



Implementation of a Gas Distribution Network (Gas Pipelines) Connecting the Main Cities in the Brazilian State of Minas Gerais

Carlos César Imaniche, Mischel Carmen Neyra Belderrain and
Edson França Senne

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

August 21, 2021



IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS (GASODUTOS) CONECTANDO AS PRINCIPAIS CIDADES DO ESTADO BRASILEIRO DE MINAS GERAIS

CARLOS C. M. IMANICHE¹ – MISCHÉL CARMEN N. BELDERRAIN¹ – EDSON FRANÇA SENNE²

¹ Instituto Tecnológico Aeronáutico – ITA, São José dos Campos-SP, Brasil

² Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, São José dos Campos-SP, Brasil

imaniche@ita.br - carmen@ita.br - edson.senne@unesp.br

RESUMO

A constante busca por recursos energéticos implica na necessidade de melhoria da infraestrutura de rede de fornecimento de gás combustível. Através de uma heurística baseada no algoritmo de Prim e utilizando os dados de posição geográfica das cidades, é apresentada uma rede de distribuição de gás (gasoduto) otimizada conectando todas as 72 cidades com mais de 50.000 habitantes do estado de Minas Gerais, Brasil, aproveitando a infraestrutura de gasoduto já existente. A principal contribuição deste trabalho é apresentar uma ferramenta de tomada de decisão para os próximos trechos de gasoduto a serem construídos.

Palavras Chave: Pesquisa Operacional, Árvore Geradora Mínima, Prim, Gasoduto.

ABSTRACT

The continuous search for energy resources implies the need to improve the fuel gas supply network infrastructure. Through a heuristic based on Prim's algorithm and using the geographic position data of the cities, is presented an optimized gas distribution network (gas pipeline) connecting all 72 cities that have more than 50.000 citizen in the state of Minas Gerais, using the gas pipeline infrastructure already installed. The main contribution of this paper is to present a decision-making tool for the next patches of gas pipeline to be built.

Key Words: Operational Research, Minimum Spanning Tree, Prim, Gas pipeline.

1. INTRODUÇÃO

A descoberta da camada Pré-Sal em 2007 (Globo Comunicação e Participações S.A., 2012) e a construção do gasoduto Brasil-Bolívia proporcionaram novas oportunidades de fontes energéticas relacionadas ao uso de gás natural. Sendo responsável por pouco mais de 10% da fonte energética nacional e uma vez que não sofre interferência das sazonalidades climáticas, o gás natural vem se consolidando como uma das essenciais matrizes energéticas do Brasil (Fioreze, et al., 2013).

Podemos ainda considerar a possibilidade de descoberta de reservatórios não convencionais de hidrocarbonetos em bacias sedimentares brasileiras, como a Bacia do Paraná que possui 1,5 milhão de Km² (Delgado, 2019). Dentro das fontes de hidrocarbonetos não convencionais, está o *shale gas*, que é “o gás natural não-convencional encontrado dentro de rochas sólidas de xisto. O xisto é a rocha sedimentar argilosa mais abundante que existe, e em alguns casos, pode conter gás natural.” (CBIE, 2020).

Outra potencial fonte de combustível gasoso que também pode ser levada em



conta é o biogás, que é “um dos produtos da decomposição da matéria orgânica, que se dá através da ação de determinadas espécies de bactérias. O biogás é composto principalmente por metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂)” (CETESB, 2020).

Alguns produtores do oeste do Paraná utilizam um equipamento chamado biodigestor para transformar lixos orgânicos e dejetos de animais, como fezes e urina em biogás (Globo Comunicação e Participações S.A., 2021).

A infraestrutura de distribuição de gases no Brasil (Figura 1) ainda é bem limitada, entretanto vem melhorando a cada ano.

