Encontro Nacional do Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP - 2026

Previsão do preço spot no mercado de energia elétrica de sistemas híbridos de baixo carbono via inteligência artificial e aprendizagem profunda

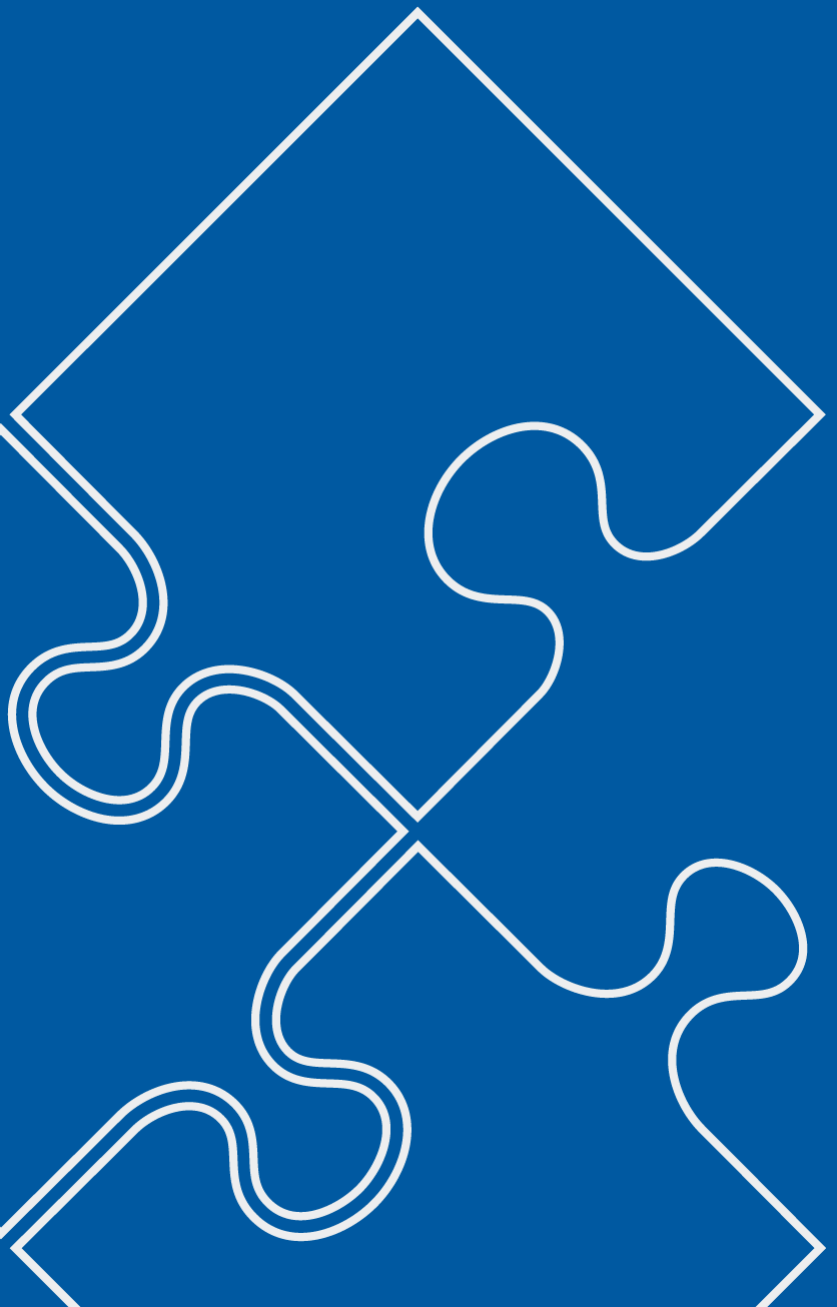
Vinicius Azevedo Silva
Orientador: Vicente Leonardo Paucar Casas

PRH-ANP 54/UFMA

Tipo de bolsa: Mestrado

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Gestão:



