

5

Estudo de Caso 1: Análise de investimento em ampliação da capacidade de trechos de um duto

Neste e no próximo capítulo serão apresentados dois estudos de caso que visam demonstrar as funcionalidades do modelo expostas no Capítulo 4. Este primeiro estudo de caso abordará a questão da dependência do investimento em ampliação de trechos de dutos. Já o segundo estudo tratará da interdependência do investimento em capacidade de movimentação em um terminal marítimo e em um duto.

Ambos os estudos serão aplicados a elementos da rede logística de distribuição de derivados de petróleo no Brasil. Esta rede é composta por:

- 32 Fontes de petróleo;
- 52 Bases de distribuição;
- 20 Frentes de importação e exportação de petróleo e derivados;
- 22 Refinarias nacionais e internacionais;
- 45 Terminais marítimos e terrestres;
- 2470 Arcos de ligação entre estes nós.

Esta rede movimenta 169 produtos derivados de petróleo cuja média da demanda a ser atendida no mercado nacional é de aproximadamente de 167 milhões de m³ por ano em um horizonte de 18 anos (2013 a 2030).

É importante ressaltar que ambos os estudos foram realizados com dados reais, porém, por questões de confidencialidade, os valores aqui apresentados foram modificados.

5.1

Apresentação do contexto do Estudo de Caso 1

O duto que será alvo deste estudo de caso se origina em uma refinaria e percorre cinco bases de distribuição em diferentes cidades, sendo composto assim por cinco trechos (arcos), que operam em um único sentido, conforme Figura 10.

Ele é capaz de transportar derivados de petróleo que se caracterizam por terem baixa viscosidade tais como: gasolina e diesel.

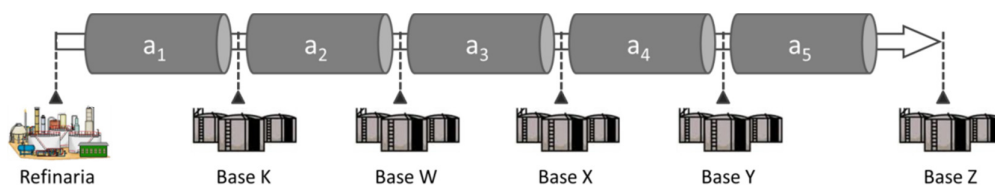


Figura 10 - Esquema do duto estudado. Fonte: Autora.

As capacidades e custos variáveis de cada trecho são dados na Tabela 5.

Trecho	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
Capacidade anual (m^3)	28.070	23.392	21.052	16.374	6.550
Custo ($\$/ m^3$)	0,44	0,31	0,29	0,68	0,38

Tabela 5 - Capacidade e custo de transporte em cada trecho.

As bases de distribuição deste sistema demandam derivados para atender ao mercado local. Esta demanda é majoritariamente por gasolina e diesel (vide Gráfico 2), produtos estes que são supridos pela refinaria e transportados através do duto.

