

Método dos Beneficiários para Alocação de Custos de Sistemas de Transmissão

Trabalho de Conclusão de Curso

Aluna: Daniela Bayma de Almeida

Orientador: Prof. Djalma Mosqueira Falcão, Ph.D.

Co-orientador: Ricardo Cunha Perez, MSc.

UFRJ - DEE

Janeiro 2017



Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Alocação de Custos

- ▶ Único sistema de transmissão para agentes consumidores e geradores (análogo a um problema de rodovias e pedágio)
- ▶ Necessidade de recuperar custos associados a construção e manutenção da linha de transmissão



“Características” da alocação de custos

- ▶ Características a serem consideradas na alocação de custos
 - Recuperação dos custos (Receita Requerida)
 - Tarifas estáveis e com volatilidade reduzida
 - Justiça e Isonomia
 - Clareza e transparência
 - Eficiência



Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Parcela Locacional e Selo

► Todas as metodologias são compostas por 2 parcelas:

■ Parcela Locacional

Associada a localização do agentes no sistema

■ Parcela Selo

Receita Requerida não recuperada pela parcela locacional devido a:

- Carregamento dos circuitos menor que a capacidade de fluxo máxima
- Critérios de confiabilidade operativos (como N-1)
- Modularidade dos circuitos

Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Metodologia Nodal

► Metodologia Nodal

- Despacho fixo de referência
- Tarifas baseada na matriz de sensibilidade (β), isto é, na variação de fluxo nos circuitos (k) para uma injeção incremental de potência em uma das barras do sistema (i)

$$\beta_{ki} = \frac{\partial f_k}{\partial P_i}$$

Metodologia Nodal (2)

► Cálculo da Tarifa

$$\tilde{\pi}_j = \sum_{i=1}^m c_i \beta_{ij}$$

$\tilde{\pi}_j$ – Tarifa a ser paga por cada agente j

c_i - Custo unitário do circuito i

β_{ij} - Sensibilidade “causada” pelo agente j no circuito i

- Adição da parcela α para permitir o rateio dos custos entre a geração e demanda conforme desejado (No Brasil 50%)

Metodologia Nodal (3)

► Parcela Selo

Receita Requerida = Sinal Locacional ($\tilde{\pi}_j$) + Parcela Selo (π^{aj})

$$\pi^{aj} = \frac{RR - \sum_{j=1}^N (\tilde{\pi}_j^g g_j + \tilde{\pi}_j^d d_j)}{\sum_{j=1}^N (g_j + d_j)}$$

$\tilde{\pi}_j^g$ – tarifa locacional de cada gerador j calculada de acordo com a metodologia Nodal

$\tilde{\pi}_j^d$ – tarifa locacional de cada demanda j calculada de acordo com a metodologia Nodal