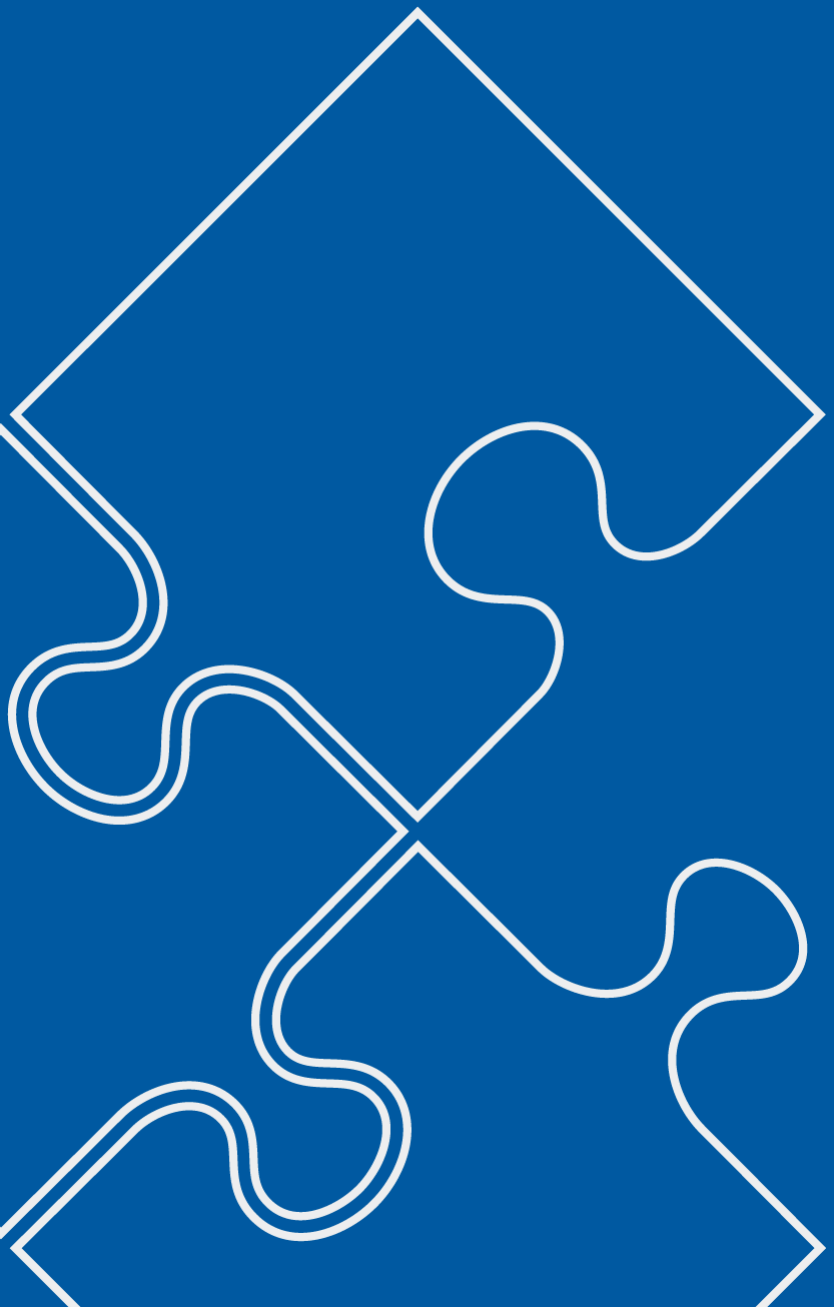
OBJETIVOS E MOTIVAÇÃO

POR QUE PREVER O PLD?

Motivação. Para consumidores com uma parcela da energia exposta ao mercado de curto prazo, a variação do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) afeta a despesa.

Objetivo. Comparar três propostas de inteligência artificial (IA) na previsão horária do PLD e no uso dessas previsões para orçar a despesa e operar uma bateria.

Setor de petróleo e energia. Aplicação potencial à gestão de energia de instalações industriais expostas ao PLD, com adaptação a consumos, contratos e restrições.



