



Projeto Final de Graduação

AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DA ALOCAÇÃO ESTRATÉGICA DE BATERIAS NO
PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

21 de agosto de 2023

Pedro Hervé Quaranta Cabral de Almeida

- | 01 Introdução ao Planejamento da Expansão
- | 02 O Papel das Baterias no Planejamento
- | 03 Metodologia de Pesquisa
- | 04 Resultados
- | 05 Conclusão

Introdução ao Planejamento da Expansão

Objetivo do Planejamento da Expansão

Buscar o equilíbrio entre oferta e demanda de energia a longo prazo

CrITÉrios

- Custos (Investimento + Operação)
- Segurança e Confiabilidade
- Meio Ambiente
- Incertezas

Introdução ao Planejamento da Expansão

Na Prática

Planejar o sistema é determinar o conjunto de geradores e circuitos que atendam a todos esses critérios de maneira concomitante.

Metodologias

- Hierárquico
- Proativo
- Integrado

Introdução ao Planejamento da Expansão

Modelagem de Transmissão

- | | | |
|------------------------|---|--|
| • Modelo de Transporte | → | • Apenas Primeira Lei de Kirchhoff |
| • Modelo DC | → | • Primeira Lei de Kirchhoff
• Segunda Lei de Kirchhoff apenas para circuitos existentes |
| • Modelo DC Disjuntivo | → | • Primeira Lei de Kirchhoff
• Segunda Lei de Kirchhoff para circuitos existentes e candidatos |

- | 01 Introdução ao Planejamento da Expansão
- | **02 O Papel das Baterias no Planejamento**
- | 03 Metodologia de Pesquisa
- | 04 Resultados
- | 05 Conclusão

Os Desafios da Operação do Sistema com Renováveis

Desafio

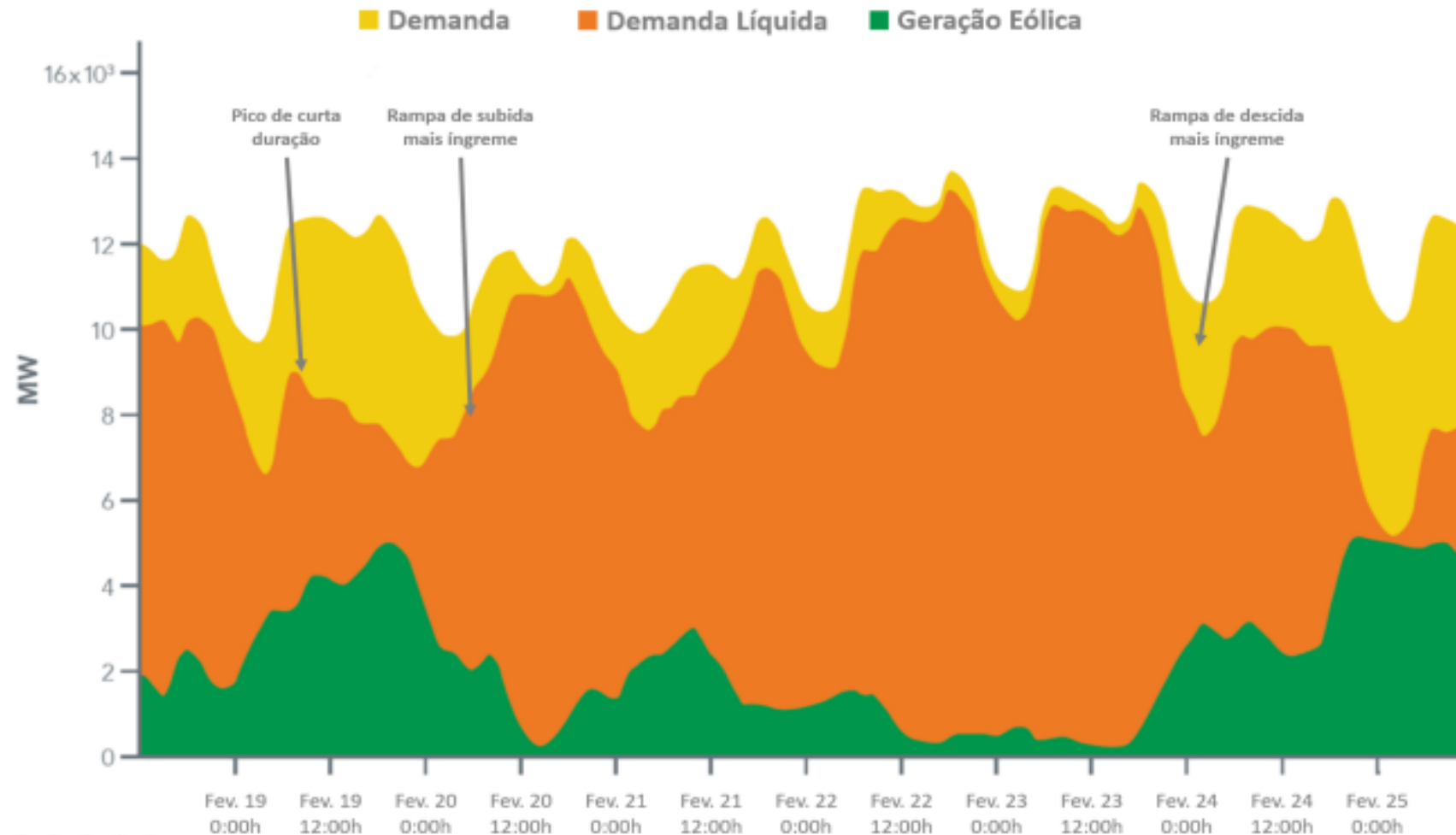
Intensa penetração de renováveis intermitentes



Dificuldades

- Imprevisibilidade da geração
- Intermitências das renováveis
- Mudança da curva de carga
- Estabilidade da rede

Os Desafios da Operação do Sistema com Renováveis



A Importância das Baterias para a Flexibilidade do Sistema

Flexibilidade

É a capacidade do sistema elétrico de se ajustar a condições mutáveis, volatilidades e incertezas na oferta e/ou demanda, entregando energia de modo seguro, eficiente, confiável, acessível e com responsabilidade ambiental.

A Importância das Baterias para a Flexibilidade do Sistema

Os Potenciais Técnicos das Baterias

- Mitigar os impactos das flutuações da geração intermitente;
- Regular a frequência do sistema;
- Reduzir corte de geração renovável;
- Controlar a tensão;
- Prover reserva operativa;
- Entre outros.

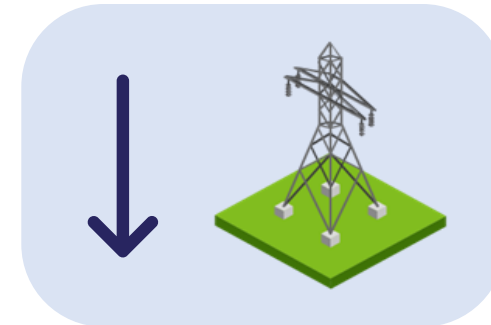
A Importância das Baterias para a Flexibilidade do Sistema

Os Potenciais Econômicos

Redução dos custos
operativos do sistema



Redução dos investimentos
em linhas de transmissão

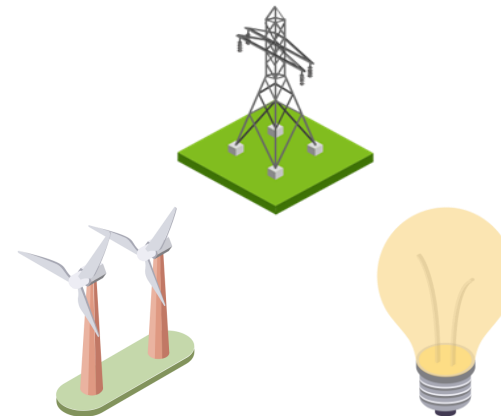
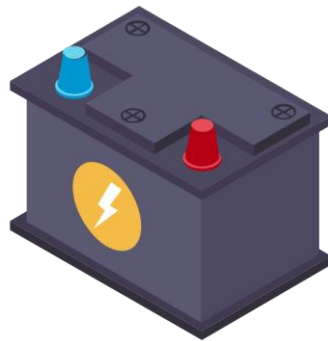


- | 01 Introdução ao Planejamento da Expansão
- | 02 O Papel das Baterias no Planejamento
- | **03 Metodologia de Pesquisa**
- | 04 Resultados
- | 05 Conclusão

Metodologia de Pesquisa

Enfoque

Avaliar os benefícios econômicos que a alocação estratégica de baterias na rede de transmissão traz para o sistema.