g_j – geração de cada gerador j

d_j – consumo de cada demanda j

RR – receita total requerida

N – número de agentes

► TUST

$$\bar{\pi}_j = \tilde{\pi}_j + \pi^{aj}$$

Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

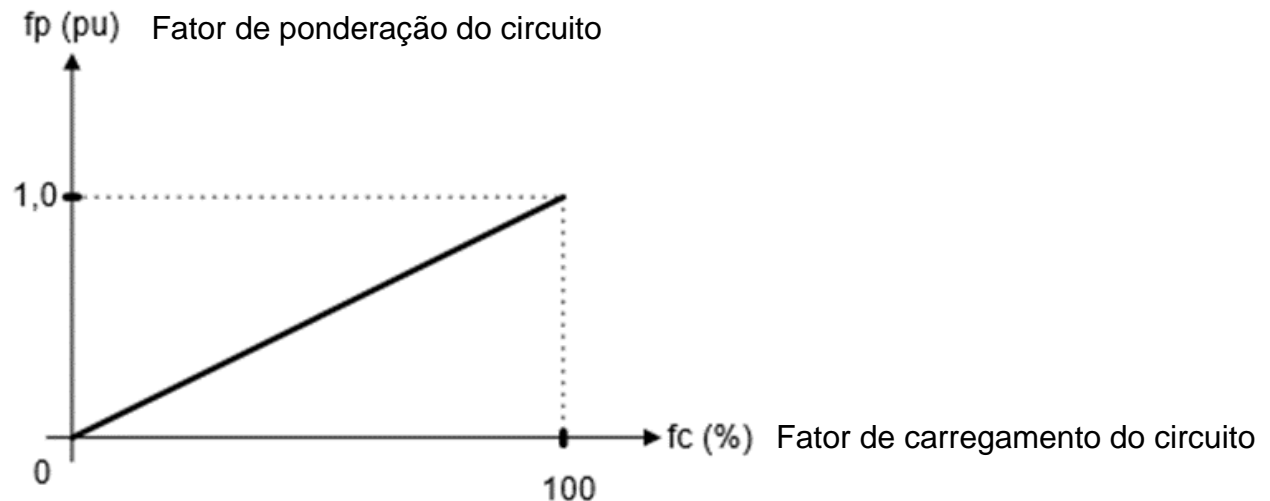
Metodologia Nodal aplicada ao Brasil

► Cálculo da Tarifa

$$\tilde{\pi}_j = \sum_{i=1}^m c_i \beta_{ij} f_p$$

Fator de ponderação do circuito

- O Fator de ponderação tem como objetivo “ponderar” o pagamento dos agentes pelo carregamento dos circuitos



Metodologia Nodal aplicada ao Brasil (2)

- Como o carregamento dos circuitos é, na maioria das vezes, menor que o limite de carregamento, a parcela locacional é reduzida, aumentando a parcela selo

- TUST

$$\bar{\pi}_j = \tilde{\pi}_j + \pi^{aj}$$



Temário

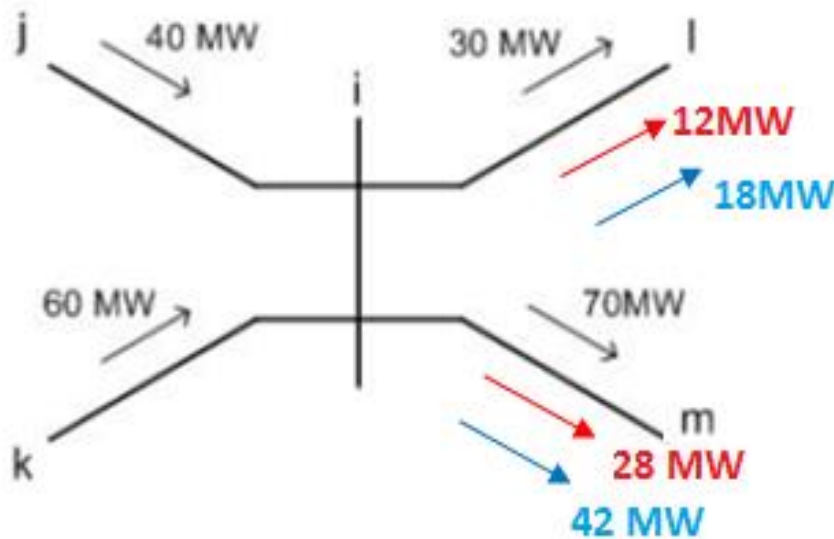
- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - **Método das Participações Médias**
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Método das Participações Médias

- ▶ Objetivo: Determinar participação de cada agente (gerador e demanda) no fluxo de cada circuito
- ▶ Princípio da Proporcionalidade
 - Os fluxos que saem de uma barra são iguais em número aos que entraram
 - O fluxo de saída das barras é proporcional à injeção nas barras

Método das Participações Médias (2)

► Princípio da Proporcionalidade



$$P_{in} = 100 \text{ MW}$$

$$P_{ji} = 40 \text{ MW} = 40\%$$

$$P_{ki} = 60 \text{ MW} = 60\%$$

$$P_{out} = 100 \text{ MW}$$

$$P_{il}^{ji} = 40\% * 30 \text{ MW} = 12 \text{ MW}$$

$$P_{il}^{kl} = 60\% * 30 \text{ MW} = 18 \text{ MW}$$

$$P_{im}^{ji} = 40\% * 70 \text{ MW} = 28 \text{ MW}$$

$$P_{im}^{kl} = 60\% * 70 \text{ MW} = 42 \text{ MW}$$

Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Metodologia Aumann-Shapley

► Metodologia de Shapley

- Cada agente gerador escolhe a demanda que vai atender e os agentes consumidores escolhem por quais geradores serão atendidos.
 - Os primeiros a entrar tem mais graus de liberdade para escolher a demanda a atender. → Ordem de entrada dos agentes é importante
 - Necessidade de $N!$ permutações (N é o número de agentes geradores/consumidores)
 - A tarifa corresponde à media dos custos alocadas a cada agente



Fonte: The Wall Street Journal

Metodologia Aumann-Shapley (2)

- ▶ Metodologia “Aumann - Shapley”
 - Propõe que os agentes sejam fragmentados em partes infinitesimais de forma que os “subagentes” sejam considerados agentes independentes.

Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ **Vantagens e Desvantagens das Metodologias**
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Vantagens e Desvantagens das Metodologias

► Metodologia Nodal

Vantagem	Desvantagem
<ul style="list-style-type: none">► Aloca custos de transmissão aos agentes conforme carregam a rede► Fácil de ser compreendido, pois se baseia no princípio econômico de quanto mais se usa, mais se paga	<ul style="list-style-type: none">► Dependendo do slack bus escolhido, alteram-se as tarifas dos agentes.► Possibilidade de tarifas negativas e “pagamento cruzado”.► Não sabe lidar com link DC

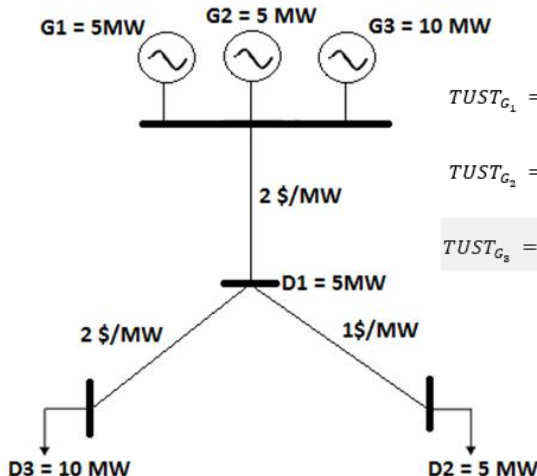
Vantagens e Desvantagens das Metodologias(2)

► Participações Médias

Vantagem	Desvantagem
<ul style="list-style-type: none">► Simples e fácil de ser aplicada► Não possui tarifas negativas pois injeções marginais que causem fluxo reverso não são consideradas► Tarifas mais estáveis (se comparada à metodologia Nodal)► Representa consistentemente circuitos de corrente contínua► A alocação de custos não é afetada pela escolha da barra de referência.	<ul style="list-style-type: none">► Não incorpora particularidades do setor elétrico, como 2ª Lei de Kirchhoff. O método das participações médias é válido para qualquer problema de rede (ex: problema de rodovias)► Não é um bom indicador para a expansão, pois não representa a sensibilidade dos circuitos com relação a injeção de potência.

Vantagens e Desvantagens das Metodologias(3)

► Procedimento de Shapley

Vantagem	Desvantagem
<p>► Todos os geradores tem oportunidade de serem os primeiros a escolher seu “uso ótimo da rede” → Evita desigualdade entre os agentes</p>	<p>► A tarifa dos agentes é afetada pela quantidade de agentes e pelo tamanho</p> <p>► Viabilidade computacional: necessidade de $N!$ permutações.</p> <div data-bbox="890 835 1875 1306">  <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div> $TUST_{G_1} = \frac{10 + 10 + 15 + 20 + 20 + 20}{6} = \frac{95}{6} = \\$ 15.86$ $TUST_{G_2} = \frac{15 + 20 + 10 + 10 + 20 + 20}{6} = \frac{95}{6} = \\$ 15.86$ $TUST_{G_3} = \frac{40 + 35 + 40 + 35 + 35 + 35}{6} = \frac{220}{6} = \\$ 36.67$ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> $TUST_{G_3} \neq TUST_{G_1} + TUST_{G_2}$ </div> </div> </div>

Vantagens e Desvantagens das Metodologias(4)

► Metodologia Aumann-Shapley

Vantagem	“Desvantagem”
<ul style="list-style-type: none">► Divisão dos agentes em segmentos infinitesimais → corrige limitação do procedimento Shapley em que dois agentes de mesmo tamanho, na mesma barra possam ter tarifas diferentes► Divisão em segmentos infinitesimais → corrige limitação do procedimento Shapley de inviabilidade computacional devido a natureza combinatória do problema.► Eficiente e justo► A definição da slack bus não interfere na alocação de custos► Boa representação de links DC	<ul style="list-style-type: none">► “Não possui viés econômico”

Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ **Metodologia dos Beneficiários**
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Metodologia dos Beneficiários

- ▶ Objetiva alocar os custos de transmissão entre os beneficiados com a construção ou existência de um circuito
- ▶ Conceito de beneficiário
 - Soma líquida dos benefícios **econômicos** com a construção de um circuito seja positiva
 - Demanda: É beneficiada por uma expansão da transmissão quando o montante a pagar é menor com a existência do circuito
 - Geradores: São beneficiados por uma expansão quando a previsão de receita pela venda de energia maior após a construção de um circuito.

Metodologia dos Beneficiários (2)

► Parcela Locacional

$$Ben(l, d_i)_{anok} = \sum_t (\pi d_{i,t,k}^0 * d_{i,t,k} - \pi d_{i,t,k}^1 * d_{i,t,k}), i = 1, 2, \dots, D$$

$$Ben(l, g_j)_{anok} = \sum_t (\pi d_{\Omega(j),t,k}^1 * g_{j,t,k}^1 - \pi d_{\Omega(j),t,k}^0 * g_{j,t,k}^0), j = 1, 2, \dots, G$$

$Ben(l, d_i)_{anok}$ – benefício da demanda i no ano k , com a construção da linha l

$Ben(l, g_j)_{anok}$ – benefício do gerador j no ano k , com a construção da linha l

$\pi d_{i,t,k}^1, \pi d_{i,t,k}^0$ – custo marginal da demanda na barra i , na etapa t , no ano k com e sem a ampliação da linha, respectivamente.

$d_{i,j,k}$ – previsão de demanda na etapa t para a demanda conectada na barra i no ano k

$g_{j,t,k}^0, g_{j,t,k}^1$ – previsão de geração na etapa t para o gerador conectado na barra j no ano k antes e depois da construção da linha l

$\Omega(j)$ – barra de conexão do gerador j

D – número de barras com demanda

G – número de barras com gerador

Metodologia dos Beneficiários (3)

- ▶ Custos Marginais de demanda são resultados de execuções do programa de despacho hidrotérmico SDDP
- ▶ Os Custos Marginais de demanda indicam o custo operativo associado ao gerador marginal, isto é, se houver uma variação marginal da demanda em alguma barra, qual é o gerador que irá suprir tal variação.

Metodologia dos Beneficiários

► Pagamento dos agentes a um circuito

■ Geradores

$$PAG_{g_{j_{ano\ k}}}^l = \frac{Ben(l, g_j)_{ano\ k}}{Ben_{Tot_{ano\ k}}} * \min(RAP_{ano\ k}, Ben_{Tot_{ano\ k}}), \quad \forall g_j \text{ pertencente a } \Omega_g(l)$$

■ Demanda

$$PAG_{d_{i_{ano\ k}}}^l = \frac{Ben(l, d_i)_{ano\ k}}{Ben_{Tot_{ano\ k}}} * \min(RAP_{ano\ k}, Ben_{Tot_{ano\ k}}), \quad \forall d_i \text{ pertencente a } \Omega_d(l)$$

$Ben_{Tot_{ano\ k}} = \sum_{i=1}^{\Omega_d(l)} Ben(l, d_i)_{ano\ k} + \sum_{j=1}^{\Omega_g(l)} Ben(l, g_j)_{ano\ k}$, isto é, soma dos benefícios com a construção do circuito no ano k .

$\Omega_g(l)$ – número de geradores que se beneficiam com a construção do circuito l .

$\Omega_d(l)$ – número de consumidores que se beneficiam com a construção do circuito l .

