



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2023) v. 10, n. 2, pp. 42–52  
<https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n2.p42-52>

## A evolução do fator de potência em residências e suas implicações para o setor elétrico

### *The evolution of power factor in residential buildings and its implications for the electricity sector*

Vinícius de Carvalho Neiva Pinheiro<sup>1,\*</sup>, Alberto Luiz Francato<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na área de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, campus Campinas, SP, Brasil

\*Autor para correspondência, E-mail: [vpinheiro@unicamp.br](mailto:vpinheiro@unicamp.br)

Received: 9 July 2023 | Accepted: 23 October 2023 | Published online: 28 December 2023

**Resumo:** Nas últimas décadas, os padrões de consumo de energia elétrica em residências no Brasil têm passado por mudanças, como a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes ou LED, popularização de eletrônicas e, em certa medida, popularização de aparelhos de ar-condicionado. Aparelhos que não são puramente resistivos consomem, além de energia ativa, energia reativa e, portanto, essas mudanças em aparelhos elétricos típicos de residências fizeram com que o consumo de energia reativa crescesse consideravelmente mais que o consumo de energia ativa, exigindo do sistema elétrico mais provimento desta energia reativa. Neste trabalho, foram feitas estimativas dessa mudança recente nos padrões de consumo de energia reativa em residências para avaliar seus impactos para o setor elétrico brasileiro. Os resultados mostram que formas mais detalhadas de medição e cobrança por energia elétrica em residências, com separação de consumo de energia ativa e reativa, por exemplo, podem ser mais justas para os consumidores, além de estimular um consumo que alivie a necessidade de provimento de reativos no sistema elétrico nacional.

Palavras chave: Consumo de energia elétrica residencial. Sistemas elétricos residenciais. Fator de potência. Tarificação de energia elétrica.

**Abstract:** In recent decades, electricity consumption patterns in residential buildings in Brazil have been going through changes, such as substitution of incandescent light bulbs to fluorescent or LED lamps, popularization of electronics and, to a certain extent, popularization of air conditioners. Devices that are not purely resistive consume, besides active energy, reactive power and, therefore, these changes in typical residential electric devices made reactive power consumption increase significantly more than active power consumption, demanding more reactive power provision from the grid. In this work, estimates of these changes in reactive power consumption in residences were made to evaluate their impacts to the Brazilian electricity sector. Results show that more detailed energy metering and billing systems for residential consumers may not only be fairer, but also encourage consume habits that alleviate reactive provision from the grid.

**Keywords:** Residential electricity consumption. Residential electric systems. Power factor. Electricity billing.

## 1 Introdução

As formas como a energia elétrica é gerada e consumida vêm sofrendo alterações consideráveis nos últimos anos. Na geração, a busca por fontes renováveis, de baixo custo e menos agressivas ao meio ambiente resultou no rápido crescimento de fontes eólicas e fotovoltaicas nas matrizes elétricas de vários países (Menezes e Guimarães, 2022; Costa e Borges, 2022; Pinheiro et al., 2020). Na demanda, busca-se uma utilização mais inteligente e econômica dos recursos energéticos, através de mudanças de padrão de consumo e a troca de equipamentos elétricos por outros mais eficientes.

Esses esforços para se reduzir consumo de energia elétrica surtiram efeito, principalmente através de medidas tomadas desde a crise energética de 2001 (Costa et al., 2018). Desde então, é notável a conscientização da população quanto ao uso de equipamentos que são grandes consumidores de energia. Dentre as ações para a redução de consumo de energia elétrica imposta pela crise energética do início deste século, destaca-se a troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes (e posteriormente por LED), redução de tempo de banho com chuveiro elétrico ou sua troca por outras formas de aquecimento de água (a gás ou solar) e busca por equipamentos elétricos mais eficientes no geral, facilitada pelo conhecido selo PROCEL, que indica o nível de eficiência energética do aparelho (MME, 2022).

Estas ações para redução de consumo de energia elétrica surtiram um bom efeito, fazendo com que o consumo no país em 2001 fosse reduzido a níveis muito abaixo aos do ano anterior, como mostra a Figura 1. Além disso, o legado do hábito de consumo mais eficiente e consciente de energia elétrica se mantém até a atualidade. No entanto, algumas dessas mudanças no padrão de consumo residencial trouxe um efeito negativo para o sistema elétrico do país, ainda que pequeno, a princípio: a redução do fator de potência (Rios et al., 2014).