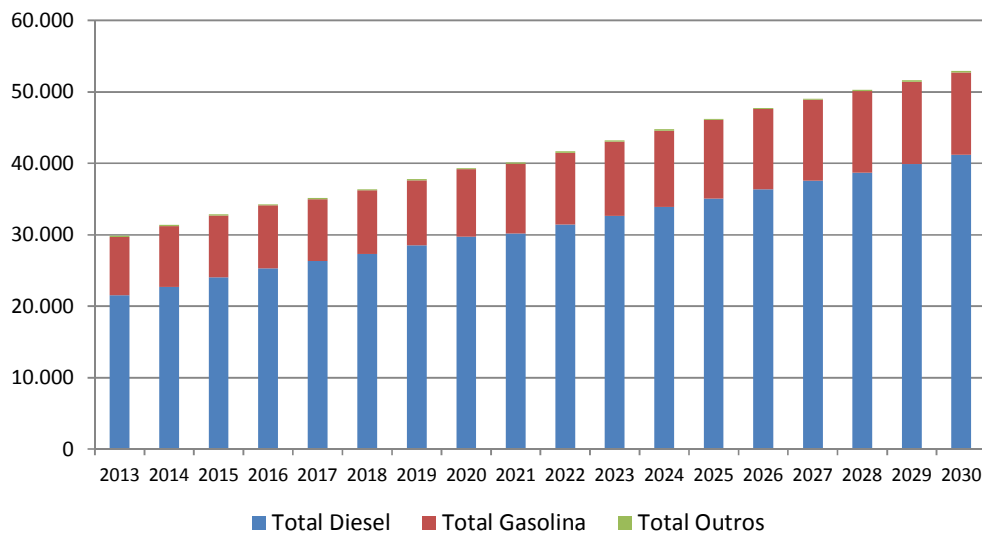


Gráfico 2 – Quantidade de derivados demandada nas bases do estudo.

A demanda anual de cada base é apresentada no Gráfico 3. A base com maior demanda neste sistema é a Base Y, seguida respectivamente pelas Bases Z, K, X e W. A partir destes dados é possível quantificar a demanda por trecho, que corresponde à soma das demanda das bases à jusante do trecho, e confrontá-la a sua capacidade de transporte.

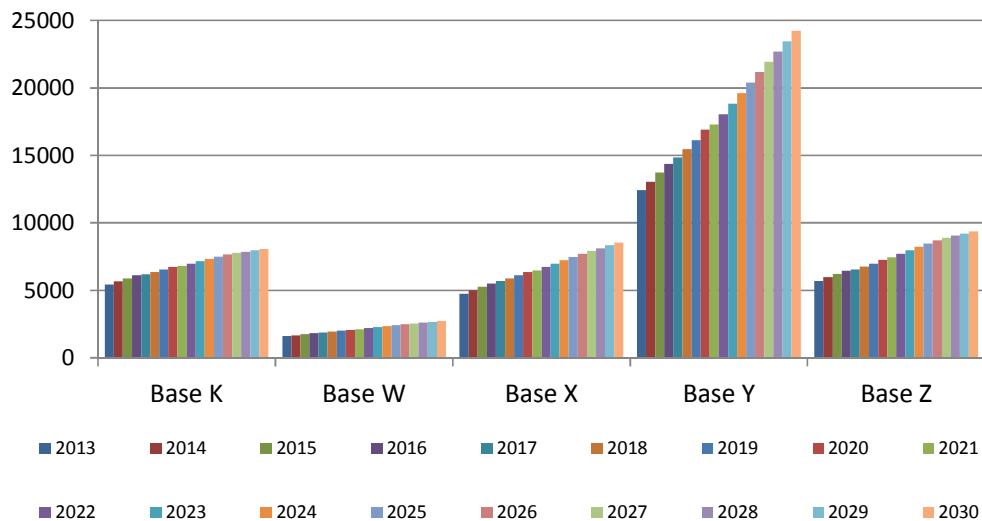


Gráfico 3 - Demanda anual nas bases do sistema.

Ao comparar as capacidades dos trechos à demanda de transporte de derivados em cada um deles (vide Tabela 6), é possível constatar que todos os trechos necessitam maior capacidade de transporte durante todo o horizonte de tempo do estudo, exceto o a_5 cuja demanda só atinge o limite de capacidade a partir de 2017.

Trecho	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
2013	106%	104%	108%	110%	87%
2014	112%	110%	114%	116%	91%
2015	117%	115%	120%	122%	95%
2016	122%	120%	125%	127%	98%
2017	125%	124%	129%	131%	100%
2018	130%	128%	133%	136%	103%
2019	135%	134%	139%	141%	107%
2020	140%	139%	145%	148%	111%
2021	143%	143%	148%	151%	114%

2022	148%	148%	154%	157%	118%
2023	154%	154%	160%	164%	122%
2024	159%	160%	167%	170%	126%
2025	165%	166%	173%	176%	129%
2026	170%	171%	179%	183%	133%
2027	175%	177%	184%	188%	136%
2028	179%	181%	189%	194%	138%
2029	184%	187%	195%	199%	141%
2030	189%	192%	200%	205%	143%

Tabela 6 – Percentual da demanda sobre a capacidade de transporte de cada trecho por ano.