Metodologia dos Beneficiários

- Pagamento dos agentes devido ao benefício com a construção dos circuitos

- Geração

$$\Pi_{g_{janok}}^B = \sum_{l=1}^T PAG_{g_{janok}}^l$$

- Demanda

$$\Pi_{d_{janok}}^B = \sum_{l=1}^T PAG_{d_{janok}}^l$$

Metodologia dos Beneficiários

- Idealmente, o benefício total da operação com a construção da linha deve ser maior que a RAP a ser paga:

$$RAP_{ano\ k} < Ben_{Tot_{ano\ k}}$$

- Nesse caso o pagamento dos agentes é ponderado pelo benefício e a RAP é integralmente recuperada

$$PAG_{g_{janok}}^l = \frac{Ben(l,g_j)_{anok}}{Ben_{Tot_{ano\ k}}} * \min(RAP_{anok}, Ben_{Tot_{ano\ k}}) \Rightarrow \boxed{PAG_{g_{janok}}^l = \frac{Ben(l,g_j)_{anok}}{Ben_{Tot_{ano\ k}}} * RAP_{anok}}$$

$$PAG_{d_{ianok}}^l = \frac{Ben(l,d_i)_{anok}}{Ben_{Tot_{ano\ k}}} * \min(RAP_{anok}, Ben_{Tot_{ano\ k}}) \Rightarrow \boxed{PAG_{d_{ianok}}^l = \frac{Ben(l,d_i)_{anok}}{Ben_{Tot_{ano\ k}}} * RAP_{anok}}$$

Metodologia dos Beneficiários

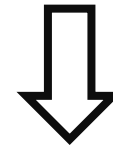
- Porém podem haver casos em que:

$$RAP_{ano\ k} \geq Ben_{Tot_{ano\ k}}$$

- Nesse caso

$$PAG_{g_{janok}}^l = \frac{Ben(l, g_j)_{anok}}{Ben_{Tot_{ano\ k}}} * \min(RAP_{anok}, Ben_{Tot_{ano\ k}}) \Rightarrow PAG_{g_{janok}}^l = Ben(l, g_j)_{anok}$$

$$PAG_{d_{ianok}}^l = \frac{Ben(l, d_i)_{anok}}{Ben_{Tot_{ano\ k}}} * \min(RAP_{anok}, Ben_{Tot_{ano\ k}}) \Rightarrow PAG_{d_{ianok}}^l = Ben(l, d_i)_{anok}$$



RAP **não** é integralmente recuperada

Metodologia dos Beneficiários

► Parcela Selo

$$Selo_{anual} = Receita\ Requerida - \left(\sum_{j=1}^G \Pi_{g_j}^B + \sum_{i=1}^D \Pi_{d_i}^B \right)$$

$$\Pi_a^{aj} = \frac{Selo * P_{inst_a}}{\sum_a^n P_{inst_a}}$$

Π_a^{aj} – parcela de ajuste a ser paga pelo agente a para cada ano

P_{inst_a} – potência instalada do agente a em cada ano

n - número de agentes

Metodologia dos Beneficiários (8)

► Tarifa a ser paga pelos agentes (TUST):

■ Geradores

$$TUST_{g_j} = \sum_k^A \Pi_{g_j anok}^B + \sum_k^A \Pi_{g_j anok}^{aj}$$

■ Demanda

$$TUST_{d_i} = \sum_k^A \Pi_{d_i anok}^B + \sum_k^A \Pi_{d_i anok}^{aj}$$

A: número de anos analisados

Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Caso Exemplo – 2 barras

$$Rap_{anual} = 100kR\$$$

	<i>Custo de Geração</i>	<i>Capacidade de Geração</i>
<i>Barra A</i>	<i>R\$ 20/MWh</i>	<i>100 MW</i>
<i>Barra B</i>	<i>R\$ 50/MWh</i>	<i>60 MW</i>

Esquema para atender as demandas considerando uma etapa: mês de janeiro (744 horas)

Análise sem a Linha AB



$$\begin{aligned} g_A &= 40 \text{ MW} \\ d_a &= 40 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_B &= 20 \text{ MW} \\ d_b &= 20 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\text{CMO} = \$ 20 / \text{MWh}$$