Metodologia de Pesquisa



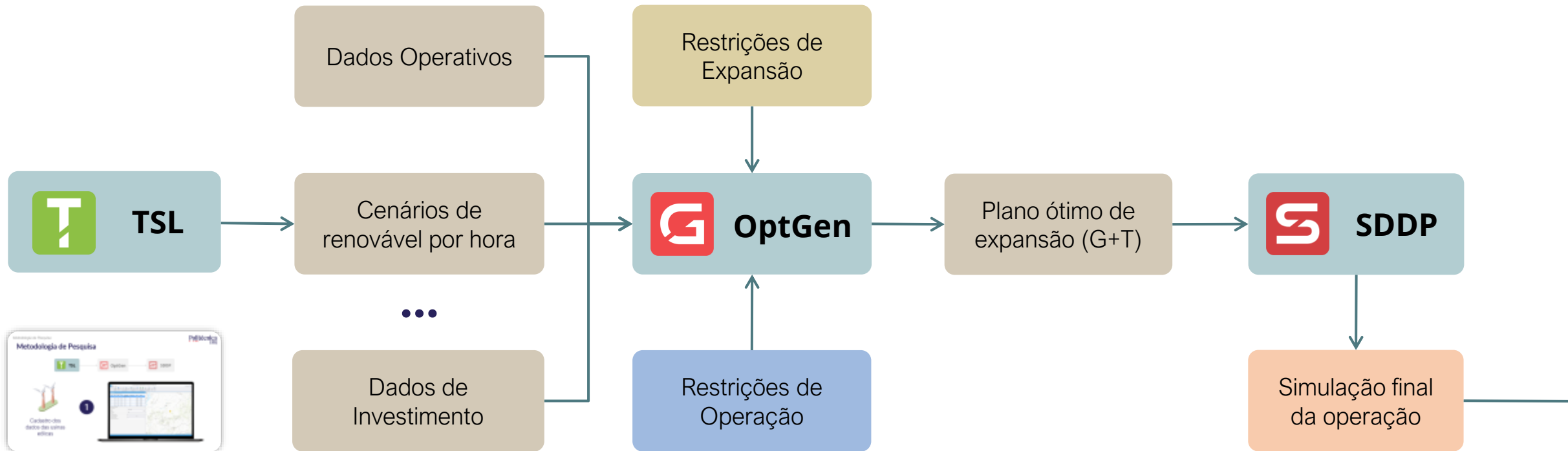
Método

Utilizar a cadeia de modelos disponível da PSR para planejar a expansão de um sistema elétrico fictício de pequeno porte.

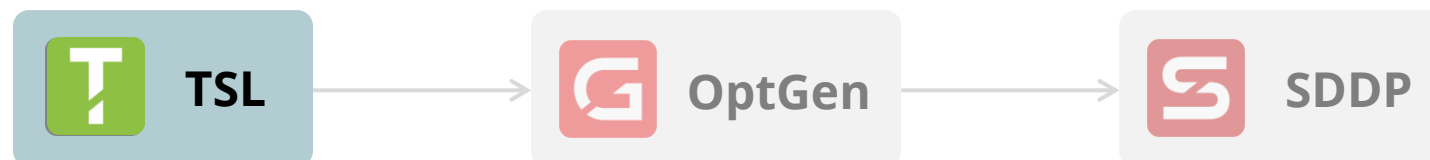
- 1 Geração + Transmissão (G + T)
- 2 Geração + Transmissão + **Baterias** (G + T + B)