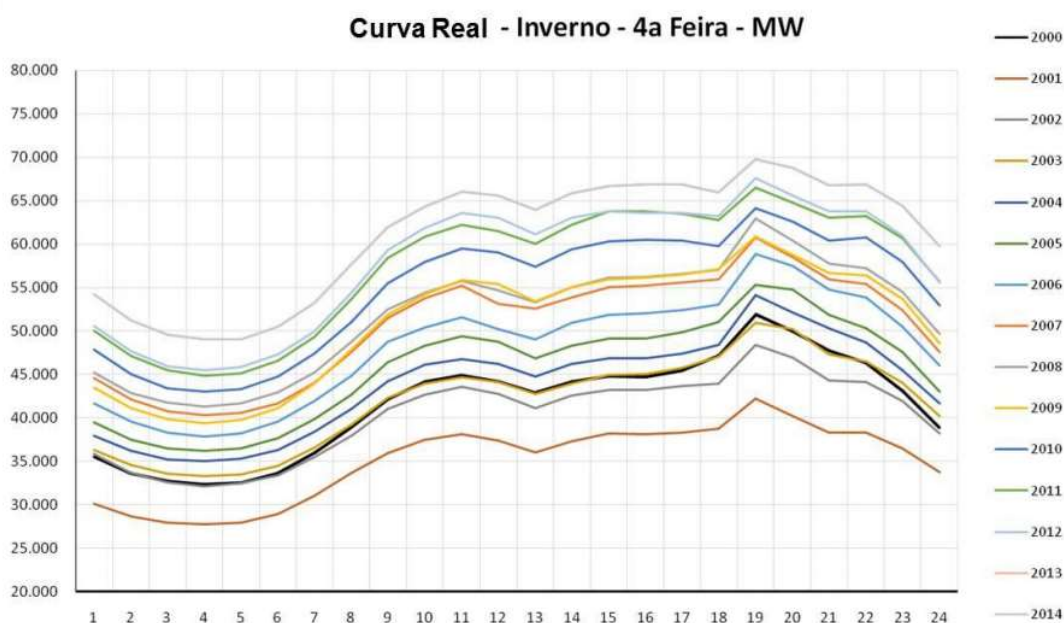


Figura 1. Variação da demanda de energia elétrica no SIN utilizando as médias das quartas-feiras dos invernos dos anos de 2000 a 2014 (MME, 2015).

Apesar de grandes consumidores de energia, equipamentos que funcionam pelo aquecimento de uma resistência elétrica são puramente resistivos, ou seja, possuem fator de potência máximo, igual a 1 (Pomilio, 2007). Esta característica é desejável para a operação do sistema elétrico. Por outro lado, equipamentos como lâmpadas fluorescentes ou LED, eletrônicos e motores possuem fatores de potência mais baixos (Andreoli, 2005; Tristão, 2019).

O fator de potência é definido como a relação entre as potências ativa e aparente de um aparelho. Este conceito é mais bem definido no capítulo seguinte, mas, de forma resumida, sempre que o fator de potência de um aparelho é inferior a 1, sua potência consumida (aparente) é dividida entre as componentes ativa e reativa (Schwertner et al., 2017; Genuino Jr. et al., 2022; Chagury, 2016). Assim como a potência ativa, esta componente reativa da potência também deve ser suprida por unidades geradoras do sistema elétrico, trazendo custos para a operação (Kornilov, et al., 2008; Blanchon, et al., 1987).

Diferentemente de aparelhos resistivos, equipamentos que possuem fator de potência mais baixos dependem também de energia reativa para funcionarem. Estes tipos de equipamentos são justamente os que se popularizaram nas últimas décadas em residências brasileiras, fazendo com que a demanda por energia reativa crescesse mais que a demanda por energia ativa no âmbito do consumo residencial (Nunes, 2007; Ayres, 2020).

Consumidores industriais já possuem um histórico de consumo de energia reativa devido à natureza dos equipamentos comuns nessas edificações (Reffas et al., 2020). Os principais consumidores de energia reativa em indústrias são os motores. Por este motivo, as tarifas de energia elétrica aplicadas a consumidores industriais já aplicam multas por energia reativa excedente se o fator de potência aferido no mês de cobrança for inferior a 0,92 (ANEEL, 2021). Este modelo de tarifação incentiva o consumidor industrial a manter

seu fator de potência mais elevado, que pode ser feito com trocas de equipamentos e até mesmo com a utilização de bancos de capacitores (cargas de energia reativa negativa), que compensam as cargas indutivas (cargas de energia reativa positiva) (Mandal et al., 2005; Gil et al., 2000).

As tarifas para consumidores residenciais ainda não levam em conta o consumo de energia reativa, já que, historicamente, este consumo sempre foi irrelevante (Schmidt & Lima, 2004; Mattos & Lima, 2005). No entanto, grande parte dos tipos de equipamentos elétricos que se utilizam em residências atualmente possuem baixos fatores de potência. Assim, este trabalho avalia se essa mudança recente no padrão de consumo de energia elétrica residencial altera significativamente seu fator de potência, e quais as consequências disto para o setor elétrico brasileiro e para os consumidores residenciais.

Para essa avaliação, foram levantados fatores de potência de diversos equipamentos típicos de residências e foram feitas estimativas de seus usos. Essas estimativas foram feitas em 3 cenários distintos, buscando representar consumos de residências representativas de três décadas distintas.

## 1.1 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar como a mudança do padrão de consumo de energia elétrica residencial nas últimas décadas afetou o fator de potência deste tipo de consumidor, e discutir quais os impactos desta mudança para o setor elétrico brasileiro.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Avaliação da mudança de padrão de consumo de energia ativa e reativa em edificações residenciais;
- Levantamento dos novos requisitos de suporte de energia reativa e atendimento de ponta demandados para o setor elétrico brasileiro;
- Discussão sobre ações que podem ser tomadas pelo poder público para estimular o aumento do fator de potência em residências.

## 2 Conceitos básicos envolvendo fator de potência

### 2.1 Tipos de potência elétrica e fator de potência

Em um circuito de corrente alternada, a potência elétrica pode ser dividida em três componentes: ativa, reativa e aparente. Por ser um circuito de corrente alternada, o fluxo de elétrons tem seu sentido constantemente invertido (no caso do Brasil, com uma frequência de 60 Hz). A componente ativa da potência tem a maior parte do fluxo no sentido positivo e é, portanto, capaz de realizar trabalho. Já a potência reativa, oscila de forma simétrica nos sentidos positivo e negativo, de forma que a média de seu fluxo é zero e, portanto, não é capaz de realizar trabalho (Moura et al., 2019). A potência aparente é a potência total do sistema e consiste na soma vetorial das potências ativa e reativa, conforme a Figura 1.