$$\text{CMO} = \$ 50 / \text{MWh}$$

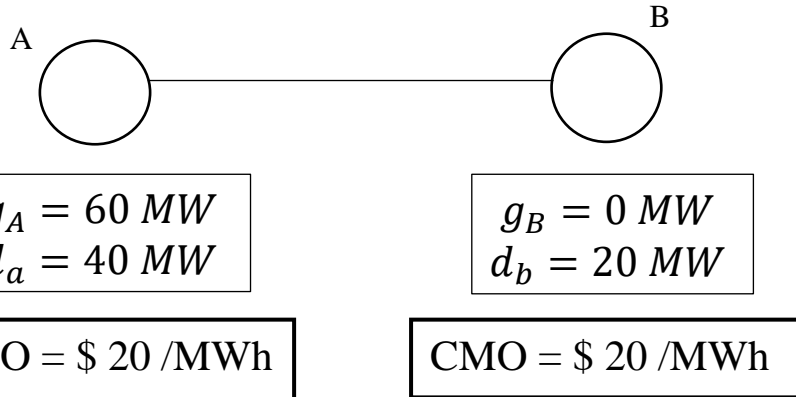
$$\text{Geração A} \rightarrow PAG = 40 \text{ MW} * 744 \text{ h} * R\$20/\text{MWh} = 595.2 \text{ kR\$}$$

$$\text{Demanda A} \rightarrow PAG = 40 \text{ MW} * 744 \text{ h} * R\$20/\text{MWh} = 595.2 \text{ kR\$}$$

$$\text{Geração B} \rightarrow PAG = 20 \text{ MW} * 744 \text{ h} * R\$50/\text{MWh} = 744 \text{ kR\$}$$

$$\text{Demanda B} \rightarrow PAG = 20 \text{ MW} * 744 \text{ h} * R\$50/\text{MWh} = 744 \text{ kR\$}$$

Caso Exemplo – 2 barras (2)



Análise com a Linha AB

$$\text{Geração A} \rightarrow \text{PAG} = 60 \text{ MW} * 744 \text{ h} * \text{R}\$20/\text{MWh} = 892.8 \text{ kR}\$$$

$$\text{Demanda A} \rightarrow \text{PAG} = 40 \text{ MW} * 744 \text{ h} * \text{R}\$20/\text{MWh} = 595.2 \text{ kR}\$$$

$$\text{Geração B} \rightarrow \text{PAG} = 0 \text{ MW} * 744 \text{ h} * \text{R}\$20/\text{MWh} = 0 \text{ kR}\$$$

$$\text{Demanda B} \rightarrow \text{PAG} = 20 \text{ MW} * 744 \text{ h} * \text{R}\$20/\text{MWh} = 297.6 \text{ kR}\$$$

Análise dos beneficiários

$$\text{Ben}_{\text{TOT}} = 297.6 + 446.4 = 744 \text{ kR}\$$$

$$\text{RAP} = 100 \text{ kR}\$$$

$$\text{Ben}_{\text{TOT}} > \text{RAP}$$

$$\text{Ben}(g_a, l) = 892.8 \text{ k}\$ - 595.2 \text{ k}\$ = \mathbf{297.6 \text{ kR}\$}$$

$$\text{Ben}(g_b, l) = 0 \text{ k}\$ - 744 \text{ k}\$ = -744 \text{ kR}\$$$

$$\text{Ben}(d_a, l) = 595.2 \text{ k}\$ - 595.2 \text{ k}\$ = 0 \text{ kR}\$$$

$$\text{Ben}(d_b, l) = 744 \text{ k}\$ - 297.6 \text{ k}\$ = \mathbf{446.4 \text{ kR}\$}$$

$$\text{PAG}_{g_a} = \frac{297.6}{297.6 + 446.4} * 100 = 40 \text{ kR}\$$$

$$\text{PAG}_{d_b} = \frac{446.4}{297.6 + 446.4} * 100 = 60 \text{ kR}\$$$

$$\text{PAG}_{g_a} = \text{PAG}_{d_a} = 0 \text{ R}\$$$

Agentes	TUST (kR\$)
Gerador A	40
Gerador B	-
Demanda A	-
Demanda B	60

Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Caso Exemplo IEEE 24

- ▶ Caso acadêmico (24 barras)
 - Térmicas (T1) com custo operativo igual a \$50/MWh
 - Térmicas (T2) com custo operativo de \$250/MWh foram acionadas nas mesmas barras de T1.
 - Análise de 45 circuitos cujas receitas requeridas somadas eram de k\$ 2.027.000
- ▶ Como para todos os circuitos $RAP < Ben_{Tot}$, a receita requerida foi 100% recuperada

Caso Exemplo IEEE 24 (2)

► Pagamento dos agentes (k\$)