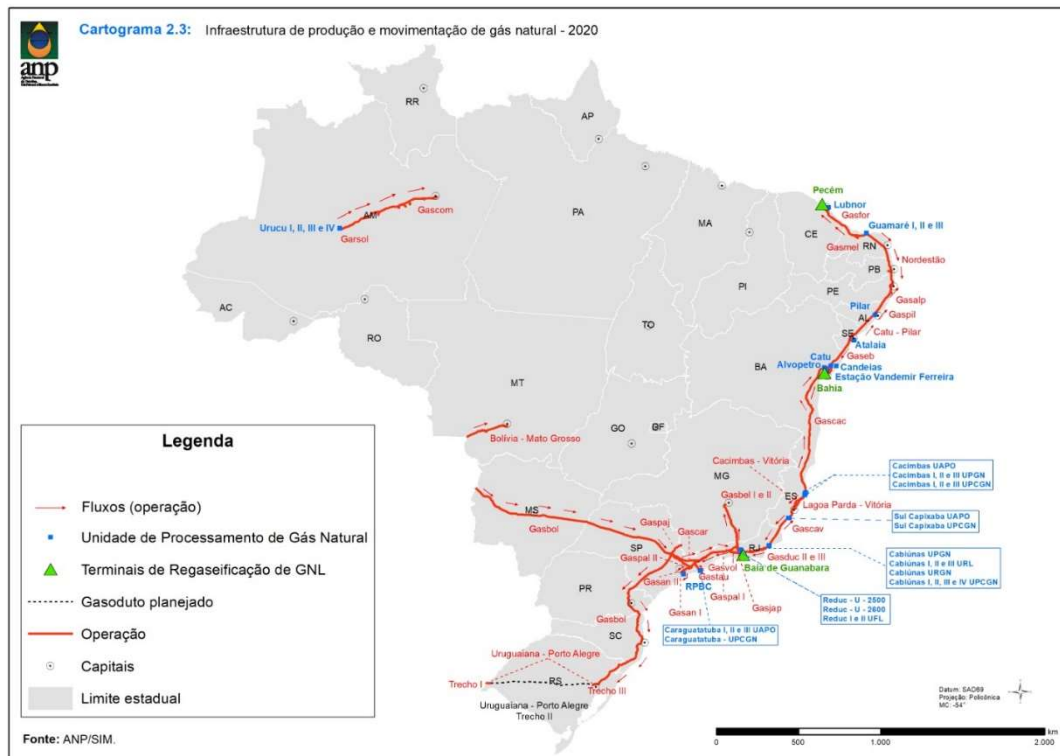


Figura 1: Infraestrutura de produção de gás natural no Brasil
Fonte: (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2021)

O estado de Minas Gerais possui inúmeras indústrias siderúrgicas, sendo o maior produtor nacional neste setor (Soares & de Souza, 2020). Além disso é o segundo estado mais populoso do Brasil, ficando somente atrás do estado de São Paulo. O transporte de gás natural em Minas Gerais é realizado pela empresa Nova Transportadora do Sudeste S/A (NTS) (CBIE, 2020).

Em julho de 2020, estima-se que Minas Gerais possuía 72 cidades com mais de 50 mil habitantes, de acordo com (IBGE, 2020), citadas na tabela 1, sendo de suma importância o fornecimento contínuo de combustível para o desenvolvimento de indústrias nestas cidades.

Tabela 1: Cidades de Minas Gerais com mais de 50 mil habitantes (01 de julho de 2020)

	CIDADE		CIDADE		CIDADE
1	Alfenas	25	Itabira	49	Patrocínio
2	Araguari	26	Itabirito	50	Pedro Leopoldo
3	Araxá	27	Itajubá	51	Pirapora
4	Barbacena	28	Itaúna	52	Poços de Caldas
5	Belo Horizonte	29	Ituiutaba	53	Ponte Nova



6	Betim	30	Janaúba	54	Pouso Alegre
7	Bocaiúva	31	Januária	55	Ribeirão das Neves
8	Bom Despacho	32	João Monlevade	56	Sabará
9	Campo Belo	33	Juiz de Fora	57	Santa Luzia
10	Caratinga	34	Lagoa da Prata	58	São Francisco
11	Cataguases	35	Lagoa Santa	59	São João del Rei
12	Congonhas	36	Lavras	60	São Sebastião do Paraíso
13	Conselheiro Lafaiete	37	Leopoldina	61	Sete Lagoas
14	Contagem	38	Manhuaçu	62	Teófilo Otoni
15	Coronel Fabriciano	39	Mariana	63	Timóteo
16	Curvelo	40	Montes Claros	64	Três Corações
17	Divinópolis	41	Muriaé	65	Três Pontas
18	Esmeraldas	42	Nova Lima	66	Ubá
19	Formiga	43	Nova Serrana	67	Uberaba
20	Frutal	44	Ouro Preto	68	Uberlândia
21	Governador Valadares	45	Pará de Minas	69	Unaí
22	Guaxupé	46	Paracatu	70	Varginha
23	Ibirité	47	Passos	71	Vespasiano
24	Ipatinga	48	Patos de Minas	72	Viçosa

Face ao exposto anteriormente, e ressaltando a importância em criar uma infraestrutura eficiente de distribuição de gás no estado de Minas Gerais, com um custo otimizado, este estudo tem como primeiro objetivo apresentar uma proposta de menor rede (árvore geradora mínima) de distribuição de gás natural (gasoduto) conectando as cidades do estado de Minas Gerais que possuem mais de 50 mil habitantes, aproveitando a atual infraestrutura de gasoduto.

