



## CONTROLE DE CARGA PARA GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL<sup>1</sup>

Marcos Alan Pott<sup>2</sup>, Jordan Passinato Sausen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa desenvolvido na Unijuí.

<sup>2</sup> Marcos Alan Pott, Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, marcos.pott@sou.unijui.edu.br.

<sup>3</sup> Jordan Passinato Sausen, Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, jordan.sausen@unijui.edu.br.

### RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar e comparar os custos de energia elétrica em uma residência utilizando os modelos tarifários convencionais e tarifa branca, adotando uma abordagem inovadora ao segregar e gerenciar individualmente as cargas dentro da residência. Isso permite uma análise mais precisa e personalizada do consumo de energia, destacando assim, as possibilidades de otimização e economia. Além de abordar os desafios associados à implementação da tarifa branca, como a resistência dos consumidores à mudança de hábitos. O estudo define quatro cenários de simulação baseados em dados de consumo de energia elétrica residencial, em dois modelos tarifários, tarifa convencional e tarifa branca. No cenário 4, que respeitou completamente as restrições de consumo, foi possível observar que uma maior flexibilidade na manipulação das cargas resultou em economias significativas. Cenário este, que apresentou uma economia máxima de até 10,80% nos custos de energia quando comparado ao cenário 1, cenário base, destacando o potencial benefício de permitir maior flexibilidade de carga. As simulações foram realizadas utilizando o software MATLAB, que permitiu modelar detalhadamente os diferentes cenários de consumo e tarifação. Os resultados foram analisados separadamente para cada cenário, comparando os custos energéticos e os padrões de consumo. A análise revelou que a tarifa branca oferece potencial para economias significativas, dependendo do comportamento dos consumidores e da capacidade de ajustar seus hábitos para horários de menor demanda. Observou-se que, nos cenários onde a carga foi deslocada para horários fora de ponta, os custos de energia foram significativamente reduzidos em comparação ao modelo tarifário convencional. Este estudo destaca a importância da resposta à demanda e a eficácia do gerenciamento de carga distribuída.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de cargas. Gestão de energia. Energia elétrica residencial.

### ABSTRACT

This study aims to analyze and compare residential electricity costs using conventional tariff models and the white tariff, adopting an innovative approach by individually segregating and managing household loads. This allows for a more precise and personalized analysis of energy consumption, highlighting the possibilities for optimization and savings. It also addresses the challenges associated with the implementation of the white tariff, such as consumer resistance to changing habits. The study defines four simulation scenarios based on residential electricity consumption data, using two tariff models: conventional tariff and white tariff. In Scenario 6, which fully adhered to consumption restrictions, greater flexibility in load manipulation resulted in significant savings. This scenario showed a maximum energy cost saving of up to 10.80% compared to Scenario 1, the baseline scenario, highlighting the potential benefit of



allowing greater load flexibility. The simulations were conducted using MATLAB software, which enabled detailed modeling of different consumption and tariff scenarios. The results were analyzed separately for each scenario, comparing energy costs and consumption patterns. The analysis revealed that the white tariff offers significant potential for savings, depending on consumer behavior and their ability to adjust habits to off-peak times. It was observed that in scenarios where the load was shifted to off-peak times, energy costs were significantly reduced compared to the conventional tariff model. This study underscores the importance of demand response and the effectiveness of distributed load management.

**Keywords:** Load management. Energy management. Residential electricity.

## INTRODUÇÃO

A eficiente gestão da energia elétrica em residências é uma preocupação crescente tendo em vista os grandes desafios da sustentabilidade e da procura por economia financeira. Seguindo este contexto, o controle de cargas surge como uma estratégia fundamental para otimizar custos com a energia elétrica em residências, quando considerado diferentes modelos tarifários.

