



## Aceitação dos consumidores em relação ao gerenciamento inteligente do consumo de energia elétrica

### Consumer acceptance of intelligent electricity consumption management

João Paulo Danielo Fachin<sup>1</sup>, Izabela Teixeira Panosso<sup>2</sup>, Fernando José Avancini Schenatto<sup>3</sup>, Géremi Gilson Dranka<sup>4</sup>, Vanderlei Aparecido de Lima<sup>5</sup>.

#### RESUMO

Com o objetivo de otimizar a operação dos sistemas de geração de energia elétrica, as Redes Inteligentes emergem como uma abordagem para o gerenciamento pelo lado da demanda, viabilizando ajustes nos horários de uso de dispositivos. Nesse contexto, este artigo apresenta uma análise estatística dos dados obtidos por meio de um questionário aplicado a uma amostra de 400 pessoas, com o propósito de compreender os padrões de consumo de energia elétrica em uma parcela da população do estado do Paraná. Para analisar os dados, utilizou-se o software RStudio, e a análise de correlação foi a principal ferramenta para se analisar o questionário dos respondentes. A análise estatística teve como objetivo identificar as variáveis-chave (demográficas, socioeconômicas e comportamentais) que impactam no consumo de energia elétrica, bem como proporcionar uma visão geral de como as pessoas reagiriam a aquisição do sistema inteligente de gerenciamento de energia elétrica. Os resultados destacam os principais fatores que influenciam as respostas dos participantes, fornecendo insights valiosos para compreender o comportamento dos consumidores.

**PALAVRAS-CHAVE:** eficiência energética; gerenciamento pelo lado da demanda; correlação; redes inteligentes de energia elétrica.

#### ABSTRACT

In order to optimize the operation of electrical power systems, Smart Grids have emerged as a promising solution for demand-side management, facilitating dynamic adjustments in device usage schedules. This study presents a statistical analysis of data collected via a structured questionnaire distributed to a demographically representative sample of 400 individuals. The primary objective is to comprehensively explore electricity consumption patterns within a defined population segment situated in the state of Paraná. Data analysis was conducted using the RStudio software, with an emphasis on correlation analysis as the analytical approach applied to scrutinize the questionnaire responses provided by participants. The statistical analysis aimed to identify key demographic, socioeconomic, and behavioral variables shaping electricity consumption behavior, providing a comprehensive perspective on how individuals in this context might respond and adapt to an intelligent energy management system. The findings underscore the primary factors that shape participants' responses, offering valuable insights for comprehending consumer behavior.

**KEYWORDS:** energy efficiency; demand-side management; correlation; smart grid.

<sup>1</sup> Estudante no Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: joaofachin.2001@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 4442082576353179.

<sup>2</sup> Bolsista de Iniciação Científica: CNPQ. Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: izabela@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 8843946274126035.

<sup>3</sup> Docente no Curso de Engenharia Elétrica/Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: schenatto@utfpr.edu.br. ID Lattes: 8254799739887550.

<sup>4</sup> Docente no Curso de Engenharia Elétrica/Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: geremidranka@professores.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3004093329141780.

<sup>5</sup> Docente no Curso de Química/Departamento de Química Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: valima@utfpr.edu.br. ID Lattes: 9090461949264421.



## INTRODUÇÃO

A suavização da curva de carga dos Sistemas Elétricos de Potência (SEP) representa um desafio crucial no cenário energético global. Devido aos padrões variáveis de consumo da população, a demanda por energia elétrica atinge picos recorrentes, em horários de maior utilização, exigindo aumentos significativos na geração de energia elétrica e capacidade instalada dos SEPs. Mesmo em países como o Brasil, com níveis altos de geração de energia renovável, faz-se necessário o acionamento de usinas termoeletricas para atender a demanda de energia elétrica em horários de pico. Essa conjuntura não se apresenta como a ideal, uma vez que grande parte das termoeletricas apresentam altos níveis de poluição, além de custo elevado para sua ativação e manutenção (EISSA, 2019).

Com o objetivo de aliviar o sistema de geração, as Redes Inteligentes (no Inglês, *Smart Grids* - SGs) surgem com um propósito de realizar o gerenciamento de demanda por meio de ações que buscam promover a conservação de energia nas unidades consumidoras, podendo deslocar horários de utilização de equipamentos (OLIVEIRA LUNA, 2021). Essas medidas são implementadas com o propósito de reduzir as demandas de pico, suavizando a curva de carga e, conseqüentemente, minimizando a necessidade de geração de eletricidade a partir de fontes mais dispendiosas, como as termoeletricas.

