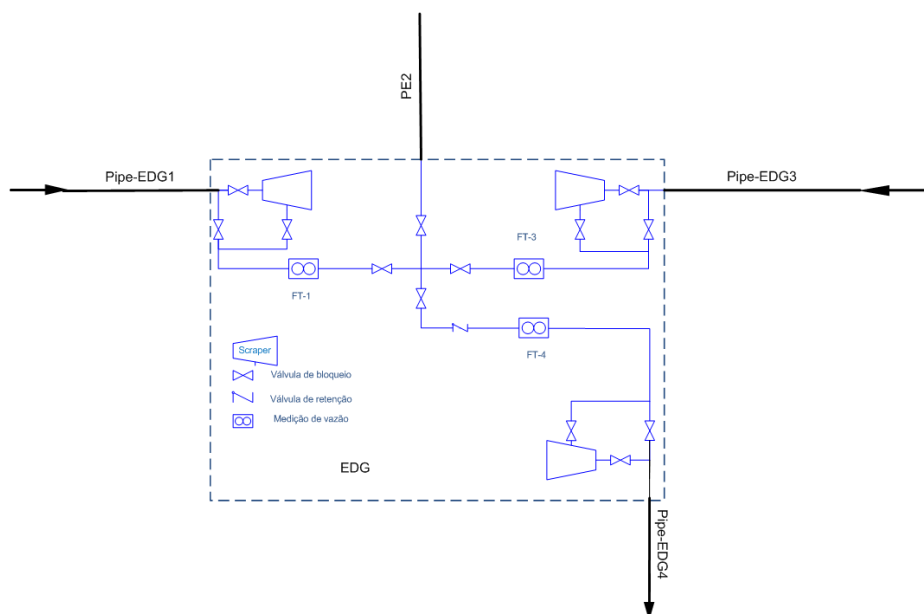


Figura 32: Configuração esquemática da EDG

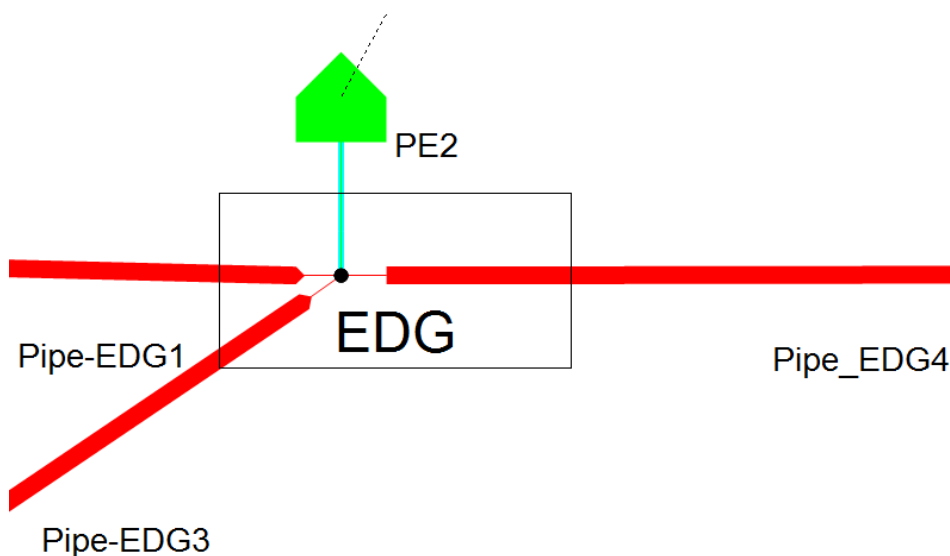


Figura 33: Modelagem da EDG

A Figura 34 está configurada com as capacidades contratadas. Pode-se observar que as pressões nos PTEs estão acima das pressões mínimas contratuais indicando que existe capacidade disponível. Executando o procedimento de cálculo para o PE4 o resultado para a capacidade de transporte está apresentado na Figura 35 e a capacidade disponível na Tabela 17.

