



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

Aplicação de Nudges no Consumo de Energia Elétrica: Um Estudo Experimental

VICTOR FELLIPE DOS SANTOS GOMES



JOÃO PESSOA-PB
08/2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

**Aplicação de Nudges no Consumo de Energia
Elétrica: Um Estudo Experimental**

VICTOR FELLIPE DOS SANTOS GOMES

JOÃO PESSOA-PB
08/2024

II

VICTOR FELLIPE DOS SANTOS GOMES

Aplicação de Nudges no Consumo de Energia Elétrica: Um Estudo Experimental

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CENTRO DE INFORMÁTICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, COMO REQUISITO
OBRIGATÓRIO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
INFORMÁTICA (COMPUTAÇÃO).

Orientador: Prof. Dr. Alisson Vasconcelos de Brito
Coorientador: Prof. Dr. José Adson Oliveira Guedes da Cunha

JOÃO PESSOA-PB
08/2024

III

*Dedico esta obra a todos que acreditaram em mim,
especificamente à minha mãe e aos meus irmãos.*

AGRADECIMENTOS

Diante de tudo o que foi escrito nesta dissertação, me parece que este tópico é simultaneamente um dos mais difíceis e fáceis de abordar. Descrever os sentimentos em algumas frases parece tão raso quando comparado a tudo o que vivi e senti.

Primeiramente, agradeço a mim mesmo por não ter desistido dessa jornada tão onerosa que é o mestrado. Considerando toda a minha trajetória de vida, estar em uma universidade federal e desbravar um novo título acadêmico é um ato político. Em nome de minha família, gostaria de agradecer àqueles que me deram grande apoio nesse caminho: Vinícius e Mainha (Marleide), que sempre me incentivaram a continuar, e, nos momentos em que o peito mais apertava, a ponto de quase desistir, continuaram reforçando meu papel nessa jornada.

Aos amigos que sempre acompanham meus passos, sejam eles pequenos ou grandes, deixo meu eterno agradecimento: Ellen, Matheus, Silvando, Taynná, Adriano Soares, Aline e Ingrid. E também àqueles que encontrei ao longo do caminho ou que me apoiaram de alguma forma: Elvis, Thiago, Raíssa, André, Haulisson, Eduardo, Tamires, Adriano Mota, Paulo Cazé.

Um agradecimento ímpar à Camila Oliveira e a Luiz Dias, pois sem vocês, eu não teria avançado grande parte no desenvolvimento tecnológico. Um agradecimento especial ao meu amigo e irmão Matheus Soares Mendes, nossos diálogos foram essenciais para minhas análises e interpretações. Você é minha inspiração e referência!

Agradeço ao corpo docente pelas contribuições acadêmicas e aos orientadores, Prof. Dr. Alisson de Brito e Prof. Dr. Adson Cunha, pelas orientações sempre que pertinente. Um agradecimento importante ao meu terapeuta Arthur Barros, que foi um grande aliado nessa jornada.

Saio dessa jornada com uma bagagem repleta de ensinamentos, como pesquisador, adquiri um olhar mais analítico não apenas para as questões acadêmicas, mas também para as questões da vida.

Agradeço ao órgão e instituição: CAPES e UFPB. E, por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação.

*“E eu peço pra Quem me olhe que me dê serenidade
Me dê tranquilidade
Me dê paciência, eu sei
Me dê coragem”*

Rachel Reis - Serenidade.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA



Ata da Sessão Pública de Defesa de Dissertação de Mestrado de Victor Fellipe dos Santos Gomes, candidato ao título de Mestre em Informática na área de Sistemas de Computação, realizada em 15 de agosto de 2024.

Aos quinze dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e quatro, às nove horas, no Centro de Informática da Universidade Federal da Paraíba, reuniram-se os membros da Banca Examinadora constituída para julgar o Trabalho Final do discente Victor Fellipe dos Santos Gomes, vinculado a esta Universidade sob a matrícula nº 20221015835, candidato ao grau de Mestre em Informática, na área de “*Sistemas de Computação*”, na linha de pesquisa “*Sinais, Sistemas Digitais e Gráficos*”, do Programa de Pós-Graduação em Informática. A comissão examinadora foi composta pelos professores: Alisson Vasconcelos de Brito, Orientador e Presidente da banca; José Adson Oliveira Guedes da Cunha, Coorientador; Bruno Jefferson de Sousa Pessoa, Examinador Interno; Ivaldir Honório de Farias Júnior, Examinador Externo à Instituição. Dando início aos trabalhos, o Presidente da Banca cumprimentou os presentes, comunicou a finalidade da reunião e passou a palavra ao candidato para que ele fizesse a exposição oral do trabalho de dissertação intitulado “**Aplicação de Nudges no Consumo de Energia Elétrica: Um Estudo Experimental**”. Concluída a exposição, o candidato foi arguido pela Banca Examinadora que emitiu o seguinte parecer: “**aprovado**”. Do ocorrido, eu, Gilberto Farias de Sousa Filho, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Informática, lavrei a presente ata que vai assinada por mim e pelos membros da Banca Examinadora. João Pessoa, 15 de agosto de 2024.

Gilberto Farias de Sousa Filho
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Informática

Prof. Dr. Alisson Vasconcelos de Brito
Orientador (PPGI-UFPB)

Prof. Dr. José Adson Oliveira Guedes da Cunha
Coorientador (UFPB)

Prof. Dr. Bruno Jefferson de Sousa Pessoa
Examinador Interno (PPGI-UFPB)

Prof. Dr. Ivaldir Honório de Farias Júnior
Examinador Externo à Instituição (UPE)

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

G633a Gomes, Victor Fellipe dos Santos.

Aplicação de Nudges no consumo de energia elétrica :
um estudo experimental / Victor Fellipe dos Santos
Gomes. - João Pessoa, 2024.

146 f. : il.

Orientação: Alisson Vasconcelos de Brito.

Coorientação: José Adson Oliveira Guedes da Cunha.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CI.

1. Sistemas de Informação - Energia elétrica. 2.
Economia comportamental. 3. Green Nudge. 4. Teoria
Nudge. 5. Eletricidade - Sustentabilidade. I. Brito,
Alisson Vasconcelos de. II. Cunha, José Adson Oliveira
Guedes da. III. Título.

UFPB/BC

CDU 004.031:620.91(043)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo explicativo do termo Captologia.....	33
Figura 2. Fluxograma do mapeamento sistemático.....	37
Figura 3. Apresentação dos Domínios e Camadas trabalhadas na arquitetura de Casarin [2016].....	73
Figura 4. Proposta da Arquitetura do Sistema de Informação com estratégias Nudge e IA Generativa.....	74
Figura 5. Requisição do Prompt#5, referente ao Nudge#2 [ME02].....	81
Figura 6. Pipeline para geração automática de nudges.....	82
Figura 7. Fluxograma de representação da Camada de Operação.....	83
Figura 8. Diagrama de classes e modelagem do banco de dados.....	87
Figura 9. Diagrama de Caso de Uso do Sistema de Informação com Nudge.....	90
Figura 10. Desenho do cenário proposto para Smarts Cities com intervenções Nudges integrados à Sistemas de Informação para mudança de comportamento.....	92
Figura 11. Exemplo de exibição da mensagem Feedback com comparação (Nudge#1 - F01) ...	93
Figura 12. Apresentação de um dado mockado utilizado nos testes.....	93
Figura 13. Recorte do algoritmo para leitura e cálculo do consumo.....	95
Figura 14. Recorte do algoritmo para criar/enviar nudge, referente ao Nudge #1 - F02 - Prompt #2.....	97
Figura 15. Apresentação da base de conhecimento utilizado nos testes.....	98
Figura 16. Mensagem Nudge disparada para o usuário no período de teste, exemplo com o Nudge #1 - F02 (Prompt #2).....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados do mapeamento sistemático.....	38
Tabela 2. Quantidade de artigos selecionados por base de dados.....	41
Tabela 3. Comparação dos trabalhos selecionados quanto ao uso de tecnologias inteligentes.....	57
Tabela 4. Mapeamento dos princípios nudges usados nos trabalhos.....	59
Tabela 5. Trabalhos Relacionados com a pesquisa.....	62
Tabela 6. Categorização das intervenções propostas.....	71
Tabela 7. Mensagens elaboradas com o princípio nudge do tipo Feedback com comparação.....	72
Tabela 8. Mensagens elaboradas com o princípio nudge do tipo Mapeamento do entendimento.....	72
Tabela 9. Entradas e saídas da Camada de Interação Física da arquitetura.....	75
Tabela 10. Entradas e saídas da Camada de Interação Humana da arquitetura.....	75
Tabela 11. Entradas e saídas da Camada de Sensibilidade ao Contexto da arquitetura.....	77
Tabela 12. Entradas e saídas da Camada de Representação da arquitetura.....	78
Tabela 13. Entradas e saídas da Camada de Operação da arquitetura.....	83
Tabela 14. Análise Estatística Descritiva.....	101
Tabela 15. Teste Estatístico de Correlação.....	102
Tabela 16. Teste Estatístico de Regressão.....	103
Tabela 17. Síntese das características das soluções comparadas a este trabalho.....	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Princípios básicos do Nudge.....	25
Quadro 2. Critérios de seleção dos trabalhos.....	35
Quadro 3. Princípios nudges identificados nos artigos de referência.....	44
Quadro 4. Nudges mais utilizados, menos utilizados e não explorados de acordo com o mapeamento sistemático.....	60
Quadro 5. Posicionamento e referenciais metodológicos da pesquisa.....	62
Quadro 6. Tipos de artefatos vs. descrição.....	63
Quadro 7. Etapas da aplicação do DSR no projeto do Sistema de Informação com Nudge.....	67
Quadro 8. Apresentação de algumas técnicas de Prompts.....	76
Quadro 9. Categoria Padrão de Prompts.....	76
Quadro 10. Nível de Percepção Ambiental.....	70
Quadro 11. PromptsTemplate.....	80
Quadro 12. Requisitos Funcionais.....	86
Quadro 13. Requisitos Não Funcionais.....	87
Quadro 14. Tabelas do banco de dados “sistema”.....	88
Quadro 15. Informações estruturais da tabela usuario.....	89
Quadro 16. Informações estruturais da tabela Configuracao.....	89
Quadro 17. Informações estruturais da tabela Dispositivo.....	89
Quadro 18. Informações estruturais da tabela Estabelecimento.....	90
Quadro 19. Principais Casos de Uso (UC).....	91

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Quantidade de publicações por ano.....	37
Gráfico 2. Ambientes de aplicações de experimentos com uso de nudges no contexto em questão.....	38
Gráfico 3. Identificação dos trabalhos quanto aos setores Público e Privado.....	39
Gráfico 4. Identificação dos trabalhos quanto às formas de comunicação.....	39
Gráfico 5. Gráfico de Dispersão sob as variáveis significativas investigadas.....	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABESCO - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
API - Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicação)
ARCs - Ar-condicionados
CINCO - Ciências Comportamentais
CPS - Sistemas Cyber-físicos
CRUD - Create (criar), Read (ler), Update (atualizar) e Delete (apagar)
DR - Resposta a demanda
DSR - Pesquisa na Ciência do Design
EC - Economia Comportamental
ECU - Unidade de Consumo Experimental
ELM - Modelo de Verossimilhança de Elaboração
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
GB - Gigabyte
GWh - Gigawatt-hora
HER - Relatórios de Energia Residencial
HTTP - Hypertext Transfer Protocol
IA - Inteligência Artificial
IHC - Interação Humano-computador
IoT - Internet das coisas
KWh - Quilowatt-hora
LISP - Laboratórios de Inovação no Setor Público Brasileiro
MME - Ministério de Minas e Energia
MQTT - Message Queuing Telemetry Transport
M2M - Machine to Machine
MVP - Mínimo Produto Viável
NBR - Norma Brasileira
NE - Não especificado
NEP - Novo Paradigma Ecológico
ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU - Organização das Nações Unidas
PEE - Programa de Eficiência Energética
PER - Eventos de pico de carga
PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
QP - Questão da pesquisa
RF - Requisito Funcional
SGs - Smart Grids
SGBD - Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SI - Sistema de Informação

SINIMA - Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente

SMS - Short Message Service

TICs - Tecnologia de Informação e Comunicação

UML - Linguagem de modelagem unificada

UC - Caso de Uso

\$ - Símbolo da moeda brasileira (cifrão)

Δ r - Rotina

ÍNDICE

RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	17
Capítulo 1. Introdução.....	18
1.1 Contextualização do problema.....	19
1.2 Motivação.....	21
1.3 Objetivos.....	23
1.3.1 Objetivo geral.....	23
1.3.2 Objetivos específicos.....	23
1.4 Organização da dissertação.....	23
1.5 Resumo do capítulo.....	24
Capítulo 2. Fundamentação Teórica.....	25
2.1 Fundamentos da Economia Comportamental.....	25
2.2 Nudges.....	26
2.3 Green Nudges.....	27
2.3.1 Green Nudges e o consumo sustentável de energia elétrica.....	28
2.4 Tecnologias de eficiência energética.....	28
2.4.1 Smart City.....	29
2.4.2 Smart Home.....	30
2.4.3 Smart Grid.....	31
2.4.4 Smart Energy.....	31
2.5 Captologia.....	32
2.6 Resumo do capítulo.....	34
Capítulo 3. Mapeamento Sistemático.....	35
3.1 Relatório do mapeamento sistemático.....	45
3.2 Trabalhos selecionados.....	45
3.3 Comparação entre os trabalhos selecionados.....	57
3.4 Resumo do capítulo.....	60
Capítulo 4. Trabalhos Relacionados.....	61
4.1 Apresentação dos Trabalhos Relacionados.....	63
4.2 Resumo do capítulo.....	63
Capítulo 5. Procedimentos Metodológicos.....	64
5.1 Posicionamento da pesquisa.....	65
5.1.1 Artefato.....	66
5.2 Aspectos Comportamentais.....	67
5.3 Aspectos Computacionais.....	67
5.4 Engenharia de Prompt.....	68
5.5 Engenharia de Software do Sistema de Informação.....	70
5.6 Resumo do capítulo.....	70
Capítulo 6. Testes, Resultados e Discussão.....	71