Prim propõe para a solução do Problema de Árvore Geradora Mínima (*Minimum Spanning Tree Problem - MSTP*) que seja escolhido um vértice da árvore geradora em análise, então é selecionada a aresta mais curta (menor peso) conectada a este vértice, conectando assim um novo vértice ao grafo. A partir deste momento são selecionadas, sucessivamente, as menores arestas que conectadas aos vértices do grafo e que não formem um ciclo, até que todos os vértices da árvore geradora em análise sejam conectados (Prim, 1957).

2. DESENVOLVIMENTO

Através das coordenadas geométricas das cidades foi possível identificar a distância entre cada uma das 72 cidades, fornecendo assim os dados necessários para a solução do problema. A partir do algoritmo de Prim foi elaborada a heurística a seguir:

Seja **grafo_conect** o conjunto de arestas que poderão ser as próximas serem selecionadas para árvore geradora mínima (MST), **conec_final** o conjunto de arestas já selecionadas para MST, **vert_conec** o conjunto de vértices já selecionados para MST e **A** o conjunto de arestas possíveis do grafo $A(V, B)$ com pesos d_{ij} para todas as arestas $\{i, j\}$, então:

1. Escolha qualquer vértice $i \in V$;
2. $vert_conec \leftarrow \{i\}$;
3. $grafo_conect \leftarrow A(i, j)$ para todo $j \in B$;
4. $A \setminus A(i, j)$;
5. Encontre menor d_{ij} em $grafo_conect$;
6. $vert_conec \leftarrow \{j\}$;
7. $conec_final \leftarrow grafo_conec(i, j)$



8. grafo_conect \ grafo_conect(i,j);
9. Enquanto $A \neq \emptyset$ ou grafo_conect $\neq \emptyset$:
10. grafo_conect $\leftarrow A(k,l)$ para todo $k \in \text{vert_conec}$ e para todo $l \in B$;
11. $A \setminus A(k,l)$;
12. Se $m \in \text{vert_conec}$ “e” $n \in \text{vert_conec}$: grafo_conect \ grafo_conect (m,n)
13. Encontre menor d_{kl} em grafo_conect;
14. $\text{vert_conec} \leftarrow \{l\}$;
15. $\text{conec_final} \leftarrow \text{grafo_conec}(k,l)$
16. grafo_conect \ grafo_conect(k,l);
17. Fim

2.1 Resultado

O algoritmo da heurística proposta, desenvolvida com a linguagem *Python*, foi utilizada com os dados das distancias entre as 72 cidades. A cidade de Belo Horizonte foi considerada como o primeiro vértice e com os pesos das cidades já conectadas com peso (distância) “0”, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado da aplicação da heurística

	CONEXÕES		DISTÂNCIA		CONEXÕES		DISTÂNCIA		CONEXÕES		DISTÂNCIA
1	5	12	EXISTENTE	25	18	45	34	49	22	60	53
2	5	14	EXISTENTE	26	45	28	24	50	60	47	48
3	5	42	EXISTENTE	27	28	17	36	51	64	27	82
4	5	57	EXISTENTE	28	17	43	31	52	27	54	58
5	12	13	EXISTENTE	29	43	8	34	53	61	16	83
6	14	6	EXISTENTE	30	8	34	38	54	24	21	95
7	57	71	EXISTENTE	31	34	19	54	55	21	62	121
8	13	4	EXISTENTE	32	19	9	48	56	47	3	131
9	13	44	EXISTENTE	33	9	36	52	57	3	49	72
10	71	50	EXISTENTE	34	4	59	55	58	49	48	66
11	4	33	EXISTENTE	35	24	10	57	59	3	67	112
12	44	39	EXISTENTE	36	10	38	54	60	67	68	100
13	50	61	EXISTENTE	37	39	53	58	61	68	2	30
14	39	32	EXISTENTE	38	53	72	38	62	67	20	114
15	32	15	EXISTENTE	39	72	66	41	63	20	29	132
16	15	24	EXISTENTE	40	66	11	40	64	48	46	156
17	15	63	7	41	11	37	16	65	46	69	97
18	71	35	8	42	11	41	47	66	16	51	165
19	14	23	9	43	36	70	58	67	51	7	122
20	42	56	12	44	70	65	21	68	7	40	42
21	5	55	16	45	70	64	25	69	40	30	120
22	32	25	16	46	65	1	49	70	30	31	121
23	55	18	25	47	1	52	79	71	31	58	74
24	12	26	26	48	52	22	56				