Metodologia de Pesquisa

1 Processo Metodológico – G + T

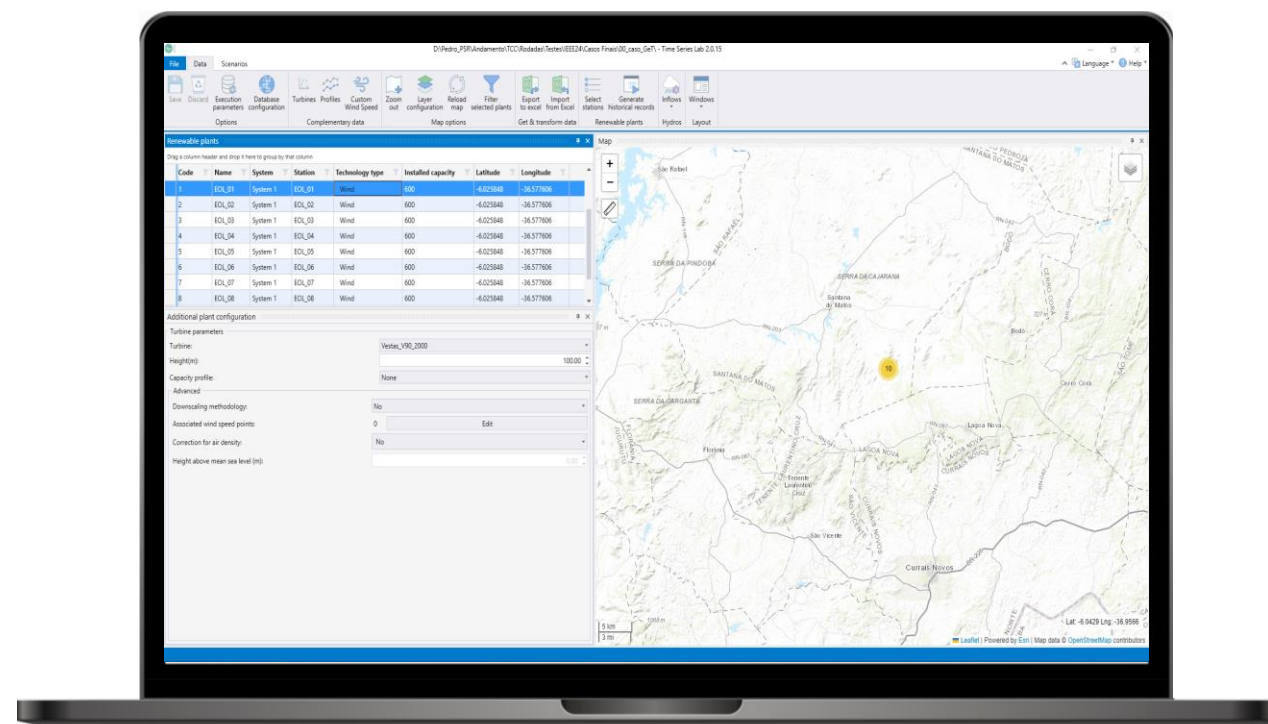


Metodologia de Pesquisa

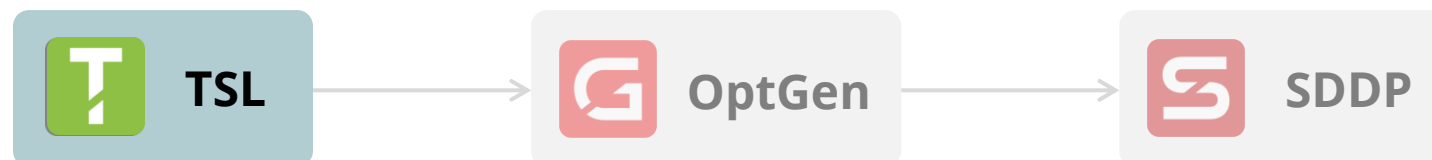


1

Cadastro dos
dados das usinas
eólicas

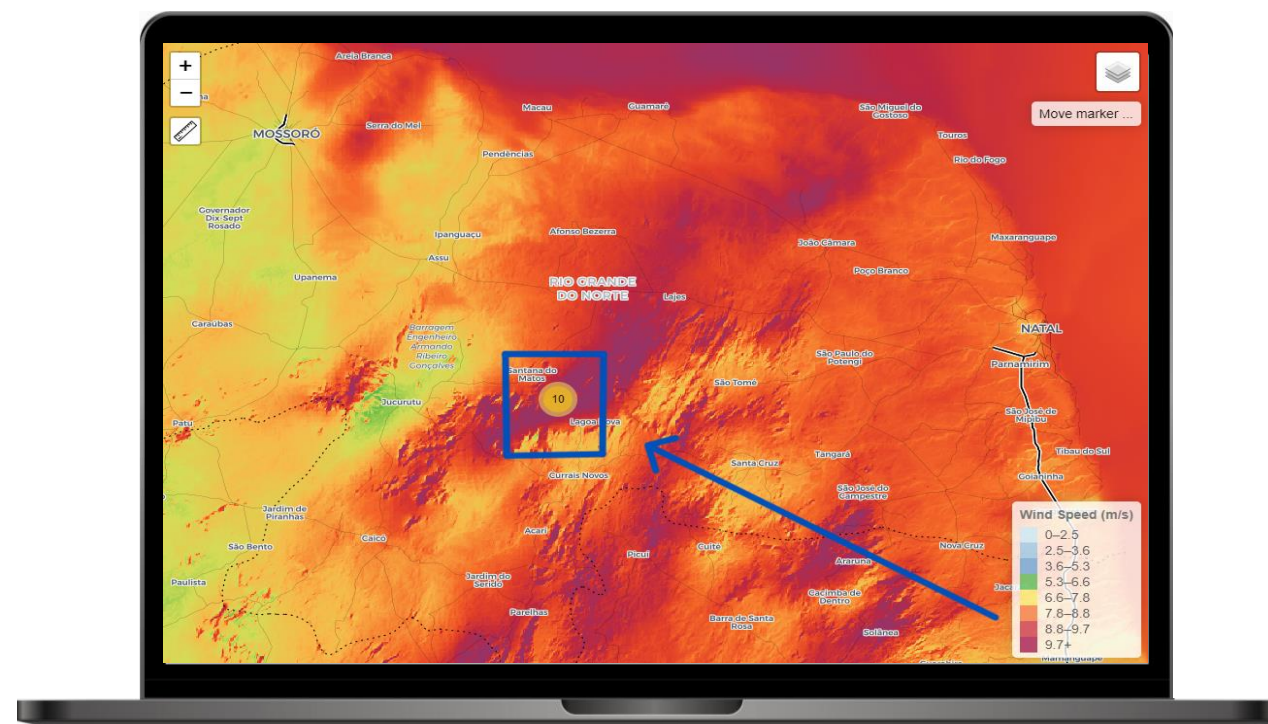


Metodologia de Pesquisa

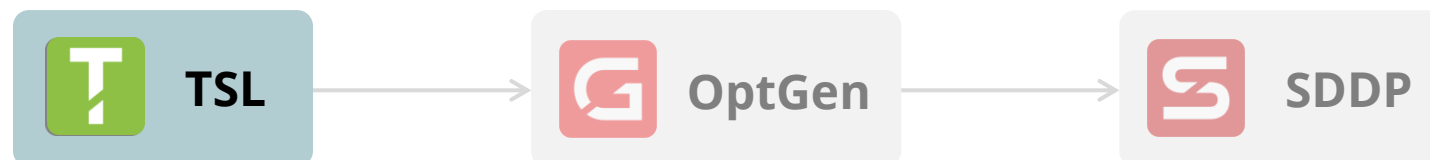


2

Produção de 43
cenários futuros
de geração eólica



Metodologia de Pesquisa



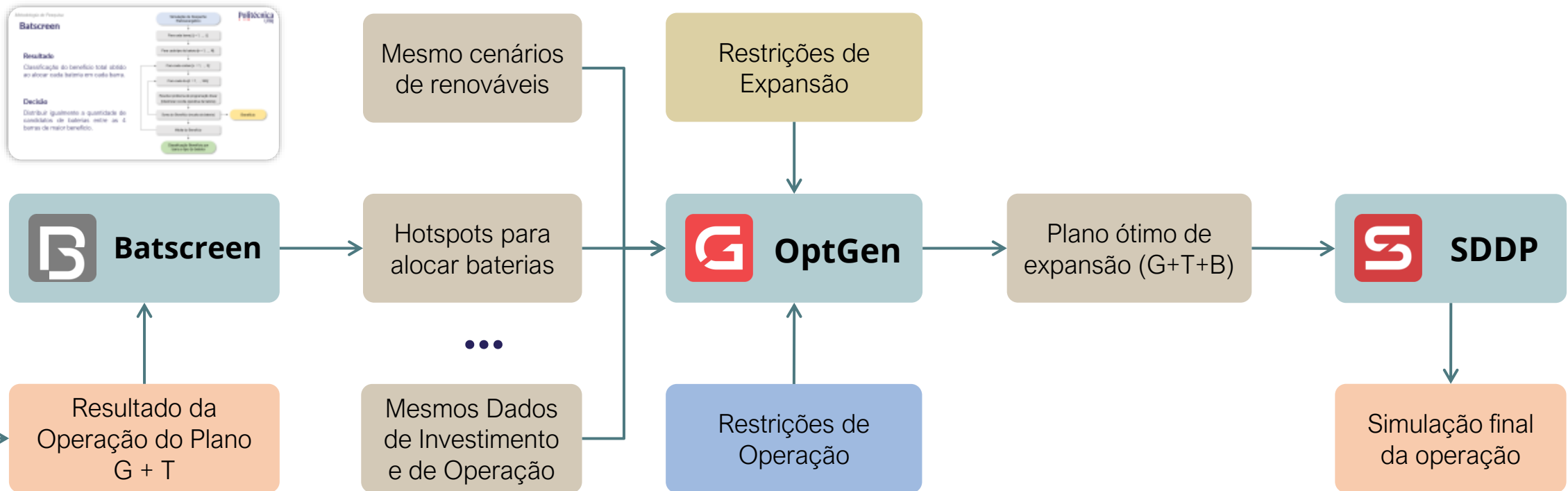
3

Determinação dos
10 cenários mais
representativos

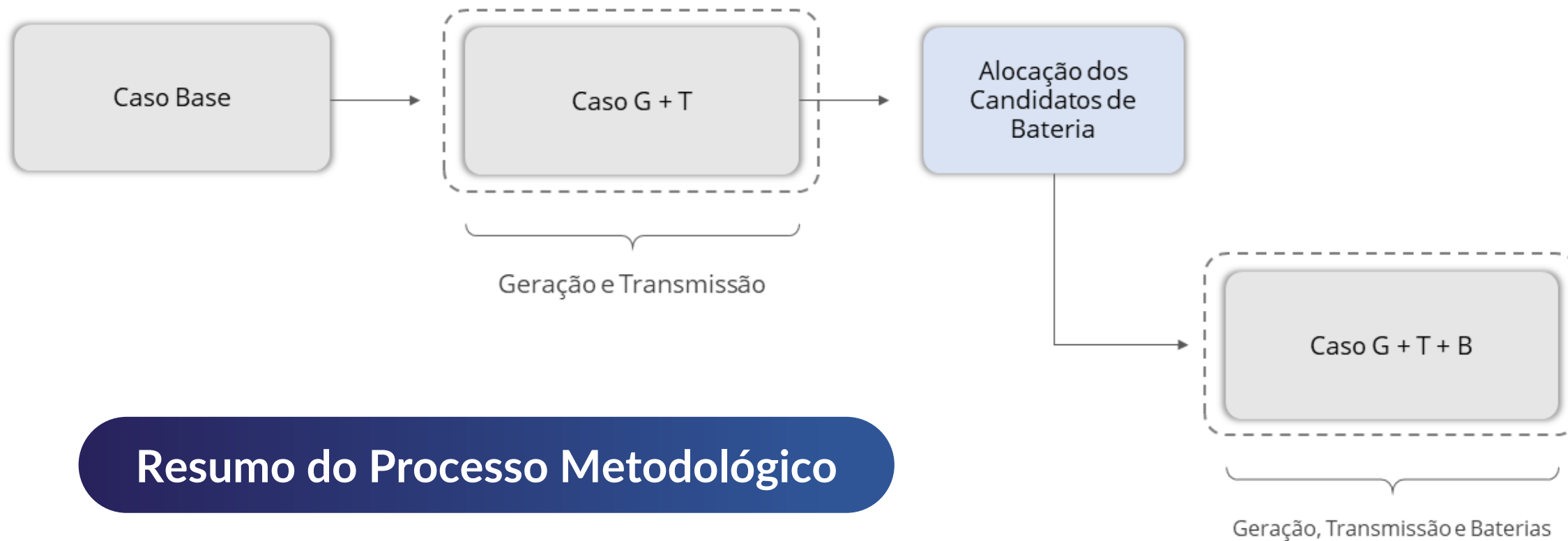


Metodologia de Pesquisa

2 Processo Metodológico – G + T + B



Metodologia de Pesquisa



Resumo do Processo Metodológico

Metodologia de Pesquisa



Estratégia OptGen 2

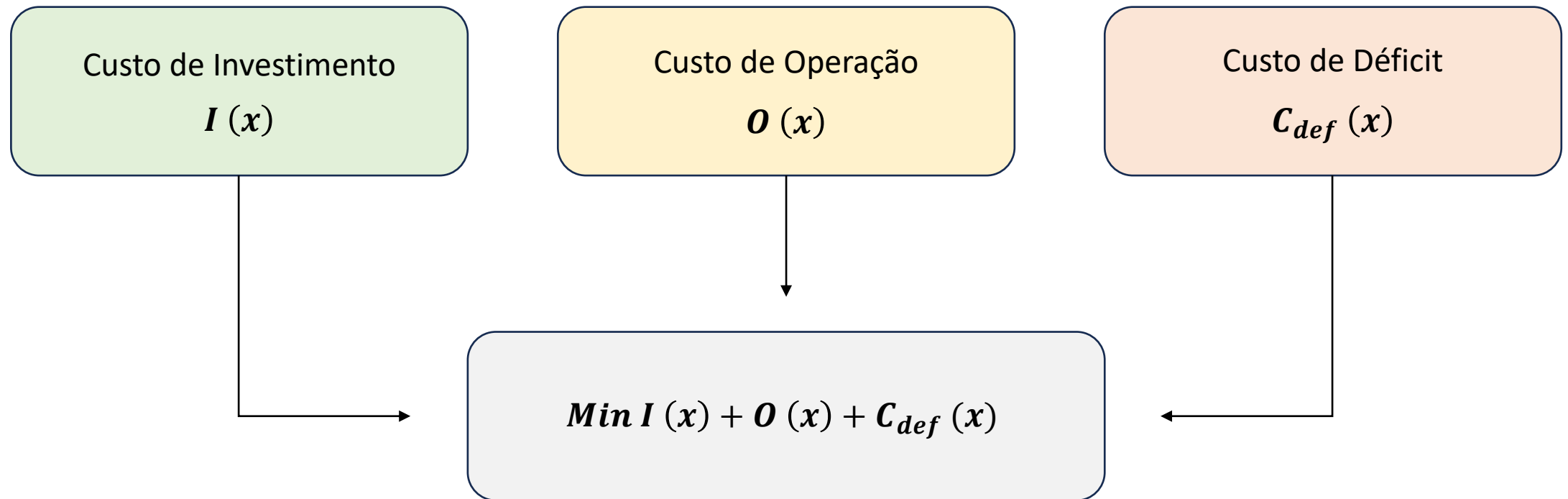
Utiliza técnicas de cootimização através da formulação de um problema de MILP, em que os problemas de investimento e operação são resolvidos simultaneamente.



Simplificações