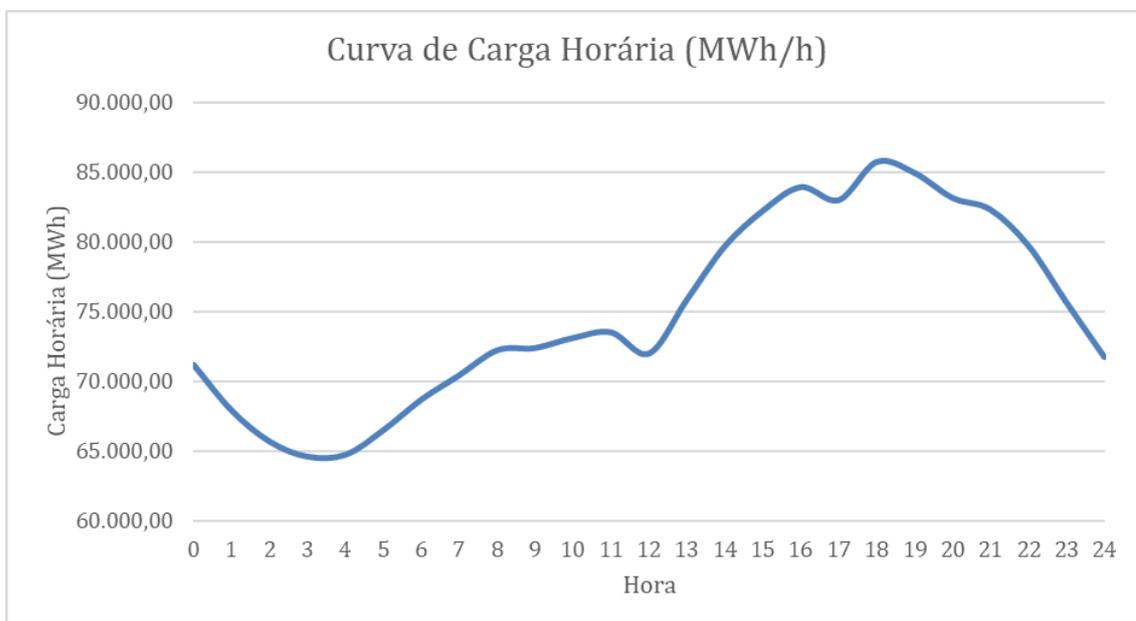
Nesse sentido, o controle de carga é uma abordagem eficaz para gerenciamento do consumo de energia, essa abordagem permite que os usuários realizem ajustes em seus padrões de uso para evitar o desperdício de energia (SANTIN; DIAS; SOUZA, 2018). Ao aplicar estratégias como o agendamento de tarefas e o uso de dispositivos inteligentes, os residentes podem reduzir picos de demanda e otimizar o aproveitamento da energia disponível. A implantação da tarifa branca como uma segunda opção de modelo tarifário oferecendo novas alternativas aos consumidores, dessa forma, os incentivam a alterar e adaptar os hábitos de consumo de acordo com as variações de preço decorrentes ao longo do dia (ANEEL, 2024).

A gestão eficiente de energia elétrica em residências é uma questão cada vez mais relevante, tanto para reduzir os custos quanto para promover a sustentabilidade ambiental. Além disso, a automação residencial tem se tornado uma tendência crescente, oferecendo mais conforto, segurança e comodidade aos moradores. Por essa razão, torna-se relevante a abordagem do tema do gerenciamento e controle de carga residencial, buscando otimizar o consumo de energia elétrica e para garantir a eficiência energética nas residências e também reduzir os custos (OHI, 2023).



A análise da Figura 1 justifica a relevância deste estudo, pois ao compreender e pôr em prática as vantagens da tarifa branca, tornasse possível o gerenciamento e o controle de carga distribuído. O que possibilita uma gestão inteligente e eficiente da energia elétrica, adaptando às necessidades dos moradores e otimizando o consumo em momentos onde o custo da tarifa é menor, o que vai depender única e exclusivamente do modelo de cobrança da tarifária (ONS, 2023).

Figura 1 - Perfil de energia elétrica do sistema Brasileiro



Fonte: ONS (2023).

A estrutura tarifária diferenciada, conhecida como tarifa branca, a mesma busca promover a eficiência energética e a redução dos custos da energia para os consumidores que conseguem se adaptar e deslocar seu consumo para horários fora dos períodos de maior demanda. Foi implementada em diversos países como uma estratégia para a gestão da demanda. Denominada de tarifa branca, esse método de faturamento oferece diferentes preços para a energia consumida em distintos períodos do dia: ponta, intermediário e fora de ponta, conforme mostra a Figura 2.

A adesão à Tarifa Branca requer a formalização da opção junto à distribuidora, e a disciplina no gerenciamento do consumo é crucial para otimizar os benefícios. É indicado comparar as duas tarifas por meio de simulações com base nos hábitos de consumo ou com





- Estratégias de gestão da demanda: Adoção de abordagens como *load-shaping*, que incluem o uso de reservas térmicas ou ajustes nos perfis de demanda para otimizar o consumo;
- Automação: Implementação de equipamentos com controles avançados, como Sistemas de Gerenciamento de Energia (SGRE), para proporcionar maior eficiência e automação no consumo;
- Geração distribuída: Exploração de aplicações de Geração Distribuída (GD), incorporando fontes de energia descentralizadas para diversificar e melhorar a confiabilidade do suprimento.