6.1 Desenvolvimento da Arquitetura Nudge.....	71
6.2 Desenvolvimento da Arquitetura do Sistema.....	72
6.2.1 Camada de Interação Física.....	73
6.2.2 Módulos e componentes.....	74
6.2.3 Fluxo de informações.....	75
6.3 Camada de Interação Humana.....	75
6.3.1 Módulos e componentes.....	75
6.3.2 Fluxo de informações.....	75
6.4 Camada de Interação Virtual.....	76
6.4.1 Módulos e componentes.....	76
6.4.2 Fluxo de informações.....	76
6.5 Sensibilidade ao contexto.....	76
6.5.1 Módulos e componentes.....	76
6.5.2 Fluxo de informações.....	77
6.6 Camada de Representação.....	77
6.6.1 Módulos e componentes.....	78
6.6.2 Fluxo de informações.....	78
6.7 Camada de Operação.....	78
6.7.1 Módulos e componentes.....	78
6.8 Prompt.....	79
6.8.1 Fluxo de informações.....	83
6.9 Requisitos.....	84
6.9.1 Prioridades dos requisitos.....	84
6.9.2 Requisitos Funcionais.....	84
6.9.3 Requisitos Não Funcionais.....	85
6.10 Implementação.....	86
6.11 Banco de dados.....	86
6.12 Caso de uso.....	89
6.13 Funcionamento.....	91
6.14 Testes.....	93
6.15 Resultados.....	94
6.16 Discussão.....	94
6.17 Resumo do Capítulo.....	95
Capítulo 7. Considerações Finais.....	104
7.1 Limitações.....	105
7.2 Perspectivas futuras.....	106
REFERÊNCIAS.....	114
APÊNDICE A.....	130
APÊNDICE B.....	140
APÊNDICE C.....	146

RESUMO

A crescente conscientização sobre as mudanças climáticas e a necessidade de redução nas emissões de gases tornam essencial a busca por soluções para o uso eficiente de energia elétrica. No entanto, ainda há uma lacuna na integração de intervenções comportamentais, como Nudges, aos Sistemas de Informação, visando otimizar o consumo de energia. Este estudo propõe preencher essa lacuna ao desenvolver um sistema baseado em medidores inteligentes de energia elétrica que gera mensagens comportamentais (nudges), utilizando IA Generativa via API OpenAI, para incentivar práticas sustentáveis. O objetivo desta pesquisa é criar um Sistema de Informação que, por meio de monitoramento em tempo real e mensagens personalizadas, promova a conscientização sobre o consumo energético. O estudo se apoia em um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) para mapear no estado da arte os nudges bem sucedidos em eficiência energética, na taxonomia de Münscher, Vetter & Scheuerle [2016] para a construção da Arquitetura Nudge, e na *Design Science Research* (DSR) para o suporte tecnológico. As mensagens, elaboradas com técnicas de Engenharia de Prompt, são categorizadas como positivas, neutras ou negativas, fornecendo *feedback* em tempo real aos usuários via SMS. Foi realizada uma pesquisa descritiva e exploratória com abordagem quantitativa, utilizando um questionário para avaliar a proposta. A análise dos dados, feita com o software Stata 14.0, revelou que a amostra de 104 respondentes apresentou alto nível de percepção ambiental (15,88 pontos) e taxa de engajamento de 78,3% das mensagens Nudge. A pesquisa mostrou que a percepção ambiental geral e o grau de escolaridade são fatores significativos para a adoção de comportamentos sustentáveis, sendo que indivíduos com alta percepção ambiental estão mais engajados em adotar comportamentos sustentáveis e conscientes sobre seu consumo de energia elétrica através de Sistemas de Informação. A principal contribuição da pesquisa é demonstrar que a combinação de nudges com sistemas de monitoramento de energia elétrica em tempo real pode ser uma ferramenta eficaz para a promoção de comportamentos sustentáveis. O desenvolvimento deste sistema amplia o potencial de intervenções automatizadas para o controle eficiente do consumo energético, abrindo novas possibilidades na interseção entre tecnologia e sustentabilidade.

Palavras-chave: Economia comportamental; Eletricidade; Green Nudge; Sustentabilidade; Teoria *Nudge*.

ABSTRACT

The growing recognition of climate change and the pressing need to reduce greenhouse gas emissions underscore the importance of developing solutions for the efficient use of electricity. However, a notable gap remains in the integration of behavioral interventions, such as nudges, into Information Systems to optimize energy consumption. This study seeks to address this gap by proposing a system based on smart electricity meters that generates behavioral messages (nudges) using Generative AI via the OpenAI API to promote sustainable practices. The objective of this research is to design an Information System that utilizes real-time monitoring and personalized messages to enhance awareness of energy consumption. The study employs a Systematic Literature Mapping (SLM) to identify effective nudges in energy efficiency, the Münscher, Vetter & Scheuerle [2016] taxonomy to construct the Nudge Architecture, and Design Science Research (DSR) to guide technological development. Behavioral messages, developed using Prompt Engineering techniques, are categorized as positive, neutral, or negative and delivered to users via SMS in real time. To evaluate the system, a descriptive and exploratory study employing a quantitative approach was conducted through a questionnaire. Data analysis, performed using Stata 14.0 software, revealed that the sample of 104 respondents exhibited a high level of environmental awareness (15.88 points) and a 78.3% engagement rate with the nudge messages. The results further indicated that environmental awareness and education level are significant predictors of sustainable behavior. Respondents with higher environmental awareness were more engaged in adopting sustainable practices and demonstrated greater mindfulness of their electricity consumption when using Information Systems. The main contribution of this research lies in demonstrating that the integration of nudges with real-time electricity monitoring systems can effectively promote sustainable behaviors. This system expands the potential for automated interventions to enhance energy consumption efficiency, offering promising opportunities at the intersection of technology and sustainability.

Keywords: Behavioral economics; Electricity; Green Nudge; Sustainability; Nudge Theory.

Capítulo

1

Introdução

*“O que sabemos é uma gota;
o que ignoramos é um oceano”*

Isaac Newton.

O consumo de energia elétrica tem se consolidado como um dos principais indicadores de desenvolvimento econômico e social em nações ao redor do mundo. Em países desenvolvidos, a crescente demanda por eletricidade acompanha o avanço tecnológico e a expansão das infraestruturas econômicas [Souza et al., 2020]. No Brasil, como nação emergente, essa trajetória é igualmente observada, à medida que a modernização e a urbanização intensificam a dependência energética [Oliveira et al., 2017]. No entanto, esse aumento no consumo de energia apresenta desafios urgentes e complexos, principalmente no que se refere ao uso insustentável desse recurso, o que não apenas impõe altos custos financeiros aos setores público e privado, mas também intensifica a exploração de recursos naturais e agrava a crise ambiental global [Da Silva Junior, 2023; Jesus, 2018].

Os desafios ambientais contemporâneos, como a escassez de recursos e as mudanças climáticas, têm pressionado governos e organizações a adotar políticas energéticas mais sustentáveis. Nesse contexto, em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, um conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) voltados à promoção de práticas sustentáveis em diversos setores. Dentre esses objetivos, o ODS 7 busca garantir o acesso universal, confiável e sustentável à energia, enquanto o ODS 11 visa a construção de cidades e comunidades inclusivas e resilientes [Nações Unidas no Brasil, 2023]. No entanto, apesar dos avanços no campo das políticas públicas, a implementação dessas diretrizes enfrenta obstáculos substanciais, particularmente no que diz respeito ao comportamento dos consumidores e à adoção de práticas sustentáveis no dia a dia.

Nesse contexto, as *Smart Cities* (Cidades Inteligentes) surgem como uma solução inovadora para otimizar a gestão de recursos urbanos, integrando as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) às infraestruturas urbanas tradicionais. Ao conectar sistemas de transporte, energia, saúde e segurança, as *Smart Cities* buscam melhorar a eficiência operacional e a qualidade de vida dos cidadãos [James et al., 2021]. No entanto, um dos componentes fundamentais desse conceito, as *Smart Grids*, ou redes elétricas inteligentes, ainda enfrenta desafios consideráveis em sua adoção plena, especialmente em países em desenvolvimento [Dileep, 2020]. As *Smart Grids* permitem uma gestão mais eficaz do consumo energético por meio de tecnologias como os *Smart Meters* (medidores inteligentes),

que fornecem informações em tempo real sobre o uso de energia, possibilitando intervenções mais precisas e rápidas para otimizar o consumo.

Embora os *Smart Meters* e outras inovações tecnológicas tenham o potencial de transformar a gestão energética, essas soluções frequentemente esbarram em uma barreira comportamental: a dificuldade dos usuários em adotar práticas mais sustentáveis de consumo. Estudos mostram que campanhas de conscientização e programas de eficiência energética muitas vezes falham em promover mudanças duradouras nos hábitos dos consumidores [Barbosa, 2014; Camarano, 2014]. Mesmo diante de informações claras sobre os benefícios da economia de energia, os vieses cognitivos e a irracionalidade nas decisões de consumo energético, como apontado pela Economia Comportamental, ainda prevalecem [Kahneman, 2012]. A aversão à perda e o viés do presente são exemplos de como os consumidores podem resistir a mudanças em seus hábitos, mesmo quando confrontados com a possibilidade de economizar energia e dinheiro a longo prazo.

Diante desse cenário, surge a necessidade de explorar novas abordagens que combinem tecnologia e comportamento para promover um consumo energético mais consciente. A teoria do nudge, introduzida por Thaler & Sunstein [2008], oferece um caminho promissor ao propor intervenções sutis que influenciam o comportamento das pessoas sem restringir suas opções. A partir dessa teoria, surgem os *green nudges*, intervenções específicas para promover práticas sustentáveis de consumo [Schubert, 2017]. Essas intervenções têm sido aplicadas com sucesso em diversas áreas, como saúde pública e educação, demonstrando sua capacidade de incentivar mudanças comportamentais de maneira eficiente e de baixo custo [Keating, 2018; Fraga, 2017]. No contexto energético, os *green nudges* podem desempenhar um papel fundamental na superação das barreiras cognitivas e na promoção de hábitos de consumo mais sustentáveis.

Apesar dos avanços na aplicação de *green nudges* em contextos como saúde e meio ambiente, ainda há uma lacuna significativa na exploração dessas intervenções em relação ao consumo de energia elétrica em ambientes residenciais e urbanos. A presente pesquisa visa preencher esse “*gap*” ao desenvolver um Sistema de Informação que utilize *green nudges* para promover o consumo sustentável de energia elétrica, integrando essa abordagem ao monitoramento em tempo real e ao uso de *Smart Meters*. Ao combinar tecnologias emergentes com *insights* comportamentais, o sistema proposto não apenas monitorará o consumo energético, mas também fornecerá *feedback* personalizado para incentivar a adoção de práticas mais eficientes.

Dessa forma, a pesquisa contribui tanto para o campo dos Sistemas de Informação quanto para a Sustentabilidade, ao oferecer uma solução inovadora que pode ser implementada em *Smart Cities* e aplicada em diferentes contextos. Além disso, o sistema proposto representa um avanço em termos de políticas públicas, ao demonstrar como a tecnologia e o comportamento podem ser integrados para alcançar metas de sustentabilidade energética e promover o bem-estar urbano. Ao testar a eficácia das intervenções de *green nudges*, a pesquisa também abre caminho para novas abordagens que combinem tecnologia, comportamento e sustentabilidade em larga escala.

1.1 Contextualização do problema

Ao longo do período de 2003 a 2020, dados oficiais da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Ministério de Minas e Energia (MME) revelam que o consumo de energia elétrica nas residências representou cerca de 38% do total gerado nesse intervalo, destacando-se como o setor de maior demanda [ANEEL, 2020]. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2019, aproximadamente 45% da energia produzida foi consumida em residências, com um aumento médio anual próximo a 3,9% e uma elevação de 1,4% no mesmo ano [EPE, 2019], mesmo diante de desafios econômicos e períodos de desaceleração.

Apesar do crescimento contínuo na demanda por energia, a simples expansão na geração não se configura como a solução única e estratégica. O desperdício surge como um fator agravante que requer uma abordagem mais atenta por parte das autoridades competentes, fornecedores e consumidores. Em 2018, por exemplo, as perdas decorrentes do desperdício de energia totalizaram R\$52,17 bilhões [ABESCO, 2018a], montante equivalente à metade da produção de energia elétrica de Itaipu no mesmo período. Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO), somente em 2017, o potencial de economia de energia atingiu 60.069 GWh, o que seria suficiente para abastecer uma cidade de cerca de 30 mil habitantes ao longo de um ano inteiro. Esse número representa o maior registro de desperdício desde 2008, quando se iniciou o monitoramento. A ABESCO ressalta ainda que o desperdício persiste devido à relutância do consumidor em adotar tecnologias mais modernas e eficientes [ABESCO, 2018b] e cabe salientar que outros fatores podem colaborar com essa relutância, a saber, preferências individuais e hábitos.

O governo tem promovido e incentivado programas nacionais voltados para a economia e a redução do desperdício de energia, destacando-se o Programa de Eficiência Energética (PEE), o Programa Brasileiro de Etiquetagem e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Por meio dessas iniciativas, alguns equipamentos recebem o Selo de Eficiência Energética, que serve como um indicador comparativo entre diferentes eletrodomésticos [Guadagnin, 2016]. Além disso, há ênfase na substituição de equipamentos elétricos antigos por modelos mais recentes, na troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes ou LED e na redução do tempo de uso de determinados eletrodomésticos, como os aparelhos de ar-condicionado [Cunha, 2015].

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) de 2022, o Brasil figura como o décimo maior consumidor de energia elétrica global, registrando incrementos positivos nas regiões Nordeste, Sudeste e Norte em comparação com 2020. No entanto, observa-se uma diminuição nas regiões Centro-Oeste, com 1,3%, e Sul, com 0,7%. Esse padrão é atribuído ao rápido crescimento das áreas urbanas e à crescente demanda por aparelhos modernos, como sistemas de ar-condicionado e eletrônicos [EPE, 2022]. O consumo anual de energia elétrica no Brasil atinge aproximadamente 271,3 Mtep, e considerando esse cenário, estima-se que o consumo residencial possa dobrar até 2050, caso não ocorram mudanças significativas [EPE, 2022].

Segundo estudos conduzidos pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) em 2023, o consumo de energia elétrica em uma residência típica no Brasil pode variar consideravelmente, dependendo de fatores como o tamanho da moradia, o número de habitantes e os hábitos de consumo. Em média, estima-se que uma família composta por quatro pessoas consome cerca de 250 kWh por mês [PROCEL, 2023].

É possível reduzir esse consumo por meio da adoção de medidas simples, como o uso consciente de equipamentos eletrônicos, a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes ou LED, a instalação de sistemas de aquecimento solar e a microgeração fotovoltaica, o uso de serviços como Sistemas de Informação, uso de *Nudges*, dentre outras práticas. Assim, a conscientização sobre a importância do uso racional da energia elétrica torna-se crucial para garantir uma maior eficiência nos recursos energéticos disponíveis e promover a sustentabilidade ambiental em nosso país [Gastaldello, 2017].

1.2 Motivação

O campo da EC estuda como as pessoas tomam decisões econômicas em seu cotidiano e como essas decisões são influenciadas por diversos fatores como hábitos, experiências passadas e padrões de comportamento. Em sua maioria, essas decisões não são tomadas de forma racional e lógica e isso se reflete nos fatores emocionais e contextuais do indivíduo [Jesus, 2018]. Por exemplo, uma pessoa pode escolher comprar um produto caro simplesmente porque está se sentindo bem no momento, mesmo que a decisão não seja a melhor do ponto de vista financeiro.