METODOLOGIA

DADOS E MÉTODOS DE IA

Entradas

- Histórico do PLD
- Balanço e hidrologia do ONS (operador do sistema)
- Calendário
- Limites regulatórios do preço

Três modelos

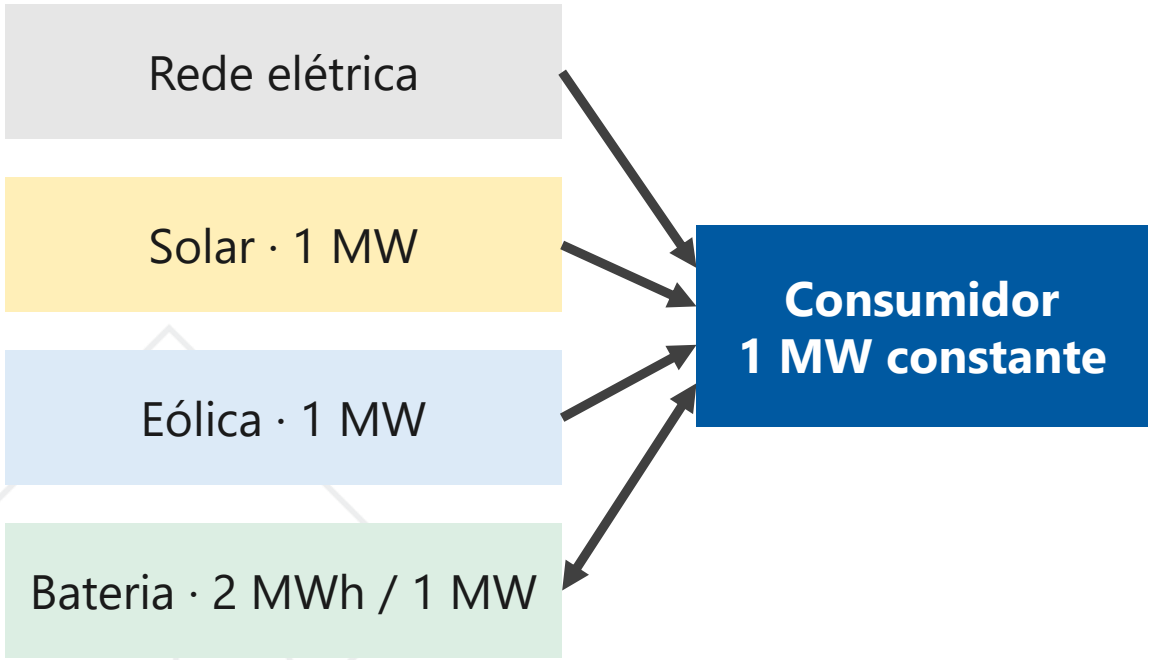
- Random Forest (RF): média de muitas árvores de decisão
- XGBoost: árvores em sequência, cada uma corrige o erro anterior
- Rede neural convolucional (CNN): filtros que aprendem padrões

Previsão

- Emitida à meia-noite
- 24 preços horários do dia seguinte (24 a 47 h de antecedência)
- Quatro submercados

Modelos treinados antes de 2025 e mantidos fixos. Cada previsão é a média de três execuções.