## METODOLOGIA

A estratégia investigativa deste estudo se baseia em uma abordagem quantitativa, empregando simulações computacionais com o intuito de modelar e analisar o consumo de energia elétrica. Essa abordagem possibilita a construção de cenários hipotéticos que refletem as condições concretas de consumo em residências, levando em conta diferentes variáveis, tais como horários de utilização, tipos de dispositivos e preferências dos usuários.

A primeira etapa envolve o planejamento inicial do estudo, na qual são definidas etapas como os objetivos, escopo e metodologia da pesquisa. Além de incluir a revisão da literatura, o objetivo é identificar lacunas no conhecimento e demonstrar qual é o atual estado das técnicas de controle de cargas para a gestão de energia elétrica residencial.

Dados de consumo de energia elétrica são analisados a partir de registros históricos e estudos existentes. Esses dados fornecem informações detalhadas sobre os padrões de uso de energia, essenciais para a criação de perfis de carga precisos.

Com base nos dados coletados, são desenvolvidos perfis de carga que refletem os hábitos de consumo dos residentes. Isso inclui identificar os principais aparelhos e dispositivos que consomem energia, suas potências e horários de uso.

Para a criação dos novos perfis de carga, será utilizado o software *MATLAB*, da empresa *MathWorks*, para as funções de números randômicos e um perfil de carga determinado manualmente. Essa abordagem permite simular diversos cenários de consumo, ajustando os padrões de uso de acordo com diferentes variáveis e gerando dados para análise comparativa.



Serão desenvolvidos cenários baseados em diferentes padrões de uso e tarifas de energia. Essa abordagem permitirá avaliar como as diferentes estratégias de consumo podem impactar os custos e a eficiência energética. Os cenários incluem variações como horários de uso de aparelhos e adaptação ao preço da energia.

A implementação das simulações permitirá comparar os diferentes resultados obtidos através dos modelos tarifários de tarifa convencional e tarifa branca. As simulações utilizam os perfis de carga e modelos matemáticos desenvolvidos para calcular o consumo de energia e os custos associados em cada cenário.

Os resultados das simulações serão avaliados para determinar a eficácia de cada modelo tarifário em relação aos cenários criados. Esta análise explora variáveis como custos de energia, picos de demanda, eficiência energética e impacto na rede elétrica.

Na etapa de conclusão serão sintetizadas as principais constatações inferidas dos resultados, bem como as recomendações para trabalhos futuros, de modo a instigar e ampliar a aplicabilidade desta pesquisa.

Este estudo baseia os perfis de cargas elétricas baseados nos dados apresentados por Ohi (2018). Esses dados apresentam uma média para o consumo de diferentes eletrodomésticos e dispositivos existentes em uma residência típica. A Tabela 2 trabalha com a classificação de cargas elétricas controláveis e não controláveis, o que é imprescindível para a implementação das estratégias de gerenciamento de energia.

O meio utilizado para simular os diferentes cenários de consumo e tarifação, é através do uso de números randômicos, que refletem em variações de consumo diárias na maneira em que cada dispositivo é usado. A presente abordagem é corroborada por estudos que destacam a importância de considerar a variabilidade e a imprevisibilidade do consumo energético residencial para obter uma modelagem mais precisa e realista (GELLINGS; SAMOTYJ, 2013).

Neste contexto, a simulação computacional irá considerar uma estrutura tarifária de valor fixo para o consumo de energia elétrica durante todo o dia. O propósito é avaliar detalhadamente o perfil de consumo e os custos relacionados, na ausência de quaisquer incentivos para deslocar o consumo para períodos de menor demanda na rede.







Tabela 2 – Conjunto de informações para o cenário com cargas originais

ID	Descrição	$\Delta t$	P	ideal	$\alpha_a$	$\beta_a$	$R_n$	Cor
1	Carga 1	50	0,35	08	07	15	0,1	Azul Escuro
2	Carga 2	105	2,36	16	14	22	0,1	Azul Marinho
3	Carga 3	95	0,36	18	14	23	0,5	Azul
4	Carga 4	130	0,61	10	07	15	0,3	Azul Claro
5	Carga 5	160	0,39	18	17	23	0,7	Verde
6	Carga 6	150	0,79	17	15	23	1,0	Amarelo
7	Carga 7	120	0,77	20	18	23	1,0	Laranja
8	Carga 8	65	0,88	06	04	12	1,0	Vermelho
9	Carga 9	80	0,77	14	10	18	0,3	Marrom

Fonte: (OHI, 2018).