- Decomposição do Horizonte em **Sub-horizontes** de um ano
- Dias e Meses transformados em **Dias Típicos e Estações**

Metodologia de Pesquisa



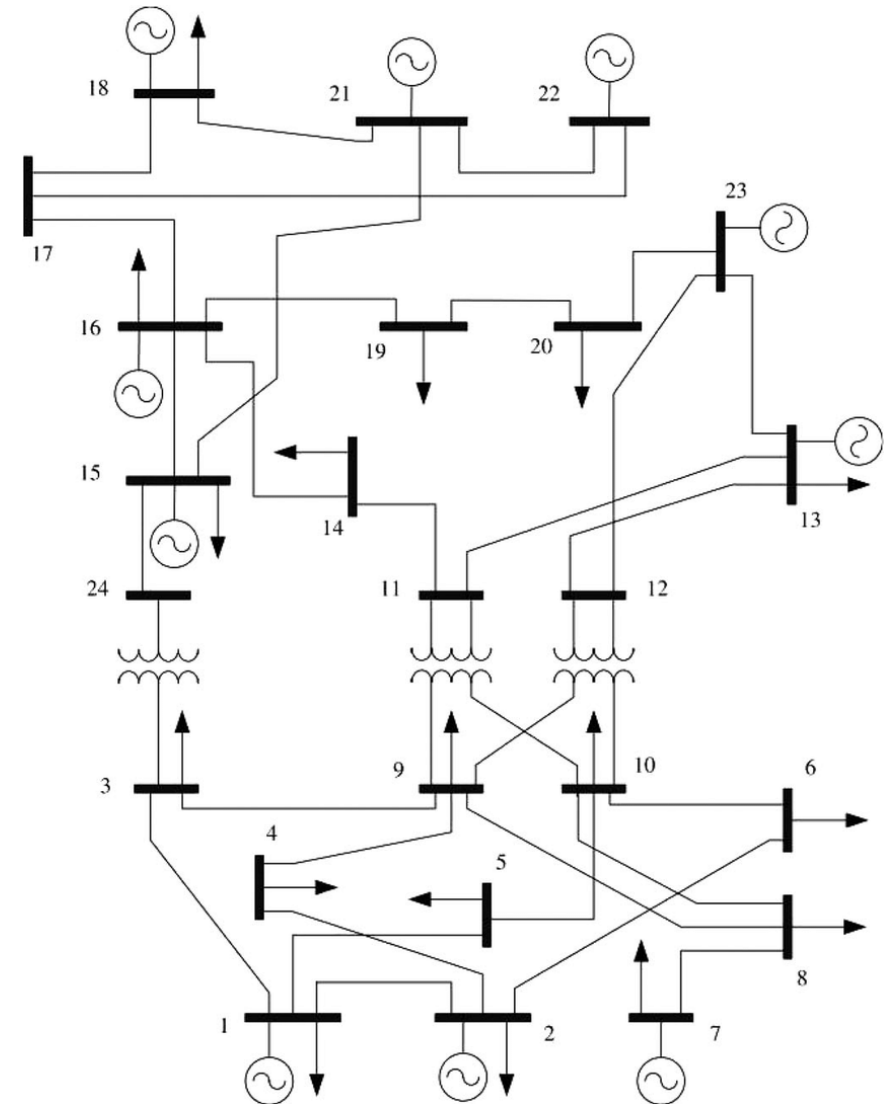
Metodologia de Pesquisa

Caso Base - Adaptado do IEEE24

- 24 Barras
- 34 Circuitos
- 59 Térmicas (4,61 GW de Potência)
- 4,70 GW de Demanda Máxima

Alterações

- Apenas um circuito por faixa de passagem
- Demanda 50% maior
- Capacidade das térmicas 50% maior
- Térmicas grandes transformadas em várias térmicas de menor capacidade e CVU distintos



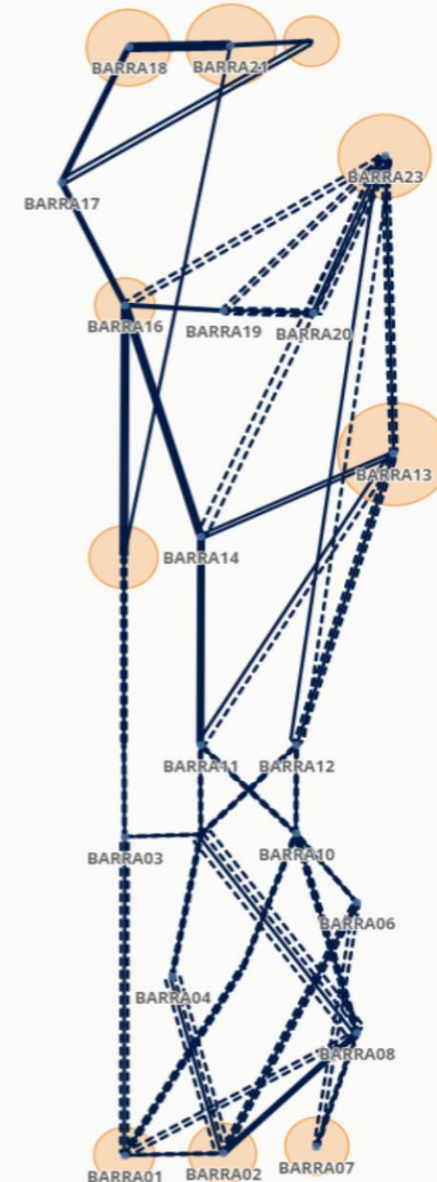
Metodologia de Pesquisa

Caso Base - Adaptado do IEEE24

- 24 Barras
- 34 Circuitos
- 59 Térmicas (4,61 GW de Potência)
- 4,70 GW de Demanda Máxima

Alterações

- Apenas um circuito por faixa de passagem
- Demanda 50% maior
- Capacidade das térmicas 50% maior
- Térmicas grandes transformadas em várias térmicas de menor capacidade e CVU distintos



