

5 Resultados

A malha dutoviária de gás natural operada pela TRANSPETRO, de 4.000 km de extensão, movimenta cerca de 75% do gás consumido diariamente no Brasil. Esta malha dispõe de aproximadamente vinte pontos diferentes de injeção de gás natural e de inúmeros pontos de entrega com redução de pressão para a distribuição regional aos grandes centros de consumo.

Seguindo a metodologia previamente definida, foram identificadas e levantadas as condições operacionais de 34 pontos de entrega de gás natural visando a substituição das válvulas de controle existentes por expansores, mantendo-se as características do fornecimento de gás. Tais informações foram obtidas do programa de sumarização de dados operacionais oriundos do sistema supervisorio da TRANSPETRO, tendo como referência o ano de 2008. Também foram identificadas as diferentes fontes de injeção de gás e suas composições médias registradas no decorrer de 2008.

O resultado do levantamento de dados foi registrado em forma de tabela para cada uma das 34 estações de redução de pressão, sendo que estas foram elaboradas conforme o modelo apresentado na Tabela 4:

Tabela 4 - Modelo de registro de dados operacionais

PONTO DE ENTREGA	Vazão (m³/d)	Pentrada (kgf/cm²)	Psaída (kgf/cm²)	Tentrada (°C)	Tsaída (°C)	Aquecedor	Expansor	
						(kW)	Tentrada (°C)	(kW)
Mês	Média	Média	Média	Média	Média	Qrequerida		Wgerada
JAN	3.433.141	37,0	17,4	18,6	17,2	2.907,9	58,7	2.249,6
FEV								
MAR	4.037.229	31,8	17,4	17,8	20,2	2.937,4	52,8	2.097,3
ABR	3.889.156	30,5	17,3	17,1	19,7	2.659,3	50,1	1.885,1
MAI	3.542.330	34,0	17,4	16,6	19,3	2.908,1	55,8	2.056,6
JUN	3.502.932	35,5	17,5	15,6	19,1	3.047,1	57,0	2.109,3
JUL	3.441.110	35,5	17,6	14,8	19,6	3.132,7	58,1	2.104,1
AGO	3.387.424	35,0	17,6	14,3	18,9	3.001,9	56,5	2.020,0
SET	3.203.373	36,5	17,8	15,3	19,8	2.977,5	59,4	2.010,8
OUT								
NOV	3.401.802	36,4	17,7	16,7	20,0	3.085,9	59,7	2.146,3
DEZ	3.244.047	38,3	17,5	17,6	19,7	3.130,2	63,1	2.237,1
ANUAL ⇒	3.508.254	35,1	17,5	Pe/Ps »»»	2,0	2.978,8	57,1	2.091,6

Os dados lançados nas colunas vazão, pressão de entrada, pressão de saída, temperatura de entrada e temperatura de saída refletem a média dos valores apurados mensalmente para a estação em estudo. As informações sobre os meses de FEV e OUT não estavam disponíveis pelo sistema de sumarização, por esta razão deixaram de ser registradas. Na última linha da tabela, logo abaixo do mês de dezembro, é apresentada a média anual de vazão, pressão de entrada e pressão de saída da estação de redução de pressão. Nesta linha é destacado em fundo azul o valor da razão entre a média anual da pressão de entrada e a média anual da pressão de saída. Além desses dados, de acordo com o procedimento de cálculo definido no sub-capítulo 3.2, registrou-se também nesta tabela os valores médios mensais e médio anual de potência térmica requerida no aquecedor de gás, temperatura na entrada do expansor e potência elétrica gerada pelo expansor.

Complementando ainda as tabelas de cálculo, há um outro quadro registrando a composição e o poder calorífico superior do gás natural que abastece a estação em referência. Estas informações complementares, cedidas pelo órgão de controle de qualidade do gás, foram computadas diariamente e sintetizadas em médias anuais.

No Apêndice 2 é apresentado separadamente as tabelas com os dados operacionais e cálculo da potência, a composição e o poder calorífico superior do gás natural de cada uma das estações de redução de pressão, conforme modelo definido acima. Em conjunto com as tabelas há também um gráfico referente à análise financeira, que será comentado mais adiante.