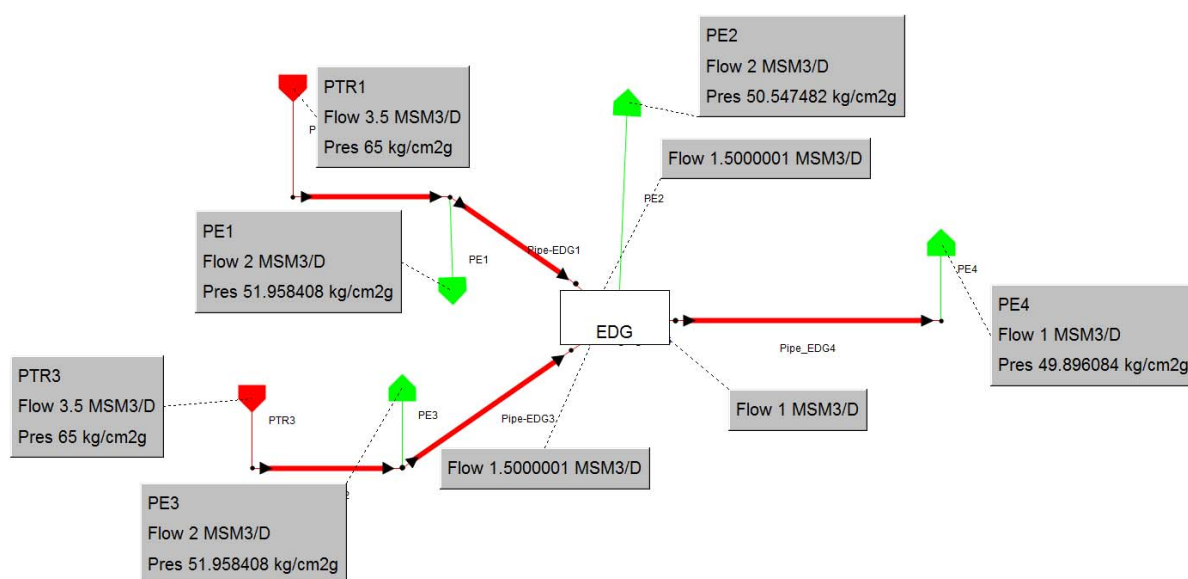


Figura 34: Configuração da rede para o Exemplo 7 na condição contratual

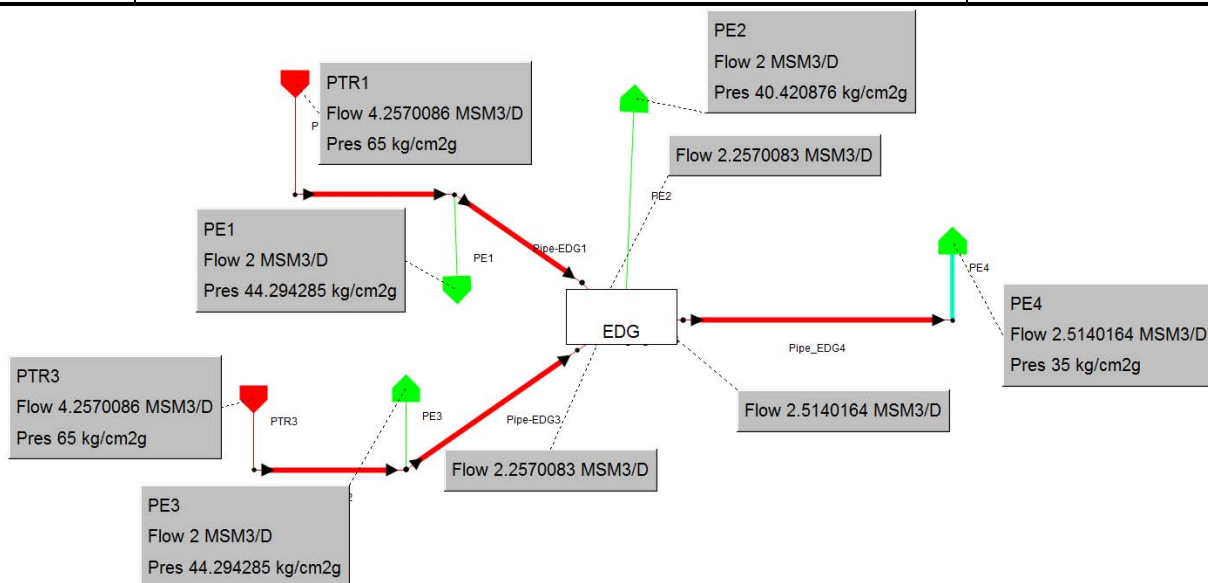


Figura 35: Resultado do cálculo de capacidade de transporte no PE4

Tabela 17: Capacidades do PE4 do Exemplo 7

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade transporte PTE (10 ⁶ m ³ /d)*	Capacidade disponível PTE (10 ⁶ m ³ /d)**
PE4	35	3,0	1,0	2,51	1,51

* A elevação de vazão é suprida de qualquer PTR.

** Valores calculados de forma não cumulativa

Até esse momento não foram considerados os limites operacionais de vazão dos equipamentos conectados aos dutos de entrada e saída da EDG que, especificamente para os medidores de vazão, estão apresentados na Tabela 18. Nessa situação o cálculo deverá ser feito, pois ao se comparar esses valores com os calculados na Figura 35, verifica-se que os limites operacionais estão sendo ultrapassados.

Tabela 18: Limites de projeto dos equipamentos da EDG

Duto	Pressão máxima (kgf/cm ²)	Vazão máxima (10 ⁶ m ³ /d)	Vazão normal (10 ⁶ m ³ /d)
FT-1	65	2,0	1,8
FT-3	65	2,0	1,8
FT-4	65	2,5	2,3

Para que esses limites não sejam ultrapassados, uma nova capacidade de transporte do PE4 deve-se ser calculada, conforme apresentado na Figura 36 para que se obtenha a real capacidade disponível, conforme apresentado na Tabela 19