No Brasil, com o objetivo de compreender a percepção da população em reação ao potencial de gerenciamento pelo lado da demanda no setor residencial, Oliveira Luna (2021) conduziram uma pesquisa por meio de questionário aplicado a alunos e docentes da Universidade Federal de Santa Catarina. Essa pesquisa contou com uma amostra de 384 participantes que responderam ao questionário, e a conclusão apontou que a maioria dos entrevistados se mostrou favorável à implementação de um sistema inteligente de gerenciamento de energia, desde que isso resultasse na redução do valor da fatura de energia elétrica. Além disso, esses autores (Oliveira Luna, 2021) ressaltaram a necessidade de se realizar pesquisas em outras regiões do Brasil, dado que as opiniões da população podem variar de acordo com a região do país.

Acerca desse tema, o continente europeu se destaca em termos de pesquisas realizadas sobre o consumo inteligente de energia elétrica. Em Portugal, Ferreira (2018) realizaram um questionário com estudantes de uma universidade do país, concluindo que a maioria dos respondentes estaria disposta a alterar seus padrões de consumo, desde que houvesse incentivos financeiros e/ou medidas que favorecessem a preservação do meio ambiente. Já os resultados obtidos em Li (2017), por meio de um questionário realizado na Holanda, são ainda mais promissores, mostrando que as pessoas estariam dispostas, inclusive, a permitir que o sistema de gerenciamento inteligente desligasse equipamentos de climatização como aquecedores e aparelhos de ar-condicionado.

Na presente pesquisa, conduziu-se um estudo com o objetivo de avaliar a percepção dos consumidores da região sudoeste do Paraná, no município de Pato Branco, em relação às ações de gerenciamento inteligente do consumo de energia elétrica. O questionário utilizado foi construído com base em questionários já existentes na literatura (OLIVEIRA LUNA, 2021; FERREIRA, 2022), sendo melhorado com um conjunto de perguntas e respostas relevantes para o contexto local. Este artigo se concentra exclusivamente na apresentação dos métodos utilizados na análise estatística dos dados obtidos por meio do questionário. Portanto, o foco não será na apresentação dos resultados e discussões sobre as conclusões da pesquisa. A análise de dados não apenas busca entender a aceitação



geral das respostas, mas também procura identificar conexões entre elas para identificar padrões em grupos com características semelhantes. O artigo está estruturado em quatro partes: introdução, materiais e métodos, resultados e discussões, e conclusão.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As principais etapas realizadas na pesquisa constam da revisão da literatura, elaboração e publicação do questionário, coleta, análise estatística dos dados, escrita do artigo e confecção do relatório da Iniciação Científica (Figura 1). A análise estatística foi realizada com base no questionário “Gestão Inteligente de Consumo de Energia Elétrica: Percepção dos Consumidores”<sup>6</sup>, utilizando o software Excel para organizar os dados, tornando-os adequados para posterior análise no software RStudio. Os dados foram coletados durante o período de 29 de março a 29 de abril de 2023 e, segundo o artigo 1º da Resolução CNS n.º 510 de 2016, em seu artigo 2º, pesquisas de opinião pública com participantes não identificados, não devem ser submetidos à avaliação do Sistema CEP/Conep.

Figura 1 – Fluxograma das principais etapas da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para simplificar, serão apresentados somente os acrônimos das questões, onde a questão 11 é dada por Q11, por exemplo. Algumas questões (Q17, Q18 e Q19), passaram por um pré-processamento durante a análise de dados no RStudio. Essas questões envolviam três níveis de atraso e adiantamento (1h, 2h e 3h) no uso da máquina de lavar roupas, secadora de roupas e lavadora de louças. Os participantes deveriam indicar seu grau de concordância com essas mudanças de horário. Cada uma dessas questões foi subdividida em seis partes, identificadas com acrônimos como Q17AD3 (adiantar 3 horas na Q17) e Q18AT3 (atrasar 3 horas na Q18).