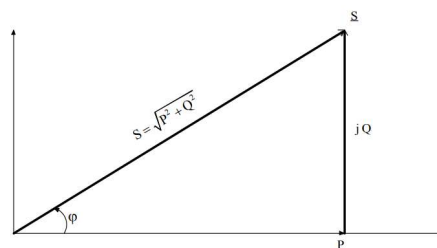


Figura 1. Triângulo de potências (Santos, 2006).

O fator de potência é definido pela relação entre a potência ativa e a potência aparente. De acordo com a Figura 1, o fator de potência também pode ser definido como o cosseno do ângulo  $\varphi$  e, por este motivo, outro termo utilizado para se referir ao fator de potência é  $\cos(\varphi)$ .

### 2.2 Cargas indutivas, capacitivas e resistivas

Alguns equipamentos elétricos consomem apenas energia ativa em seu funcionamento. Esses aparelhos constituem as cargas puramente resistivas, que possuem fator de potência igual a 1. Os exemplos mais

comuns desses aparelhos são aqueles que possuem resistências elétricas (chuveiros, forno, secadores, lâmpadas incandescentes etc.).

As cargas indutivas são aquelas que necessitam de campo magnético para seu funcionamento e, portanto, precisam de energia reativa (além de energia ativa) para funcionar. Esse tipo de carga talvez seja a mais comum em unidades consumidoras de energia. Alguns exemplos desses aparelhos são transformadores, lâmpadas de descarga, fornos de indução e qualquer aparelho que funcione com um motor (Pimentel, 2019).

As cargas capacitivas são aquelas que produzem energia reativa, ou seja, consomem energia reativa negativa. Dessa forma, o consumo de energia ativa destes aparelhos se soma aos demais da edificação, enquanto o consumo de energia reativa capacitiva é subtraído do consumo de energia reativa indutiva.

Em indústrias, que são cobradas pelo consumo excessivo de reativos, é comum o uso de bancos de capacitores para compensar o consumo de energia indutiva e elevar o fator de potência da unidade consumidora.

### 2.3 Suporte de reativos

O equilíbrio da energia reativa na rede elétrica é responsável pela estabilidade da tensão. Este equilíbrio é provido por algumas unidades geradoras do sistema elétrico, que precisam deixar uma reserva de potência para ser usada nos momentos necessários. Em outras palavras, as unidades geradoras que fornecem suporte de reativo ao sistema elétrico, deixam parte de sua capacidade de geração em *stand-by* para que possam fornecer ou absorver energia reativa nos momentos necessários.

Esse suporte de energia reativa traz um custo indireto para o gerador e para o sistema como um todo, já que, para funcionar como reserva de potência reativa, o gerador deixa de gerar energia ativa (Rodríguez et al., 2007). Além disso, não é qualquer tipo de gerador que é capaz de fornecer suporte de reativos, tornando limitadas as opções de geradores que podem fornecer este serviço dentro de um sistema elétrico (Pinheiro, 2020).

Diante do custo que o consumo de energia reativa traz para o sistema elétrico e, conseqüentemente, para o consumidor, é justo que as tarifas de energia elétrica repassem de forma proporcional estes custos para os consumidores que demandam suporte de reativos dos sistemas de geração (Ahmad, 2019). No entanto, atualmente, somente grandes consumidores, com fornecimento de energia em tensão acima de 2,3 kV, são cobrados por energia reativa e somente quando seu fator de potência fica abaixo de 0,92 (ANEEL, 2021).

## 3 Evolução dos padrões de consumo de energia elétrica residencial

Para analisar a evolução dos padrões de consumo de energia elétrica residencial, foi elaborado um método para criar curvas típicas de consumo de energia elétrica aparente, ativa e reativa para três cenários diferentes. Cada cenário é representativo de uma das três últimas décadas para o consumo de energia elétrica residencial. Assim, foram criados 3 grupos de equipamentos elétricos, cada um representando um conjunto de equipamentos elétricos presentes em uma casa de classe média no Brasil, em meados dos anos 1990, 2000 e 2010.

Os equipamentos presentes em cada cenário, com suas respectivas especificações técnicas, são listados na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Estas informações foram estimadas a partir dos dados publicados por Pomilio (2007) e CEMIG (2020).

Tabela 1. Aparelhos considerados nas simulações.