DA PREVISÃO À DECISÃO



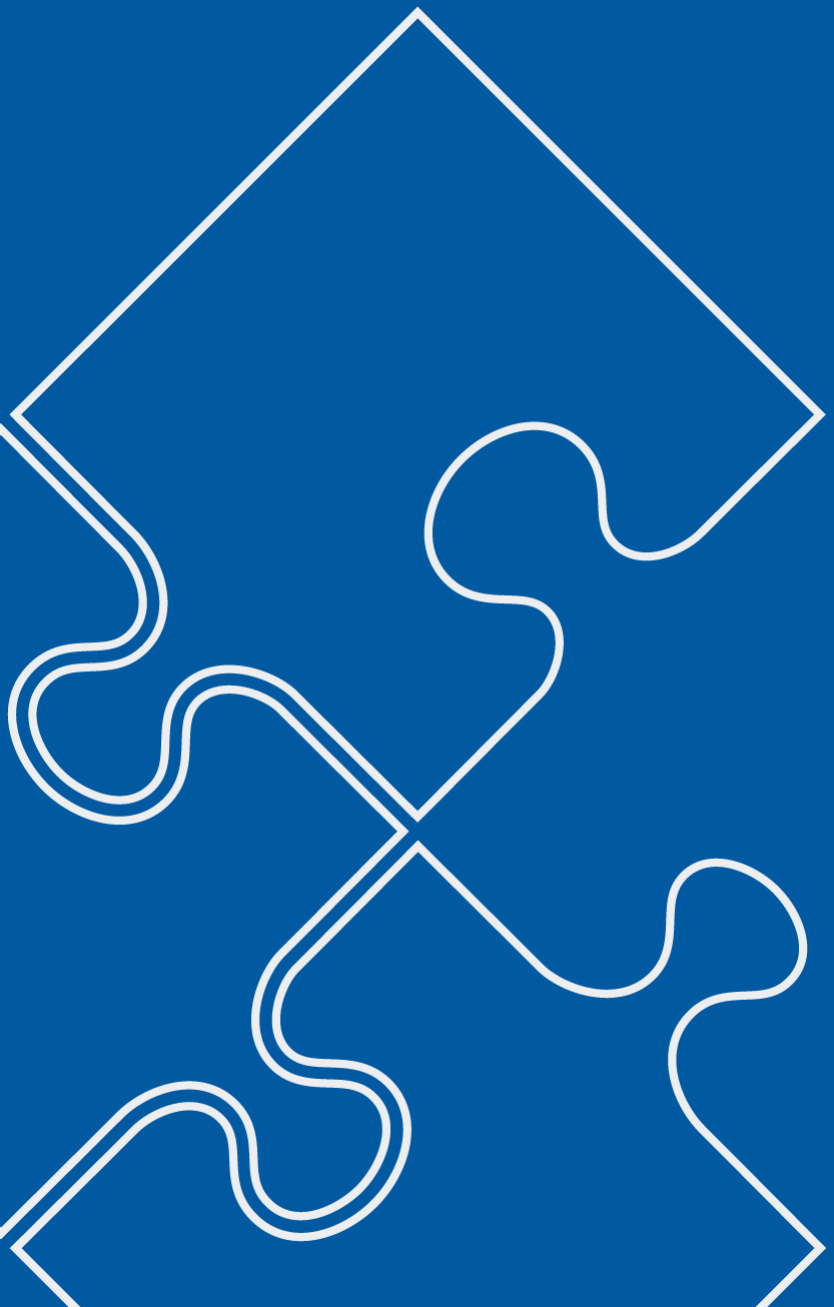
1. Cada IA fornece os preços previstos; a previsão de geração renovável é a mesma para todas.

2. Um otimizador programa a bateria para minimizar a despesa prevista.

3. A despesa é calculada depois, com o PLD observado.

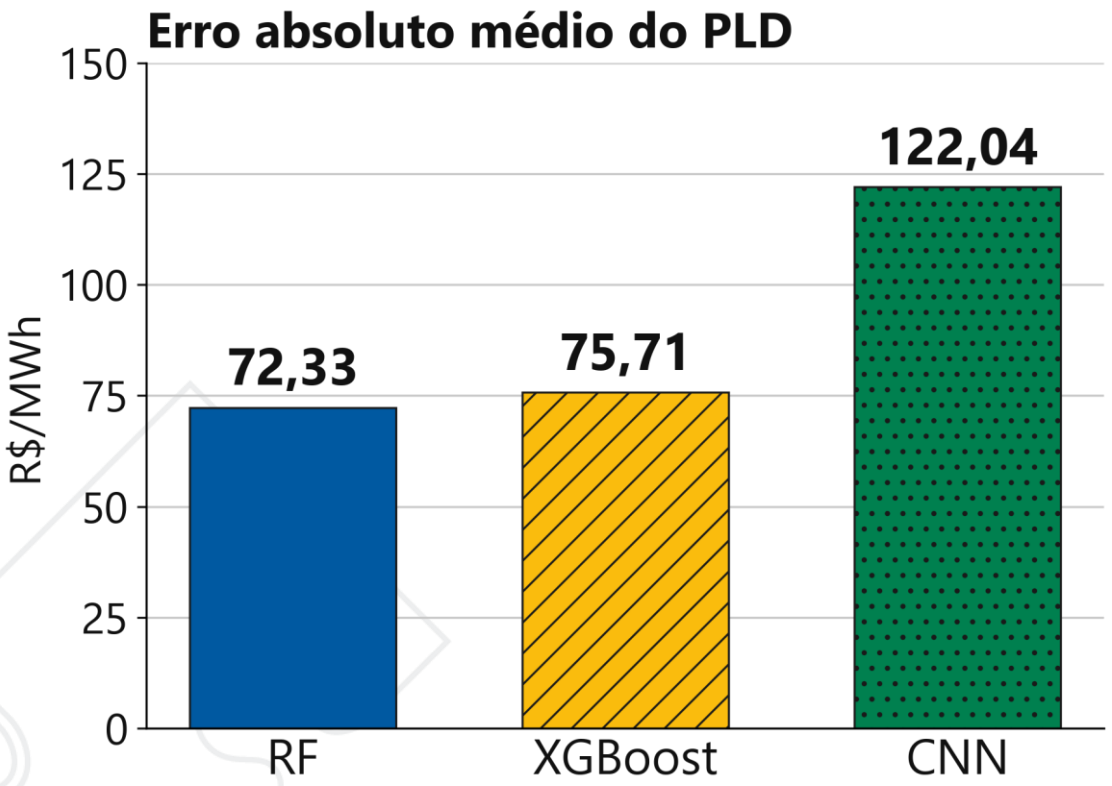
Sem venda de excedentes à rede.
Cenário normalizado: não é uma instalação real.