O presente estudo, por meio da aplicação de números randômicos, criou mais dois novos conjuntos de cargas e um conjunto definido manualmente, totalizando quatro análises distintas. A primeira e a segunda análises foram realizadas sobre o conjunto de dados original, utilizando, respectivamente, a tarifa convencional e a tarifa branca.

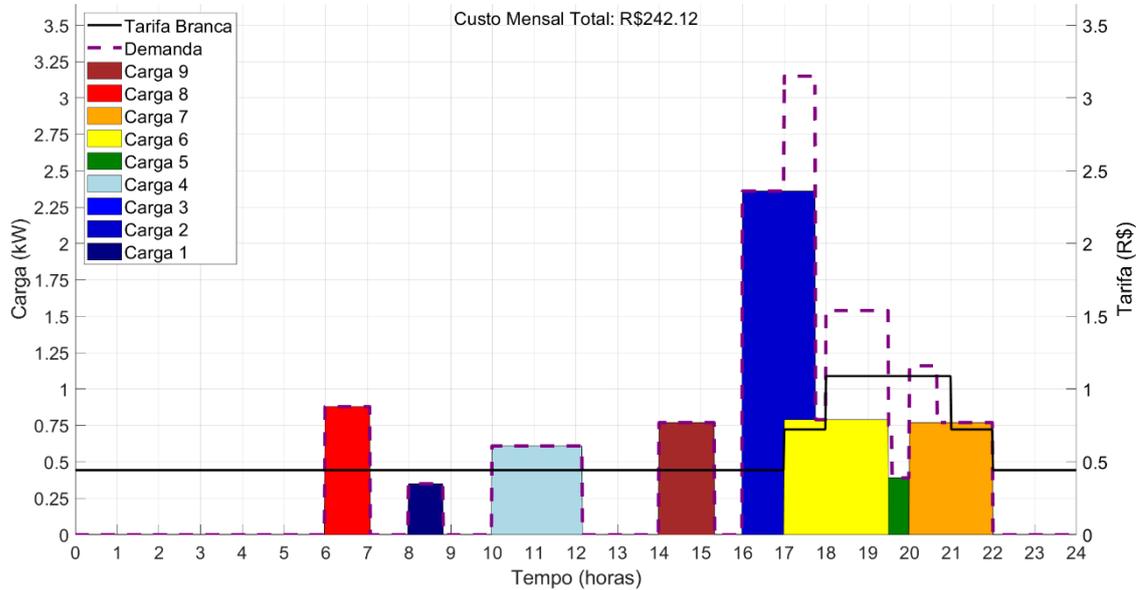
O cenário 3 foi elaborado através da aplicação de um modelo matemático para realizar a distribuição aleatória das cargas baseado em números randômicos, respeitando os limites estabelecidos de hora máxima e mínima. O conjunto do cenário 4 foi definido manualmente, visando a redução máxima de custos possíveis. Já que as cargas não foram alteradas, mas sim deslocadas para outros horários, essas análises foram simuladas exclusivamente sob a tarifa branca, com o intuito de verificar se, em algum destes cenários, o custo seria inferior ao apresentado inicialmente pela primeira análise com a tarifa convencional.

Para a criação dos novos conjuntos de cargas, foram utilizadas técnicas de geração de números randômicos, com os objetivos de assegurar a variabilidade e o realismo dos perfis de consumo. Cada um dos quatro conjuntos foi ajustado para refletir diferentes padrões de uso de energia elétrica, possibilitando uma abrangente análise das vantagens e desvantagens de cada modelo tarifário. A análise detalhada desses cenários tem como objetivo identificar oportunidades de economia de custos e otimização do consumo energético, promovendo maior eficiência na gestão da energia residencial.