A Economia Tradicional se baseia na visão de agentes orientados pelo próprio interesse, sem levar em conta limitações cognitivas. A EC é vista como uma abordagem que considera as limitações cognitivas e comportamentais das pessoas e oferece caminhos para alcançar resultados desejados com custo menor e efeitos colaterais menores do que aqueles obtidos por meio de regulação ou cobrança de tributos.

Levando em consideração a problemática do consumo insustentável de energia elétrica e onde não se há uma facilidade de mensuração por parte dos indivíduos, o *NUDGE Project*¹ (Projeto *Nudge*) financiado pelo Programa Horizonte [2020], da União Europeia, promove intervenções com base em *nudges* para mudança do comportamento, cujo objetivo é aumentar a eficiência energética e o fortalecimento de políticas energéticas.

No Brasil, as unidades *Nudges* ainda são embrionárias com unidades em São Paulo, o *(011).lab*² e no Rio de Janeiro, a *NudgeRio*³. O primeiro é um espaço criado em 2017 pela Prefeitura com o objetivo de gerar inovações no setor público, envolvendo pessoas internas e externas à administração municipal. O foco é desenvolver soluções para problemas públicos e melhorar os serviços aos cidadãos, mais de 30 projetos já foram criados [Inhasz & Martinez, 2020]. O segundo é a unidade pioneira de *nudge* em governos no Brasil, um projeto do Instituto Fundação João Goulart. Seu objetivo é aumentar a eficácia de políticas públicas em benefício dos cidadãos.

Um dos empreendimentos conduzidos pela *NudgeRio* ocorreu em 2015, quando a prefeitura despachou uma correspondência aos cidadãos em débito com o IPTU. Nessa comunicação, destacou-se o impacto positivo que a arrecadação de impostos tem na comunidade, direcionando-a para a aquisição de alimentos para as escolas e medicamentos para os hospitais. Esse programa conseguiu angariar um montante de R\$15.000,00 proveniente desses contribuintes inadimplentes [Inhasz & Martinez, 2020].

¹ <https://www.nudgeproject.eu/>

² <https://011lab.prefeitura.sp.gov.br/>

³ <https://prefeitura.rio/tag/nudgerio/>

Recentemente o Governo Federal, na instância do Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos, criou a *CINCO - Ciências Comportamentais*⁴. As unidades supracitadas possuem o objetivo de colaborar com inovação em políticas públicas nos desafios emergentes.

Cunha et al., [2020] realizou um mapeamento sistemático da literatura para verificar o panorama de pesquisas com *nudges* digitais entre os anos 2006 a 2020. Foi observado que foi dada uma ênfase de pesquisas no ano de 2019, demonstrando o caráter recente desta linha de pesquisa, cujos trabalhos têm se concentrado na Alemanha, Estados Unidos e Reino Unido. Apesar de existirem consultorias brasileiras que promovem a aplicação de *nudges* em ambientes *off-line*, não foram identificados trabalhos acadêmicos de autores brasileiros no contexto de *nudges* digitais.

Buscando entender a aplicação de *Nudges* em políticas públicas no Brasil, De Oliveira, Leite & Ribeiro [2021] realizaram uma pesquisa através de um *survey* aos Laboratórios de Inovação no Setor Público (LISP), que são responsáveis pela aplicação de ciências comportamentais no país [Sano, 2020]. A pesquisa obteve retorno de 29 respostas dos 70 LISP encaminhados. No que se refere à caracterização geral, 51,7% dos LISP pertencem à esfera federal, 31,0% à regional, 6,9% à local e 6,9% são híbridos. Acerca das metodologias, as mais utilizadas são: *design thinking* (82,8%); *brainstorming* (67,0%); e *canvas* (69,0%).

Acerca das ciências comportamentais, a pesquisa demonstrou que apenas 7 (24,1%) LISP da amostra as aplicam em seus projetos, nas áreas de gestão de pessoas, serviços, jurisdição e educação estes laboratórios pertencem aos níveis de governo federal, regional e local. Todavia, apenas 3 (10,3%) LISP conduziram experimentos ou quasi-experimentos para a validação da implementação de *nudges*. De acordo com De Oliveira, Leite & Ribeiro [2021], este desfecho é alarmante, considerando a relevância de avaliar as intervenções comportamentais, buscando sua subsequente disseminação.

Como citado anteriormente, algumas aplicações no Brasil ocorrem majoritariamente no âmbito de políticas públicas e em contextos *off-line*. As unidades supracitadas possuem o objetivo de colaborar com inovação em políticas públicas nos desafios emergentes. Entretanto, foi observado que nenhuma iniciativa atribuiu o uso de tecnologias em suas intervenções e tampouco para o contexto de energia elétrica.

Sanchez [2023] relata que há um avanço no uso de *Nudges* nas tecnologias, uma vez que, em ambientes digitais os *nudges* são mais customizáveis, criando oportunidades de encontrar aspectos capazes de influenciar as escolhas das pessoas que não seriam descobertos sem tamanha informação disponível. O referido autor ainda relata como o *Facebook*⁵ e a *Uber*⁶ têm se aproveitado desses ambientes digitais para compreender o comportamento das pessoas e direcioná-las ao seu objetivo. Além de outras empresas, como a Coca-cola, Pepsi, *Starbucks* e *McDonald's* usam a tecnologia para seus interesses.

O uso de tecnologia para promover comportamentos sustentáveis e saudáveis têm sido uma tendência crescente em diversas áreas, principalmente em *Smarts Cities* [Ranchordás, 2020]. Os Sistemas de Informação desempenham um papel fundamental nesse contexto,

⁴ <https://www.gov.br/gestao/pt-br/assuntos/inovacao-governamental/cinco>

⁵ <https://www.facebook.com/>

⁶ <https://www.uber.com/>

permitindo a coleta, análise e disseminação de dados relevantes para incentivar mudanças positivas de comportamento e ajudar na tomada de decisão. Isso permite que os usuários façam escolhas mais conscientes e alinhadas com seus valores pessoais e ambientais.

Estudos empíricos baseados em *Nudge* e uso de TICs, podem ser grandes aliados na mudança de comportamento individual para atitudes sustentáveis [Henkel et al., 2019] frente à problemática do consumo insustentável de energia elétrica no Brasil, visto que a metodologia *nudge* é simples, de baixo custo, exequível e escalável e as tecnologias possuem grande capacidade de potencializar a mudança comportamental, como explanado nos textos anteriores e será aprofundado na Fundamentação Teórica (Seção 2).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é criar um Sistema de Informação que, por meio de monitoramento em tempo real e mensagens personalizadas, promova a conscientização sobre o consumo energético. Para contemplar o objetivo geral, alguns objetivos específicos precisam ser realizados.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar *green nudges* na literatura científica utilizados para mudança de comportamento para um consumo sustentável de energia elétrica;
2. Identificar tecnologias utilizadas para fomentar a mudança de comportamento para um consumo sustentável de energia elétrica;
3. Modelar a arquitetura *green nudge*;
4. Modelar a arquitetura do Sistema de Informação com *green nudge*;
5. Modelar a engenharia de *software* do Sistema de Informação com *green nudges*;
6. Elaborar Prompts para utilizar no Sistema de Informação com *green nudges*;
7. Testar a proposta do suporte tecnológico desenvolvido.

1.4 Organização da dissertação

Este manuscrito apresenta na Seção 1 uma introdução ao tema, problematização da pesquisa, bem como a motivação para o seu desenvolvimento, incluindo abordagens com base na Economia Comportamental e utilização de intervenções com oportunidade de aplicação no contexto sustentável através do uso de Tecnologia; e os objetivos principais a serem alcançados. A Seção 2 corresponde a Fundamentação Teórica e apresenta conceitos básicos relacionados a Fundamentação da Economia Comportamental, Racionalidade Limitada, *Nudges*, Captologia, *Smart Cities*, dentre outros conceitos importantes.

A Seção 3 apresenta um mapeamento sistemático para entender a situação atual estado da arte referente a aplicação de *Nudges* frente à economia de energia. A Seção 4 apresenta a proposta geral desta pesquisa, bem como seu posicionamento científico. A Seção 5 apresenta

o desenvolvimento dos Aspectos Comportamentais e Computacionais trabalhados nesta dissertação. A Seção 6 reflete os Testes e Resultados da pesquisa. A Seção 7, uma análise e discussão dos resultados. A Seção 8 com as considerações finais, seguidas da Seção 9 e 10, sobre as Limitações da pesquisa e Perspectivas futuras, respectivamente.

1.5 Resumo do capítulo

Neste capítulo, foram apresentados alguns temas da pesquisa, como Eficiência Energética, Cidades Inteligentes, Teorias Comportamentais e Tecnologia da Informação. Contudo, na Seção 2, esses temas serão mais explorados. Embora tenha havido uma introdução breve sobre Cidades Inteligentes e Teorias Comportamentais, é incomum abordá-los em conjunto. Após algumas reflexões, percebe-se o potencial ganho científico que podem proporcionar à literatura, especialmente considerando a problemática do consumo irracional de energia elétrica, discutida na Seção 1.1. Portanto, o objetivo central desta pesquisa é desenvolver um suporte tecnológico fundamentado nos temas mencionados acima, os quais serão aprofundados nos capítulos subsequentes.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

*“A educação, qualquer que seja ela,
é sempre uma teoria do conhecimento
posta em prática”*

Paulo Freire.

2.1 Fundamentos da Economia Comportamental

A Economia Comportamental (EC) é uma combinação de conhecimentos do pensamento de Economia Clássica com teorias da psicologia, ciências sociais, sociologia e advêm para contrapor pontos que o Modelo Tradicional de Racionalidade Econômica conceitua, de que os agentes econômicos tomam suas decisões perfeitamente com base na teoria de utilidade, o que comprovadamente não se aplica a todas as situações [Kaminski, 2021].

Enquanto o modelo tradicional de racionalidade econômica presume que os agentes possuem uma racionalidade ilimitada, isto é, possuem uma capacidade ilimitada de processamento de informações, a EC fornece uma abordagem que considera as limitações cognitivas, possuem uma racionalidade limitada e que as pessoas são influenciadas pelas emoções, hábitos e experiência social [Santos, 2018]. De modo geral, entende-se que as pessoas buscam agilidade no processo decisório, buscam aceitar as opções mais satisfatórias e são influenciadas por pessoas e por fatores emocionais durante o processo de tomada de decisão.

A Racionalidade Limitada refere-se à capacidade que os indivíduos têm de processar informações [Simon, 1982]. O processo feito em nosso cérebro é devidamente imperfeito por apresentar limitações cognitivas, isto é, somos seres incapazes de realizar uma escolha completamente perfeita e ideal, como previsto pelo Modelo Tradicional de Racionalidade Econômica.

A Economia Clássica assume que os indivíduos têm acesso completo às informações, que são capazes de analisar todas as opções possíveis e em tempo hábil, a EC humaniza esse processo reconhecendo que os seres humanos utilizam-se de atalhos mentais, como heurísticas, vieses cognitivos e influências sociais durante a tomada de decisão [Melo & Fucidji, 2016]. Essa abordagem considera que os seres humanos possuem limitações e são tendenciosos, resultando em escolhas não tão completamente racionais e consistentes. O que na maioria das vezes acontece é que os seres humanos baseiam-se em heurísticas (atalhos mentais) para adotar as escolhas e simplificar o processo de decisão.

A teoria da racionalidade limitada reconhece que erros no processo decisório são parte integrante do indivíduo, uma vez que ele apresenta limitações cognitivas e vieses tendenciosos. Ela contribui para ajudar explicar o porquê das pessoas não fazerem escolhas consistentes, elemento importante que fornece *insights* valiosos.

2.2 Nudges

Segundo Richard Thaler e Cass Sunstein [2008], “*nudge* é qualquer aspecto da arquitetura de escolhas que provoca mudança no comportamento das pessoas de forma previsível sem inibir opções ou alterar o significado dos incentivos econômicos”. Em conformidade com o dicionário de *Cambridge* [Cambridge Dictionary, 2023], *nudge* significa cutucar, empurrar de forma leve - geralmente feito com o cotovelo [André, 2022] - ou simplesmente “empurrãozinho” (tradução livre).

A teoria do *nudge* popularizada por Richard Thaler e Cass Sunstein em 2008 demonstra que as pessoas tomam suas decisões mediante as características do ambiente que acabam influenciando nas suas escolhas. Apesar do ambiente apresentar influência, a teoria *nudge* não se baseia na limitação ou privação nas escolhas dos indivíduos, pelo contrário, projeta intervenções mais atrativas de forma que apresente todas as alternativas de escolhas possíveis.

Os *nudges* tentam contrariar ou incentivar o uso de heurísticas através da alteração do ambiente de escolha para mudar o comportamento das pessoas [Da Cunha, 2023] isto é, influenciar positivamente na decisão das pessoas levando em consideração suas limitações cognitivas [Andrade, 2019; Ávila & Bianchi, 2015]. Tais estratégias têm sido utilizadas por setores públicos e privados em todo o mundo, guiando os tomadores de decisão a determinadas ações. Os *green nudges* se baseiam nessa teoria ao criar intervenções que tornam práticas sustentáveis mais atrativas e fáceis de serem adotadas [Schubert, 2017; Egebark & Ekström, 2016].

Uma das formas de classificar os *nudges* é através dos princípios básicos da arquitetura de escolha propostos por Thaler e Sunstein [2008], descritos no Quadro 1.

Quadro 1. Princípios básicos do *Nudge*.

Princípio <i>Nudge</i>	Descrição	Exemplo
<i>Espera do erro</i>	Esperar que os usuários cometerão erros, perdendo-os sempre que possível	Requerer às pessoas para retirar o cartão em caixas eletrônicos antes de receber o dinheiro para evitar que esqueçam os cartões
<i>Estrutura de escolhas complexas</i>	Listar todos os atributos de todas as alternativas, permitindo que as pessoas façam os trade-offs quando necessário.	Sistemas online de configuração de produtos que permitem escolhas simples guiando os usuários através do processo de compra
<i>Feedback</i>	Prover usuários com feedback quando eles estão fazendo algo certo ou errado.	Sinais eletrônicos nas estradas com faces sorrindo ou tristes dependendo da velocidade do veículo

<i>Incentivo</i>	Incentivos mais salientes para aumentar sua eficácia.	Telefones programados para mostrar o custo das ligações em tempo real
<i>Mapeamento do entendimento</i>	Mapeamento das informações difíceis de se avaliar para esquemas mais simples	Uso de imagens para indicar a qualidade de impressão em vez de simplesmente indicar os megapixels ao anunciar uma câmera digital
<i>Opção padrão</i>	Pré-seleção de opções através da configuração de opções padrão.	Alterando os padrões (de <i>opt-in</i> para <i>opt-out</i>) para aumentar a percentagem de doadores de órgãos.

Fonte: Thaler & Sunstein [2008].