A Tabela 5 a seguir condensa os resultados obtidos nas simulações com o HYSYS para as estações de redução de pressão quanto à potência requerida no aquecedor, à temperatura de entrada no expansor e à potência elétrica gerada pelo expansor, afora a vazão média anual, a pressão de entrada média anual, a pressão de saída média anual, relação entre as pressões de entrada e saída, o poder calorífico superior médio anual, o consumo anual de gás combustível do aquecedor, a energia anual gerada pelo expansor e o consumo específico de combustível.

Tabela 5 – Resumo geral dos dados operacionais e cálculo de calor e trabalho

Estação de redução	Vazão (m³/d)	Pressão (kgf/cm²)	Pressão (kgf/cm²)	relação Pe/ Ps	PCS (kcal/m³)	Q _{requerida} (kW)	Temperatura (°C)	W _{gerada} (kW)	Consumo anual de gás (m³)	Energia anual gerada (kWh)	Consumo específico (m³/kWh)
CAP	3508,254	35,1	17,5	2,0	9,523	2979	57	2092	3150,060	16.535,511	0,191
SUZ	2209,528	39,5	17,7	2,2	9,523	2180	62	1,551	2305,388	12.260,084	0,188
OV	1153,735	26,1	8,9	2,9	9,123	1389	79	1,128	1532,877	8.920,363	0,172
ESV	1.260,008	58,0	26,8	2,2	9,525	1080	60	832	1.141,726	6.576,352	0,174
CAB	979,217	57,9	23,5	2,5	9,093	1.101	78	815	1.219,527	6.441,483	0,189
TIER	3304,555	53,7	39,9	1,3	8,984	959	38	800	1.074,643	6.327,326	0,170
FOR	380,746	70,3	9,5	7,4	9,074	937	142	758	1.040,070	5.989,441	0,174
SJC	486,342	58,4	17,4	3,3	9,525	685	86	532	724,294	4.203,566	0,172
JAP	1.940,892	57,1	41,2	1,4	9,525	596	38	500	630,419	3.954,618	0,159
SBC	676,268	39,1	17,0	2,3	9,523	666	65	497	703,846	3.932,087	0,179
COQ	1.942,984	29,6	22,7	1,3	8,820	533	38	454	608,994	3.589,063	0,170
PIN	327,386	60,0	17,1	3,5	9,525	467	85	368	493,714	2.909,024	0,170
BET	1.055,219	47,7	34,6	1,4	9,309	286	35	272	309,450	2.150,165	0,144
ARC	256,704	34,8	13,3	2,6	9,237	268	71	224	291,743	1.769,115	0,165
CAT	328,233	37,7	17,6	2,1	8,888	298	63	217	337,937	1.712,827	0,197
GUA	482,897	62,0	38,1	1,6	8,984	240	47	197	269,314	1.560,091	0,173
SRI	217,863	56,9	27,7	2,1	9,074	144	58	135	159,648	1.065,121	0,150
MAC	333,240	58,9	37,2	1,6	9,074	264	57	134	293,248	1.062,196	0,276
LOR	107,326	58,0	17,2	3,4	9,525	136	78	115	144,021	907,642	0,159
PAC	59,375	71,5	9,8	7,3	9,074	136	134	114	150,392	903,215	0,167
ESB	260,880	49,8	30,8	1,6	9,525	111	38	104	117,397	820,700	0,143
TAU	86,894	61,4	17,2	3,6	9,525	128	87	100	135,479	788,900	0,172
SBS	283,467	53,7	35,1	1,5	9,309	104	38	95	112,605	754,273	0,149
RES	245,841	51,1	33,3	1,5	9,525	108	41	85	114,027	673,004	0,169
CTQ	521,329	27,0	22,6	1,2	9,187	80	35	70	87,525	555,764	0,157
REC	171,633	57,9	23,4	2,5	9,093	150	68	68	165,685	536,869	0,309
CTD	455,955	27,0	22,7	1,2	9,187	65	35	58	71,105	459,711	0,155
PIR	99,989	57,1	29,4	1,9	9,525	70	57	57	74,051	449,196	0,165
JU	183,251	51,0	34,9	1,5	9,309	75	42	56	80,616	441,765	0,182
CCD	1.040,120	26,5	22,8	1,2	8,820	59	33	47	67,864	375,358	0,181
CRU	44,680	54,3	17,1	3,2	9,525	48	70	44	50,326	350,613	0,144
PAR	15,992	57,7	34,7	1,7	9,525	8	49	7	8,892	54,628	0,163
APA	7,294	37,9	15,3	2,5	9,074	6	73	6	6,981	46,801	0,149
BAR	12,770	58,0	35,0	1,7	9,309	7	48	5	7,702	42,453	0,181
TOTAL									17.681,566	99.119,326	
OBS:											
1) Vazão $\Rightarrow$ condição de referência 1 atm e 20°C											
2) Conversão de unidade de pressão $\Rightarrow 1 \text{ kgf/cm}^2 = 0,0981 \text{ Mpa}$											