Os trechos da rede de gasoduto, na Tabela 2, com distância “EXISTENTE” já estão construídos, ou seja, com peso igual a “0” para implementação. A ordenação das conexões consiste na sequência de construção dos trechos para que a próxima cidade



seja anexada à rede de gasodutos, pois apresentam a menor distância até a rede, significando um provável custo menor de implementação. Desta forma são apresentadas as 71 conexões do gasoduto resultante, sendo 16 delas já existentes.

Os trechos do gasoduto a serem construídos para integração de toda a rede totalizam 3358 Km e são demonstrados em vermelho na Figura 2.

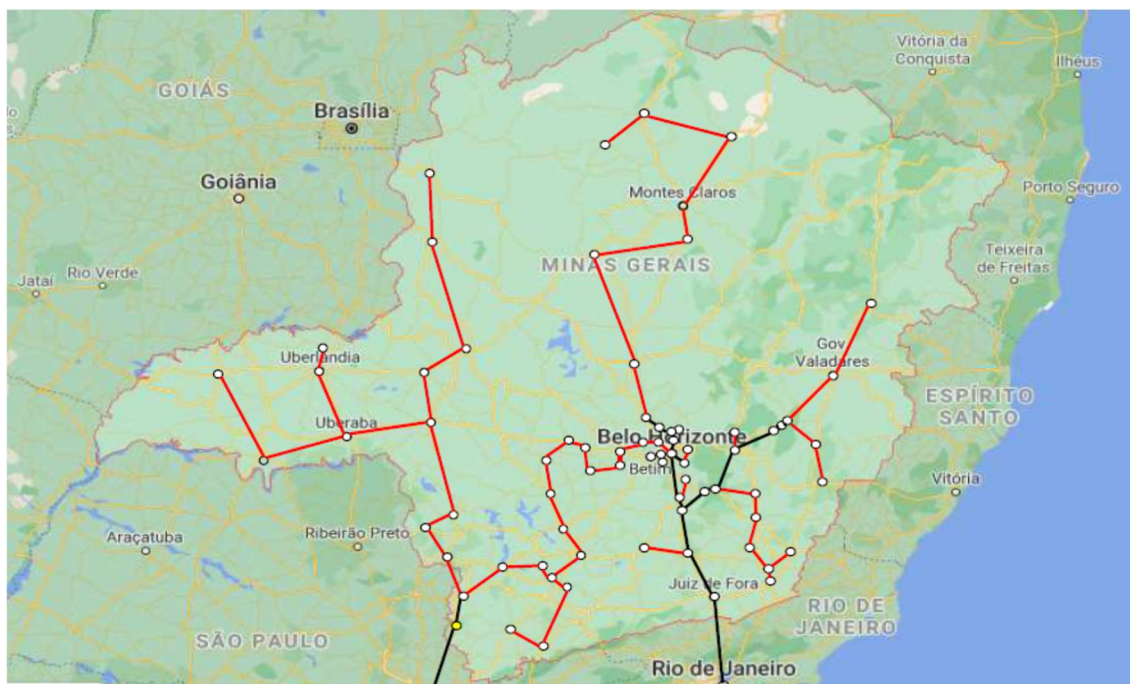


Figura 2 - Rede de gasodutos aproveitando a infraestrutura já existente (linhas em preto)
Fonte: Adaptado de (GOOGLE, INC, 2021)

3. CONCLUSÃO

A crescente descoberta de novas fontes de combustíveis gasosos e o contínuo aumento de demanda energética implicam na necessidade de melhoria da infraestrutura de rede de fornecimento destes gases para aumento da capacidade industrial das cidades brasileiras.

