

Impacto da Temperatura no Consumo Residencial de Energia Elétrica

Quanto da variação do mercado é temperatura e quanto é outros efeitos?

Diretoria de Regulação e Mercado
Superintendência de Regulação Estratégica e Tarifária
Gerência Corporativa de Mercado

Setembro de 2026

ATI TU DE

para

transformar



AGENDA

CONTEXTO

- 1 Onde atuamos com concessões de distribuição de energia
- 2 Análise exploratória — El Niño, La Niña e o consumo residencial
- 3 Por que estudar a temperatura?
- 4 Objetivo do estudo
- 5 Desafios e oportunidades

COMO FIZEMOS

- 6 Base de dados
- 7 Tratamento e preparação
- 8 Metodologia e modelo
- 9 Validação do modelo

O QUE ENCONTRAMOS

- 10 Principais resultados

ONDE ESTAMOS

Estamos em 7 Áreas de Concessão de Distribuição de Energia Elétrica

MA, PA, PI, AL, AP, RS (CEEE) e GO — mercados do Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sul



7

ÁREAS DE CONCESSÃO

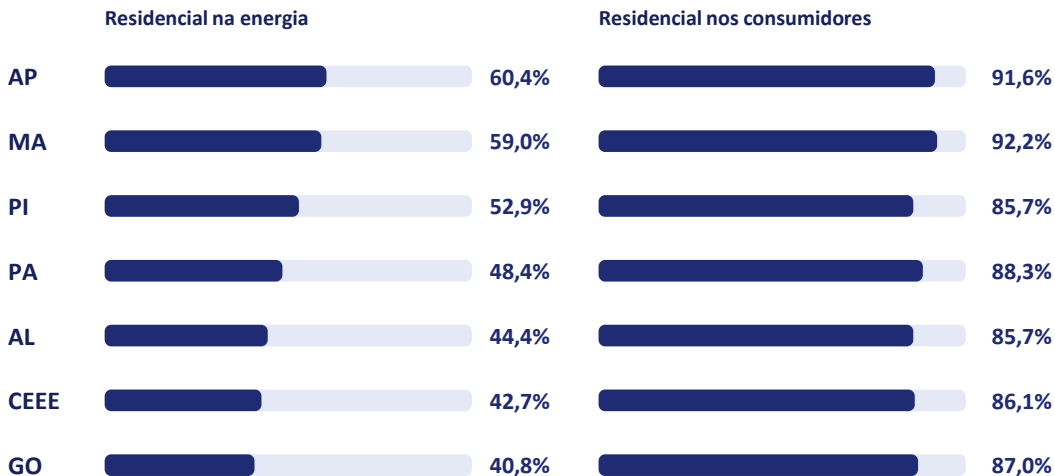
MA · PA · PI · AL · AP · CEEE · GO

A CLASSE RESIDENCIAL

É a mais representativa em consumo e em número de consumidores

47,1% da energia distribuída no Grupo

88,5% dos consumidores do Grupo



O El Niño ajuda a explicar o consumo residencial?

Repetimos a leitura de temperatura × consumo usando o consumo residencial por consumidor e destacando os meses de El Niño e La Niña para ver se os eventos impactam no consumo **e se o efeito muda entre as distribuidoras.**



O dado

Consumo residencial sem CNR, por consumidor e ajustado pelo calendário de faturamento, jan/2018 a mai/2026 (100 meses).



O método

Dispersão de anomalias: evento × consumo mês a mês, sem tendência nem sazonalidade.



Os eventos climáticos

Meses de El Niño e La Niña pelo índice ONI (NOAA). Houve um episódio fraco de El Niño em 2018–19 e um forte em 2023–24.