O déficit de capacidade de transporte no duto para atendimento da demanda nas bases do sistema é coberto pelo modal rodoviário, que apresenta custos por m³ até 700 vezes mais elevados, conforme apresentado na Tabela 7.

Trecho	a₁	a₂	a₃	a₄	a₅
Custo dutoviário (\$/ m³)	0,44	0,31	0,29	0,68	0,38
Custo rodoviário (\$/ m³)	78,54	117,65	144,73	132,26	266,03
Razão entre o custo rodoviário e dutoviário	178	379	499	194	700

Tabela 7 – Custos por trecho nos modais rodoviário e dutoviário.

Uma vez exposto o contexto do estudo, será feita uma análise de sensibilidade do VPL dos projetos ao custo de investimento em aumento de capacidade nos trechos do duto. Para isso, serão criados distintos cenários do estudo que se diferenciam apenas pelo custo de investimento nos trechos do duto conforme mostrado na Tabela 8. Em todos os cenários o aumento de capacidade associado ao investimento é de 21% para os arcos a₁, a₂, a₃, a₄ e de 44% para o

a5. Vale ressaltar que o custo de transporte por unidade de volume não é alterado caso ocorra a ampliação de um trecho do duto. Também é importante informar que em todos os cenários foi imposta uma restrição de sequenciamento do investimentos nos trechos (equação 25 do Capítulo 4), que obriga que o investimento em um trecho só ocorra se antes tiver havido o investimento na ampliação do trecho à montante.

Cenário	Custo de Investimento em cada trecho (milhões \$)	Custo de Investimento total nos cinco trechos (milhões \$)
1	0	0
2	10	50
3	20	100
4	40	200
5	80	400
6	100	500
7	200	1000
8	210	1050
9	215	1075
10	220	1100
11	230	1150
12	235	1175
13	245	1225
14	250	1250

Tabela 8 - Custo de investimentos nos trechos do duto.

Além destes quatorze cenários, foi feito um cenário base no qual não há investimento nos trechos do duto. Este cenário servirá como referência para comparação dos resultados dos demais cenários.

5.2 Análise de Resultados do Estudo de Caso 1

A fim de avaliar a necessidade de expansão de capacidade nos trechos do duto, a análise do estudo de caso se inicia com a interpretação dos resultados do cenário base, que corresponde à situação em que nenhum investimento em aumento de capacidade de transporte no duto é realizado.

Através deste cenário é possível estudar o valor marginal da capacidade dos trechos do duto, que corresponde ao ganho financeiro na função objetivo por unidade de capacidade aumentada. Este valor é função do fluxo no trecho e do seu custo unitário. Quando há folga de capacidade, o valor marginal será zero.

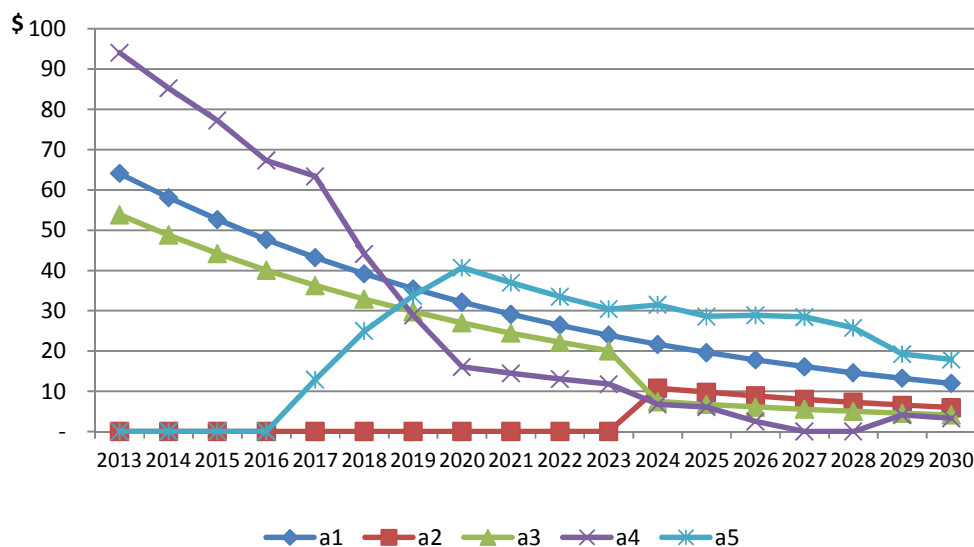


Gráfico 4 - Valor Marginal de cada trecho do duto.