Agentes	TUST(k\$)
D:BUS_1	54,528.08
D:BUS_10	156,978.83
D:BUS_11	0.00
D:BUS_12	0.00
D:BUS_13	0.00
D:BUS_14	174,010.94
D:BUS_15	52,881.82
D:BUS_16	165,903.05
D:BUS_17	44,652.05
D:BUS_18	111,513.44
D:BUS_19	260,734.21
D:BUS_2	30,931.66
D:BUS_20	140,922.93
D:BUS_21	0.00
D:BUS_22	0.00
D:BUS_23	0.00
D:BUS_24	0.00
D:BUS_3	160,306.34

Agentes	TUST(k\$)
D:BUS_4	112,425.12
D:BUS_5	79,844.49
D:BUS_6	113,244.10
D:BUS_7	59,217.71
D:BUS_8	128,133.29
D:BUS_9	159,741.70
T:13_T1	7,404.44
T:13_T2	0.00
T:15_T1	3,621.69
T:15_T2	0.00
T:16_T1	452.17
T:16_T2	0.00
T:18_T1	3,047.11
T:18_T2	0.00
T:1_T1	2,058.25
T:1_T2	0.00
T:21_T1	0.00
T:21_T2	0.00

Agentes	TUST(k\$)
T:22_T1	3,522.24
T:22_T2	0.00
T:23_T1	80.93
T:23_T2	0.00
T:2_T1	434.63
T:2_T2	0.00
T:7_T1	408.78
T:7_T2	0.00

Temário

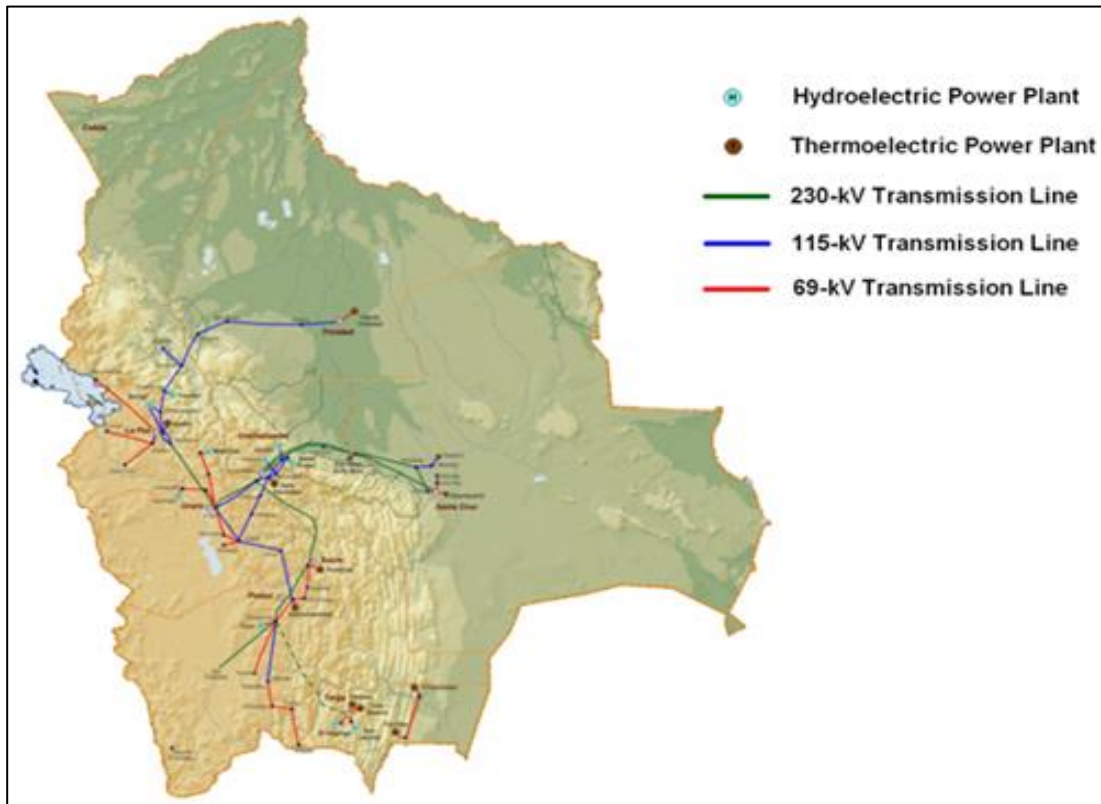
- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Caso Bolívia – caso real