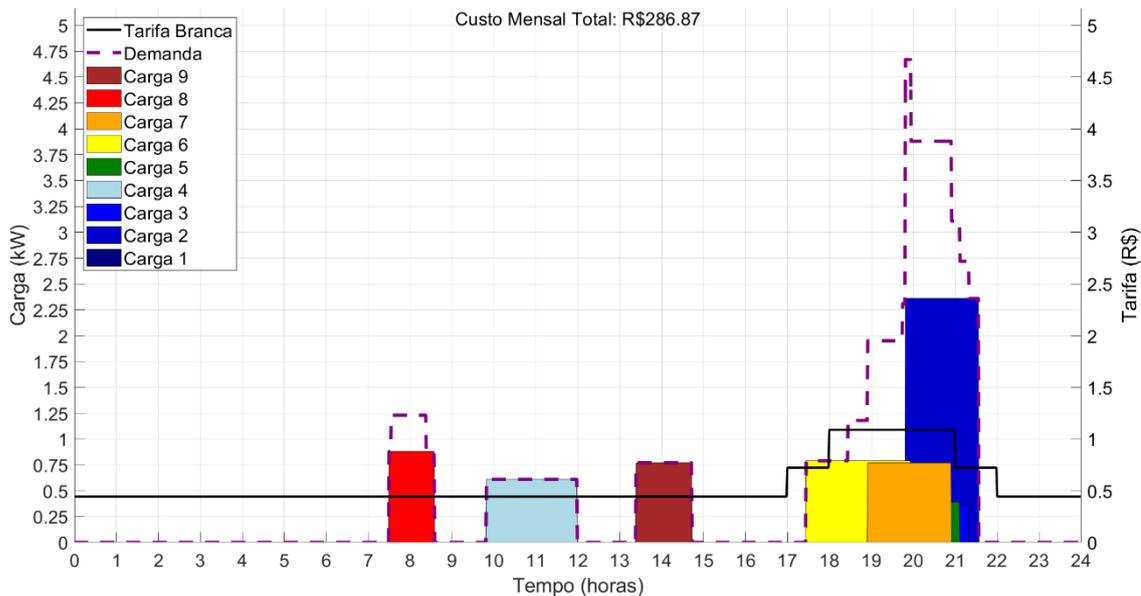
Figura 4 – Cenário 2: Conjunto original - tarifa branca



Fonte: Autores (2024).

No Cenário 3, foi utilizado o segundo conjunto aleatório sem restrições de horário, analisado com a tarifa branca. Os resultados, apresentados na Figura 5, indicam um gasto total de R\$286,87, valor 34,90% superior ao conjunto original com tarifa convencional. Este cenário destaca a importância de um gerenciamento eficaz de cargas para evitar aumentos substanciais nos custos de energia.

Figura 5 – Cenário 3: Conjunto aleatório - tarifa branca



Fonte: Autores (2024).







do sistema elétrico brasileiro. O deslocamento de cargas, respeitando os limites impostos pelo consumidor, demonstrou ser eficaz na redução de custos com a tarifa branca.

O gerenciamento de cargas, seja por método de números randômicos ou manualmente, mostrou-se essencial para otimizar o consumo de energia e reduzir custos. Deslocar o uso de dispositivos para horários de menor custo na tarifa branca não só reduz gastos, mas também contribui para a estabilidade da rede elétrica, evitando picos de demanda. Esses resultados ressaltam a importância de um gerenciamento de carga eficaz para maximizar os benefícios econômicos da tarifa branca sem comprometer o conforto do consumidor.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente estudo teve como objetivo comparar e analisar os custos da energia elétrica em uma residência, para a tarifa convencional e a tarifa branca, através do uso de diferentes cenários de consumo, buscando a avaliação da viabilidade econômica e da eficiência energética. Diferente de outros estudos que utilizaram apenas curvas típicas de consumo, este trabalho se destaca pela abordagem de segregação de cargas por um conjunto específico, permitindo um gerenciamento individualizado das cargas dentro da residência. Isso possibilita uma análise mais precisa e personalizada do consumo de energia, evidenciando as oportunidades de otimização, economia e as limitações dos modelos tarifários abordados.

De início, constata-se que quando os consumidores conseguem adaptar seus hábitos de consumo para momentos fora de pico, a tarifa branca oferece um grande potencial para a redução de custos da conta de energia elétrica. As simulações demonstram de forma clara e concisa que a eficácia da tarifa branca depende quase, que exclusivamente, do comportamento dos consumidores e da capacidade de alterar seus padrões de consumo. Nos cenários em que as cargas foram deslocadas para períodos de menor tarifa, geraram economias significativas em comparação com a tarifa convencional.

Destaca-se que no cenário em que as restrições de consumo foram seguidas, (cenário 4), houve uma economia máxima de até 10,80%, evidenciando o benefício de permitir maior flexibilidade de carga. Em contraste, o cenário 3 obteve o pior gerenciamento das cargas, resultando em um custo de energia 34,90% maior quando comparado ao cenário 1. Esses