Prever bem o preço e decidir bem são avaliações diferentes.

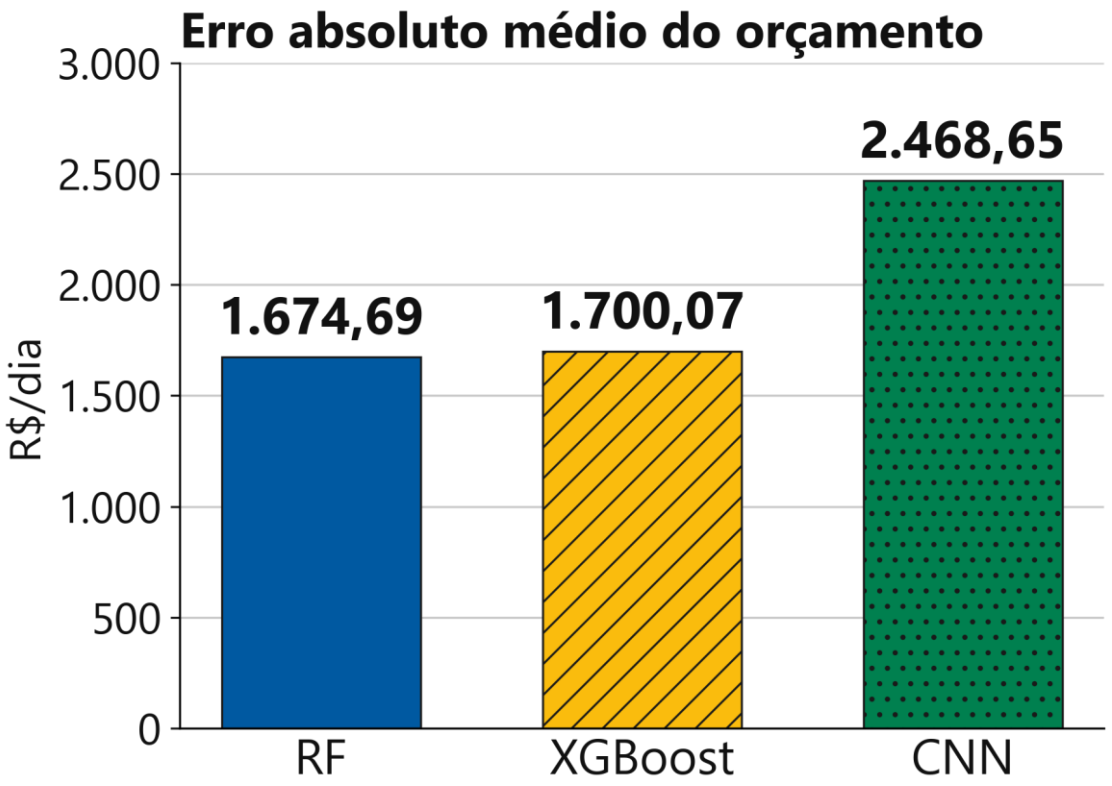


RESULTADOS

RESULTADOS: PREVISÃO E ORÇAMENTO



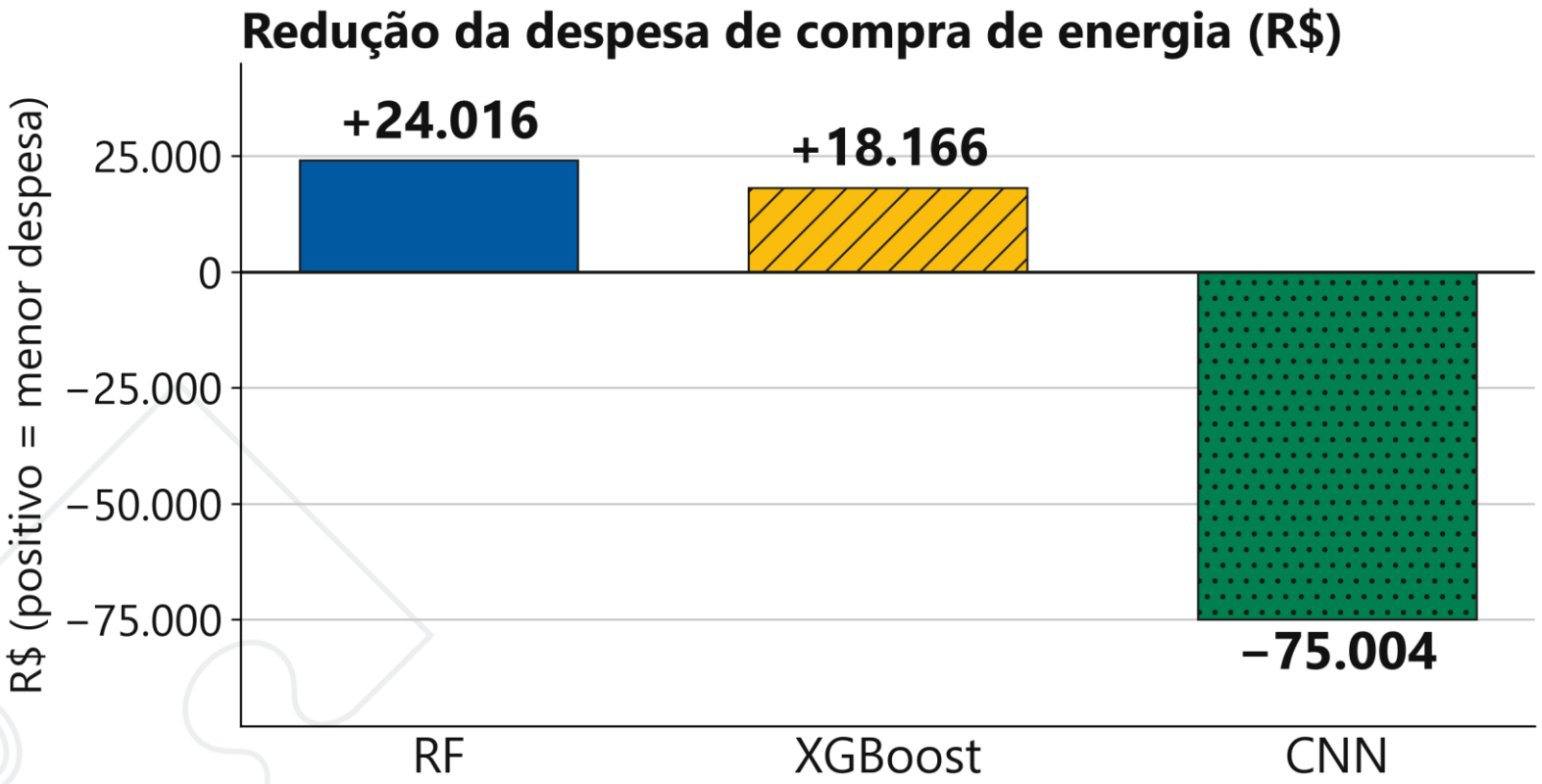
Quatro submercados · 365 dias de 2025



Nordeste · consumo de 1 MW · 365 dias de 2025

Erro do PLD, RF × XGBoost: diferença não significativa pelo teste estatístico de Diebold-Mariano; isso não demonstra equivalência.