Efeito El Niño e La Niña nas concessões EQTL

MA, PA, PI, AL, AP

El Niño: seca prolongada
La Niña: chuvas intensas

RS

El Niño: chuvas intensas (oposto das demais concessões)
La Niña: Temperaturas acima das médias

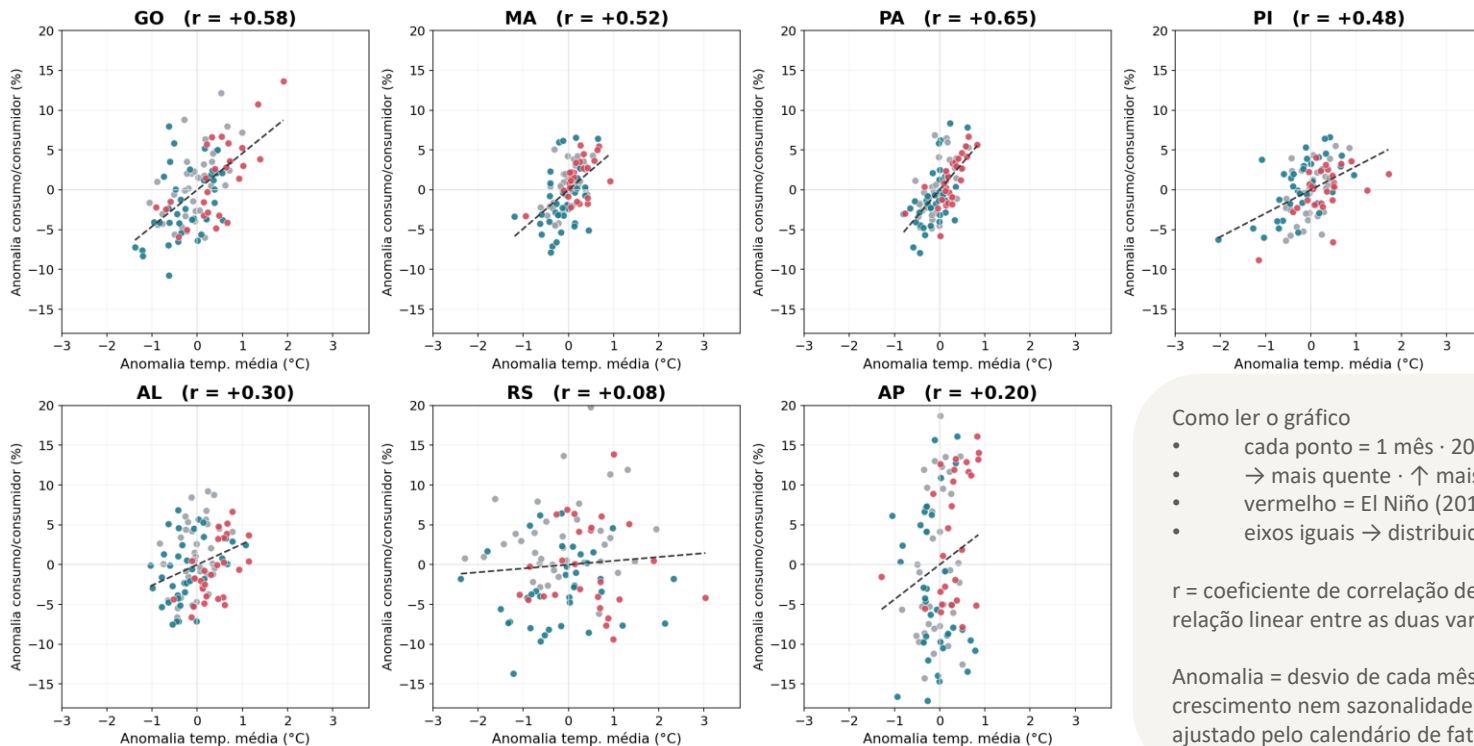
GO

El Niño: seca prolongada e padrões de chuva irregulares
La Niña: temperaturas mais amenas, chuvas próximas a acima da média

Consumo residencial × temperatura média, por distribuidora

Meses mais quentes. mais consumo em GO. MA. PA e PI: no RS a relação some (r 0.08). Vermelho = meses de El Niño.