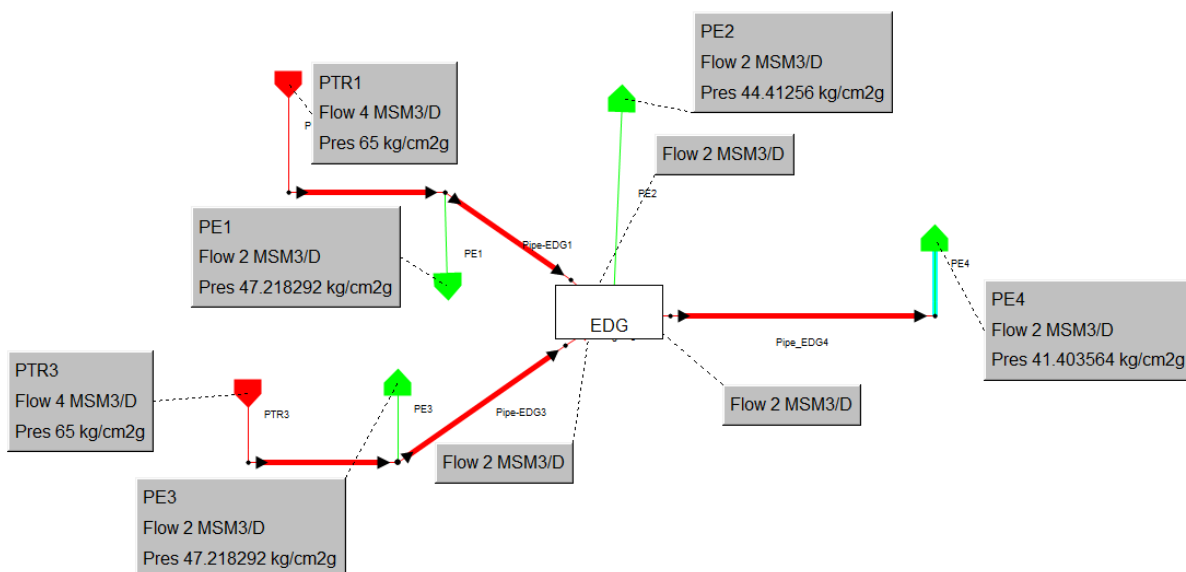


Figura 36: Resultado do cálculo de capacidade de transporte no PE4

Tabela 19: Capacidades do PE4 do Exemplo 7

PTE	Pressão mínima (kgf/cm ²)	Limite de projeto (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade contratada PTE (10 ⁶ m ³ /d)	Capacidade transporte PTE (10 ⁶ m ³ /d)*	Capacidade disponível PTE (10 ⁶ m ³ /d)**
PE4	35	3,0	1,0	2,0	1,0

* A elevação de vazão é suprida de qualquer PTR.

** Valores calculados de forma não cumulativa

Comparando a Figura 35 com a Figura 36, verifica-se que a alteração de vazão no PE4 altera os resultados de pressão nos PE1, PE2 e PE3. Dessa forma, a rede não pode ser segmentada na EDG.

Por fim, o conceito de maximização da capacidade de transporte deve ser considerado ao se realizar o cálculo da capacidade disponível. Isso implica em que o alinhamento utilizado na EDG deve ser aquele que produza a máxima vazão para o PTE em estudo. Assim, caso a flexibilidade da EDG permita diversas formas de alinhamentos, pode ser que a maximização da vazão para o PTE1 seja obtida com um alinhamento e para o PTE4 com outro alinhamento. Novamente poderão ser construídos diversos modelos, um para cada alinhamento ou utilizar um único modelo que através das válvulas modeladas seja possível reproduzir essas alternativas. Como o cálculo da capacidade de transporte e disponível é obtido com uma configuração física fixa, não existirá uma situação transiente de cálculo na qual o alinhamento é alterado durante o processo de cálculo.

**RELATÓRIO**Nº **RL-ANP-FPL-005**REV. **A****PROGRAMA:** MODELO TEÓRICO E COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DE GASODUTOS**FOLHA**
29 de 29**TÍTULO:**
Procedimentos para segmentação de redes de gasodutos

-

-

4 CONCLUSÃO

Sempre que possível, a rede deverá ser simplificada para facilitar o procedimento de cálculo de capacidade e a análise dos resultados. A segmentação da malha deve seguir a lógica de que os resultados obtidos para qualquer ponto com o modelo da rede integral serão os mesmos que com a rede segmentada.

Tipicamente, deve-se estudar pontos da rede onde existem imposições de condições de contorno, o que tornaria as condições a montante e a jusante desse ponto iguais.

Os seguintes elementos (mas não necessariamente limitados a esses) podem ser estudados como locais para segmentar a rede:

- Ponto de recebimento
- Estações de compressão
- Estação de redução de pressão (ERP)
- Interconexão entre dois transportadores

Nos exemplos estudados, os pontos de recebimento e as interconexões entre dois transportadores podem ser utilizados para segmentar a rede. Já as estações de compressão e as estações de redução de pressão não permitiram segmentar a rede nos exemplos analisados. Devido a complexidade das redes de transporte de gás natural, outras condições, que não as limitadas ao presente relatório podem existir nas quais esses elementos permitiriam a segmentação da rede. Assim, recomenda-se que para cada caso, no mínimo esses quatro elementos sejam analisados quando a segmentação da rede nesses pontos.