Primeiramente, o Gráfico 4 mostra que até 2016 apenas os trechos a_1 , a_3 e a_4 estão operando no limite de suas capacidades e por isso exigem ampliação. O comportamento decrescente das curvas de valor marginal destes arcos se explica pela ampliação da oferta de derivados, e principalmente de diesel, no parque de refino nacional, que passa a abastecer as bases do sistema via modal ferroviário.

Ademais, é possível observar que o trecho a_2 opera com ociosidade até 2023, quando atinge seu limite de capacidade. Isto se explica tanto pelo fato de a

demanda de transporte no trecho estar restrita ao limite do trecho subsequente, a_3 (21.052 m³), quanto pela baixa demanda na Base W, a menor do sistema em análise.

Finalmente, o Gráfico 4 mostra que o trecho a_5 necessita expansão a partir de 2017, devido ao aumento da demanda na Base Z, e em 2020 ele passa a ser aquele com maior valor marginal.

É importante lembrar que o ganho na função objetivo quantificado no valor marginal não considera a relação de dependência entre os investimentos nos trechos, por isso ele não pode ser analisado de maneira isolada.

A análise dos resultados do estudo de caso prossegue com a avaliação dos resultados dos cenários descritos na seção 5.1, que podem ser observados na Tabela 9. Para cada cenário são apresentados o valor total da função objetivo durante todo o horizonte de estudo em valor presente e o ano de investimento em cada trecho do duto, caso este ocorra.

Cenário	Custo de Investimen to em cada trecho (milhões \$)	Custo de Investimen to total nos cinco trechos (milhões \$)	FO (milhões \$)	Ano de investi- mento no trecho	Ano de investi- mento no trecho	Ano de investi- mento no trecho	Ano de investi- mento no trecho	Ano de investi- mento no trecho
				a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
1	0	0	843.866	2013	2013	2013	2013	2017
2	10	50	843.755	2013	2013	2013	2013	2018
3	20	100	843.645	2013	2013	2013	2013	2019
4	40	200	843.426	2013	2013	2013	2013	2019
5	80	400	843.014	2014	2014	2014	2014	2021
6	100	500	842.825	2014	2014	2014	2014	2022
7	200	1000	841.999	2016	2016	2016	2016	2024
8	210	1050	841.944	2026	2029	2029	Não investe	Não investe
9	215	1075	841.942	2026	2030	2030	Não investe	Não investe
10	220	1100	841.940	2027	Não investe	Não investe	Não investe	Não investe
11	230	1150	841.938	2028	Não investe	Não investe	Não investe	Não investe
12	235	1175	841.937	2029	Não investe	Não investe	Não investe	Não investe
13	245	1225	841.936	2030	Não investe	Não investe	Não investe	Não investe
14	250	1250	841.936	Não investe	Não investe	Não investe	Não investe	Não investe

Tabela 9 – Total da Função Objetivo e ano de investimento em cada trecho do duto por cenário.

Observa-se na Tabela 9 que o investimento no trecho a_1 é aquele com maior atratividade, uma vez que até o valor de \$245 milhões de custo de investimento, ele traz ganhos para o sistema. Este resultado é coerente com o fato que este trecho é aquele com menor custo de investimento por unidade adicional de capacidade, uma vez que o custo de investimento é o mesmo para todos e que o trecho a_1 apresenta o maior valor absoluto de aumento de capacidade, conforme detalhado na Tabela 10.