RESULTADOS: OPERAÇÃO COM BATERIA

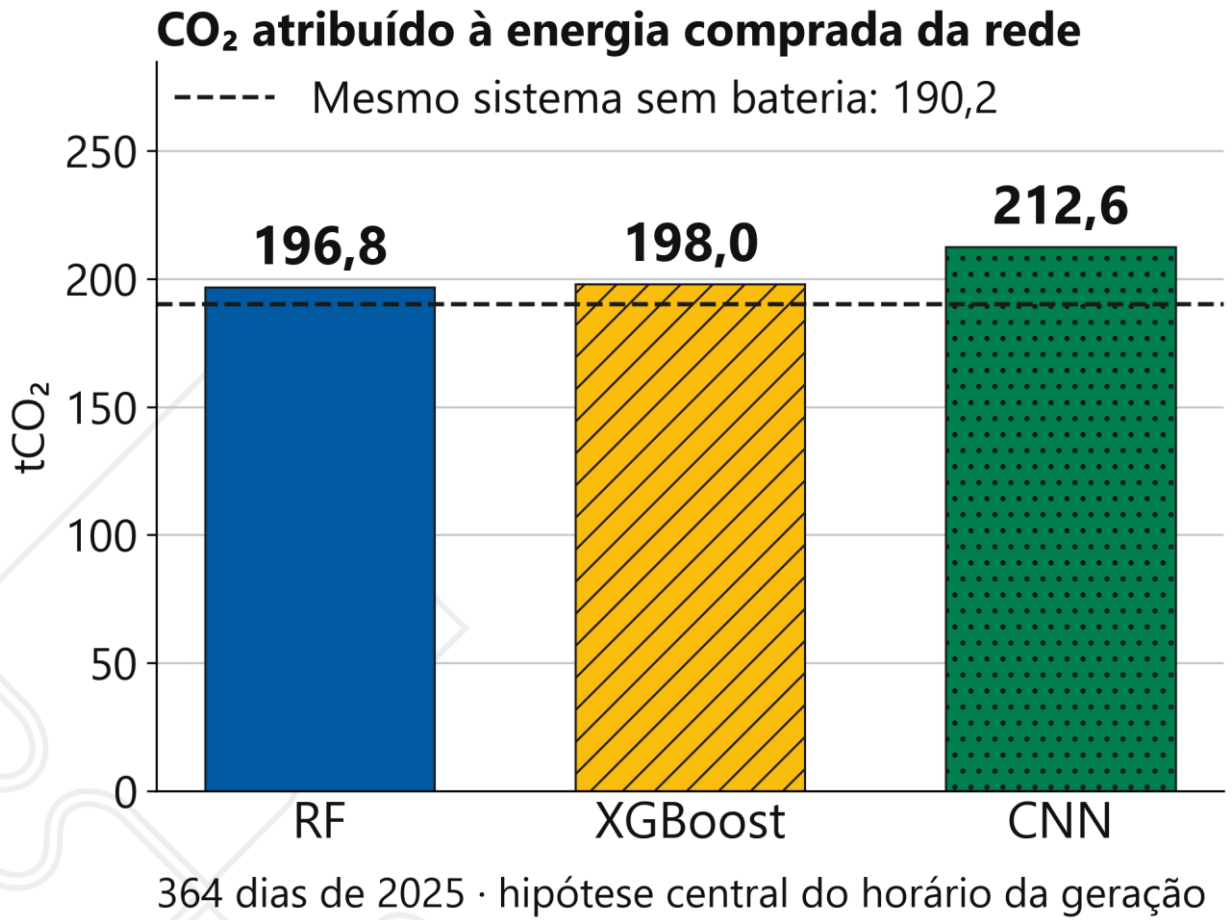


Referência: mesmo sistema renovável, sem bateria
(despesa de 714.217 R$ em 364 dias, de 1º/jan a 30/dez de 2025)

Comparação: mesmo sistema renovável, com e sem bateria.