Aparelho	Qtd. por cenário			Potência Ativa (W)	Potência Reativa (VAr)	Potência Aparente (VA)	Fator de Potência	Caráter
	1	2	3					
Aparelho de DVD	0	1	0	26.6	28.7	39.1	0.68	Capacitivo
Aparelho de som	0	1	1	17	14.1	22.1	0.77	Capacitivo
Ar-condicionado 12.000 btu/h	1	0	0	1600	-1033.5	1904.8	0.84	Indutivo
Ar-condicionado 21.000 btu/h	1	0	0	2800	-1808.6	3333.3	0.84	Indutivo
Ar-condicionado 8.500 btu/h	1	1	0	1300	-844.1	1550	0.84	Indutivo
Carregador de celular	2	2	0	6	8.6	10.5	0.57	Capacitivo
Carregador de notebook	3	1	0	28.1	39.5	48.4	0.58	Capacitivo
Chuveiro elétrico 5500 W	0	1	1	5500	0	5500	1	Resistivo
Chuveiro elétrico 7500 W	0	1	1	7500	0	7500	1	Resistivo
Computador	0	1	0	148	146.8	208.5	0.71	Capacitivo
Decodificador TV a cabo	1	1	0	10	13.3	16.7	0.6	Capacitivo
Freezer	0	0	1	150	-180.1	234.4	0.64	Indutivo
Geladeira	1	1	1	138	-165.7	215.6	0.64	Indutivo
Grelha elétrica	1	0	0	1500	0	1500	1	Resistivo
Lâmpada fluorescente compacta 15 W - Conjunto 1	0	8	0	17.2	23.5	29.2	0.59	Capacitivo
Lâmpada fluorescente compacta 15 W - Conjunto 2	0	8	0	17.2	23.5	29.2	0.59	Capacitivo
Lâmpada fluorescente compacta 15 W - Conjunto 3	0	4	0	17.2	23.5	29.2	0.59	Capacitivo
Lâmpada incandescente 80 W - Conjunto 1	0	0	8	81.1	0	81.1	1	Resistivo
Lâmpada incandescente 80 W - Conjunto 2	0	0	8	81.1	0	81.1	1	Resistivo
Lâmpada incandescente 80 W - Conjunto 3	0	0	4	81.1	0	81.1	1	Resistivo
Lâmpada LED 9 W - Conjunto 1	8	0	0	8.3	11.7	14.3	0.58	Capacitivo
Lâmpada LED 9 W - Conjunto 2	8	0	0	8.3	11.7	14.3	0.58	Capacitivo
Lâmpada LED 9 W - Conjunto 3	4	0	0	8.3	11.7	14.3	0.58	Capacitivo
Máquina lavar louça	1	0	0	1760	-578.5	1852.6	0.95	Indutivo
Máquina lavar roupa	1	1	1	1000	-1232.7	1587.3	0.63	Indutivo
Microondas	1	1	0	1150	-417.4	1223.4	0.94	Indutivo
Roteador de internet	1	0	0	12	16	20	0.6	Capacitivo
Secador de cabelo	1	1	1	2100	0	2100	1	Resistivo
Televisão LED 59"	1	0	0	185	119.5	220.2	0.84	Capacitivo
Televisão Plasma 42"	0	1	0	122	75.6	143.5	0.85	Capacitivo
Televisão tubo 21"	0	0	1	44	47.4	64.7	0.68	Capacitivo
Ventilador	0	1	2	43.6	-40.8	59.7	0.73	Indutivo

Para estimar os consumos destes aparelhos em um dia típico, foram definidos os horários, discretizados em períodos de 15 minutos, em que esses aparelhos ficariam ligados em cada cenário, conforme Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 2. Horários de funcionamento considerados para os aparelhos na simulação do cenário 1.

Aparelho	Intervalos de uso					
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
Lâmpada incandescente 80 W - Conjunto 1	7:00	8:00	18:00	21:00	-	-
Lâmpada incandescente 80 W - Conjunto 2	21:00	23:00	-	-	-	-
Lâmpada incandescente 80 W - Conjunto 3	0:00	7:00	18:00	0:00	-	-
Chuveiro elétrico 5500 W	7:30	7:45	-	-	-	-
Chuveiro elétrico 7500 W	7:10	7:25	7:30	7:45	19:00	19:25
Geladeira	0:00	0:00	-	-	-	-
Freezer	0:00	0:00	-	-	-	-
Máquina lavar roupa	8:00	9:30	-	-	-	-
Ventilador	22:00	7:00	-	-	-	-
Televisão tubo 21"	19:00	22:00	-	-	-	-
Aparelho de som	12:00	14:00	-	-	-	-
Secador de cabelo	19:25	19:35	-	-	-	-

Tabela 3. Horários de funcionamento considerados para os aparelhos na simulação do cenário 2.

Aparelho	Intervalos de uso					
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
Lâmpada fluorescente 15 W - Conjunto 1	7:00	8:00	18:00	21:00	-	-
Lâmpada fluorescente 15 W - Conjunto 2	21:00	23:00	-	-	-	-
Lâmpada fluorescente 15 W - Conjunto 3	0:00	7:00	18:00	0:00	-	-
Chuveiro elétrico 5500 W	7:30	7:45	-	-	-	-
Chuveiro elétrico 7500 W	7:10	7:25	7:30	7:45	19:00	19:25
Geladeira	0:00	0:00	-	-	-	-
Máquina lavar roupa	8:00	9:30	-	-	-	-
Microondas	12:00	12:10	-	-	-	-
Ar-condicionado 8.500 /h	22:00	0:00	0:00	7:00	-	-
Ventilador	22:00	7:00	-	-	-	-
Televisão Plasma 42"	19:00	22:00	-	-	-	-
Aparelho de som	12:00	14:00	-	-	-	-
Aparelho de DVD	19:00	21:00	-	-	-	-
Computador	19:00	20:00	-	-	-	-
Carregador de celular	22:00	0:00	0:00	1:00	-	-
Carregador de notebook	19:00	21:00	-	-	-	-
Decodificador TV a cabo	0:00	0:00	-	-	-	-
Secador de cabelo	19:25	19:35	-	-	-	-

Tabela 4. Horários de funcionamento considerados para os aparelhos na simulação do cenário 3.