Metodologia de Pesquisa

Candidatos de Expansão



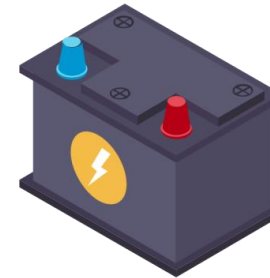
Usinas Eólicas

- *Barra:* 22
- *Potência:* 600 MW
- *CAPEX:* 956 \$/kW
- *Quantidade:* 8



Linhas de Transmissão

- *Capacidade:* 175, 400 e 500 MW
- *CAPEX:* Entre 3 e 146 M\$
- *Quantidade:* 81



Baterias

- *Barras:* 16, 17, 18, 22
- *Potência:* 60 MW
- *Eficiência (c/d):* 96%
- *CAPEX:* 595 \$/kW
- *Quantidade:* 8
- *2 em cada barra*

Metodologia de Pesquisa

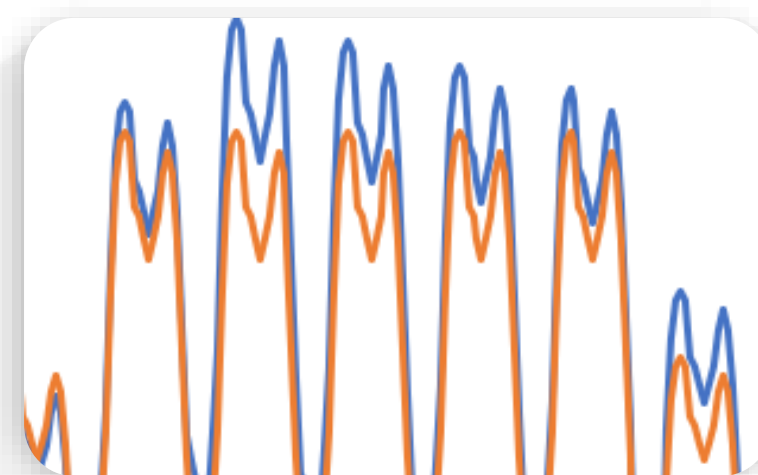


Metodologia de Pesquisa



Metodologia de Pesquisa

Demanda Horária de 2040



- | 01 Introdução ao Planejamento da Expansão
- | 02 O Papel das Baterias no Planejamento
- | 03 Metodologia de Pesquisa
- | **04 Resultados**
- | 05 Conclusão

Resultados e Discussão

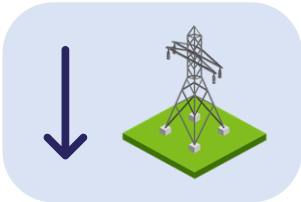
Planos Ótimos de Expansão

	Plano G + T		Plano G + T + B	
Segmento	Quantidade	Capacidade Investida	Quantidade	Capacidade Investida
Geração	8 Usinas Eólicas	480 MW	8 Usinas Eólicas	480 MW
Transmissão	21 Circuitos	10.500 MW	20 Circuitos	10.000 MW
Bateria	-	-	2 Baterias	120 MW

Resultados e Discussão

Planos Ótimos de Expansão

	Plano G + T		Plano G + T + B	
Segmento	Quantidade	Capacidade Investida	Quantidade	Capacidade Investida
Geração	8 Usinas Eólicas	480 MW	8 Usinas Eólicas	480 MW
Transmissão	21 Circuitos	10.500 MW	20 Circuitos	10.000 MW
Bateria	-	-	2 Baterias	120 MW



Redução da construção de 1
linha de transmissão de 500 MW



Construção das 2 baterias
alocadas na Barra 22

Resultados e Discussão

Circuitos construídos Caso G+T+B

Linha de Transmissão	Circuito 49	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 78	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 79	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 83	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 84	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 87	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 88	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 91	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 92	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 95	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 96	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 97	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 100	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 101	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 102	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 103	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 104	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 105	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 114	500 MW
Linha de Transmissão	Circuito 115	500 MW



Barra 22

Resultados e Discussão

Custos da Expansão

Custo (M\$)	Plano G + T	Plano G + T + B
Deficit	0,00	0,00
Investimento	1.501,76	1.503,78
Operativo	1.745,13	1.738,29
Total	3.246,89	3.242,07

Resultados e Discussão

Custos da Expansão

Custo (M\$)	Plano G + T	Plano G + T + B
Deficit	0,00	0,00
Investimento	1.501,76	1.503,78
Operativo	1.745,13	1.738,29
Total	3.246,89	3.242,07



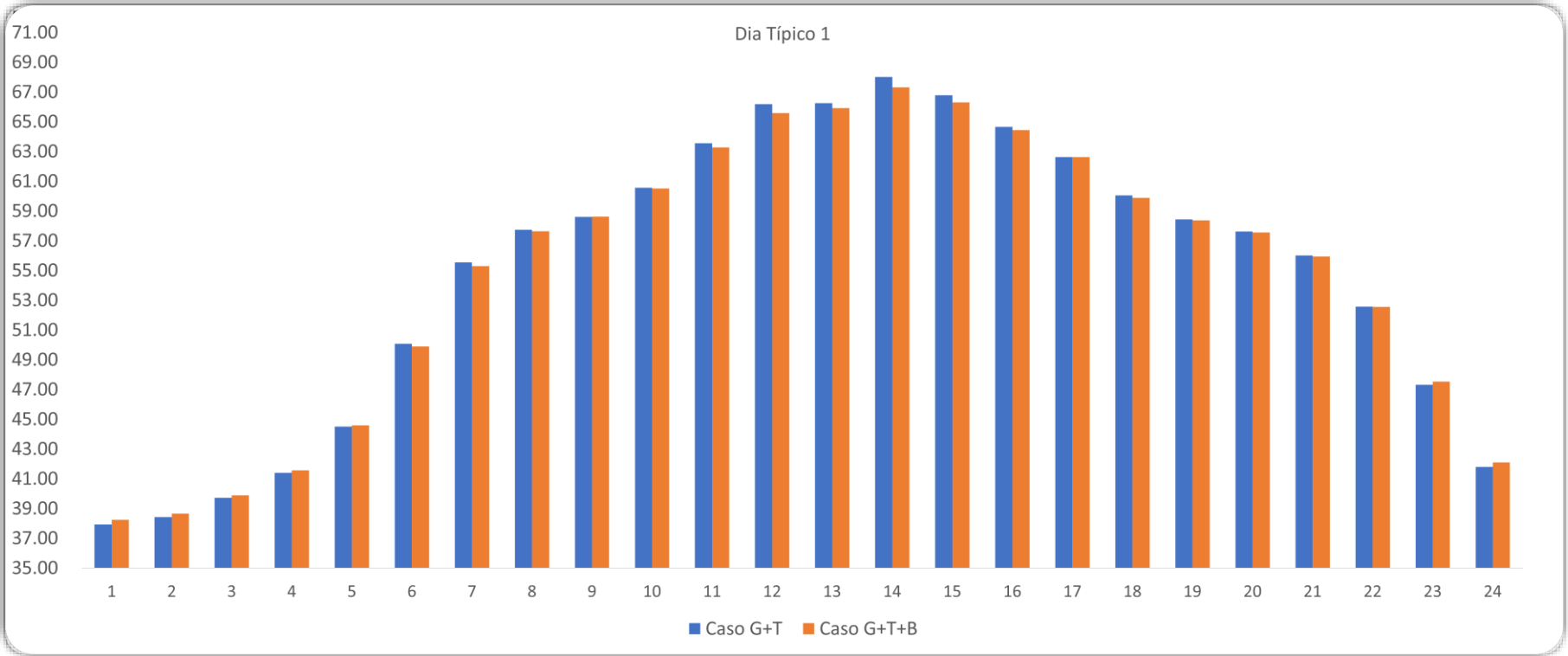
Redução dos Custos Operativos em M\$ 6,84