Consumo residencial × temp. média (anomalias) — El Niño destacado
7 estados · jan/2018–abr/2026 (100 meses) · eixos fixos e iguais para comparar distribuidoras
■ El Niño ■ Neutro ■ La Niña



Como ler o gráfico

- cada ponto = 1 mês · 2018–2026 (100 meses);
- → mais quente · ↑ mais consumo;
- vermelho = El Niño (2018–19 e 2023–24);
- eixos iguais → distribuidoras comparáveis;

r = coeficiente de correlação de Pearson (–1 a +1): mede a força da relação linear entre as duas variáveis.

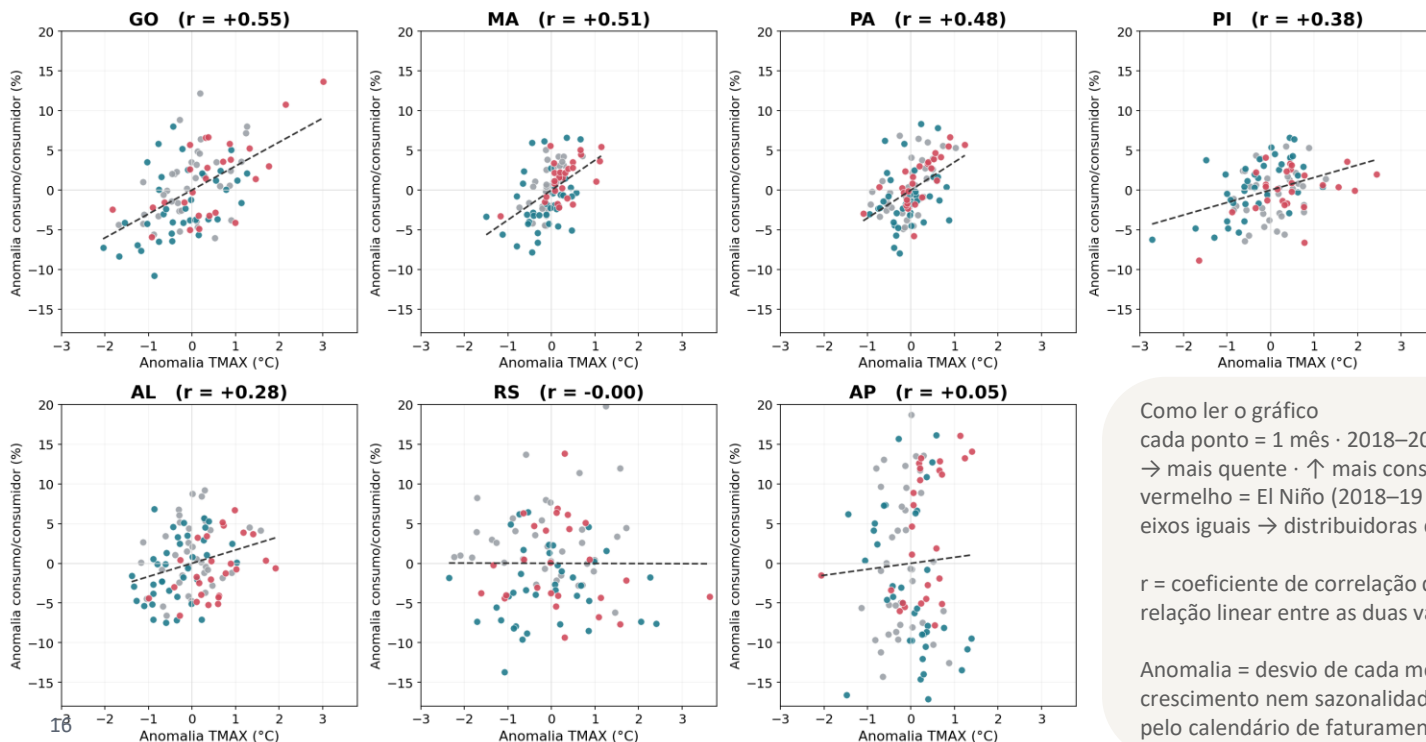
Anomalia = desvio de cada mês vs. o esperado, sem tendência de crescimento nem sazonalidade. Consumo por consumidor, ajustado pelo calendário de faturamento.