Análise do benefício para **27 circuitos** (vindos de um plano de expansão da transmissão)

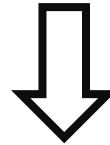
Utilização de **100 cenários hidrológicos**

Horizonte: **2016-2024 (9 anos)**

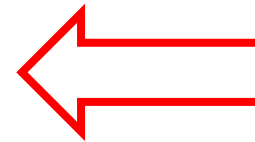


Caso Bolívia – caso real (2)

	Ano 1 (2016)	Ano 2 (2017)	Ano 3 (2018)	Ano 4 (2019)	Ano 5 (2020)	Ano 6 (2021)	Ano 7 (2022)	Ano 8 (2023)	Ano 9 (2024)
RR(k\$)	519.82	5215.99	5215.99	5215.99	5793.54	7981.45	8965.42	10693.95	15824.51
Π^B (k\$)	519.82	5195.74	5215.99	5215.99	5398.44	7981.45	8420.61	10386.98	15021.39
Selo (k\$)	0.00	20.25	0.00	0.00	395.10	0.00	544.82	306.98	803.12

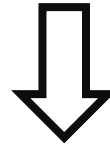


RR Total(k\$)	65426.68	100%
Π^B (k\$)	63356.4	97%
Selo (k\$)	2070.28	3%



Caso Bolívia – caso real (3)

	Ano 1 (2016)	Ano 2 (2017)	Ano 3 (2018)	Ano 4 (2019)	Ano 5 (2020)	Ano 6 (2021)	Ano 7 (2022)	Ano 8 (2023)	Ano 9 (2024)
RR(k\$)	519.82	5215.99	5215.99	5215.99	5793.54	7981.45	8965.42	10693.95	15824.51
Π^B (k\$)	519.82	5195.74	5215.99	5215.99	5398.44	7981.45	8420.61	10386.98	15021.39
Selo (k\$)	0.00	20.25	0.00	0.00	395.10	0.00	544.82	306.98	803.12



RR Total(k\$)	65426.68	100%
Π^B (k\$)	63356.4	97%
Selo (k\$)	2070.28	3%



A parcela selo no Brasil é aproximadamente 80%

Caso Bolívia – caso real (3)

► Por que selo?

- Incertezas e aproximações envolvidas no cálculo da política operativa e na simulação estocástica.
- Os resultantes impactos das incertezas no cálculo da política operativa nos custos marginais da demanda.

Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Conclusões

- ▶ Metodologia dos Beneficiários é outra forma de alocar custos de transmissão.
- ▶ Método de alocação de custos com viés econômico
- ▶ Análise das características de alocação de custos:
 - Permite recuperação dos custos (Receita Requerida)
 - Caso a soma dos pagamentos relativos aos benefícios for maior que a RAP → RR 100% recuperada pela parcela locacional → não há parcela selo!
 - Justa
 - Clara/ transparente
 - Eficiente
 - Volatilidade nas tarifas dependente da matriz energética do sistema

Temário

- ▶ Alocação de Custos
 - “Características” da alocação de custos
- ▶ Metodologias de cálculo da TUST
 - Parcela Locacional e Selo
 - Metodologia Nodal
 - Metodologia Nodal aplicada ao Brasil
 - Método das Participações Médias
 - Metodologia Aumann-Shapley
- ▶ Vantagens e Desvantagens das Metodologias
- ▶ Metodologia dos Beneficiários
- ▶ Estudos de caso
 - Caso Exemplo 2 barras
 - Caso Exemplo IEEE 24
 - Caso Bolívia (caso real)
- ▶ Conclusão
- ▶ Trabalhos Futuros

Trabalhos Futuros

- ▶ Cálculo do benefício utilizando cenário de maior carregamento do circuito → tende a ter maior diferença de custos marginais → tende a reduzir ainda mais a parcela selo
- ▶ Aplicar alocação de custos da transmissão em redes expandidas com critério de segurança N-1 → Neste caso, a simulação do despacho hidrotérmico também deveria considerar essa característica para que os despachos estejam coerentes com a realidade operativa da rede.