Aparelho	Intervalos de uso					
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
Lâmpada LED 9 W - Conjunto 1	7:00	8:00	18:00	21:00	-	-
Lâmpada LED 9 W - Conjunto 2	21:00	23:00	-	-	-	-
Lâmpada LED 9 W - Conjunto 3	0:00	7:00	18:00	0:00	-	-
Geladeira	0:00	0:00	-	-	-	-
Máquina lavar roupa	8:00	9:30	-	-	-	-
Máquina lavar louça	14:00	16:00	-	-	-	-
Microondas	12:00	12:20	-	-	-	-
Grelha elétrica	12:00	12:15	-	-	-	-
Ar-condicionado 8.500 btu/h	22:00	0:00	0:00	7:00	-	-
Ar-condicionado 12.000 btu/h	22:00	0:00	0:00	7:00	-	-
Ar-condicionado 21.000 btu/h	22:00	0:00	0:00	7:00	-	-
Televisão LED 59"	19:00	22:00	-	-	-	-
Carregador de celular	22:00	0:00	0:00	1:00	-	-
Carregador de notebook	19:00	22:00	-	-	-	-
Roteador de internet	0:00	0:00	-	-	-	-
Decodificador TV a cabo	0:00	0:00	-	-	-	-
Secador de cabelo	19:25	19:35	-	-	-	-

A partir dos horários de funcionamento de cada aparelho e suas especificações técnicas, foram definidas as curvas de consumo de energia aparente, reativa e ativa de cada aparelho durante seus respectivos períodos de funcionamento. Para exemplificar esses cálculos, a

mostra esses consumos ao longo de um dia para o aparelho de ar-condicionado de 12.000 btu/h do cenário 3, que funciona das 22:00 às 07:00.

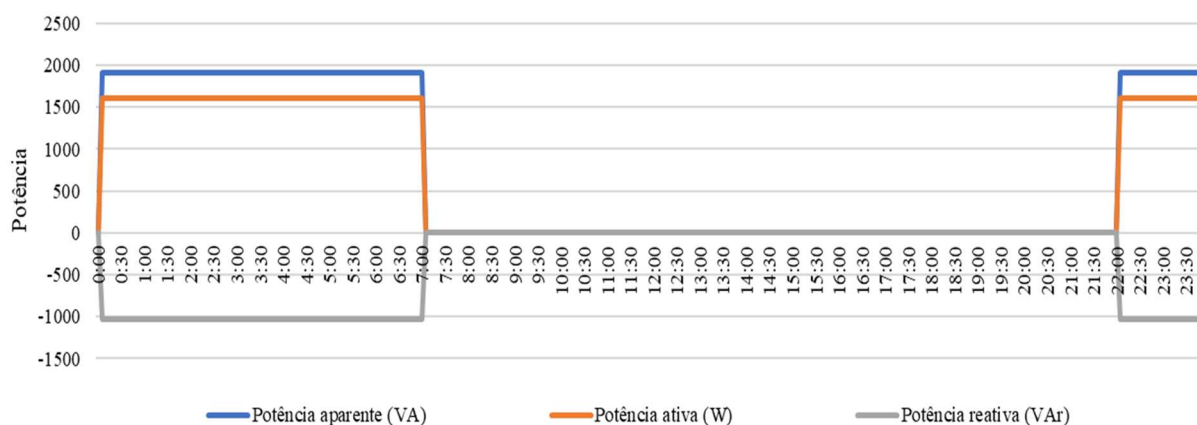


Figura 2. Consumos do ar-condicionado de 12.000 btu/h no cenário 3.

O consumo total de cada tipo de energia em cada período se dá pela soma dos consumos de cada aparelho. Lembra-se que, no caso da energia reativa, as cargas indutivas produzem consumo positivo de energia reativa, enquanto as cargas capacitivas produzem consumo negativo de energia reativa.

$$E_{aparente} = S \times t \quad (1)$$

$$E_{ativa} = P \times t \quad (2)$$

$$E_{reativa} = Q \times t \quad (3)$$

Sendo  $E_{aparente}$ ,  $E_{ativa}$ , e  $E_{reativa}$ , respectivamente, os consumos de energia aparente, ativa e reativa de um determinado aparelho ao longo de um intervalo de tempo  $t$  (tempo de uso do equipamento). Já  $S$ ,  $P$  e  $Q$  são, respectivamente, as potências aparente, ativa e reativa de um determinado aparelho.

#### 4 Resultados e discussões

Foram calculadas as curvas de consumo de cada tipo de energia em cada um dos três cenários. A seguir, apresenta-se os gráficos com esses resultados:

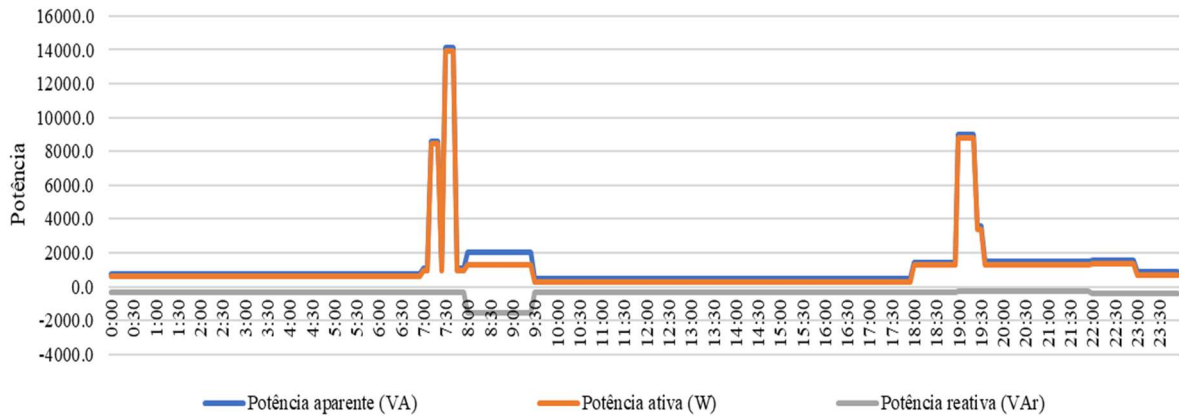


Figura 3. Curvas de consumo de cada tipo de energia no cenário 1.

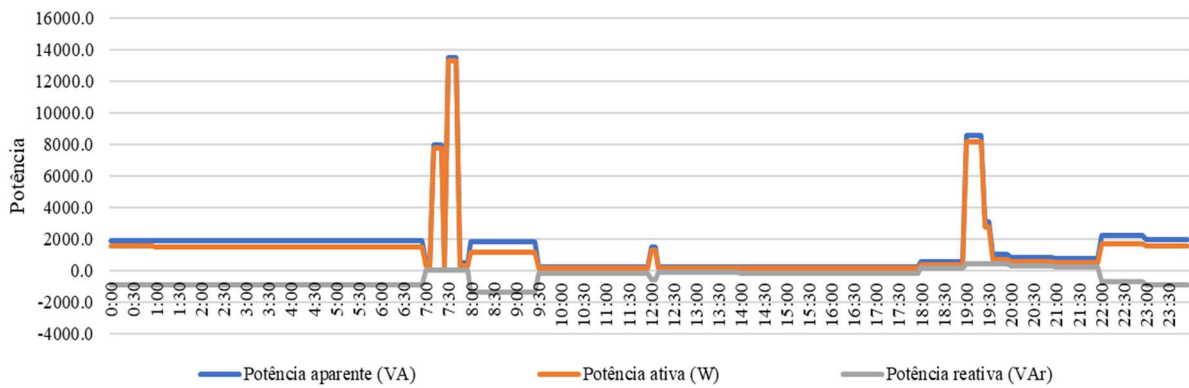


Figura 4. Curvas de consumo de cada tipo de energia no cenário 2.

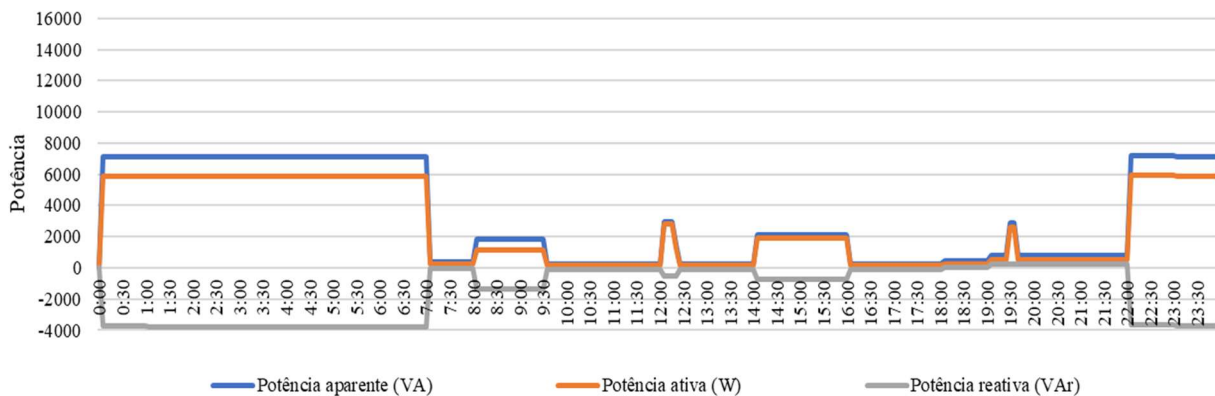


Figura 5. Curvas de consumo de cada tipo de energia no cenário 3.

A Tabela 5 mostra os resultados de algumas grandezas referentes aos consumos totais estimados ao longo de um mês para cada cenário. Neste caso, considera-se que o consumo de um dia representa o comportamento médio de consumo ao longo de um mês de 30 dias. A tabela mostra ainda a diferença percentual de cada grandeza entre um cenário e o anterior.



Tabela 5. Resumo dos resultados.