Os valores de $\dot{Q}_{\text{requerida}}$ e de $\dot{W}_{\text{gerada}}$, respectivamente potência térmica requerida no aquecedor e potência elétrica gerada pelo expensor, não consideram a eficiência dos equipamentos.

Os valores referentes ao consumo anual de gás levam em consideração a eficiência térmica do queimador (0,75) e foram calculados a partir da Eq. (47). Os valores de energia anual gerada foram determinados pela Eq. (48) e levam em conta a eficiência do gerador (0,90).

A metodologia de análise de viabilidade econômica da substituição da válvula de controle pelo expansor e aquecedor deve levar em consideração o investimento nos equipamentos, o custo da energia elétrica, além do custo do combustível para aquecimento.

Perante o obstáculo em conseguir orçamentos para implantação desse tipo de projeto, a partir de dados operacionais médios diários, elaborou-se um procedimento de cálculo, sub-capítulo 4.2.2, para se obter graficamente a TIR do projeto em função do valor do investimento por kW gerado contra o percentual da potência máxima gerada pelo expansor. Este procedimento foi aplicado apenas na estação de redução CAP, enquanto que, para efeito comparativo, o procedimento com os dados operacionais médios mensais foram utilizados em todas as estações de redução.

A Fig. 15 apresenta o gráfico TIR x investimento/kW gerado x % da potência máxima com base em dados médios diários para a estação CAP, elaborado conforme o procedimento de cálculo do sub-capítulo 4.2.2.