Redução dos Custos Totais em M\$ 4,82

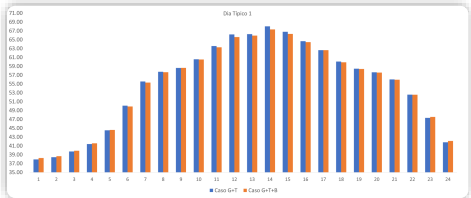
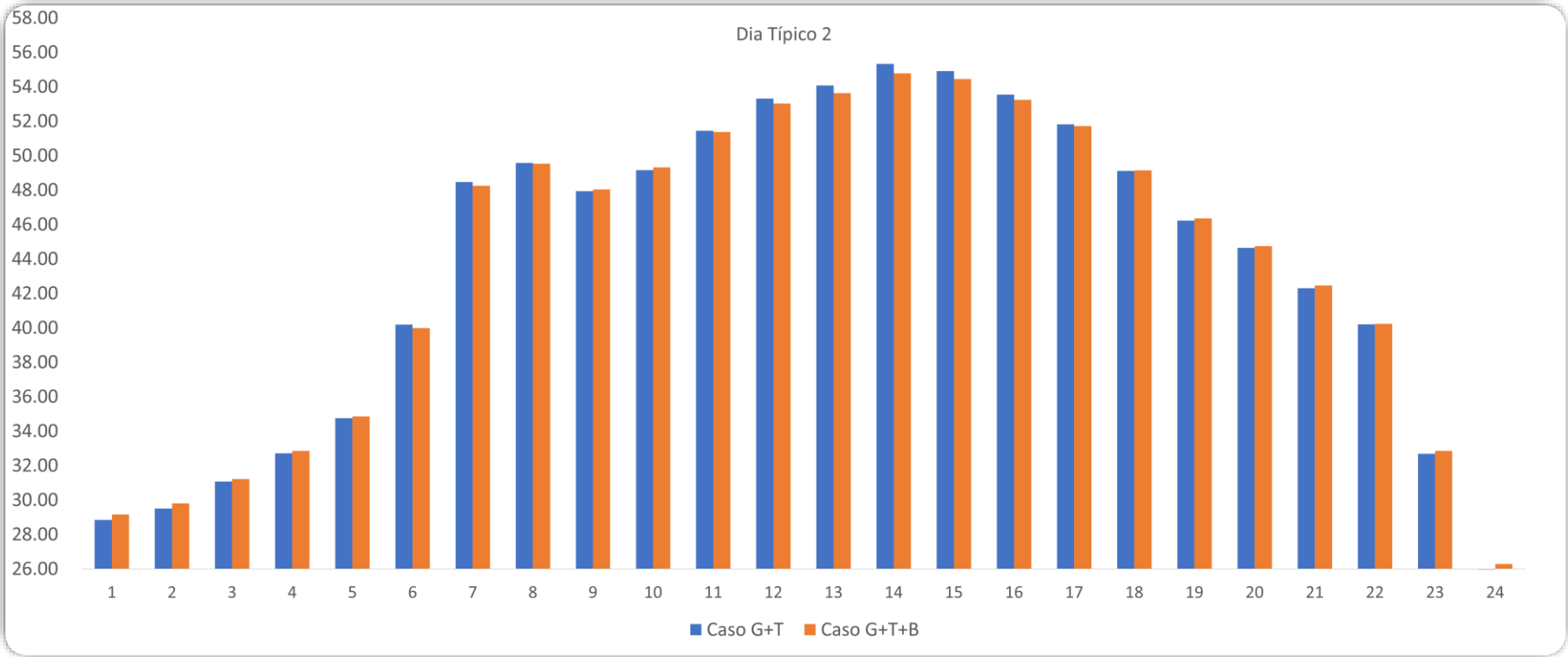
Resultados e Discussão

Custo Marginal de Operação Médio - Dia Típico 1



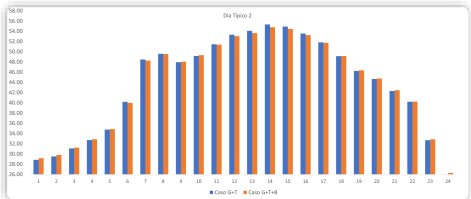
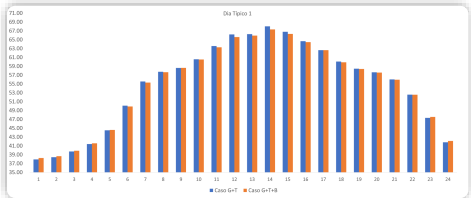
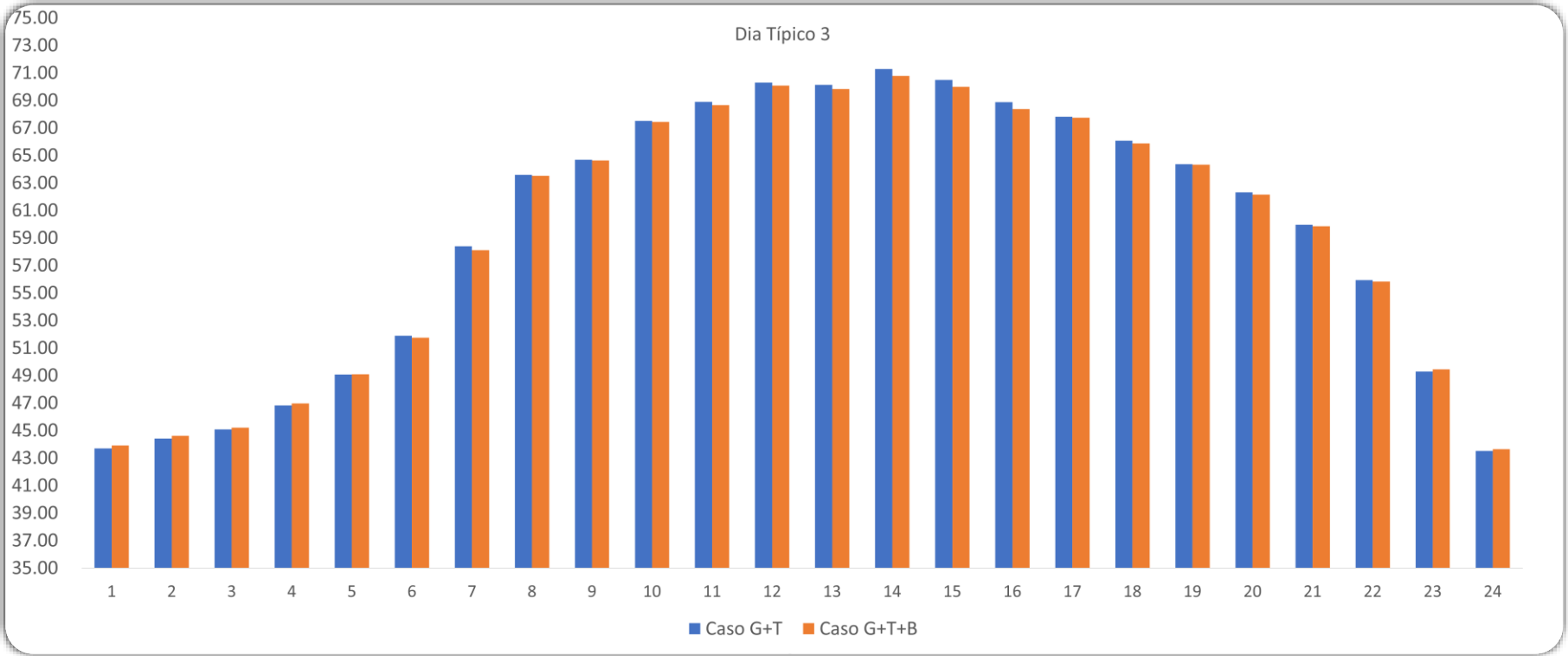
Resultados e Discussão