As questões Q21 e Q22 referem-se, respectivamente, ao aumento e à redução da temperatura do ar-condicionado, enquanto a questão Q24 trata da diminuição da temperatura do chuveiro elétrico. Para estas questões, há a opção de indicar a concordância para duas faixas de variação, isto é, aumentar ou diminuir em 1º a 3º C e em 4º C ou mais. Da mesma forma que nas questões relacionadas às mudanças de horários, estas questões foram subdivididas conforme exemplos: a Q21 sobre o aumento de 4º C é referida como Q21A4 e a Q24 sobre a diminuição de 1º a 3º C é identificada como Q24D1.

Com estas adaptações e as respostas dispostas em uma planilha do excel, os dados foram importados para as análises de correlação no Rstudio. A principal ferramenta

<sup>6</sup> Questionário: Gestão Inteligente de Consumo de Energia Elétrica: Percepção dos Consumidores <https://forms.gle/Mh9D4o3Fu2MTNC587>.



utilizada para a análise foi o coeficiente de correlação de Kendall, que permite avaliar como uma variável está correlacionada com as demais. Esse coeficiente foi calculado para cada par de variáveis, auxiliando na identificação das relações mais relevantes. A análise pode ser feita de forma isolada, comparando pares específicos, ou de forma mais abrangente, por meio de uma matriz de correlação<sup>7</sup>.

Juntamente com o coeficiente de Kendall, o valor da probabilidade  $p$  ( $p$ -value) será usado para analisar a significância estatística das correlações entre variáveis. Segundo Walpole (2009), o valor  $p$  indica o nível mais baixo de significância de teste. No estudo, um  $p$ -value menor ou igual a 0,05 é considerado significativo, conforme padrão comum em análises estatísticas. Dessa forma, este valor ajuda a determinar a significância das respostas dos entrevistados e o coeficiente de Kendall mostra a força da correlação, variando de -1 (maior tendência de discordância) a 1 (maior tendência de concordância).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra os valores de  $p$  e os coeficientes de correlação de Kendall para pares de questões considerados importantes na pesquisa que contou com uma amostra de 400 pessoas. Neste contexto, as perguntas mais pertinentes abordam a aceitação e o comportamento da população em relação a um dispositivo que controla seus equipamentos elétricos. (Q11, Q12, Q14, Q15 e Q16).

Tabela 1 – Valores de  $p$  e coeficientes de correlação de Kendall.

Questão A	Questão B	Valor de $p$	Coefficiente de Correlação
Q4 (idade)	Q9 (responsável pelo pagamento da fatura)	0,00001	0,4010
Q11 (estímulo financeiro)	Q23 (duração do banho)	0,00001	0,3058
Q11 (estímulo financeiro)	Q14 (teria o dispositivo)	0,00001	0,2497
Q14 (teria o dispositivo)	Q12 (estímulo ambiental)	0,00001	0,2398
Q10 (valor da fatura)	Q11 (estímulo financeiro)	0,0263	0,1111
Q3 (sexo)	Q12 (estímulo ambiental)	0,00001	-0,2910
Q3 (sexo)	Q14 (teria o dispositivo)	0,0009	-0,1652
Q4 (idade)	Q16 (autoriza o dispositivo)	0,004	-0,1437
Q5 (escolaridade)	Q16 (autoriza o dispositivo)	0,0179	-0,1183

Fonte: Elaborado pelo autor.

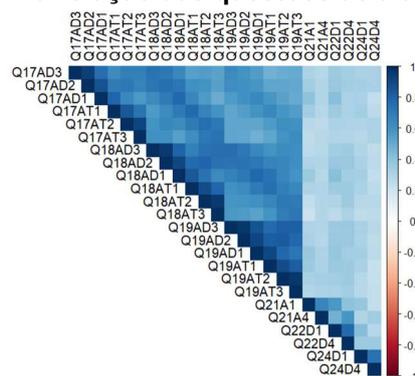
Analisando a Tabela 1, pode-se concluir que:

<sup>7</sup> A matriz de correlação ilustra a relação entre diferentes variáveis de um estudo, mostrando como uma característica de um indivíduo se relaciona com a resposta dada a uma determinada pergunta. Cada célula na matriz representa a correlação entre a variável da linha e a variável da coluna correspondentes.