Através do algoritmo heurístico, baseado no método de Prim, foi possível elaborar uma árvore geradora mínima conectando as 72 maiores cidades do estado de Minas Gerais, sendo apresentado, na Figura 2, o resultado utilizando a infraestrutura de gasoduto já existente. Esta heurística se mostrou muito eficiente pois forneceu um excelente resultado e necessitou de pouco tempo de processamento, além de possibilitar ao decisor visualizar uma ordenação da construção dos trechos de forma a anexar, a cada passo, uma cidade à rede de gasodutos, sendo esta a principal contribuição deste trabalho. Vale ressaltar que para este trabalho foram utilizadas as distâncias geográficas entre as cidades como “peso”, entretanto, também podem ser utilizados os custos estimados dos trechos para um melhor apoio à decisão.

4. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. (02 de Julho de 2021). "Gasodutos de Transporte - Instalações". Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: <https://www.gov.br/anp/pt->



br/assuntos/movimentacao-estocagem-e-comercializacao-de-gas-natural/transporte-de-gas-natural/gasodutos-de-transporte/gasodutos-de-transporte-instalacoes

CBIE. (11 de Dezembro de 2020). "Como é transportado o gás natural no Brasil?" Acesso em 05 de Julho de 2021, disponível em CBIE – Centro Brasileiro de Infra Estrutura: <https://cbie.com.br/artigos/como-e-transportado-o-gas-natural-no-brasil/>

CBIE. (14 de Agosto de 2020). "O que é o shale gas?" Acesso em 05 de Julho de 2021, disponível em CBIE – Centro Brasileiro de Infra Estrutura: <https://cbie.com.br/artigos/o-que-e-o-shale-gas/>

CETESB. (Março de 2020). "Biogás". Acesso em 17 de Julho de 2021, disponível em CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/>

DELGADO, F. (15 de Fevereiro de 2019). "O shale gas à espreita no Brasil". Acesso em 05 de Julho de 2021, disponível em Cenários Gás: <https://cenariosgas.editorabrasilenergia.com.br/o-shale-gas-a-espreita-no-brasil/>

FIGUEIREDO, M., HEDLUND, K. F., GRAEPIN, C., SILVA, T. C., DE AZEVEDO, F. C., & KEMERICH, P. D. (2013). "Gás natural: potencialidades de utilização no Brasil". Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental, Vol. 10, págs. 2251-2265.

GLOBO COMUNICAÇÃO E PARTICIPAÇÕES S.A. (19 de Maio de 2012). "Descoberto em 2007, pré-sal guarda 50 bilhões de barris de petróleo". Acesso em 31 de Maio de 2021, disponível em Globo.com: <http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2012/05/descoberto-em-2007-pre-sal-guarda-50-bilhoes-de-barris-de-petroleo.html>

GLOBO COMUNICAÇÃO E PARTICIPAÇÕES S.A. (20 de Junho de 2021). "Produtores do Paraná geram e vendem energia elétrica através de biodigestores." Acesso em 17 de Julho de 2021, disponível em Globo Rural: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/globo-rural/noticia/2021/06/20/produtores-do-parana-geram-e-vendem-energia-eletrica-atraves-de-biodigestores.ghtml>

GOOGLE, INC. (05 de Agosto de 2021). "Google Maps". Acesso em 18 de Julho de 2021, disponível em Google Maps: <https://www.google.com.br/maps/place/Minas+Gerais/@-19.0687764,-43.947461,6.5z/data=!4m5!3m4!1s0xa690a165324289:0x112170c9379de7b3!8m2!3d-17.930178!4d-43.7908453>

IBGE. (2020). "Estimativas da População". Acesso em 01 de Junho de 2021, disponível em Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>

NOVA TRANSPORTADORA DO SUDESTE S/A - NTS. (2017). "Mapa das Instalações". Acesso em 06 de Julho de 2021, disponível em NTS: <https://www.ntsbrasil.com/pt/sistemas/>

PRIM, R. C. (1957). "Shortest Connection Networks And Some Generalizations". The Bell System Technical Journal, Vol. 36, págs. 1389-1401.

SOARES, T. R., & DE SOUZA, S. D. (2020). "Análise da concorrência e concentração da indústria siderúrgica brasileira através do modelo ECD". Anais Eletrônicos do Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Enegep.