Grandeza avaliada	Cenário 1	Cenário 2		Cenário 3	
	Valor	Valor	$\Delta_{1-2}$	Valor	$\Delta_{2-3}$
Fator de potência	0.84	0.81	-3.5%	0.82	1.1%
Fator de potência médio horário	0.75	0.71	-5.3%	0.74	3.6%
Energia ativa consumida (kWh)	25.5	28.0	10.1%	62.9	124.4%
Energia reativa consumida (kVArh)	-10.1	-10.3	1.7%	-37.6	265.2%
Energia Aparente consumida (kVAh)	30.4	34.7	14.2%	76.9	121.8%
Potência ativa média (kW)	1062.5	1167.3	9.9%	2621.8	124.6%
Potência ativa máxima (kW)	13936.8	13285.6	-4.7%	5965.6	-55.1%
Potência reativa média (kVAr)	-422.8	-428.0	1.2%	-1568.7	266.5%
Potência reativa máxima (kVAr)	-298.3	420.7	-241.0%	241.4	-42.6%
Potência reativa mínima (kVAr)	-1578.5	-1385.0	-12.3%	-3771.6	172.3%
Potência aparente média (kVA)	1267.049	1442.762	13.9%	3204.367	122.1%
Potência aparente máxima (kVA)	14098.8	13465.51	-4.5%	7220.256	-46.4%

Os cenários simulados mostram um grande aumento no consumo de energia aparente (consumo total de energia) entre os cenários 2 e 3. Este aumento no consumo de energia elétrica em residências de classe média se dá, principalmente, pela relativa popularização de aparelhos de ar-condicionado. Equipamentos eletrônicos também se popularizaram nesse período, mas, por terem baixas potências, influenciam pouco neste aumento. O chuveiro elétrico, apontado como um dos grandes vilões do consumo de energia elétrica residencial, foi retirado do cenário 3 considerando sua substituição por outras formas de aquecimento de água. No entanto, os tempos de banho costumam ser muito inferiores aos tempos de uso de ar-condicionado e, portanto, a retirada dos chuveiros elétricos do cenário 3 não é suficiente para compensar o consumo dos aparelhos de ar-condicionado.

Apesar do fator de potência ter se alterado pouco entre os cenários 2 e 3, o crescimento do consumo de energia reativa (265.2%) foi muito maior que o crescimento do consumo de energia aparente (121.8%). Esse aumento desproporcional do consumo de energia reativa onera o sistema de geração de energia elétrica, mesmo não sendo considerado nas tarifas de energia residenciais.

O aumento das cargas capacitivas nos cenários mais recentes (eletrônicos de baixa potência, em geral) não são suficientes para compensar o aumento das cargas indutivas (motores, em geral) e, por este motivo, o crescimento do consumo de energia reativa é desproporcional ao consumo das demais.

O crescimento da carga indutiva máxima (potência reativa mínima) ao longo dos cenários também é relevante, pois gera um pico de demanda desta carga que exige do sistema mais capacidade instantânea para compensar essa carga.

## 5 Conclusões

A mudança recente nos hábitos residenciais de consumo elétrico é considerável. Tais mudanças, que ocorreram principalmente devido à popularização de alguns aparelhos e desuso de outros, trazem demandas aos sistemas de fornecimento de energia elétrica que não existiam há duas décadas, como o provimento de energia reativa.

O serviço de provimento de reativos já é cobrado de consumidores industriais, já que demandam estes serviços há mais tempo. No entanto, os resultados deste trabalho mostram que os consumidores residenciais também demandam estes serviços atualmente.

Como o consumo de energia reativa não é cobrado de consumidores residenciais diretamente, estes custos acabam sendo divididos entre todos os consumidores. No entanto, é possível ver nas Tabelas 1, 2 e 3 que os aparelhos com menor fator de potência, ou seja, os que demandam mais provimento de reativos, são os eletrônicos e motores. Esses aparelhos que consomem mais reativos são mais presentes em residências quanto maior for seu padrão econômico. Assim, de forma indireta, os custos derivados do consumo de reativos de residências de alto padrão acabam sendo repassados para residências de menor padrão.

Formas de cobrança de energia elétrica em residências mais precisas, levando em conta consumo de energia reativa e horário de pico, podem ser mais justas. O modelo para este tipo de cobrança já existe para

consumidores industriais, e sua implantação em residências poderia trazer benefícios ao setor elétrico brasileiro, não só cobrando valores mais justos dos consumidores, mas também incentivando a redução do consumo de pico e do uso de aparelhos com baixo fator de potência.

## Referências bibliográficas

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2021) ‘Resolução Normativa nº 1000, de 07 de dezembro de 2021’. Brasília.

Ahmad, A, Kashif, SAR, Saqib, MA, Ashraf, A, Shami, UT (2019) ‘Tariff for reactive energy consumption in household appliances’, *Energy*, v. 186, p. 115818.

Andreoli, AL (2005) *Controlador de demanda e fator de potência de baixo custo para unidades consumidoras de energia elétrica*. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista, Bauru.

Ayres, IC, Pereira, PRS (2020) ‘Modelagem de motores assíncronos via bancada didática com diferentes métodos de acionamentos e simulação de impactos na rede elétrica de uma planta industrial real’, artigo apresentado no Congresso Brasileiro de Automática – CBA.

Blanchon, G, Girard, N, Logeay, Y, Meslier, F (1987) ‘New developments in planning of reactive power compensation devices’ *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 2, n. 3, pp. 764-771.

CEMIG (2020) ‘Potência média de aparelhos residenciais e comerciais’ Disponível em: <[www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/10/POTENCIA-MEDIA-DE-APARELHOS-RESIDENCIAIS-E-COMERCIAIS.pdf](http://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/10/POTENCIA-MEDIA-DE-APARELHOS-RESIDENCIAIS-E-COMERCIAIS.pdf)> (acesso em 06 de julho de 2020).

Chagury, M, Silveira, NS, Almeida, IA, Furlan, H (2016) ‘Estimação da eficiência energética no torneamento utilizando o fator de potência’ artigo apresentado no XI Workshop de Pós-graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza.