- Com base na correlação entre Q9 (responsável pelo pagamento da fatura de energia) e a idade, é possível sugerir que pessoas mais jovens têm uma menor probabilidade de serem responsáveis pelo pagamento da fatura de energia.
- Q11 (aceitação de alterações de consumo) parece ter influência sobre uma parte das respostas de Q23 (preocupação com o consumo de energia durante o banho), indicando que pessoas dispostas a aceitar alterações também se preocupam com o consumo de energia durante o banho.
- Uma parcela significativa das pessoas que estariam dispostas a alterar seus horários de consumo (Q11 e Q12) também estaria interessada em ter um dispositivo inteligente de gerenciamento (Q14).
- O valor da fatura (Q10) influenciou algumas pessoas a aceitarem alterações em troca de estímulos financeiros (Q11).
- Sexo, idade e escolaridade do(a) entrevistado(a) não parecem ser fatores de grande influência na aceitação em se utilizar um equipamento inteligente de gerenciamento.

A Figura 2 apresenta a matriz de correlação referente às questões relacionadas à aceitação de ajustes nos horários de uso dos equipamentos residenciais, bem como à modificação da temperatura do chuveiro ou do ar condicionado.

Figura 2 – Matriz de Correlação das questões de alteração de consumo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 2, todos os pares possuem correlação positiva. Isso sugere que as respostas fornecidas a uma determinada pergunta estão relacionadas às respostas dadas às demais questões, ou seja, existe um padrão de respostas comum entre os participantes. É importante destacar que a correlação positiva não implica que a concordância em uma pergunta leva a concordância em outra, e sim, que há influência direta entre as respostas.

## CONCLUSÃO

O objetivo desta pesquisa foi compreender o grau de disposição de uma parte da população em alterar seus padrões de consumo de eletricidade, apresentando conceitos relacionados às redes inteligentes de gerenciamento de energia elétrica. De forma específica, neste artigo detalhou-se os aspectos referentes à análise estatística dos dados obtidos. De forma geral, a análise foi subdividida em três etapas: 1. organização dos dados obtidos por meio do questionário do Google Forms, adaptando-os ao software RStudio; 2.



o cálculo do coeficiente de correlação de Kendall e do  $p$ -valor entre cada par de variáveis do questionário; e 3. a identificação das questões com maior relevância.

Sobre o método utilizado, a medida de correlação entre as variáveis foi uma ferramenta importante para se determinar como uma característica do(a) participante poderia influenciar na aceitação de modificações nos horários de consumo ou de temperatura dos equipamentos citados. Além disso, o valor  $p$  foi essencial para descartar pares de variáveis que não apresentavam uma relação significativa de influência, economizando assim tempo e recursos de análise, visto que haviam mais de 1000 pares.

Na análise dos resultados, observou-se uma aceitação do dispositivo de gerenciamento para ajustar o horário de funcionamento de equipamentos elétricos. Contudo, houve hesitação em alterar a temperatura do chuveiro ou ar-condicionado em 4°C ou mais, indicando resistência à mudança do conforto térmico.

### Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio da UTFPR – Campus Pato Branco e da equipe de pesquisa composta pelos alunos Izabela Teixeira Panosso e Mariane Zamboni Gastmann. Agradecemos especialmente aos professores Fernando José Avancini Schenatto e Vanderlei Aparecido de Lima, pelas suas contribuições para este trabalho.

### Conflito de Interesse

Não há conflito de interesse.

### REFERÊNCIAS

EISSA, M. M. Developing Incentive Demand Response with Commercial Energy Management System (CEMS) Based on Diffusion Model, Smart Meters and New Communication Protocol. *Applied Energy*, vol. 236, fevereiro de 2019, p. 273–92.

FERREIRA, Paula, et al. Awareness and attitudes towards demand response programs – a pilot study. *International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, **IEEE**, 2018, p. 1–6.

FERREIRA, Paula, et al. Assessing Household Electricity Consumers' Willingness to Load Shift. *Sustainable Energy for Smart Cities*, **Springer International Publishing**, 2022, p. 87–98. *Springer Link*.

LI, Rongling, et al. Are Building Users Prepared for Energy Flexible Buildings? – A Large-Scale Survey in the Netherlands. *Applied Energy*, vol. 203, outubro de 2017, p. 623–34.

OLIVEIRA LUNA, J.D.F, et al. Characterizing Quality of Experience for Demand Management in South Brazil. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 130, setembro de 2021, p. 106709.

WALPOLE, R. E. et al. Probabilidade e estatística para engenharia e ciências. 8ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.