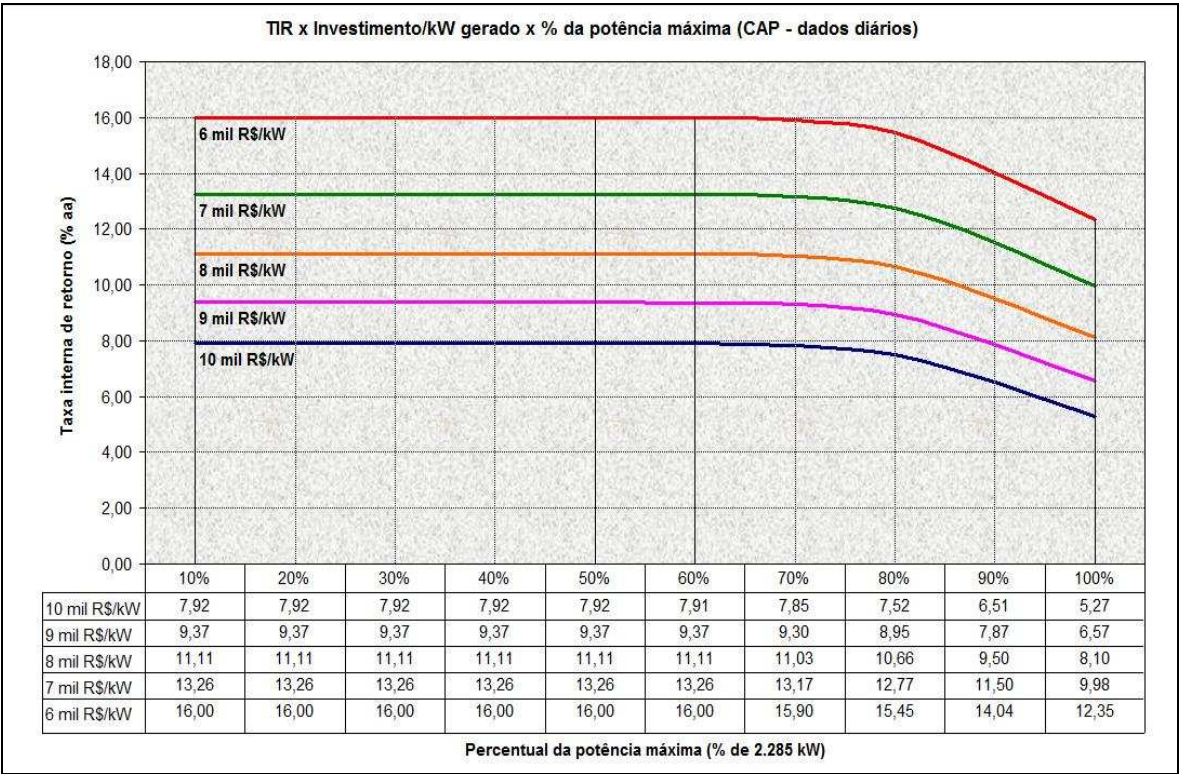


Figura 15 – TIR x investimento/kW gerado x % potência máx (CAP - dados diários)

O eixo horizontal representa uma progressão percentual em relação à potência máxima calculada, tomando-se como referência os dados históricos do ano de 2008. Esse valor de potência máxima simulado no HYSYS equivale a

capacidade máxima de geração de eletricidade que o expensor deveria ter para poder ofertar toda a energia elétrica gerada pela estação de redução de pressão, independente das condições operacionais. Os outros percentuais da potência máxima representam uma limitação na geração de energia elétrica, ou seja, com um aproveitamento menor do que a oferta total de energia que a estação de redução pode gerar.

O eixo vertical representa as taxas internas de retorno (TIR). As curvas de 5.000,00 a 10.000,00 (R\$/kW) foram elaboradas com os valores da TIR em função do investimento por kW gerado. Observa-se que para a capacidade máxima (100% da potência máxima) o valor da TIR é menor e vai aumentando de acordo com o decréscimo do percentual da potência máxima até atingir o ponto mais alto da curva de investimento por kW e depois se mantém constante, face à eficiência do gerador ter sido adotada como constante. No gráfico em questão, da estação CAP, o ponto ótimo para geração de energia está entre 70 e 75% da potência máxima calculada para este ponto de entrega.

Com base no procedimento do sub-capítulo 4.2.2 elaborou-se outro gráfico, desta vez utilizando-se os dados médios mensais, como pode ser observado na Fig. 16 e anexado também na parte inferior da Tabela 10.