Custo Marginal de Operação Médio - Dia Típico 2



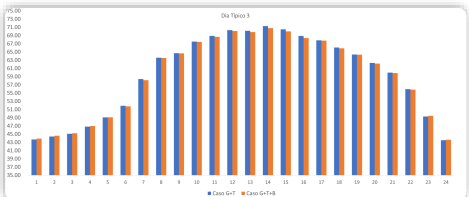
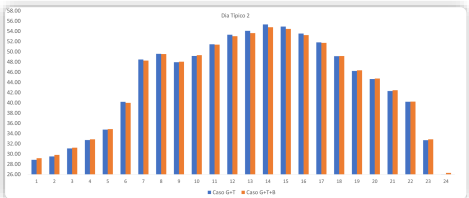
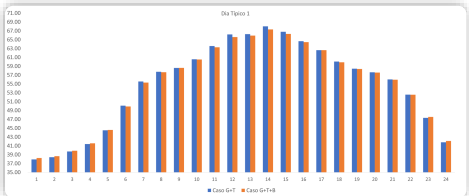
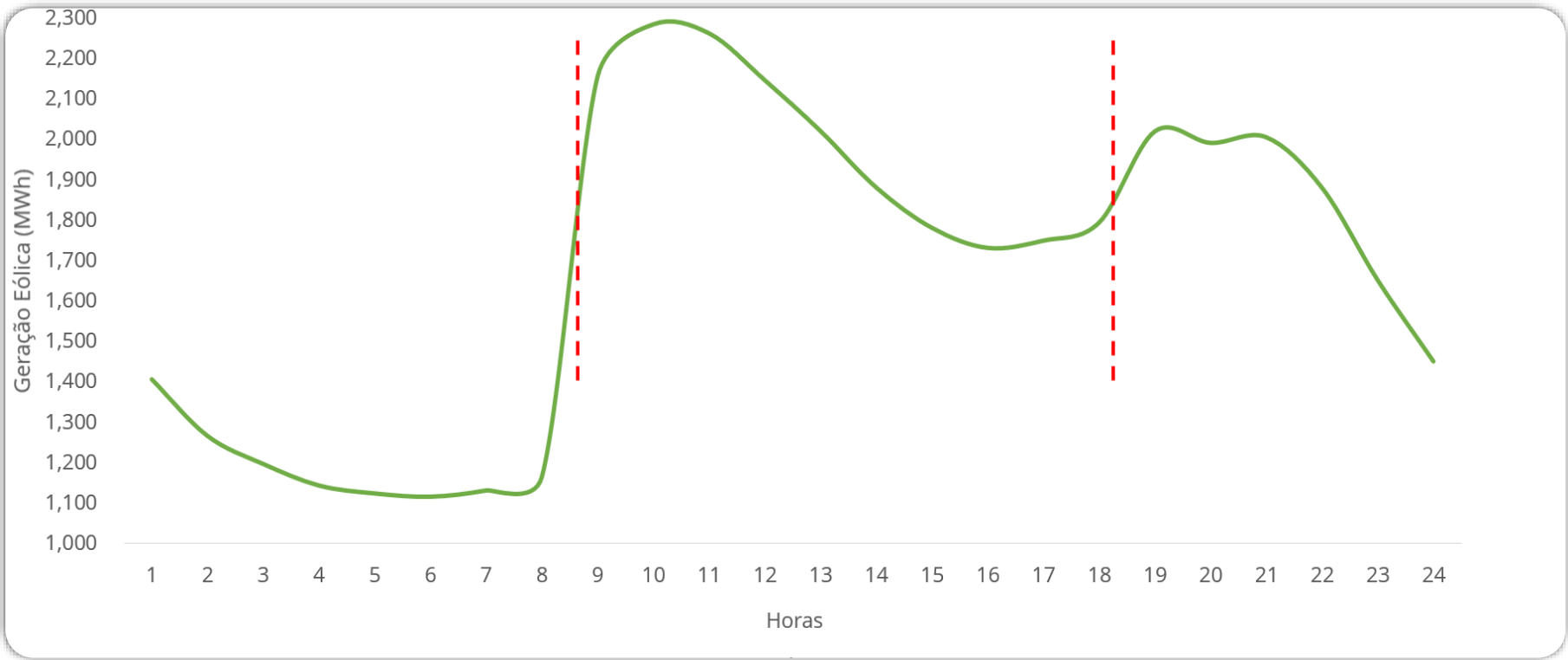
Resultados e Discussão

Custo Marginal de Operação Médio - Dia Típico 3



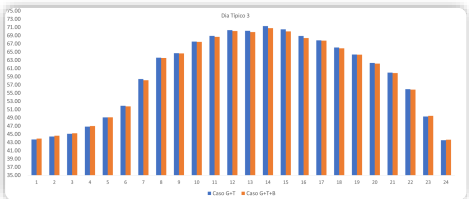
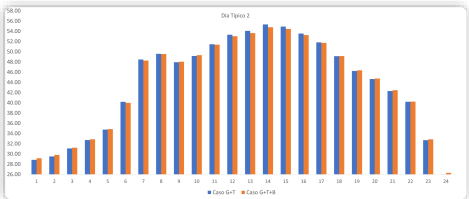
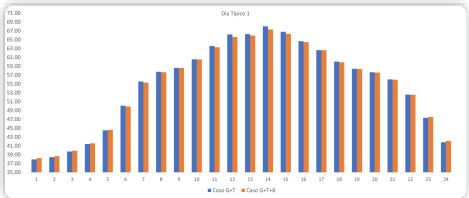
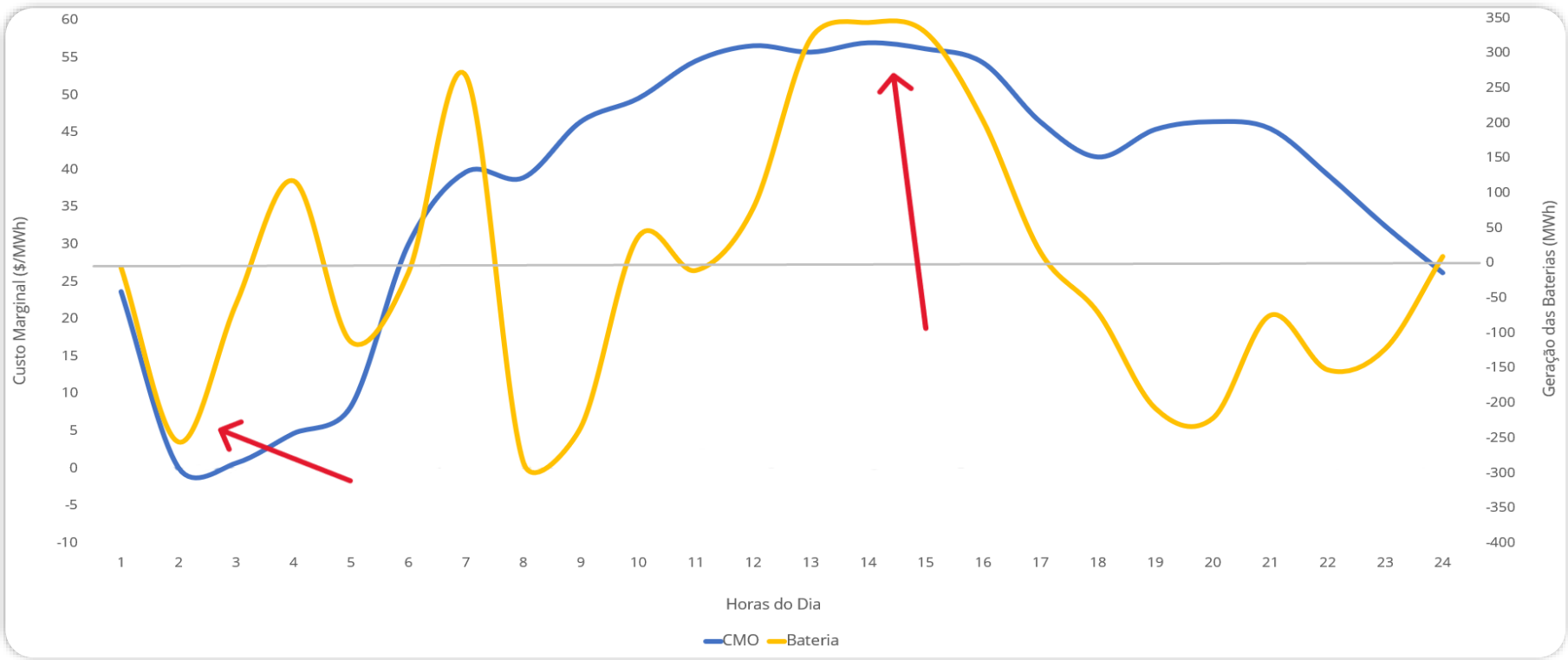
Resultados e Discussão