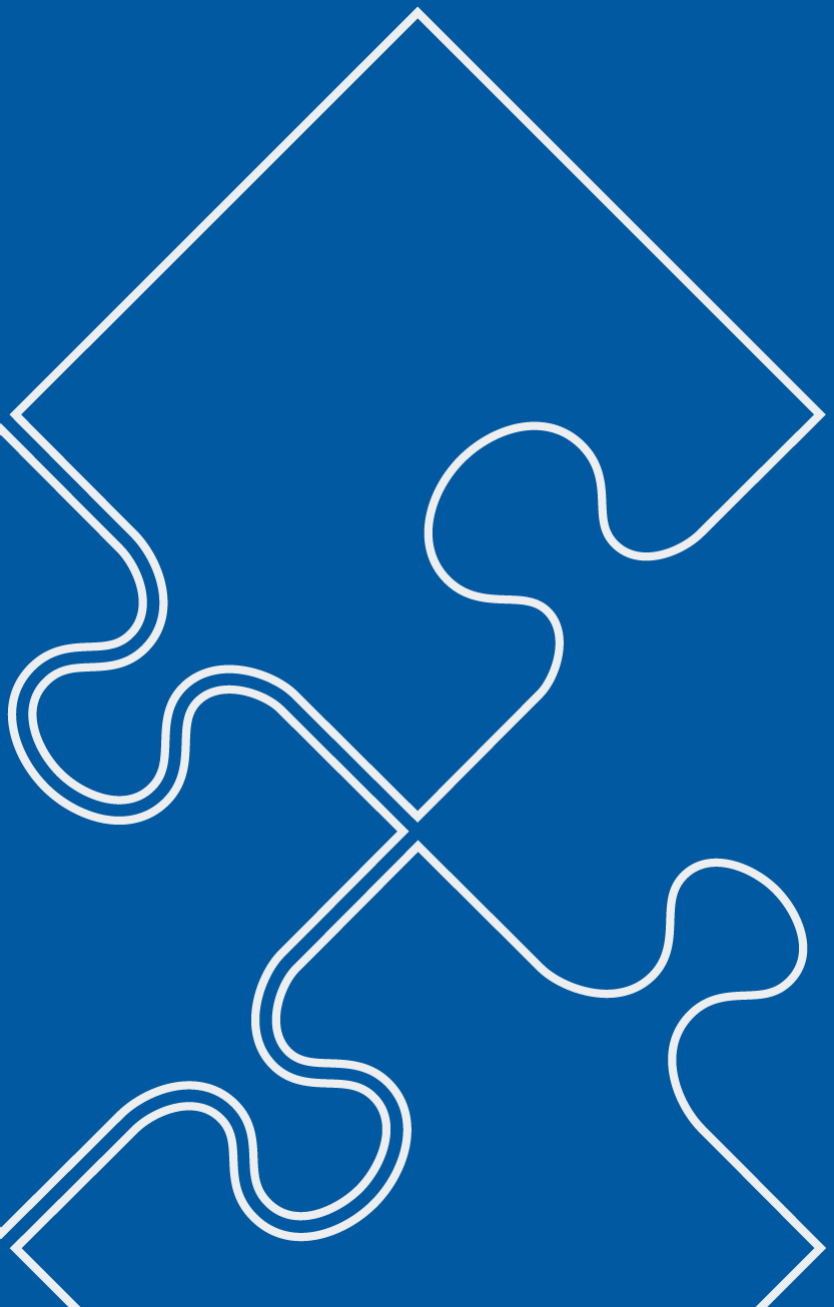
Alcance econômico: variação da despesa de compra de energia, sem descontar investimento e custo do desgaste da bateria.

INDICADOR AMBIENTAL



Como foi calculado: em cada mês, multiplicou-se a energia comprada da rede pelo fator médio de emissão do sistema elétrico, publicado pelo MCTI. Depois, somaram-se os resultados mensais.

O que representa: uma estimativa do CO_2 associado à energia comprada da rede. Não calcula quanto de emissão foi efetivamente evitado nem inclui fabricação e descarte dos equipamentos.



CONCLUSÃO

CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÃO

Integração: previsão de preços, orçamento e operação de um sistema renovável com bateria.

Random Forest: melhores resultados entre as três propostas nos indicadores destacados.

RF e XGBoost: menor despesa de compra de energia que o sistema sem bateria, sem redução do indicador de CO_2.

Contribuição: avaliar a utilidade das previsões na decisão energética, explicitando também seus limites.

AGRADECIMENTOS

Gestão:

Apoio financeiro do Programa de Formação de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, gerido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2025/02550-5

Instituição de vínculo: Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

prh anp

Obrigado!

Perguntas?

anp | Gestão: FAPESP