A mesma leitura com a temperatura máxima (TMAX)

Com a máxima a relação enfraquece em todos os estados: para o consumo mensal, a temperatura média explica melhor que o pico do dia.

Consumo residencial × TMAX (anomalias) — El Niño destacado
7 estados · jan/2018–abr/2026 (100 meses) · eixos fixos e iguais para comparar distribuidoras

■ El Niño ■ Neutro ■ La Niña



Como ler o gráfico
cada ponto = 1 mês · 2018–2026 (100 meses);
→ mais quente · ↑ mais consumo;
vermelho = El Niño (2018–19 e 2023–24);
eixos iguais → distribuidoras comparáveis;

r = coeficiente de correlação de Pearson (–1 a +1): mede a força da relação linear entre as duas variáveis.

Anomalia = desvio de cada mês vs. o esperado, sem tendência de crescimento nem sazonalidade. Consumo por consumidor, ajustado pelo calendário de faturamento.

Quando o mercado desvia do esperado, quanto disso é clima?

Variação do consumo

Tudo que muda de um período para o outro

=

Demais fatores

Crescimento de mercado, economia, calendário

+

Efeito temperatura

A parcela que o modelo isola e quantifica



O estudo mede a terceira caixa. Sem ela, todo o desvio do mercado é lido como crescimento (ou queda) estrutural e a projeção do mês seguinte pode herdar possíveis erros.

Clima explica boa parte da oscilação de curto prazo



Principal variável de curto prazo

A temperatura é uma das principais variáveis que explicam as oscilações do consumo de energia.



Clima extremo, mercado mais volátil

Eventos climáticos extremos tornam o comportamento do mercado mais variável e mais difícil de projetar.



Projeções mais precisas

Quantificar o efeito climático melhora a qualidade das projeções de mercado.



Separar o que é estrutural

Permite distinguir o crescimento estrutural do que foi apenas efeito do clima no período.

Sem medir o clima, o desvio do mês é sempre atribuído — por eliminação — ao comportamento do mercado.

Transformar graus Celsius em MWh e em percentual

Quantificar estatisticamente o impacto da temperatura sobre o consumo de energia elétrica e incorporar esse efeito nas explicações do mercado.



Medir

Estimar a sensibilidade do consumo à temperatura em MWh e em % por 1 °C.



Separar

Isolar, no build-up mensal, o que foi clima e o que foi crescimento.



Padronizar

Aplicar o mesmo critério a todas as distribuidoras do Grupo.

Aspectos identificados e perspectivas para evolução da metodologia

Desafio	Impacto	Oportunidade
*Representatividade climática	Diferença entre a quantidade de municípios e estações	Ampliar cobertura de estações e parcerias
Múltiplos determinantes do consumo	Temperatura não explica toda a variação do consumo	Incorporar variáveis econômicas, demográficas, tarifárias e comportamentais
Mudança do padrão de consumo	Coeficientes podem se alterar ao longo do tempo	Reestimação e monitoramento periódico
Assimetria climática	Frio e calor podem produzir efeitos distintos	Modelos HDD/CDD e abordagens não lineares

*

Estabelecer parcerias Institucionais: Buscar cooperação com universidades, centros de pesquisa e órgãos, visando compartilhamento de dados, instalação e manutenção de estações meteorológicas, para melhorar o monitoramento da climatologia em regiões estratégicas

O que entrou no modelo



Variáveis

Consumo mensal de energia elétrica (MWh) e temperatura máxima mensal.



Granularidade

Histórico por município e por distribuidora.



Período

Série longa o suficiente para capturar diferentes condições climáticas.