2.3 Green Nudges

Os *green nudges* (tem origem no *Nudge*) são intervenções comportamentais usadas para mudar o comportamento das pessoas diante dos problemas ambientais a fim de influenciá-las a tomar decisões mais sustentáveis [Henkel et al., 2019; Hacker & Dimitropoulos, 2017].

A abordagem *green nudge* surgiu da necessidade de adotar práticas mais sustentáveis ao passo que enfrenta desafios ambientais como mudanças climáticas, lixo urbano, pandemia e esgotamento dos recursos naturais. Geralmente, as medidas coercitivas para enfrentamento dessas problemáticas são fundamentadas em instrumentos regulatórios e de comando e controle utilizam métodos coercitivos através de multas para os autores que violam as resoluções [Da Cunha, 2023].

Esses meios se apresentam ineficientes, visto que precisam de uma vigilância regulatória constante. Embora seja simples, apresenta desvantagem pois não fornece incentivos para a mudança de comportamento, ou seja, o indivíduo não se sente motivado a mudar sua atitude para um uso sustentável e fidedigno. Na maioria dos casos, a população está consciente dos impactos ao meio ambiente, entretanto, continuam a degradá-lo [Da Cunha, 2023].

Os *green nudges* têm por pretexto reconhecer que, embora muitas pessoas possam estar dispostas a tomar ações mais sustentáveis, elas frequentemente enfrentam barreiras como falta de conhecimento, *status quo*, custos percebidos ou simplesmente o hábito por escolhas insustentáveis. Ao incorporar *insights* das ciências comportamentais, como economia comportamental e psicologia, os *green nudges* buscam tornar as opções mais sustentáveis, mais salientes e mais acessíveis, sem que haja restrição de escolha.

Exemplos de *green nudges* incluem rotulagem de produtos com informações sobre seu impacto ambiental, oferecer recompensas ou descontos para escolhas ambientalmente conscientes e configurar padrões predeterminados em sistemas para escolhas mais sustentáveis (por exemplo, configurar impressoras para impressão frente e verso por padrão) [Egebark & Ekström, 2016]. Os *green nudges* foram desenvolvidos para aproveitar os *insights* sobre o comportamento humano e direcionar esses *insights* para incentivar escolhas mais sustentáveis e ajudar a abordar os desafios ambientais que enfrentamos.

2.3.1 *Green Nudges* e o consumo sustentável de energia elétrica

A aplicação de *green nudges* no contexto de consumo sustentável de energia elétrica tem como objetivo a mudança de comportamento dos indivíduos na redução do uso desnecessário de energia elétrica [Hille et al., 2019; Rathi & Chunekar, 2015], além de utilização de eletrodomésticos com maior eficiência energética e utilização de fontes de energia mais limpa.

Os instrumentos de informação de políticas públicas têm a finalidade de informar, orientar e educar as pessoas através de estratégias que sirvam de apoio à tomada de decisão e mudança do comportamento. Para o contexto ambiental, no Brasil, o setor responsável por essa finalidade é o SINIMA (Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente). Uma das maiores limitações desse sistema é a falta de igualdade na transferência das informações, escassez de recursos para intervenções, principalmente em locais com grande vulnerabilidade social e isso acaba acarretando um déficit de eficácia no cumprimento de metas [Da Cunha, 2023].

Apesar de existir instrumentos que reforcem a punição e controle de políticas ambientais, a maioria da população, mesmo conscientizada em relação aos impactos, continua agindo da mesma forma. E isso nos faz refletir o quanto essa mudança de comportamento precisa ser realizada. Em sua maioria, no processo de tomada de decisão as pessoas não pensam de forma racional e lógica e isso se reflete nos fatores emocionais e contextuais do indivíduo [Jesus, 2018]. Com isso, é necessário criar estratégias que levem em consideração as limitações cognitivas e comportamentais das pessoas frente a essa problemática.

Intervenções com *green nudges* são indispensáveis para promover atitudes mais sustentáveis em relação ao meio ambiente [Henkel, 2019], uma vez que a geração de energia elétrica tem um impacto negativo no meio ambiente através de emissão de gases poluentes e esgotamento dos recursos naturais [Carlsson & Johansson-Stenman, 2012]. Visando comportamentos sustentáveis, *green nudges* pode ser um grande aliado nessa vertente de mudança, apostando em estratégias para um modelo energético mais verde e sustentável.

2.4 Tecnologias de eficiência energética

A evolução tecnológica incentivou e proporcionou ambientes para que o termo “*smart*” fosse adotado e utilizado, em maior ou menor grau, pela regulação do setor elétrico e em outras áreas da economia. O termo ingressou de forma definitiva no vocabulário técnico e popular para identificar equipamentos ou serviços diretamente vinculados a elevados componentes de tecnologia, como *Smartphones*, *Smart Home*, *Smart TV*, *Smart Vehicles*, *Smart Fit*, *Smart Net*, *SmartWatch*.

Neste item é abordado o que se passa a denominar de “Família *Smart Energy*”, em razão da utilização ampla do termo *smart* para se referir a vários aspectos ou soluções tecnológicas relacionadas à energia elétrica. De fato, hoje se utilizam os termos *Smart Cities*, *Smart Grid*, *Smart Meter* e *Smart Storage*, entre outros que possam ser incorporados à família.

2.4.1 *Smart City*

As *Smart Cities* ou cidades inteligentes são o futuro dos ambientes urbanos, principalmente, com o advento de importantes tecnologias como as redes 5G, a internet das coisas – *internet of things* (IoT), a inteligência artificial (IA) e o processo de automatização dos serviços, sejam estes públicos ou privados. Tais ferramentas também podem ser utilizadas no processo de planejamento urbano, de modo a auxiliar em um crescimento sustentável dos grandes centros ou dos centros urbanos com grande potencial para crescimento.

A literatura que aborda *Smart Cities* possui foco na melhoria do relacionamento da cidade com os seus cidadãos e tem evoluído seguindo os avanços tecnológicos e sua aplicação no cotidiano social [Kobayashi et al., 2017; Pinochet et al., 2019]. A terminologia *Smart City* foi inicialmente associada à importância das tecnologias na superação dos desafios locais, posteriormente agregando o capital humano e as questões ambientais [Brandão & Joia, 2018; Chourabi et al., 2012]. As comunidades buscam resolver problemas cotidianos de eficiência e sustentabilidade, enquanto as empresas desenvolvem produtos e serviços com elevada carga tecnológica gerando um mercado em expansão [Angelidou, 2015]. Nesse escopo, a modernização das cidades e dos serviços disponibilizados à comunidade juntamente com as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) resultam em inovação que otimiza a gestão eficiente dos recursos e, conseqüentemente a qualidade de vida dos cidadãos [Duran & Pérez, 2015; Pinochet et al., 2019; Yigitcanlar, 2016].

O principal pilar conceitual da literatura *Smart City* consiste no uso de TICs, que aplicadas ao capital humano podem aprimorar processos e resolver problemas urbanos com o objetivo de melhorar a qualidade de vida para os seus cidadãos [Camero & Alba, 2019; Pinochet et al., 2019]. A *Smart City* possui uma estratégia de oferecer suporte com dispositivos eletrônicos, como aplicativos de planejamento de tráfego, monitoramento dos cidadãos, assistência médica pública, segurança, economia e planejamento urbano, entre outros [Angelidou, 2017; Qasem & AlMobaideen, 2019]. De forma ampla e independente do contexto, as tecnologias são percebidas como fator de aceleração do desenvolvimento das comunidades [Heinsfeld & Pischetola, 2019].

Os projetos de tecnologias inteligentes estão voltados ao desenvolvimento econômico e à qualidade de vida [Afzalan et al., 2017; Duran & Pérez, 2015] nos meios mais flexíveis de inovação e trabalho [Neirotti et al., 2014]. Com essas ferramentas, as *Smart Cities* são cidades construídas a partir da perspectiva dessa computação com ênfase na oferta de tecnologia aplicada à demanda social [Yigitcanlar et al., 2018]. Nessa linha, Heaton & Parlikad [2019] destacam os três principais elementos das *Smart Cities*, que incluem governança (gestão e política), tecnologia (*software*, *hardware* e plataformas) e as necessidades das pessoas (educação, saúde, segurança, entre outros).

A *Smart City* está focada no cidadão e em suas necessidades, atuando no apoio a políticas públicas e numa governança que possa promover os serviços necessários aos cidadãos, enquanto a política fiscal adequada permite maior capacidade financeira e proporciona maior autonomia às autoridades locais [Cunha et al., 2016; Khatoun & Zeadally, 2016; Pinochet et al., 2019].

De acordo com Neirotti et al., [2014], as recentes tendências e padrões de evolução das *Smart Cities*, acabam por ter uma dependência de fatores locais, como recursos naturais e

de energia, transporte e mobilidade, governo, seus residentes, entre outros. Em relação aos pilares das *Smart Cities*, Gaspar [2016] apresenta que estes se encontram centrados em âmbitos diversos como: governança, energia, mobilidade, edificações, gestão da água, energia e resíduos, segurança, saúde, cultura, entre outros. Podem ser utilizados como exemplos: os sistemas de controle de tráfego em tempo real, gestão inteligente de estacionamentos, infraestrutura de carregamento para veículos elétricos, bem como, a promoção de transporte público e outros modos alternativos de transporte.

2.4.2 Smart Home

O avanço das tecnologias de comunicação e informação (TICs), sustentado pela Internet das Coisas (Internet of Things – IoT), tem possibilitado o desenvolvimento de casas inteligentes, também conhecidas como *Smart Homes* [Langhammer; Kays, 2012; Kang; Lin et al., 2016; Lin; Zhang, 2018]. As *Smart Homes* são caracterizadas por residências que incorporam sensores interconectados, permitindo a integração de diversos sistemas, comunicação eficiente e controle remoto de todos os dispositivos [Ghaffarianhoseini et al., 2013]. Essa definição é reforçada por Marikyan, Papagiannidis & Alamanos [2019], que destacam que tais residências oferecem serviços de gerenciamento, monitoramento, suporte e resposta, além de inúmeros benefícios econômicos, sociais, relacionados à saúde, emocionais, de sustentabilidade e segurança.

Entretanto, a literatura também apresenta conceitos mais específicos de *Smart Homes*. Balta-Ozkana et al. [2013] enfatizam os atributos tecnológicos, enquanto Beckel et al. [2014] e Yang & Lee [2014] focam na eficiência energética. Chan et al. [2008] exploram a assistência especial, destacando o apoio a idosos e portadores de necessidades especiais. Esses estudos evidenciam que o conceito de smart home pode ser aplicado a diferentes tipos de residências, incluindo casas autônomas, apartamentos e unidades habitacionais sociais [Chan et al., 2008].

A verdadeira distinção entre uma *Smart Homes* e uma residência convencional reside na rede que conecta e coordena todos os dispositivos tecnológicos [Balta-Ozkana et al., 2013]. A gestão do consumo de energia e a otimização do desempenho dos edifícios são cruciais para o monitoramento em tempo real, utilizando a Internet, especialmente considerando que edifícios residenciais consomem dois terços da eletricidade global [Alfaris, Juaidi & Manzano-Agugliaro, 2017]. Tecnologias de monitoramento e controle são essenciais para gerenciar o uso doméstico de energia e reduzir o desperdício [Meyers; Williams; Matthews, 2010].

Os consumidores de eletricidade tornam-se progressivamente mais ativos, alterando seu comportamento de consumo como resultado do avanço dos sensores e das TICs [Oprea et al., 2019]. Sistemas inteligentes de gerenciamento de energia podem ser integrados aos sistemas de conforto em edifícios inteligentes, otimizando o consumo de eletricidade [Shaikh et al., 2014]. Bastida et al. [2019] observam que os efeitos das TICs no comportamento do consumidor podem reduzir o consumo final de eletricidade das famílias e contribuir significativamente para a redução das emissões de CO₂. Além disso, o controle preditivo de energia pode resultar em economias na conta de energia e diminuir o pico de consumo [Schné; Jaskó; Simon, 2018].

A adoção de smart homes oferece benefícios percebidos pelos usuários que podem ser categorizados em vantagens relacionadas à saúde, finanças, bem-estar psicológico, inclusão social e benefícios ambientais [Marikyan; Papagiannidis; Alamanos, 2019]. Especificamente, os benefícios ambientais incluem a redução do uso de energia, feedbacks sobre consumo de energia e uso eficiente da energia [Strengers; Nicholls, 2017].

Em suma, enquanto alguns autores enfatizam a importância tecnológica e a eficiência energética das smart homes [Balta-Ozkana et al., 2013; Beckel et al., 2014], outros destacam os benefícios sociais e de saúde [Marikyan; Papagiannidis; Alamanos, 2019]. Essas perspectivas diversas enriquecem o entendimento do impacto e das potencialidades das *Smart Homes* na sociedade contemporânea.

2.4.3 Smart Grid

A *Smart Grid* (SG) ou rede elétrica inteligente é considerada uma forma alternativa e inteligente de atender e gerenciar a demanda, permitindo a comunicação em tempo real entre consumidor e fornecedor, mediante a integração de três valores básicos: energia, telecomunicação e tecnologia da informação. Segundo consta, o termo foi usado pela primeira vez em 2005, em artigo de S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg, sob o título de "*Toward a Smart Grid*" (Revista IEEE P&E).

Para a sociedade, de modo geral, a implantação de redes inteligentes representa um dos primeiros passos para uma cidade inteligente, além da oportunidade de melhoria para os governos na gestão de recursos de infraestrutura. Pode-se incentivar a prática de uma governança energética mais eficiente, com a observação mais detalhada sobre os dados de consumo e desperdício (todos os serviços públicos dependem de energia elétrica, como água, gás, segurança etc.). Com relação à responsabilidade social, as redes inteligentes podem favorecer a implantação e operação de políticas públicas focadas em eficiência energética, com redução do desperdício e uso eficiente. A responsabilidade ambiental e a sustentabilidade se ampliam, preservando os recursos naturais.

Smart grids no setor residencial são redes de energia elétrica que utilizam tecnologias avançadas, como sensores, medidores inteligentes e sistemas de comunicação, para monitorar e gerenciar o consumo de energia em tempo real, permitindo uma maior eficiência energética e redução de custos [Gomes, 2023].

A utilização dessas tecnologias pode trazer benefícios significativos para os consumidores, como redução de custos, maior eficiência energética e maior confiabilidade do sistema elétrico. Além disso, o uso de *smart grids* pode ajudar a reduzir a emissão de gases de efeito estufa e a promover a transição para uma matriz energética mais sustentável [Gomes, 2023].

2.4.4 Smart Energy

"A energia inteligente" refere-se ao uso de tecnologias avançadas e comunicação digital para aprimorar a eficiência, confiabilidade e sustentabilidade da produção, distribuição

e consumo de energia. O objetivo dos sistemas de energia inteligente é otimizar a geração e o uso de recursos energéticos, minimizando o desperdício e o impacto ambiental.