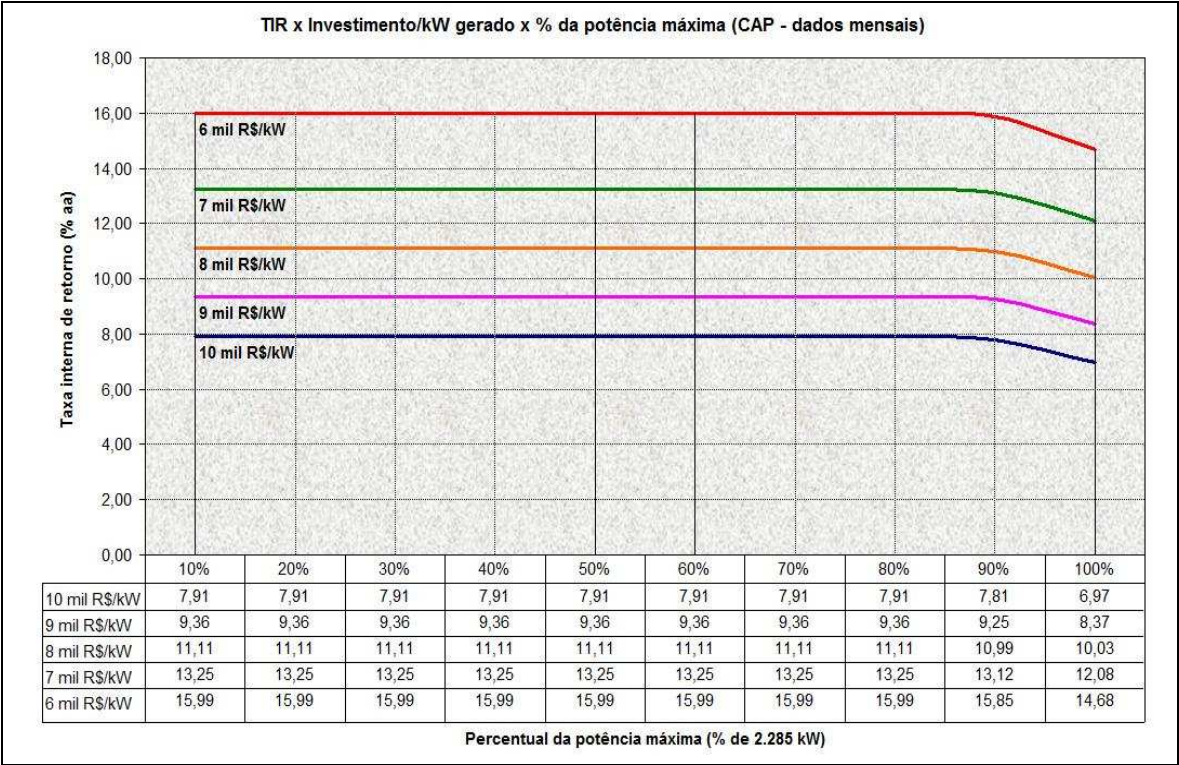


Figura 16 – TIR x investimento/kW gerado x % potência máx (CAP - dados mensais)

Nos dois gráficos, Fig. 15 e Fig. 16, as curvas TIR x investimento apresentam a mesma tendência e resultam em valores aproximados de TIR. Entretanto o segundo gráfico, elaborado com os dados médios mensais, indica como ponto ótimo para geração de energia o valor em torno 90% da potência máxima calculada para esta estação.

É certo que o resultado do procedimento para calcular a TIR do projeto utilizando dados médios diários, conforme o sub-capítulo 4.2.2, é mais confiável do que a aplicação com os dados médios mensais, pois reflete de forma mais harmônica as mudanças das condições operacionais ao longo de um período prolongado, como no caso estudado, a estação de redução CAP, que se alicerçou em 366 amostras contra apenas 10 amostras do procedimento com base em dados mensais.

No Apêndice 2 são apresentadas as Tabelas de 10 a 43, que resumem os dados operacionais médios e os resultados dos cálculos individuais de cada uma das 34 estações de redução de pressão. Complementando estas informações, apresenta-se em conjunto o gráfico TIR x investimento/kW gerado x % da potência máxima de cada estação, sob o foco dos dados mensais médios

Do total de 34 estações de redução, que utilizaram como referência os dados médios mensais, 13 acompanharam o perfil da curva TIR x investimento da estação CAP, são elas: SUZ, ESV, FOR, JAP, SBC, GUA, SRI, MAC, LOR, TAU, REC, PIR e CRU, sendo que seus pontos ótimos para geração de energia ficaram entre 65 e 85%. Os gráficos das outras 20 estações sofreram variações, umas mais significantes que as outras, parte em função da redução de demanda de gás, possivelmente devido à crise financeira mundial que retraiu o mercado industrial, parte devido à mudança na forma de operação da estação (caso das estações CCQ, CTQ, CTD e CCD) e parte em função de dados pouco confiáveis (caso da ESB).