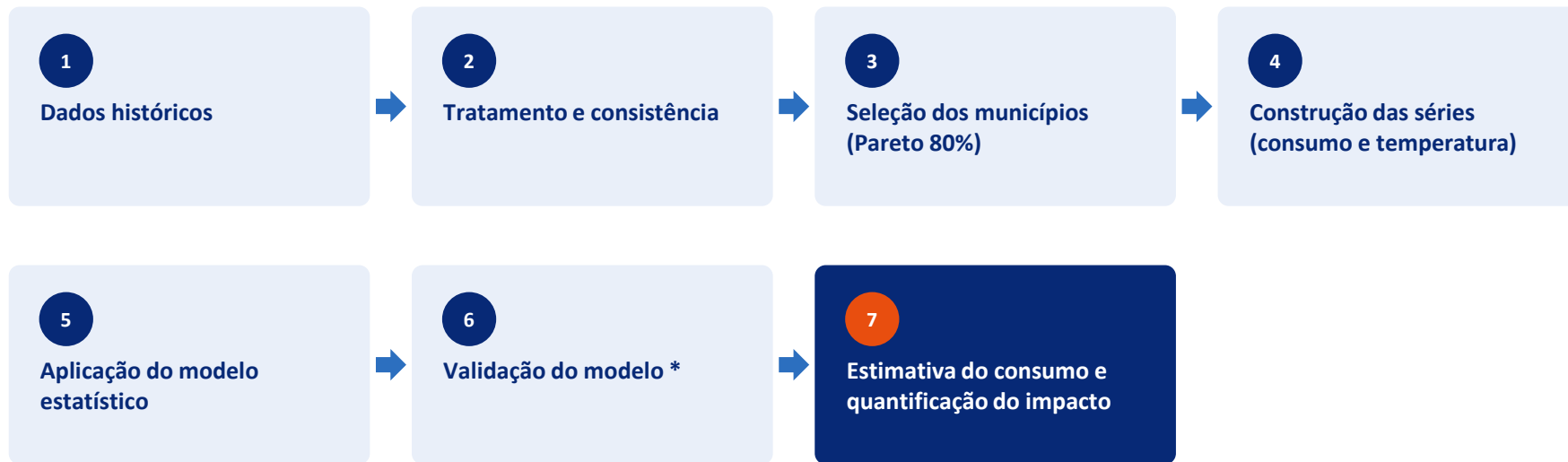
Recorte

Municípios mais representativos pelo critério de Pareto — 80% do consumo.



Por que Pareto? Concentrar a análise nos municípios que respondem por 80% do consumo mantém o poder explicativo do modelo e evita que séries pequenas e ruidosas distorçam a estimativa do efeito climático.

Sete etapas, do dado bruto ao impacto quantificado



* Análise de correlação, testes de linearidade, independência dos resíduos, normalidade dos resíduos e homocedasticidade.

A etapa 6 é o filtro de qualidade: só passam adiante os modelos que atendem aos pressupostos estatísticos.

Do conceito à estimativa do impacto climático

Modelo conceitual

1

$$\text{Consumo} = f(\text{Temperatura máxima ; Consumo anterior})$$

O consumo do período é relacionado às condições climáticas e à persistência do comportamento observado no período anterior (defasagem).

Modelo estatístico

2

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon$$

Aplicação de modelo de regressão para estimar a relação entre o consumo e seus principais direcionadores, com foco na identificação do efeito marginal da temperatura.

Modelo adaptado para o RS

3

$$\text{Consumo}(t) = f(\text{HDD}_t, \text{CDD}_t, \text{Consumo}_{t-1})$$

Para o RS, o comportamento climático é representado separadamente pelos efeitos associados ao frio (HDD) e ao calor (CDD), permitindo capturar respostas distintas do consumo

Na modelagem, o efeito da temperatura é estimado a partir da relação histórica entre consumo e condições climáticas, considerando também a persistência do consumo. O resultado é posteriormente convertido em uma medida percentual, permitindo quantificar a sensibilidade do consumo às variações de temperatura e estimar sua contribuição para as variações observadas no mercado.

Como ler o modelo

O que cada termo significa

α	nível base do consumo (intercepto)
$\beta 1$	sensibilidade do consumo à temperatura
$\beta 2 / \beta 3$	persistência do consumo (defasagem)
$\text{Consumo}(t-1)$	consumo observado no período anterior
$\varepsilon(t)$	fatores não explicados pelo modelo

HDD



Heating Degree Days — mede a intensidade do frio no período. Quanto maior, mais frio.

CDD



Cooling Degree Days — mede a intensidade do calor no período. Quanto maior, mais calor.