Considerando o aumento da demanda por energia, fornecedores e consumidores estão trabalhando juntos para manter essa demanda em níveis aceitáveis e seguros [Sequeira et al., 2014]. Além disso, para lidar com o aumento da população, projetos de cidades inteligentes têm sido propostos por muitos países e organizações para promover o consumo sustentável de energia nas cidades [Liu, Y. et al., 2019].

Nesse sentido, a gestão de energia é essencial em microrredes, residências e edifícios [Faruque, Al & Vatanparvar, 2016] para a operação e controle do sistema de energia confiável e eficiente [Guo & Zhao, 2018]. Em sistemas de energia tradicionais, a maior parte da demanda é incontrolável e o consumo de energia não é fácil de medir com precisão [Wang et al., 2018]. Assim, o gerenciamento de energia implica na capacidade de monitorar e caracterizar os padrões de utilização do usuário para projetar planos de redução de consumo de energia centrados no usuário em tempo real [Howell et al., 2019]. Portanto, novos sistemas e tecnologias precisam ser implantados para monitorar e controlar dados e informações de energia, para que novas políticas possam ser implementadas para a gestão de energia [Liu et al., 2019].

A eficiência energética tornou-se necessária em ambientes residenciais e comerciais, onde a redução das emissões de carbono e o preço da energia são dois dos principais fatores que levam as empresas a escolher novas tecnologias para reduzir seu consumo de energia [Sittón-Candanedo et al., 2019]. Portanto, um sistema de gestão de energia é essencial para controlar a produção e o consumo de energia, de modo que a eficiência energética e a economia de custos em casas e edifícios inteligentes dependem fortemente dos métodos de monitoramento e controle instalados [Maatoug, Belalem & Mahmoudi, 2019].

Os modelos de gestão de energia têm sido modificados para torná-los mais flexíveis e dinâmicos [Lawrence, 2015], com monitoramento e controle da geração, distribuição, armazenamento e consumo de energia sendo realizados de forma inteligente [Laayati, Bouzi & Chebak, 2020]. Essa nova forma de realizar a gestão de energia busca combinar sistemas de energia e tecnologias de informação e comunicação [Shahinzadeh et al., 2019]. A *Smart Energy* é considerada de forma híbrida ou multiconceitual, pois tanto pode ser a energia verde ou energia limpa como a maneira pela qual se consome, controla e gerencia a energia – via *Smart Grid* (gestão pelo lado da demanda), *Smart Storage* (geração e consumo ou armazenamento), *Smart Metering* (geração e venda de excedentes), etc.

A utilização de maior inteligência no consumo de energia elétrica pode ser verificada por meio da inserção dos *Smart Grid* na indústria elétrica. No caso do Brasil, esse somente passou a tratar do tema com maior profundidade e o regulou após 2010, apesar de ainda haver debates sobre a necessidade de adequação da Regulação para a efetiva internalização e utilização de uma *Smart Grid*. Segundo especialistas, no começo dos anos 2010, o Brasil não estaria tão distante de países desenvolvidos no que tange ao desenvolvimento e implantação das redes inteligentes de energia [David, 2018].

2.5 Captologia

O termo "Captologia", cunhado por Fogg [2003], provém da combinação da sigla "*Computer as Persuasive Technology*" (Computador como Tecnologia Persuasiva), acrescida do sufixo "-logia" (estudo de). A Captologia representa a disciplina dedicada ao estudo e à prática da utilização de tecnologias, sobretudo computadores e dispositivos digitais, com o propósito de influenciar e promover mudanças comportamentais específicas nas pessoas, através da persuasão.

O termo descreve uma área onde a tecnologia e a persuasão se sobrepõem, ou seja, onde se encontram, conforme pode ser observado no modelo explicativo de Fogg [2003] (Figura 1).

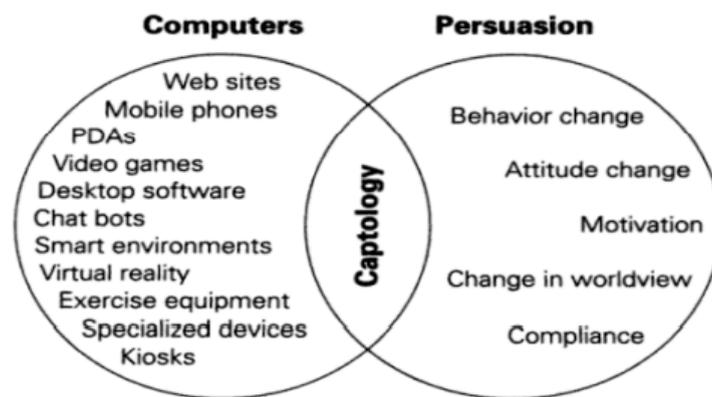


Figura 1. Modelo explicativo do termo Captologia.

Fonte: Fogg [2003].

É imperativo contextualizar esse conceito dentro do escopo de distinções fundamentais entre coerção, manipulação e persuasão, uma vez que todos buscam a alteração do comportamento do indivíduo. A coerção se vale da força física, a manipulação opera por meio de dissimulação ou omissão de informações, visando exclusivamente o benefício do manipulador, enquanto a persuasão envolve ativamente o sujeito persuadido, apresentando-lhe todos os fatos pertinentes e respeitando seu livre-arbítrio na tomada de decisão, configurando, assim, uma relação igualitária [Fogg, 2003].

Este campo de estudo concentra-se na compreensão da psicologia da persuasão e na exploração de como essa psicologia pode ser aplicada por meio da tecnologia com o intuito de atingir diversos objetivos, tais como a promoção de comportamentos mais sustentáveis, saudáveis e o aumento do envolvimento dos usuários, entre outros.

As abordagens frequentemente empregadas na Captologia incorporam elementos como gatilhos, recompensas, *feedback* e outros dispositivos destinados a motivar as pessoas a executar ações desejadas. Este domínio de estudo assume crescente relevância à luz da constante evolução digital e tecnológica.

A potencialidade das tecnologias computacionais viabiliza a ampliação das fronteiras das técnicas persuasivas, particularmente no que se refere à adaptabilidade dessas estratégias. O êxito das técnicas persuasivas tende a ser maximizado quando o persuasor consegue ajustar os elementos de influência conforme a situação [Fogg, 2003].

Uma das características proeminentes dessas tecnologias é a interatividade, que permite ao sistema a realização da persuasão por meio da adaptação de suas estratégias em consonância com o comportamento do indivíduo [Fogg, 2002]. Utilizando a Interação Humano-Computador (IHC), o produto computacional assume a função de participante na interação, tornando-se um recurso de persuasão. Nesse contexto, o computador pode tomar decisões com o propósito de promover a motivação e influenciar o usuário, empregando rotinas programadas para delinear tais estratégias [Fogg, 2002].

Pesquisas têm atestado a viabilidade dessas tecnologias em diversas esferas, abrangendo publicidade [Lambert, 2007], promoção de comportamentos saudáveis [Dijkstra, 2006; Eyck et al., 2006; Gasser et al., 2006], ações sociais [Morris & Guilak, 2009; Svane, 2007; Firpo et al., 2009] e redução do consumo de energia [Midden et al., 2008; McCalley et al., 2006]. Todavia, é imperativo reconhecer que, em consonância com a conceituação de persuasão, o resultado desejado não pode ser garantido, uma vez que cabe ao indivíduo persuadido a decisão de submeter-se ou não aos mecanismos de persuasão e, conseqüentemente, modificar suas atitudes ou comportamentos.

Antoniolli et al. [2022] destacam a aplicação da IA na previsão de consumo de energia elétrica, otimizando recursos e evitando desperdícios. Oliveira et al. [2024] complementam, mostrando como a IA melhora a precisão na calibração de medidores, assegurando cobranças justas. Borges & Borges [2023] ampliam o uso da IA no planejamento de matrizes energéticas sustentáveis, considerando fatores econômicos e ambientais.

Almeida et al. [2021] e Serafim, Varella & Santos [2023] propõem sistemas de monitoramento de baixo custo, usando Arduino e NodeMCU ESP32 para coleta e análise de dados em tempo real. Ambos visam capacitar usuários a identificar padrões de consumo e reduzir desperdícios. Esses estudos destacam o papel da IA e dos Sistemas de Informação na eficiência energética e sustentabilidade e como a Captologia intersecta diretamente nos pontos discutidos acima ao incentivar práticas de consumo energético mais eficientes ao promover decisões mais informadas e eficientes em prol de otimização de recursos e sustentabilidade.

2.6 Resumo do capítulo

O delineamento desta Fundamentação Teórica serviu como base para conduzir esta pesquisa de dissertação. Ao abordar as concepções sobre Economia Comportamental, *Nudge*, Captologia e Tecnologias *Smarts*, dentre outros, no contexto de Energia Elétrica, este capítulo forneceu uma compreensão abrangente sobre o contexto teórico subjacente. As referências prévias analisadas a partir de diversas perspectivas contribuíram significativamente, estabelecendo o ponto de partida essencial para as investigações subsequentes neste trabalho.

Capítulo 3

Mapeamento Sistemático

*“A leitura faz florescer novos conceitos,
novas ideias e novas atitudes”*

Antonio Costa.

Para o mapeamento sistemático seguiu-se o método proposto por [Kitchenham & Charters, 2007] dividindo-se em três fases: Planejamento, Condução e Extração dos Resultados.

Na fase do planejamento, foi documentado o protocolo de diretrizes para o mapeamento como: objetivo, questão da pesquisa, estratégia de busca e seleção dos trabalhos (os critérios). O mapeamento sistemático teve o propósito de responder a seguinte questão de pesquisa (QP): *Quais as intervenções nudges utilizadas no processo de mudança do comportamento frente ao consumo de energia elétrica, presentes na literatura, têm demonstrado redução de consumo elétrico?*. Após definir a questão de pesquisa, foi construída uma *string* de busca genérica baseada em [Brereton et al., 2007]. Primeiramente, definiu-se os termos principais relacionados com as questões de pesquisa. Em segundo momento, identificou-se os termos relacionados ou sinônimos destes termos principais, conectando-os pelo operador OR e, por fim, conectando estes termos com o operador AND.

Na fase de condução, o motor de busca *Google Scholar* foi utilizado como fonte de dados, no período de abril a julho de 2023 utilizando as seguintes *strings*: [*“nudges”* OR *“green nudges”* AND *“electricity”*]. A variedade de periódicos, revistas e jornais justificou a escolha do *Google Scholar*. A seleção dos trabalhos de interesse foi realizada de acordo com os critérios de inclusão e exclusão (para filtragem dos trabalhos) e de qualidade (para a análise qualitativa dos trabalhos) definidos no protocolo. Os critérios de inclusão, exclusão e qualidade podem ser observados no Quadro 2.

Considerou-se duas etapas importantes nessa fase: i) seleção preliminar, que consistiu na análise dos títulos e resumos de cada artigo; e ii) seleção final, que consistiu na análise dos textos completos dos artigos incluídos na primeira triagem.

Quadro 2. Critérios de seleção dos trabalhos.

Critérios de Inclusão
<ul style="list-style-type: none">• Artigos devem estar em português ou inglês;• Possuir as <i>strings</i> do campo de busca no título e/ou no resumo;• Artigos a partir de 2008 (ano de estabelecimento da teoria <i>Nudge</i>) a 2023;• Artigos de estudos experimentais, empíricos, quasi-experimentais;

Critérios de exclusão
<ul style="list-style-type: none"> ● Trabalhos incompletos; ● Trabalhos em andamento; ● Monografias, Dissertações, Teses, Livros ou Capítulo de Livros, Revisões Sistemáticas; ● Trabalhos que não abordem intervenções baseadas na Teoria <i>Nudge</i> no consumo de energia elétrica;
Critérios de qualidade
<ul style="list-style-type: none"> ● Apresentação: O objetivo é assertivo com a proposta apresentada no trabalho? O trabalho possui todas as seções esperadas de um trabalho científico? Os resultados e conclusões são evidenciados no trabalho? ● Metodologia: Os métodos propostos são replicáveis? Os procedimentos, métodos e técnicas são conhecidos e validados? ● Validação: A aplicação é avaliada por meio de indicadores quantitativos e qualitativos que facilitam a compreensão dos dados? O trabalho engloba uma seção de resultados com validação? São especificadas as métricas, diretrizes e modelos empregados para a avaliação?

Fonte: Elaboração própria [2023].

Por fim, na etapa de extração de resultados, os estudos selecionados foram investigados a fim de entender o estado da arte. Todos os resultados foram organizados e centralizados em uma planilha eletrônica, que continha as seguintes identificações: ID (Identificação), Título, Ano, Fonte, Ambiente de aplicação, Setor, Tipo de comunicação e Intervenção *Nudge*. A Figura 2, apresenta o fluxograma das diferentes fases do mapeamento sistemático, que buscou responder à questão de pesquisa, combinando-se as *strings* de busca e aplicada na base de dados *Google Scholar*.

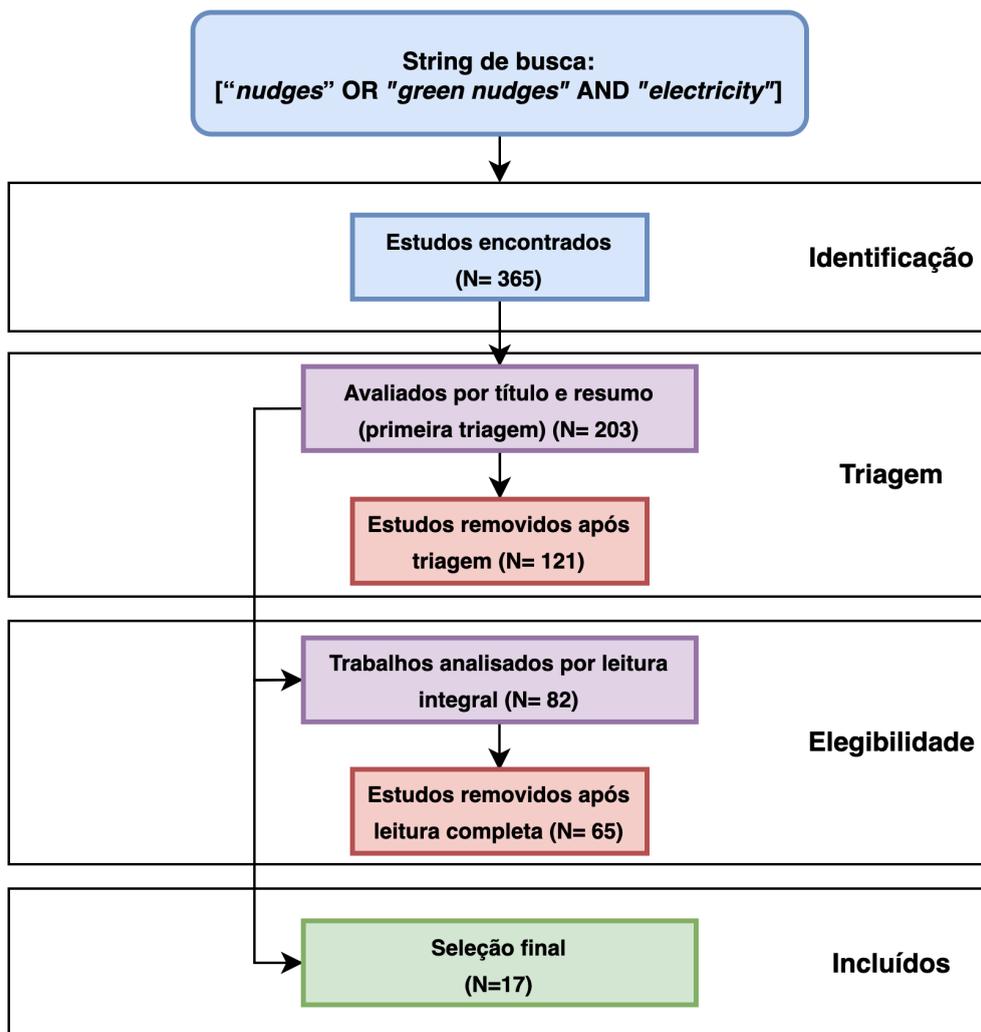


Figura 2. Fluxograma do mapeamento sistemático.