Costa, ACC, Pinheiro, VCN, Pegoreti, TC, Coiado, LC, Francato, AL (2018) ‘Recent changes in brazilian electricity demand and its effects on load level definition’ artigo apresentado no Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE.

Costa, BA, Borges, FQ (2021) ‘Gestão Pública de Energia e Planejamento Integrado de Recursos: Uma Contribuição à Sustentabilidade Energética no Pará’ *Desenvolvimento em Questão*, v. 19, n. 57, pp. 7-26.

Genuino Junior, AP, Carreiro, FS, Oliveira, RL (2022) ‘Eficiência energética: Como corrigir o fator de potência’ *Arquitetura e engenharia civil contemporânea: inovação, tecnologia e sustentabilidade 2*. <<http://doi.org/10.47573/aya.5379.2.61.9>>.

Gil, JB, San Román, TG, Rios, JA, Martin, PS (2000) ‘Reactive power pricing: A conceptual framework for remuneration and charging procedures’ *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 15, n. 2, pp. 483-489.

Kornilov, G, Nikolaev, AA, Kovalenko, AY, Kuznetsov, EA (2008) ‘Means and trends of reactive power management at large ironworks’ *Russian Electrical Engineering*, v. 79, n. 5, pp. 248-253.

Mandal, KK, Kar, B, Pal, D, Basu, M, Chakraborty, N (2005) ‘Reactive power pricing in a deregulated electricity industry’ artigo apresentado na International Power Engineering Conference.

Mattos, LBD, Lima, JED (2005) ‘Demanda residencial de energia elétrica em Minas Gerais: 1970-2002’ *Nova Economia*, v. 15, pp. 31-52.

Menezes, FOS, Guimarães, MDA (2022) ‘Os impactos socioambientais das fontes geradoras de energia alternativa nas comunidades do entorno dos parques eólicos da Serra da Babilônia e da Força Eólica do Brasil’ *REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 39, n. 1, pp. 328-349.

Ministério de Minas e Energia – MME (2015) ‘Nota Técnica DEA 01/15. Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta’. Rio de Janeiro.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME (2022) ‘Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica’ Disponível em: <[www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/procel-programa-nacional-de-conservacao-de-energia-eletrica-1](http://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/procel-programa-nacional-de-conservacao-de-energia-eletrica-1)> (acesso em 14 de abril de 2022).

Moura, AP, Moura, AAF, Rocha, EP (2019) *Engenharia de sistemas de potência: transmissão de energia elétrica em corrente alternada*. Fortaleza: Edições UFC.

Nunes, RV. *Análise da penetração harmônica em redes de distribuição desequilibradas devido às cargas residenciais e comerciais com a utilização do ATP*. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Pimentel, PAM. *Correção do fator de potência: estudo de viabilidade da Implantação de um banco capacitor na Universidade do Estado do Amazonas*. Monografia (trabalho de conclusão de curso), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus.

– Escola Superior De Tecnologia. 2019.

Pinheiro, VCN (2020) *Despacho Ótimo De Sistemas Elétricos Com Armazenamento De Energia Para Fontes Intermitentes De Geração No Brasil*. Tese (doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Pinheiro, VCN, Francato, AL, Powell, WB (2020) ‘Reinforcement learning for electricity dispatch in grids with high intermittent generation and energy storage systems: A case study for the Brazilian grid’ *International Journal of Energy Research*, v. 44, n. 11, pp. 8635-8653.

Pomilio, JÁ (2007) ‘Compensação capacitiva e filtros passivos em redes secundárias – Parte 2’ *O Setor Elétrico*, pp. 18 – 20.

Pomilio, JÁ (2007) ‘Pré-reguladores de Fator de Potência’ *Publicação FEE*, v. 3, pp. 95.

Reffas, O, Sahraoui, Y, Nahal, M, Ghoul, RH, Saad, S (2020). ‘Reactive energy compensator effect on the reliability of a complex electrical system using Bayesian networks’ *Eksploatacja i Niezawodność*, v. 22, n. 4.

Rios, F, Curi, GS., Chaves, FS, Silva, AV (2014) ‘O fator de potência em unidades consumidoras residenciais’ *e-xacta*, v. 7, n. 1, pp. 1-11.

Rodríguez, YM, Saavedra, OR, Prada, RB (2007) ‘Minimização do custo do serviço de potência reativa fornecida pelos geradores levando em conta a reserva de potência: uma abordagem evolutiva’ *Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automática*, v. 18, n. 2, pp. 199-209.

Santos, JN (2006) ‘Compensação do factor de potência’ Disponível em: <[https://web.fe.up.pt/~jns/material\\_didatico/CorrecaoFactorPotenciaFinal.pdf](https://web.fe.up.pt/~jns/material_didatico/CorrecaoFactorPotenciaFinal.pdf)> (acesso em 06 de julho de 2020).

Schmidt, CAJ, Lima, MA (2004) ‘A demanda por energia elétrica no Brasil’ *Revista Brasileira de Economia*, v. 58, pp. 68-98.

Schwertner, AA, Mai, LS, Schonardie, MF (2017) ‘Correção ativa do fator de potência em fontes chaveadas’ artigo apresentado no Simpósio Salão do Conhecimento.

Tristão, ST (2019) ‘Correção do fator de potência e eficiência energética em novos equipamentos de linhas de serrarias’ Monografia (trabalho de conclusão de curso), Centro Universitário UNIFACVEST, Lages.