DO COEFICIENTE À ELASTICIDADE CLIMÁTICA

Regressão linear convencional: o coeficiente indica a variação média do consumo em MWh para +1 °C. **Modelo proposto:** esse efeito é convertido em percentual, a elasticidade climática do consumo.

Quatro pressupostos testados — todos atendidos



Linearidade

A relação entre a variável preditora (temperatura) e o consumo é linear.



Independência dos resíduos

Os erros do modelo não são correlacionados entre si.



Normalidade dos resíduos

Os erros do modelo seguem aproximadamente uma distribuição normal.



Homocedasticidade

A variância dos resíduos é constante em todos os níveis da preditora.

CORRELAÇÃO

40,02% (RS) a 79,03% (PI)

SIGNIFICÂNCIA DO COEFICIENTE

significativo a 5%

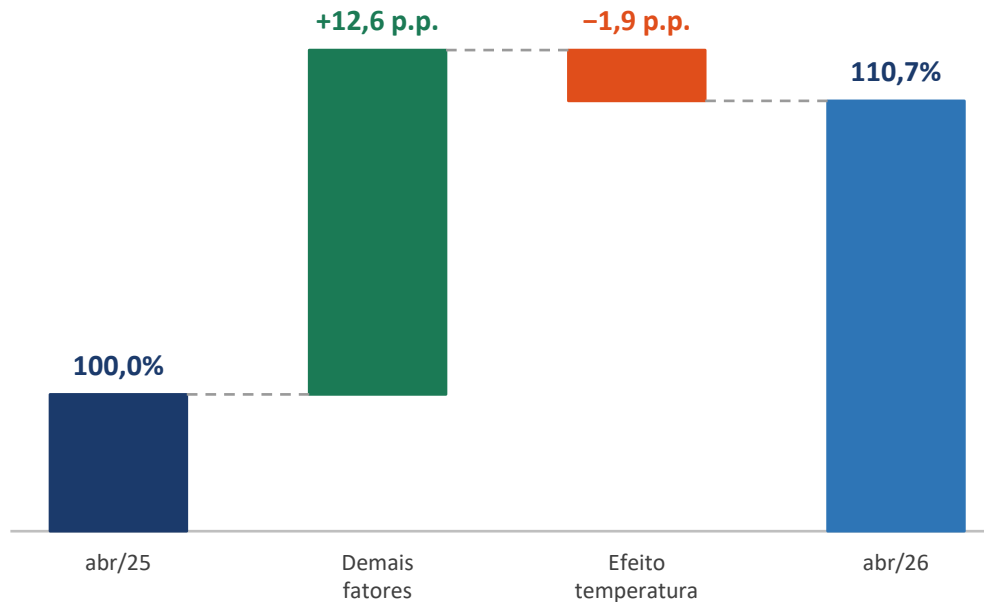
INTERVALO DE CONFIANÇA

consistente

Conclusão: modelos válidos, coeficientes significativos e pressupostos atendidos.

Build-up relativo — EQTL MA

Base 100 = consumo de abr/25



Escala ampliada a partir de 95% para tornar as parcelas visíveis. abr/25 = 406.763 MWh.

Ponto de partida

abr/25 vira a base 100 — consumo realizado de 406.763 MWh.

Demais fatores +12,6 p.p.

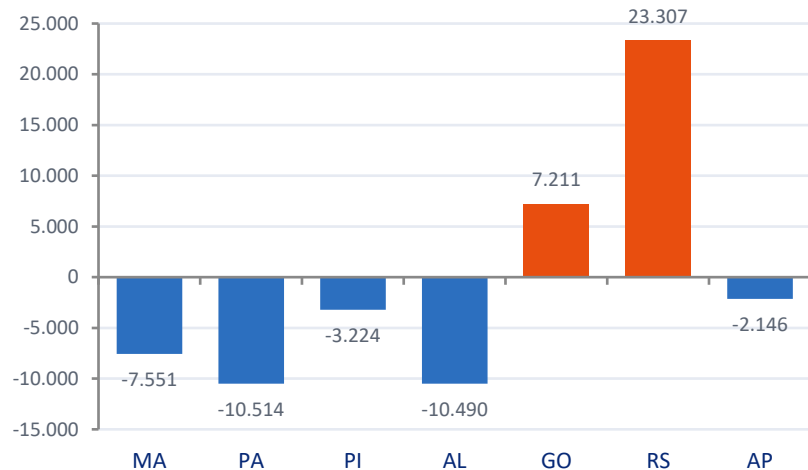
Tudo o que não é temperatura: fatores econômicos, demográficos, incremento de unidades consumidoras, dias faturados e demais efeitos.