Geração Eólica Diária Média de Julho de 2042



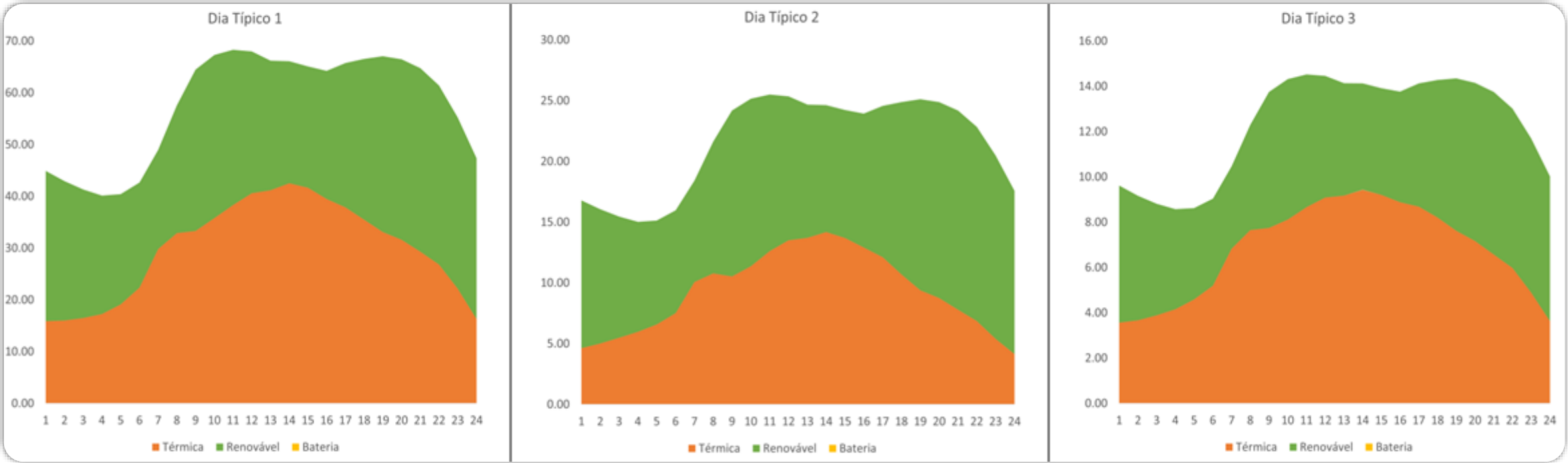
Resultados e Discussão

Custos Marginais Vs Geração das Baterias



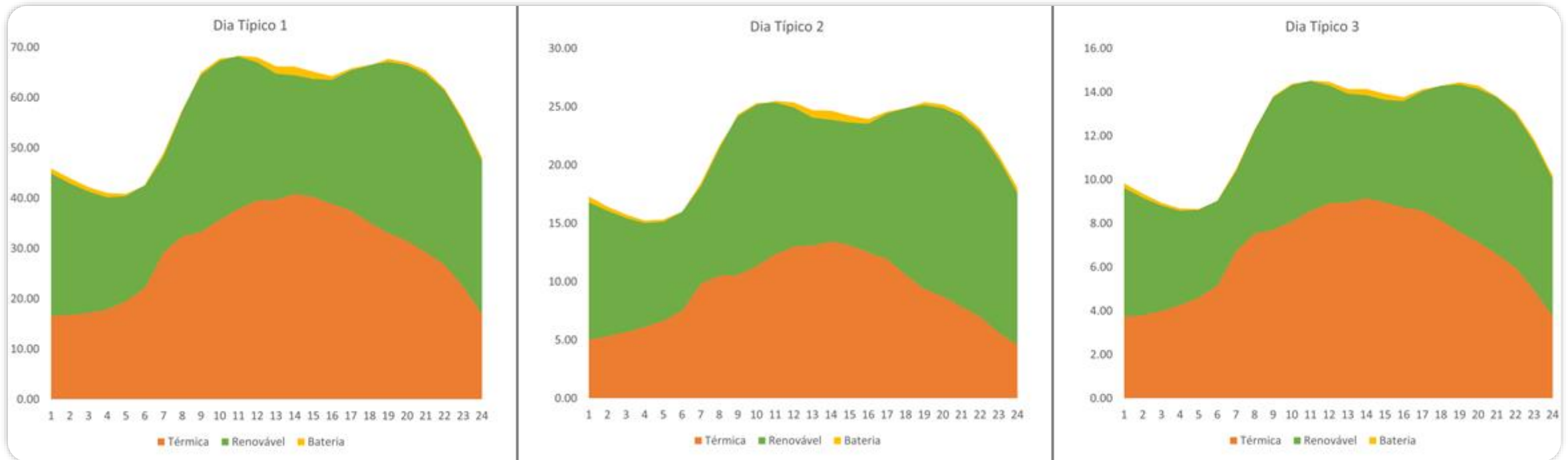
Resultados e Discussão

Mix de Geração no ano de 2042 – Caso G + T



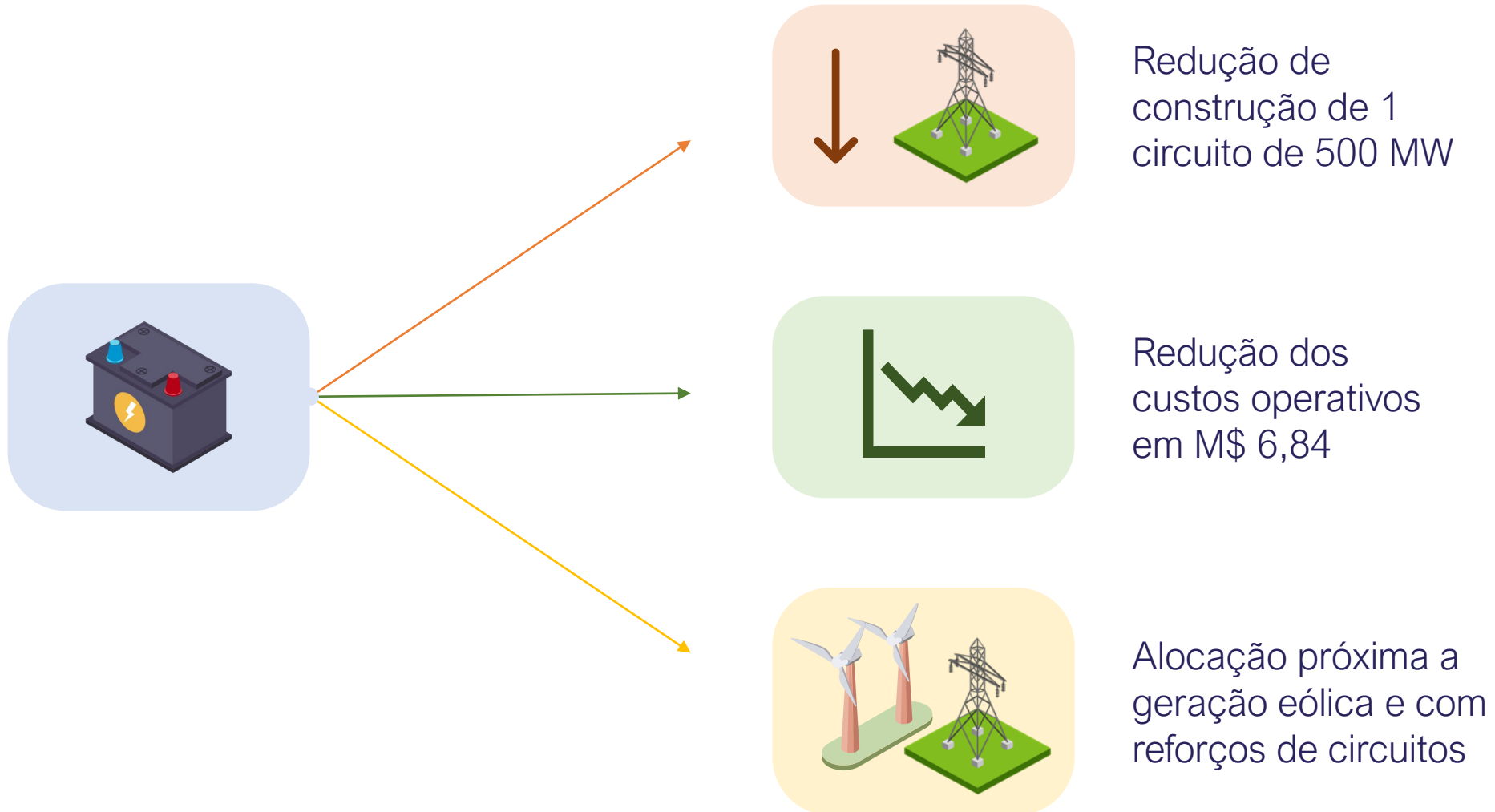
Resultados e Discussão

Mix de Geração no ano de 2042 – Caso G + T + B



- | 01 Introdução ao Planejamento da Expansão
- | 02 O Papel das Baterias no Planejamento
- | 03 Metodologia de Pesquisa
- | 04 Resultados
- | **05 Conclusão**

Conclusões





MUITO OBRIGADO!