Fonte: Elaboração própria [2023].

Observa-se na Figura 2 que 365 trabalhos foram encontrados no processo de mapeamento sistemático, os quais passaram por uma etapa de triagem, eliminando estudos duplicados e posterior a isso, foi feita uma seleção preliminar baseada no título e resumo dos trabalhos, descartando-se 121 estudos. Na seleção final 82 estudos foram lidos na íntegra, que após aplicados os critérios de inclusão, exclusão e de qualidade, foram selecionados ao final 17 trabalhos⁷ (ver Tabela 1), que apresentaram respostas à questão da pesquisa e dos quais foram extraídos os resultados que são apresentados a seguir.

⁷ <https://bit.ly/3qzQMRs>

Tabela 1. Resultados do mapeamento sistemático.

ID	Título	Ano	Fonte	Ambiente de Aplicação	Setor	Tipo de Comunicação	Intervenção e Princípio Nudge
A01	<i>Public praise vs. private pay: Effects of rewards on energy conservation in the workplace</i>	2013	<i>Ecological Economics</i>	Empresarial	Privado	Textual	<i>Feedbacks</i> públicos e privados e recompensas monetárias e sociais
A02	<i>Providing persuasive feedback through interactive posters to motivate energy-saving behaviours</i>	2015	<i>Intelligent Buildings International</i>	Residência universitária e Empresarial	Público e Privado	Textual e Visual	<i>Feedbacks</i> , uso de Pôster e <i>Prompt</i> interativos
A03	<i>Would an Energy Conservation Nudge in Hotels Encourage Hotel Guests to Conserve?</i>	2016	<i>SAGE Publishing</i>	Hoteleiro	Privado	Verbal	Intervenções <i>nudges</i> com base em cenário (enquadramento)
A04	<i>Nudges from school children and electricity conservation: Evidence from the “Project Carbon Zero” campaign in Singapore</i>	2016	<i>Energy Economics</i>	Escolar	Público	Textual e verbal	Mensagens de conservação (incentivo) através de campanha
A05	<i>Nudges in the marketplace: The response of household electricity consumption to information and monetary incentives</i>	2017	<i>Journal of Economic Behavior & Organization</i>	Residencial	Privado	Textual	<i>Feedback</i> de consumo através de boletins informativos físicos
A06	<i>The behavioural effect of electronic home energy reports: Evidence from a randomised field trial in the United States</i>	2019	<i>Energy Policy</i>	Residencial	Privado	Textual e visual	<i>Feedbacks</i> , norma social e dicas de economia (incentivo) através de relatórios eletrônicos enviados por e-mail e um link para um portal web privado

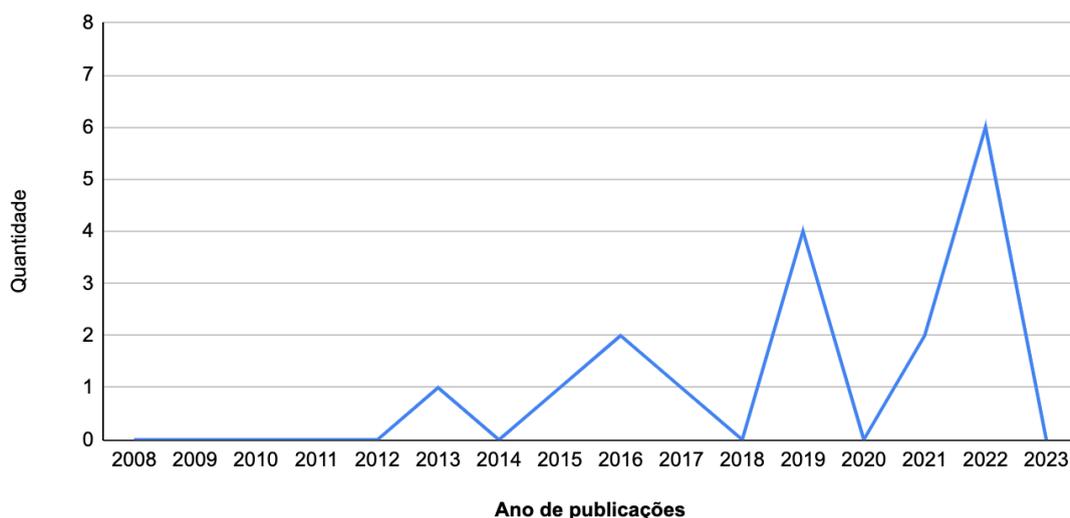
A07	<i>Pro-environmental incentives and loss aversion: A field experiment on electricity saving behavior</i>	2019	<i>Energy Policy</i>	Residencial	Privado	Textual	<i>Feedback</i> , metas, incentivos de ganho e quadro de perda (enquadramento) através de e-mails
A08	<i>Testing for crowd out in social nudges: Evidence from a natural field experiment in the market for electricity</i>	2019	<i>PNAS</i>	Residencial	Privado	Textual	<i>Feedback</i> através de relatórios enviados em horários de pico
A09	<i>Encouraging energy conservation at work: A field study testing social norm feedback and awareness of monitoring</i>	2019	<i>Energy Policy</i>	Acadêmico/ Empresarial	Privado	Textual e Visual	<i>Feedbacks</i> de normas sociais e monitoramento de acompanhamento
A10	<i>Nudging down household electricity usage during peak hours with small monetary rewards</i>	2021	<i>Energy & Environment</i>	Residencial	Privado	Textual	Recompensa monetária e apelo social (estímulo pró-ambiental) através de um aplicativo
A11	<i>Repairing a Cracked Mirror: The Heterogeneous Effect of Personalized Digital Nudges Driven by Misperception</i>	2021	<i>Production and Operations Management Society</i>	Residencial	Privado	Textual	Meta personalizada e <i>feedback</i> . Combinou o consumo diário com uma pesquisa pré-existente (consumo passado) para os clientes
A12	<i>The effect of information nudges on energy saving: Observations from a randomized field experiment in Finland</i>	2022	<i>Energy Policy</i>	Residencial	Privado	Textual	Dicas de economia (incentivo) de energia com <i>feedback</i> de consumo e comparação entre pares (norma social)

A13	<i>Reducing consumption of electricity: A field experiment in Monaco with boosts and goal setting</i>	2022	<i>Ecological Economics</i>	Residencial	Privado	Textual	<i>Feedback</i> e metas através de e-mails
A14	<i>Nudges and peak pricing: A common pool resource energy conservation experiment</i>	2022	<i>Journal of Behavioral and Experimental Economics</i>	Residencial (on-line)	Público	Visual (gamificado)	Norma social e <i>Feedback</i> através de um jogo
A15	<i>The Power of Nudging: Using Feedback, Competition, and Responsibility Assignment to Save Electricity in a Non-residential Setting</i>	2022	<i>Environmental and Resource Economics</i>	Empresarial	Privado	Textual e verbal	Sistema de e-mail automatizado, com as seguintes intervenções: 1) Fornecer informações (<i>feedback</i>) em que os funcionários podem colocar em ações; 2) Lembretes (incentivos) de informações sobre ligar alguns aparelhos pela manhã, por exemplo, e 3) Concurso social
A16	<i>Experimental evidence on heat loss visualization and personalized information to motivate energy savings</i>	2022	<i>Journal of Environmental Economics and Management</i>	Residencial	Público	Textual e Visual	Representação visual (imagens de perda de calor de infravermelho) e <i>Feedback</i> personalizado com relatórios de energia “tradicionalis”
A17	<i>The effect of normative-based feedback messaging on room air conditioner usage in university dormitory rooms in winter season</i>	2022	<i>Energy Buildings</i>	Residência universitária	Público	Textual	Avaliação térmica e <i>feedback</i> por meio de mensagens enviadas pela rede social <i>WeChat</i>

Legenda: A: Artigo; ID: Identificação. **Fonte:** Google Scholar [2023].

O ano de publicação com mais trabalhos aceitos foi o de 2022 com 6 trabalhos (32,3%), em segundo 2019 com 4 (23,5%). O ano de 2021 foi de 2 artigos (5%), a mesma quantidade publicada em 2016 e, por fim, o ano de 2013, 2015 e 2017 com 1 (5,9%). O Gráfico 1 apresenta uma relação de quantidades de trabalhos de acordo com os anos de publicação em ordem crescente.

Gráfico 1. Quantidade de publicações por ano.



Fonte: Elaboração própria [2023].

Ao longo de 15 anos, percebe-se que produções científicas relacionadas ao consumo sustentável de energia elétrica são relativamente reduzidas. O resultado aqui exposto, corrobora com os achados de De Souza [2023] que realizou uma pesquisa bibliográfica e identificou um volume reduzido de publicações quanto ao consumo sustentável, entre os anos de 2008 a 2022. Entretanto, nota-se um aumento nas publicações a partir de 2019, com picos em 2019, 2021 e 2022. Isso pode indicar um interesse crescente ou um maior foco na pesquisa no campo em questão. As flutuações nas primeiras décadas podem indicar que o campo estava se desenvolvendo gradualmente.

A base de dados *Science Direct* possui a maior quantidade de publicações encontradas (n=11), no geral, isso reflete em 64,7% dos trabalhos selecionados. Embora a *Science Direct* apresente dominante, outras bases de dados também estão representadas, o que sugere que a pesquisa está sendo publicada em uma variedade de base de dados. A Tabela 2 mostra a quantidade de artigos selecionados por bases de dados.

Tabela 2. Quantidade de artigos selecionados por base de dados.

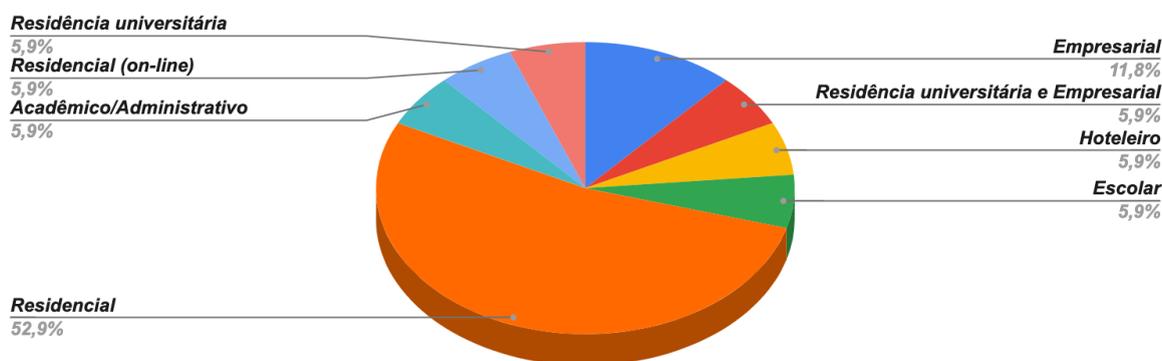
Base De Dados	Artigos Selecionados
<i>PNAS</i>	1
<i>SAGE</i>	2
<i>Science Direct</i>	11
<i>Springer Link</i>	1

<i>Taylor & Francis</i>	1
<i>Wiley</i>	1

Fonte: Elaboração própria [2023].

Ao analisar os trabalhos, observou-se uma variedade de ambiente de aplicações incluindo Empresarial, Residencial, Hoteleiro, Escolar e Acadêmico/Administrativo (ver Gráfico 2). Com uma predominância no ambiente Residencial (52,9%), sugerindo que essa categoria é fortemente uma área de foco significativo em pesquisas no contexto em questão. Isso sugere que há uma escassez de mecanismos de redução de consumo elétrico através de *nudges* em ambiente acadêmico. Esse cenário, encontra-se amparo na fala de Emeakaroha [2014], ao retratar que desafios para reduzir o consumo de energia no setor público e de ensino superior estão presentes.

Gráfico 2. Ambientes de aplicações de experimentos com uso de *nudges* no contexto em questão.

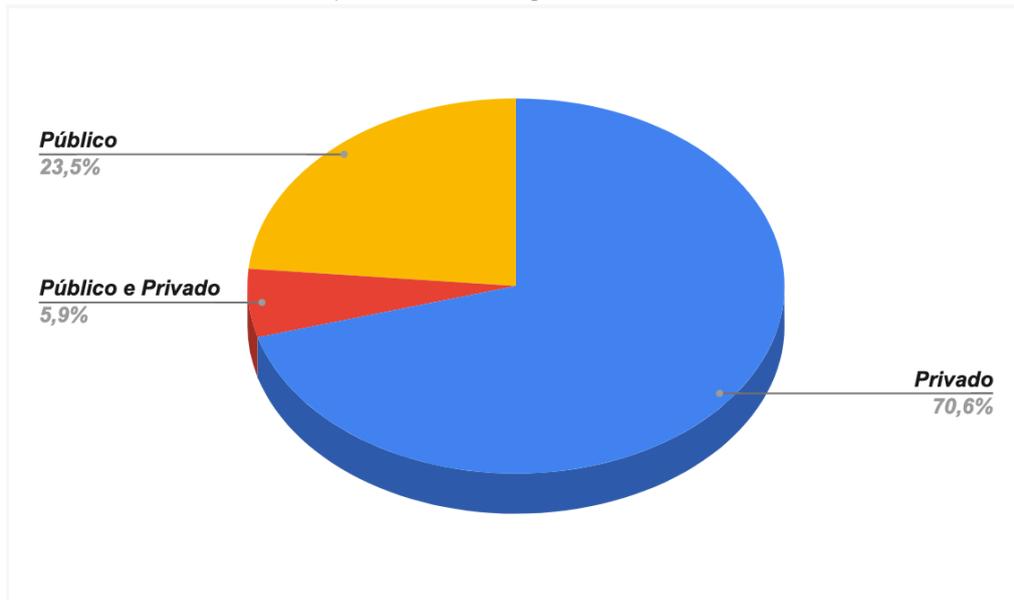


Fonte: Elaboração própria [2023].