Efeito temperatura -1,9 p.p.

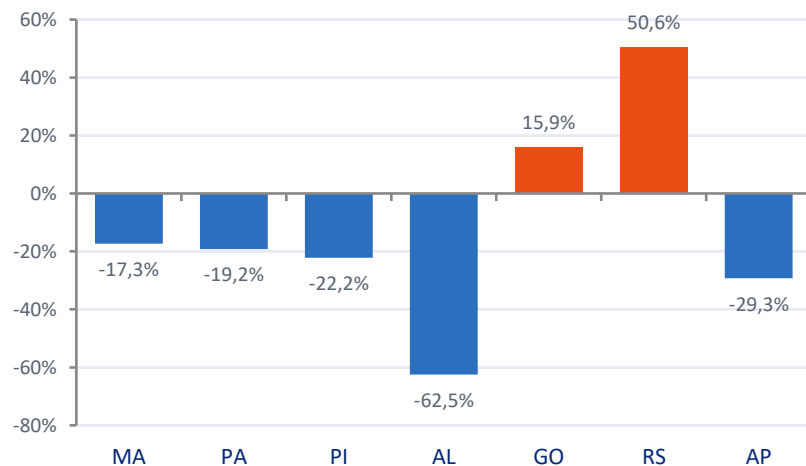
abr/26 esteve 0,1 °C a menos. O modelo atribuiu a esse clima -1,9 p.p., representando 17,3% da variação do período.

Onde esquentou, o consumo subiu, onde esfriou, cedeu

Impacto da temperatura (MWh)



Participação do clima na variação total (%)



● Temperatura caiu → consumo cedeu

● Temperatura subiu → consumo cresceu

Variação da temperatura entre abr/25 e abr/26: MA -0,1 °C · PA -0,1 °C · PI -0,7 °C · AL -2,3 °C · GO +0,39 °C · RS +1,1 °C · AP -1,3 °C.

O RS concentra o maior efeito absoluto (+23.307 MWh) e AL o maior efeito relativo (-62,5% da variação).

Conclusões

7 DISTRIBUIDORAS MODELADAS

Todas apresentaram modelos estatísticos capazes de quantificar a sensibilidade do consumo às variações de temperatura.

5 TEMPERATURA MENOR ↓

Com queda de temperatura ante o mesmo mês do ano anterior, o efeito climático foi negativo, contendo o crescimento observado.

2 TEMPERATURA MAIOR ↑ · GO E RS

Onde houve elevação da temperatura, o efeito climático foi positivo, contribuindo para o aumento do consumo.

● Modelo estatístico validado

- Pressupostos atendidos e coeficientes com significância de 5%.
- Efeito da temperatura expresso em MWh e em percentual, comparável entre distribuidoras.
- Com os modelos foi possível quantificar o impacto da temperatura no consumo.

● O que os resultados demonstram

- A temperatura constitui um importante direcionador do comportamento mensal do consumo.
- Permite separar, de forma quantitativa, a parcela associada às condições climáticas dos demais fatores que influenciam o consumo.

! Ressalva metodológica

Embora os modelos permitam quantificar o efeito da temperatura, diferenças microclimáticas entre municípios e a disponibilidade de estações meteorológicas podem limitar a representação integral das condições climáticas da área de concessão.

Agradecemos a atenção!

Gerência Corporativa de Mercado

Superintendência de Regulação Estratégica e Tarifária

Diretoria de Regulação e Mercado

**ATI
TU
DE**

para

transformar