Trecho	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅
Capacidade adicional (m ³)	5850	4913	4398	3415	2875

Tabela 10 - Capacidade adicional por trecho

Também é importante notar que o investimento na ampliação do trecho a₄ só é viável se ele ocorrer até 2016, ano no qual seu valor marginal é o maior de todos os trechos. Isto implica em que o investimento nos trechos à montante deve ocorrer no máximo até este ano, podendo ocorrer antes, caso seja atrativo. No entanto, observa-se que o ano de investimento nos trechos a₁, a₂, a₃ acompanha o ano de investimento no trecho a₄, mostrando que este trecho é o gargalo do sistema, e por isso “puxa” o investimento nos trechos anteriores. Existe, assim, uma relação de dependência do investimento nos trechos a₁, a₂, a₃ ao investimento no trecho a₄.

Finalmente, será apresentado o gráfico de sensibilidade do VPL ao custo de investimento dos cenários analisados. O VPL foi obtido pela diferença entre o valor da função objetivo de cada cenário e da função objetivo do cenário base, representando o ganho, em valor presente, em relação à situação em que não ocorre ampliação.

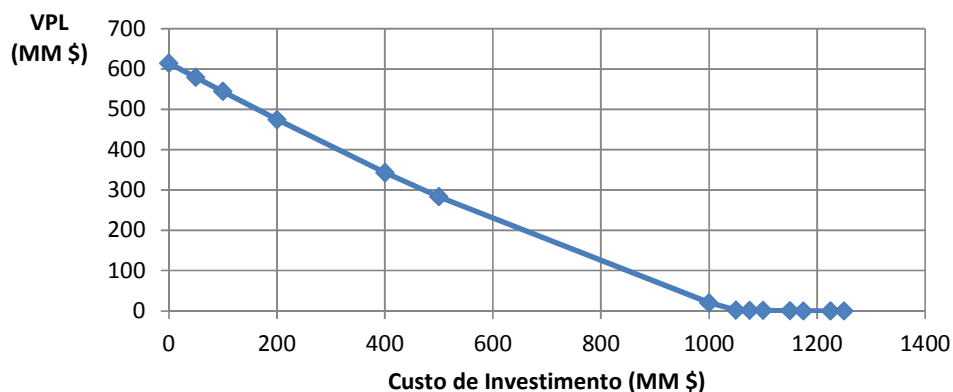


Gráfico 5 - VPL x Custo de investimento nos trechos do duto.

A curva do Gráfico 5 apresenta a mesma inclinação até atingir um custo de investimento de \$1000 milhões (\$200 milhões por trecho), uma vez que, até este valor, o investimento é realizado em todos os cinco trechos. Além deste valor, a curva de inclinação muda sempre que se ultrapassa o valor viável de investimento em um determinado trecho, como se pode observar no gráfico Gráfico 6.

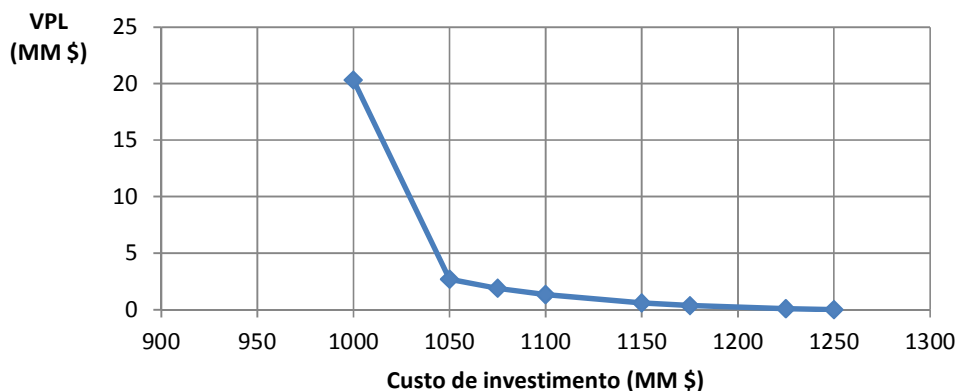


Gráfico 6 - VPL x Custo de investimento nos trechos do duto.

Pode-se concluir assim que o valor limite de custo de investimento nos trechos a_4 e a_5 é de aproximadamente \$200 milhões, nos trechos a_3 e a_2 é de \$215 milhões e finalmente no trecho a_1 é de \$245 milhões.