Foi possível identificar que as aplicações têm iniciativa tanto no setor público quanto no privado (ver Gráfico 3). Dado que a categoria "Privado" é a mais frequente (70,6%), sugere que as intervenções estejam principalmente relacionadas a iniciativas do setor privado.

A maioria das intervenções indicam estar ocorrendo no ambiente Residencial e no setor Privado. Isso pode indicar que as iniciativas estão concentradas em influenciar o comportamento dos consumidores em suas casas e ambientes de trabalho. De acordo com De Souza [2023], há um crescente interesse nos últimos anos, no uso de *nudges* nos setores públicos e privados, pois eles geralmente têm baixo custo e bom potencial para favorecer objetivos tanto econômicos quanto relativos a outros aspectos. Entretanto, ainda percebe-se uma limitação em termos de publicações científicas e aplicações no setor público e acadêmico.

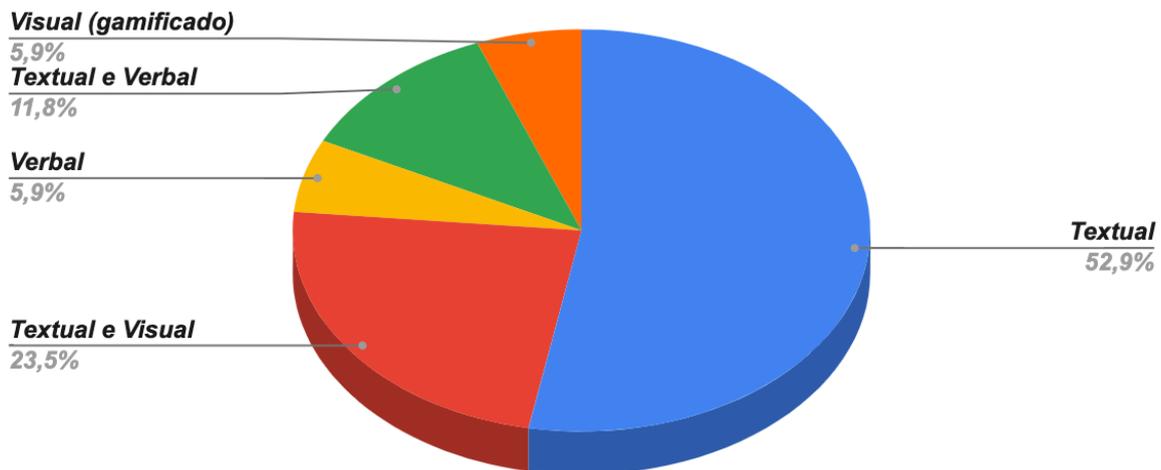
Gráfico 3. Identificação dos trabalhos quanto aos setores Público e Privado.



Fonte: Elaboração própria [2023].

É interessante notar que várias intervenções incluem diferentes formas de comunicação (ver Gráfico 4). Isso sugere um esforço em utilizar múltiplos modos para transmitir informações de maneira mais abrangente ou envolvente. A comunicação Textual é predominante (52,9%), mas há uma ênfase também na comunicação Textual e Visual (23,5%), sugerindo uma abordagem diversificada para envolver o público.

Gráfico 4. Identificação dos trabalhos quanto às formas de comunicação.



Fonte: Elaboração própria [2023].

QP: Quais as intervenções *nudges* utilizadas no processo de mudança do comportamento frente ao consumo de energia elétrica, presentes na literatura, têm demonstrado redução de consumo elétrico?

Várias aplicações de intervenção *nudge* foram identificadas (Tabela 2). Para simplificar a apresentação dos resultados desta questão de pesquisa, foi elaborado o Quadro 3, contendo os princípios *nudges* identificados, descrição geral do princípio *nudge* trabalhado e identificação dos artigos. Alguns trabalhos utilizam mais de uma intervenção ou princípio *nudge*.

Com isso, a partir dos 17 artigos de referência, apresenta-se a seguinte síntese:

Quadro 3. Princípios *nudges* identificados nos artigos de referência.

PRINCÍPIOS <i>NUDGE</i>	DESCRIÇÃO	ID DOS ARTIGOS
<i>Apelo</i>	Projetadas para evocar sentimentos; explorar o senso de pertencimento	A10
<i>Enquadramento</i>	Efeito de “enquadrar” as pessoas nas alternativas, fazendo-as refletir sobre as consequências	A03; A07
<i>Feedback</i>	Induzir a mudança de comportamento por meio descritivo ou injuntivo	A01; A02; A05; A06; A07; A08; A09; A11; A12; A13; A14; A15; A16; A17
<i>Incentivo</i>	Sugestões mais atrativas (“evitar perdas”)	A04; A06; A07; A12; A15
<i>Meta</i>	Alinhar as ações das pessoas com metas específicas	A07; A11; A13
<i>Norma social</i>	“O que os outros fazem” pode regular o comportamento das pessoas	A06; A09; A12; A14

Fonte: Elaboração própria [2023].

Os estudos identificados abordaram a eficácia de estratégias comportamentais baseadas em *nudges* para promover o consumo sustentável de energia elétrica e sua respectiva mudança comportamental. Diferentes abordagens foram testadas em contextos diversos, incluindo intervenções voltadas a crianças em idade escolar [Agarwal et al., 2017], residenciais [Liu et al., 2022; Papineau & Rivers, 2022; Buckley & Llerena, 2022; Lazaric & Toumi, 2022; Ruokamo et al., 2022; Lee & Kim, 2022; Jung et al., 2021; Guesla et al., 2020; Henry et al., 2019; Brandon et al., 2019; Sudarsan, 2017; Agha-hosseini et al., 2015], não residenciais [Klege et al., 2022], empresarial [Klege et al., 2022; Wong-Parodi et al., 2019; Agha-hosseini et al., 2015; Handgraaf et al., 2013], hotéis [Chang et al., 2016]. As intervenções envolveram *feedback* de normas sociais, estabelecimento de metas, incentivos pró-ambientais, comparações de consumo, mensagens personalizadas e *feedback* visual.

Os resultados indicaram que intervenções comportamentais baseadas em *Feedback* (n=14), *Incentivos* (n=5) e *Normas sociais* (n=4) são comumente utilizadas e podem efetivamente reduzir o consumo de eletricidade. Esses achados encontram amparo em Da Cunha [2023], onde o mesmo destaca que opção padrão e *feedback* com norma social são os principais princípios *nudges* estudados no contexto de consumo de energia elétrica. Quando as pessoas percebem que atitudes ecologicamente responsáveis são bem-vistas socialmente, podem começar a evitar ações prejudiciais ao meio ambiente.

Foi observado que o uso de crianças como mensageiras influenciou comportamentos de economia de energia em famílias [Agarwal et al., 2017]. Estratégias como *feedback* e normas sociais [Buckley & Llerena, 2022; Ruokamo et al., 2022; Wong-Parodi et al., 2019; Henry et al., 2019], competições inter-pavimentos [Klege et al., 2022] e *feedback* personalizado [Jung et al., 2021; Henry et al., 2019] mostraram-se eficazes em reduzir o consumo de eletricidade em ambientes residenciais e não residenciais. A personalização das mensagens de acordo com as percepções errôneas dos consumidores sobre seu consumo passado também foi considerada uma abordagem eficiente.

Além disso, incentivos financeiros combinados com estímulos pró-sociais [Ghesla et al., 2020] e *feedback* público [Handraaf et al., 2013] demonstraram resultados promissores. A apresentação visual da perda de calor doméstico e informações sobre eficiência energética [Papineau & Rivers, 2022] também influenciaram positivamente o comportamento da economia de energia.

Em suma, as investigações científicas sobre os efeitos dos *nudges* na conservação de energia apontam para a eficácia dessas abordagens em diversos cenários, destacando a importância da personalização, *feedback* com norma social, incentivos pró-ambientais e estratégias de conscientização para promover comportamentos ecologicamente corretos.

3.1 Relatório do mapeamento sistemático

Nesta seção são apresentados os trabalhos selecionados e a comparação entre eles.

3.2 Trabalhos selecionados

Para cada um dos 17 artigos selecionados é descrito um breve resumo contendo as principais informações presentes neles.

Artigo 01 [A01] - *Public praise vs. private pay: Effects of rewards on energy conservation in the workplace*

No trabalho de Handgraaf, De Jeude & Appelt [2013], intitulado "*Public praise vs. private pay: Effects of rewards on energy conservation in the workplace*" (Elogio público versus pagamento privado: Efeitos de recompensas na conservação de energia no local de trabalho), relata um experimento de campo realizado para investigar os efeitos das recompensas econômicas e sociais/normativas na conservação de energia no ambiente de trabalho.

O estudo envolveu a participação de 83 funcionários de uma empresa holandesa de consultoria ambiental, distribuídos em 5 departamentos. Foi empregado um desenho quase-experimental com um desenho fatorial 2x2, onde os participantes foram expostos a quatro condições experimentais diferentes: recompensa monetária versus recompensa social e *feedback* privado versus *feedback* público. Além disso, havia um grupo de controle que não recebeu nenhuma recompensa ou *feedback*.

O consumo de energia dos participantes foi medido ao longo de 13 semanas usando dispositivos de medição de tomada "*smart plug*", que registraram o uso de energia pelos computadores dos participantes durante o horário de trabalho. Os dados foram analisados para avaliar os efeitos das diferentes condições experimentais sobre a conservação de energia.

Os resultados indicaram que as recompensas sociais tiveram um efeito mais positivo na conservação de energia do que as recompensas monetárias, e que o feedback público teve um efeito mais forte do que o *feedback* privado. As recompensas sociais públicas mostraram-se particularmente eficazes, com os participantes ainda conservando energia mesmo após o término do período de intervenção. Por outro lado, as recompensas monetárias privadas tiveram efeitos contraproducentes, levando a um aumento no consumo de energia em comparação com o grupo de controle.

Uma limitação do estudo foi a impossibilidade de separar os efeitos das recompensas e do *feedback*, já que todas as condições experimentais envolveram tanto recompensas quanto *feedback*. Além disso, não ficou claro se o efeito positivo do *feedback* público era devido ao conhecimento do comportamento dos outros participantes ou à percepção de que outros poderiam observar seu comportamento.

Portanto, os resultados sugerem que, no contexto do local de trabalho, as recompensas sociais e o *feedback* público podem ser mais eficazes do que as recompensas monetárias e o *feedback* privado na promoção da conservação de energia. No entanto, são necessárias mais pesquisas para entender completamente os mecanismos subjacentes a esses efeitos e para explorar maneiras de otimizar estratégias de conservação de energia nas organizações.

Artigo 02 [A02] - *Providing persuasive feedback through interactive posters to motivate energy-saving behaviours*

O trabalho de Agha-Hosseini et al., [2015], investiga o impacto de cartazes e *prompts* interativos, baseados no Modelo de Verossimilhança de Elaboração (ELM), na motivação das pessoas para adotarem comportamentos de economia de energia de forma voluntária. Isso foi realizado através de dois estudos-piloto realizados em um prédio de escritórios em Londres e em uma residência estudantil na Universidade de *Reading*.

No prédio de escritórios, o cartaz interativo visava incentivar os ocupantes a usar as escadas em vez do elevador, enquanto na residência estudantil, os *prompts* de luz interativos foram projetados para lembrar os ocupantes de desligar as luzes quando não estivessem em uso. As intervenções foram baseadas em teorias comportamentais e de persuasão, com o objetivo de "cutucar" os comportamentos dos ocupantes em direção à economia de energia.

Os resultados mostraram que, após a intervenção experimental, houve uma melhoria na atitude e no comportamento relatados pelos funcionários em relação à economia de energia no local de trabalho. No entanto, essa mudança de comportamento persistiu apenas por alguns dias. Em relação ao consumo de eletricidade, houve uma mudança significativa no consumo após a instalação das intervenções na residência estudantil, mas não foi observada uma melhoria na tendência ao longo do tempo.

As entrevistas e pesquisas indicaram que os *prompts* de luz foram facilmente compreendidos pelos ocupantes e que a recompensa imediata fornecida pelos LEDs foi eficaz para chamar a atenção e motivar o comportamento de economia de energia.

No entanto, o estudo enfrentou algumas limitações, como o curto período de tempo disponível para conduzir os estudos-piloto e a falta de dados de estudos anteriores realizados em períodos mais longos. Em suma, o estudo sugere que intervenções baseadas em cartazes e prompts interativos podem ser eficazes para motivar comportamentos de economia de energia, desde que sejam combinadas com uma mensagem clara e compreensível, e ofereça uma recompensa simples e imediata aos indivíduos.

Artigo 03 [A03] - *Would an Energy Conservation Nudge in Hotels Encourage Hotel Guests to Conserve?*

O trabalho de Chang, Huh & Lee [2016], investigou se os hotéis poderiam incentivar os hóspedes a conservar energia através do uso de *nudges* (empurrões suaves) semelhantes aos usados em estudos anteriores que mostraram sucesso na redução do consumo de eletricidade em residências.

O experimento foi conduzido com um design fatorial 2×2 entre grupos, com um grupo de controle. Os participantes foram expostos a diferentes cenários hipotéticos que descreviam situações em quartos de hotel onde os hóspedes poderiam perceber uma oportunidade de economizar energia desligando luzes desnecessárias. Esses cenários foram manipulados para incluir ou não *nudges* de conservação de energia.

Os resultados revelaram que os "nudges" de conservação de energia tiveram um impacto significativo nas intenções comportamentais dos participantes em relação à conservação de eletricidade, independentemente da valência do consumo de eletricidade e do tipo de comparação utilizada. Ou seja, os *nudges* foram eficazes em incentivar os participantes a demonstrar uma intenção maior de conservar energia.

Este estudo sugere que os hotéis podem alcançar eficiência energética incentivando os hóspedes a conservar energia, sem necessariamente pedir diretamente que o façam. Isso pode ser feito através da implementação de "nudges" adequados, semelhantes aos utilizados pelas empresas de serviços públicos.

No entanto, o estudo apresenta algumas limitações, como o uso de cenários hipotéticos em vez de situações reais de hotel, o que pode limitar a generalização dos resultados. Além disso, sugere-se que pesquisas futuras explorem mais a fundo a eficácia de diferentes tipos de "nudges" e sua aplicação em contextos reais de hotelaria.

Artigo 04 [A04] - *Nudges from school children and electricity conservation: Evidence from the "Project Carbon Zero" campaign in Singapore*

O trabalho de Agarwal et al., [2017], investigou os efeitos de um programa chamado "Projeto Carbono Zero" em Cingapura, que envolveu a participação de crianças em idade escolar na promoção da conservação de energia em suas famílias. Durante o programa, os alunos foram instruídos por professores sobre a importância da conservação de energia e receberam dicas específicas sobre como reduzir o consumo de eletricidade em casa. Os alunos foram então encorajados a influenciar seus familiares a adotar essas práticas de economia de energia.