Mediante os dados médios diários, o gráfico da Fig. 17 nos mostra as curvas de potência elétrica limitadas por um percentual da potência máxima calculada para a estação CAP. Neste pode-se notar as faixas de potência que podem ser atendidas por cada percentual da potência máxima disponível.

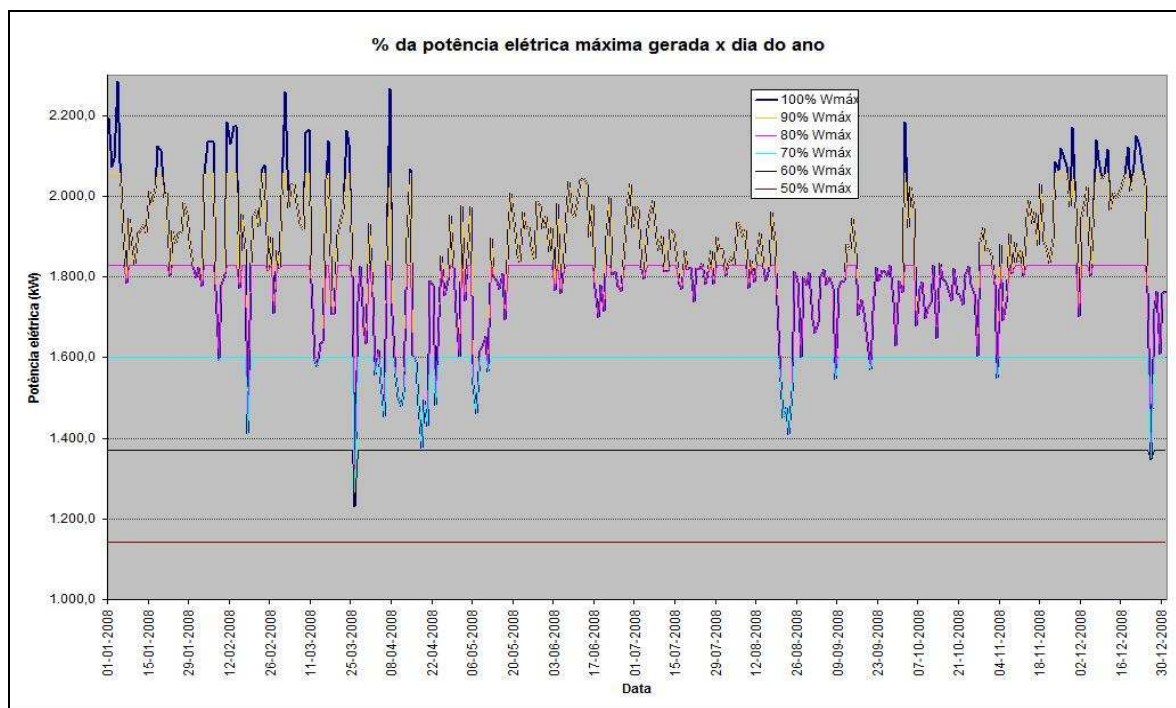


Figura 17 – % da potência elétrica máxima x dia do ano

No Apêndice 3 tem-se mais 4 gráficos, com base em dados diários, para estação de redução CAP que representam: a) Potência elétrica gerada e potência térmica requerida ao longo do ano; b) Potência térmica requerida em função do % da potência máxima; c) Energia elétrica gerada x % da potência elétrica máxima e d) Consumo anual de gás x % da potência máxima.

Como conclusão, a metodologia desenvolvida permite a determinação da taxa interna de retorno (TIR) do investimento no sistema proposto, simulado para diferentes valores praticados pelo mercado por kW gerado, levando-se em consideração o perfil de vazão de cada estação de redução de pressão. O percentual de potência máxima selecionado para o expensor é aquele que maximiza a TIR, que deve ser comparada com a taxa mínima de atratividade (TMA) de referência da empresa para determinação da viabilidade deste projeto.

O presente estudo não leva em conta a possibilidade de venda de energia elétrica devido à proximidade da estação de redução em relação à rede de distribuição de eletricidade.