



I WORKSHOP PROJETO SINAPSE

Planejamento da Expansão no horizonte de Longo Prazo

Rio de Janeiro, 09.05.2019

Amaro Pereira, Gabriel Castro e Rafael Morais

Objetivos e Estrutura

- Objetivo

- Propor metodologia de inclusão das variáveis sociais e ambientais no planejamento da expansão.

- Estrutura

- Planejamento da expansão da oferta de energia elétrica atual.
- Tratamento de variáveis econômicas, sociais e ambientais no planejamento da expansão – Análise envoltória de dados.
- Proposta de inclusão das variáveis sociais e ambientais no planejamento da expansão da oferta de energia elétrica.

Planejamento da expansão da oferta de eletricidade

OTIMIZAÇÃO

Entrada de dados:

- Investimento
- O&M
- Fatores de capacidade
- Vida útil
- Cenários de afluências



Objetivo: Minimização do custo total do sistema

Restrições:

Oferta = Demanda
Balanço hídrico;
Operativas;
Gerações mínimas e máximas;
Datas mínimas.



Resultados:

- Cronograma de obras
- Custo médio de geração (LCOE)
- Matriz elétrica

Como inserir as variáveis ambientais, econômicas e político-institucionais no planejamento da expansão?



Fonte imagem: <https://www.ecommercebrasil.com.br/wp-content/uploads/2017/10/duvida.jpg>

P&D Cooperado: Código ANEEL PD-06961-006/2017

Análise Envoltória de Dados (DEA)

- *Data envelopment analysis (DEA):*

É a utilização da programação matemática para obter avaliações *ex-post* da eficiência relativa dos resultados dos gestores, que tenham sido planejados ou executados (Banker, Charnes e Cooper, 1984).

Tabela 2. Exemplo numérico com 6 DMUs, 2 *inputs* e 1 *output*: dados e eficiência.

DMU	Input 1	Input 2	Output	Eficiência (%)
A	4	3	1	85,71
B	26	12	4	64,86
C	16	2	2	100,00
D	4	2	1	100,00
E	6	12	3	100,00
F	20	2	2	100,00

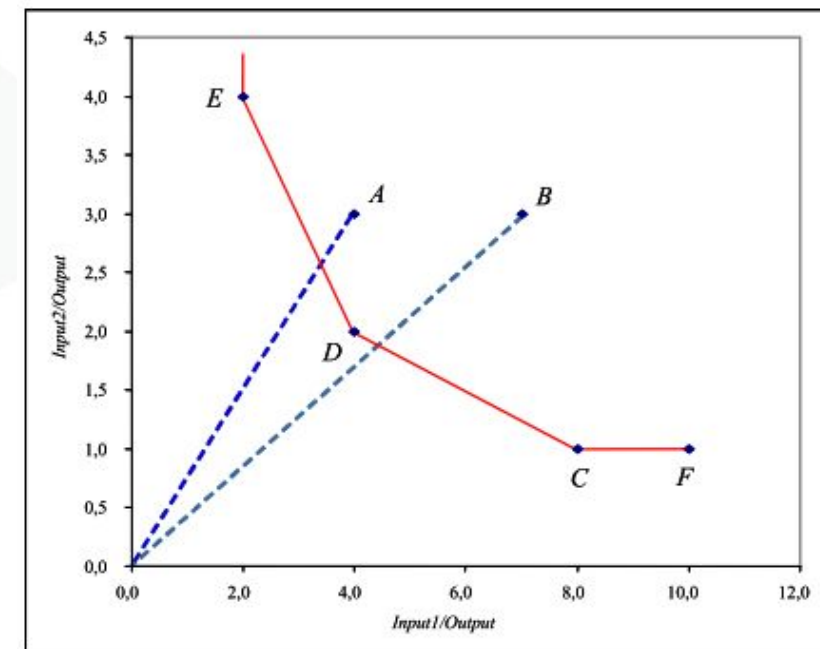


Figura 6. Alvos e benchmarks para o exemplo da Tabela 2.

Fonte: Mello, et al., 2005

DEA aplicada ao planejamento do setor elétrico

Ambientais:

- Área ocupada;
- Perda de biodiversidade;
- Usos de água;
- Poluição local e global.

Sociais:

- Pressão sobre infraestrutura local;
- Perda de patrimônio construído.

Econômicos:

- Geração de empregos;
- Geração de renda;
- Receita para o setor público.

Político-institucionais:

- Simplicidade no licenciamento;
- Aceitação das comunidades locais;
- Compatibilidade da fonte acordos internacionais.

DMUs: tecnologias de geração de eletricidade

Tabela 2. Exemplo numérico com 6 DMUs, 2 *inputs* e 1 *output*: dados e eficiência.

DMU	Input 1	Input 2	Output	Eficiência (%)
A	4	3	1	85,71
B	26	12	4	64,86
C	16	2	2	100,00
D	4	2	1	100,00
E	6	12	3	100,00
F	20	2	2	100,00

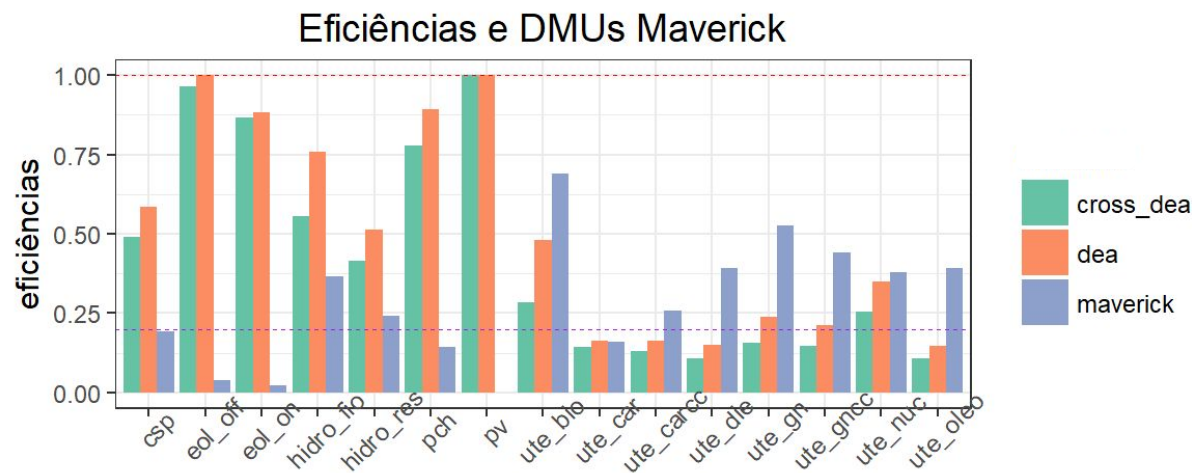
Fonte: Mello, et al., 2005

Análise Econômica X Análise Envoltória de Dados

Posição	LCOE	DEA
1º	Eólica <i>onshore</i>	Eólica <i>offshore</i>
2º	Hidrelétrica reservatório	FV
3º	Hidrelétrica fio d'água	PCH
4º	PCH	Eólica <i>onshore</i>
5º	GN ciclo combinado	Hidrelétrica fio d'água
6º	FV	CSP
7º	Nuclear	Hidrelétrica reservatório
8º	Carvão	Biomassa <i>retrofit</i>
9º	GN ciclo aberto	Nuclear
10º	Biomassa <i>retrofit</i>	GN ciclo aberto
11º	Biomassa <i>greenfield</i>	GN ciclo combinado
12º	Eólica <i>offshore</i>	Carvão
13º	Carvão ciclo combinado	Carvão ciclo combinado
14º	Óleo	Diesel
15º	CSP	Óleo

- Tecnologias renováveis mais bem posicionadas do que as fósseis sob esse arcabouço de análise.
- Hidrelétrica perde posições devido ao alto uso de água.
- CSP ganha posições quando o custo não é considerado.

Análise Envoltória de Dados: Validação por avaliação cruzada (Cross-DEA)



- Hidrelétricas reservatório e fio d'água: elevado consumo de água.
- Nuclear: problema do resíduo radiativo.
- FV: mais eficiente sob as duas óticas.

Posição	Tecnologia	Eficiência
1º	FV	1.000
2º	Eólica <i>offshore</i>	0.963
3º	Eólica <i>onshore</i>	0.865
4º	PCH	0.780
5º	Hidrelétrica fio d'água	0.555
6º	CSP	0.491
7º	Hidrelétrica reservatório	0.414
8º	Biomassa	0.284
9º	Nuclear	0.254
10º	GN ciclo aberto	0.155
11º	GN ciclo combinado	0.148
12º	Carvão	0.142
13º	Carvão ciclo combinado	0.130
14º	Diesel	0.108
15º	Óleo	0.106

Sugestão de incorporação de dimensões no planejamento da expansão

- Seguindo a ideia de Ginaid, *et al.* (2017):

$$IA_{total} \leq IA_{lim}$$
$$IA_{total} = \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J^{HP}} Cap_j * xh_j^k * IA_j + \sum_{j \in J^{TP}} Cap_j * xt_j^k * IA_j + \sum_{j \in J^{ZP}} Capinter_j * xz_j^k * IA_j$$

- Nossa proposta:

$$ISA_{total} \leq ISA_{limite}$$
$$ISA_{total} = \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J^{TCN}} Cap_j * xtcn_j^k * 1 - ef_dea_j + \sum_{j \in J^{TCI}} Cap_j * xtcj_j^k * 1 - ef_dea_j + \sum_{j \in J^{TGA}} Cap_j * xtga_j^k * 1 - ef_dea_j + \dots + \sum_{j \in J^{PCH}} Cap_j * xpch_j^k * 1 - ef_dea_j$$

Planejamento da expansão da oferta de eletricidade

OTIMIZAÇÃO

Entrada de dados:

- Investimento
- O&M
- Fatores de capacidade
- Vida útil
- Cenários de afluências

Variáveis ambientais
e sociais



Objetivo: Minimização do custo total do sistema

Restrições:

Oferta = Demanda
Balanço hídrico;
Operativas;
Gerações mínimas e máximas;
Datas mínimas.



Resultados:

- Cronograma de obras
- Custo médio de geração (LCOE)
- Matriz elétrica

Impactos
socioambientais

Obrigado