O estudo utilizou um desenho experimental chamado de "*diff-in-diff*" (diferenças em diferenças), onde o grupo de tratamento foi definido como os blocos habitacionais localizados dentro de um raio de 2 km das escolas participantes, enquanto o grupo de controle foi formado pelos blocos habitacionais localizados fora desse raio. Os resultados mostraram que as intervenções comportamentais promovidas pelo programa levaram a uma redução significativa no consumo de eletricidade nas famílias dos alunos participantes durante o período da competição, com efeitos persistentes mesmo após o término do concurso.

Além disso, o estudo realizou testes de robustez para verificar a validade dos resultados, incluindo diferentes distâncias casa-escola e faixas etárias dos alunos participantes. Os resultados dos testes de robustez confirmaram a eficácia do programa na redução do consumo de eletricidade.

Portanto, o estudo conclui que o programa "*Projeto Carbono Zero*" foi eficaz na promoção da conservação de energia através da participação das crianças em idade escolar, evidenciando o papel crucial que esses programas podem desempenhar na conscientização e mudança de comportamento em relação à eficiência energética.

Artigo 05 [A05] - *Nudges in the marketplace: The response of household electricity consumption to information and monetary incentives*

O trabalho de Sudarshan [2017], apresenta um estudo realizado na Índia que investigou o impacto de várias intervenções comportamentais no consumo de eletricidade domiciliar. As intervenções testadas foram: (i) relatórios semanais que comparavam o uso de eletricidade entre pares de residências; (ii) relatórios semanais acrescidos de incentivos monetários para reduzir o consumo; e (iii) variação de preços. O estudo foi conduzido durante o verão de 2012 em uma comunidade residencial na Região da Capital Nacional da Índia.

As famílias participantes foram divididas em diferentes grupos de tratamento e controle. O grupo de controle não recebeu nenhuma intervenção, enquanto outros grupos receberam diferentes combinações das intervenções mencionadas. Os relatórios semanais forneciam informações sobre o consumo de eletricidade da residência em comparação com a média de outras residências semelhantes na comunidade. Além disso, as famílias em um dos grupos de tratamento foram inscritas em um esquema de recompensa monetária que variava de acordo com a diferença entre seu consumo de eletricidade e a média dos pares.

Os resultados mostraram que as famílias que receberam apenas os relatórios semanais reduziram seu consumo de eletricidade em 7% durante o período do experimento. Além disso, foi observado que as famílias que receberam relatórios semanais juntamente com incentivos monetários não reduziram significativamente mais o consumo em comparação com aquelas que receberam apenas os relatórios semanais. Este resultado foi considerado contra-intuitivo.

O estudo também estimou a elasticidade-preço do consumo de eletricidade, que foi de -0,56. Isso significa que um aumento de 1% no preço da eletricidade levaria a uma redução de 0,56% no consumo.

Portanto, os resultados do estudo fornecem insights importantes sobre como os consumidores respondem a diferentes intervenções comportamentais em relação ao consumo de eletricidade domiciliar em um contexto urbano na Índia.

Artigo 06 [A06] - *The behavioural effect of electronic home energy reports: Evidence from a randomised field trial in the United States*

O estudo apresentado por Henry, Ferraro & Kontoleon [2019] investiga o impacto dos relatórios de energia residencial (HERs) entregues eletronicamente no consumo de eletricidade residencial nos Estados Unidos. Esses HERs são projetados para fornecer comparações de uso de energia e informações sobre oportunidades de economia de energia aos consumidores residenciais.

O experimento de campo foi realizado em um mercado de eletricidade residencial desregulamentado nos Estados Unidos, envolvendo aproximadamente 9.000 residências. As residências foram divididas em dois grupos: um grupo de controle, que recebeu comunicação de status quo do fornecedor de eletricidade, e um grupo de tratamento, que recebeu os HERs personalizados adicionais desenvolvidos pela empresa de software.

Os HERs incluíam informações sobre o consumo mensal de eletricidade dos clientes, comparações sociais do consumo de eletricidade dos usuários com residências semelhantes na área e conselhos personalizados sobre a redução do uso de eletricidade. O programa visava enviar os relatórios mensalmente por um período de 12 meses.

Embora tenha havido uma alta não conformidade com a entrega dos HERs, o programa conseguiu reduzir o consumo de eletricidade residencial em 2,9%. Este resultado é consistente com os impactos estimados anteriormente dos HERs entregues pelo correio, indicando que os HERs entregues eletronicamente são pelo menos tão eficazes quanto os relatórios físicos na redução do consumo de eletricidade.

Além disso, mesmo considerando a não conformidade na entrega dos relatórios, os resultados mostram que o impacto estimado do programa está no limite superior dos impactos estimados anteriormente. Isso sugere que os HERs eletrônicos podem ser mais econômicos e igualmente eficazes na redução do consumo de eletricidade residencial em comparação com os relatórios físicos.

Artigo 07 [A07] - *Pro-environmental incentives and loss aversion: A field experiment on electricity saving behavior*

O estudo conduzido por Ghesla et al. [2020] investiga o comportamento de economia de eletricidade das residências por meio de incentivos pró-ambientais que não afetam a utilidade monetária, mas visam as preferências ambientais das pessoas. O experimento de campo envolveu a cooperação com uma concessionária de eletricidade na Alemanha e convidou 35.000 residências para participar do estudo.

O estudo consistiu em três fases: a linha de base, o período de tratamento e o período pós-tratamento. Durante a fase de linha de base, foram medidos os níveis básicos de consumo de eletricidade. Durante o período de tratamento, os participantes foram incentivados a economizar energia elétrica e foram designados aleatoriamente para quatro grupos experimentais diferentes. Estes grupos incluíam um grupo de controle, um grupo com metas de economia de eletricidade sem incentivo, um grupo com incentivos baseados em ganhos e um grupo com incentivos baseados em perdas. O grupo de controle recebeu as mesmas

informações e dicas sobre economia de eletricidade, mas não teve metas ou incentivos associados. Os grupos com incentivos baseados em ganhos e perdas tinham a mesma meta de redução de 5% no consumo de eletricidade, mas com incentivos adicionais associados à realização ou não da meta.

Os resultados do estudo mostraram que os incentivos pró-ambientais foram eficazes na redução do consumo de eletricidade, especialmente quando apresentados na forma de perdas ambientais. O grupo com incentivos baseados em perdas mostrou uma redução significativa de 5% no consumo de eletricidade em comparação com o grupo de controle. Além disso, os efeitos dos incentivos baseados em perdas persistiram mesmo após o término do período de tratamento.

O estudo adiciona importantes *insights* ao debate sobre o uso de intervenções comportamentais para influenciar as decisões das pessoas nos mercados de energia. Demonstra que os incentivos pró-ambientais, mesmo aqueles baseados em perdas, podem ser eficazes na redução do consumo de eletricidade. Além disso, não encontrou evidências de que os participantes evitassem ativamente os incentivos baseados em perdas, sugerindo que esses incentivos podem ser uma ferramenta viável para políticas ambientais. No entanto, o estudo também destaca considerações morais e éticas importantes associadas ao uso de tais intervenções comportamentais, destacando a necessidade de um entendimento mais aprofundado das condições em que os incentivos baseados em perdas devem ser aplicados.

Artigo 08 [A08] - *Testing for crowd out in social nudges: Evidence from a natural field experiment in the market for electricity*

O estudo conduzido por Brandon et al., [2019] investiga o impacto de incentivos sociais no consumo doméstico de eletricidade durante eventos de pico de carga. O experimento envolveu a implementação de dois tipos de nudges sociais: um destinado à conservação durante eventos de pico de carga (PER) e outro focado na conservação agregada de eletricidade (HER).

Os pesquisadores conduziram um experimento de campo natural com 42.100 residências no sul da Califórnia, durante o verão de 2014. Os domicílios foram aleatoriamente designados para receber um dos seguintes tratamentos: HER, PER, ambos HER e PER, ou nenhum (grupo de controle). Os resultados mostraram que tanto o PER quanto o HER reduziram o consumo de eletricidade durante os eventos de pico de carga, com uma redução de 2 a 4% quando implementados isoladamente e de quase 7% quando implementados em conjunto.

Além disso, o estudo examinou se havia um efeito de “*crowd out*”, ou seja, se o recebimento anterior de um *nudge* social influenciaria a eficácia de outro *nudge* social. Não foi encontrada evidência de *crowd out*; na verdade, houve uma complementaridade ou efeito de “*crowding in*”, onde o efeito combinado dos dois *nudges* sociais em conjunto superou marginalmente o efeito combinado dos dois nudges sociais isoladamente.

Os resultados sugerem a importância dos nudges sociais na regulação dos mercados de eletricidade e destacam a necessidade de mais pesquisas para entender os mecanismos subjacentes ao *crowd in* e *out*. Isso é crucial para informar futuras políticas destinadas a garantir um sistema de energia sustentável.

Artigo 09 [A09] - *Encouraging energy conservation at work: A field study testing social norm feedback and awareness of monitoring*

O estudo realizado por Wong-Parodi et al., [2019] visa incentivar a conservação de energia entre os funcionários administrativos de uma universidade. Para isso, foram testadas duas estratégias comportamentais: *feedback* de normas sociais e conscientização sobre monitoramento de energia.

Os participantes foram recrutados entre os funcionários administrativos da *Carnegie Mellon University* e foram informados de que estavam participando de um estudo sobre qualidade de energia, para evitar viés de auto-seleção. Eles foram instalados com medidores de energia *Belkin Wemo Insight* em seus escritórios, e durante a fase de linha de base, o consumo de energia foi monitorado passivamente. Em seguida, os participantes foram divididos em duas condições: *feedback* de normas sociais ou conscientização sobre monitoramento de energia.

Os resultados mostraram que os participantes na condição de *feedback* de normas sociais reduziram significativamente seu consumo de energia durante a fase de intervenção e de acompanhamento em comparação com a linha de base. Eles usaram 10% menos energia durante a intervenção e 11% menos energia durante o acompanhamento. Além disso, os participantes nesta condição demonstraram um maior aprendizado sobre seu uso de energia em comparação com aqueles na condição de conscientização sobre monitoramento de energia.

Esses resultados sugerem que o *feedback* de normas sociais é uma estratégia eficaz para promover a conservação de energia em ambientes organizacionais, mesmo quando não há incentivos financeiros diretos ou motivação intrínseca para economizar. Isso é relevante para formuladores de políticas e gerentes de construção que buscam estratégias eficazes de *nudge* comportamental para reduzir o consumo de energia.

Artigo 10 [A10] - *Nudging down household electricity usage during peak hours with small monetary rewards*

O artigo de Lee & Kim [2022] investiga um programa de resposta à demanda (DR) na província de Gangwon, na Coreia do Sul, chamado "*Electricity Piggy Bank Project*", que visa reduzir o consumo de eletricidade durante os horários de pico. Nesse programa, dispositivos de medição inteligente foram instalados em cerca de 2.000 residências, e os participantes foram incentivados a reduzir seu uso de eletricidade durante os eventos de pico declarados, recebendo pequenas recompensas monetárias (cerca de US\$ 1) na forma de "pontos do cofrinho de eletricidade".

O estudo abrangeu um período de um ano e incluiu 47 eventos de pico declarados. Os resultados mostraram uma redução significativa no uso de eletricidade durante os horários de pico, e o efeito não diminuiu ao longo do tempo. Isso sugere que o programa de DR foi eficaz em incentivar a conservação de energia a longo prazo.

Além disso, o estudo comparou a magnitude da economia de eletricidade neste programa com outros programas de DR baseados em incentivos financeiros. Descobriu-se que

oferecer pequenas recompensas monetárias, juntamente com estímulos pró-sociais, foi uma alternativa viável para incentivar a redução do consumo de eletricidade durante os horários de pico, com resultados comparáveis aos programas orientados apenas para recompensas financeiras.

Em suma, o estudo demonstra que programas de DR que combinam pequenas recompensas monetárias com apelos à consciência social podem ser eficazes e sustentáveis para reduzir o consumo de eletricidade durante os horários de pico em residências, oferecendo uma estratégia promissora para a gestão da demanda de energia elétrica.

Artigo 11 [A11] - *Repairing a Cracked Mirror: The Heterogeneous Effect of Personalized Digital Nudges Driven by Misperception*

O artigo de Jung, Cho & Shin [2021] explora os efeitos heterogêneos de nudges digitais personalizados no comportamento de economia de energia dos clientes, com base em suas percepções errôneas sobre seu consumo de eletricidade. O estudo realizou um experimento de campo em colaboração com uma empresa líder em medição inteligente na Coreia do Sul, visando investigar se fornecer metas personalizadas e *feedback* influenciaria o comportamento de economia de energia dos clientes, e como esses impactos variam de acordo com os diferentes tipos de percepção errônea.

Os pesquisadores coletaram dados sobre o consumo diário de energia dos clientes e também realizaram uma pesquisa pré-experimento para identificar clientes que subestimavam ou superestimavam seu consumo passado de eletricidade em comparação com seu consumo real.

Os resultados indicaram que os mecanismos de estabelecimento de metas e *feedback* tiveram efeitos distintos em cada tipo de percepção errônea. Os clientes que subestimavam seu consumo passado reduziram seu consumo de energia apenas quando receberam o tratamento de "estabelecimento de metas com *feedback*". Por outro lado, os clientes que superestimavam seu consumo passado reduziram seu consumo de energia mesmo quando receberam apenas o tratamento de "estabelecimento de metas sem *feedback*". Este fenômeno foi atribuído ao processo de atualização de crenças tendenciosas em direção à realização das metas estabelecidas.

Em resumo, os resultados do estudo destacam que os *nudges* digitais personalizados provocam respostas comportamentais heterogêneas, dependendo das percepções errôneas dos clientes sobre seu consumo de energia. Essas descobertas têm implicações significativas para provedores de serviços e formuladores de políticas, fornecendo insights valiosos para o planejamento e a implementação de estratégias eficazes de *nudging* comportamental no contexto da conservação de energia.

Artigo 12 [A12] - *The effect of information nudges on energy saving: Observations from a randomized field experiment in Finland*

O estudo realizado por Ruokamo et al. [2022] investiga o impacto dos *nudges* de informação no consumo de eletricidade residencial, com foco em um experimento de campo conduzido na Finlândia. O objetivo do experimento foi examinar se dicas de economia de

energia, combinadas com ou sem acesso a uma plataforma online de serviços de energia, e comparações entre pares (norma social), influenciariam o consumo de eletricidade das residências.

O experimento foi realizado em cooperação com a *Porvoo Energy*, uma concessionária de energia no sul da Finlândia, e contou com a participação de 528 domicílios. Os participantes foram divididos em diferentes grupos de tratamento, incluindo aqueles com acesso a boletins informativos mensais por e-mail e uma plataforma online de serviços de energia, além daqueles que receberam comparações entre pares. Os resultados indicaram uma redução significativa no consumo de eletricidade, especialmente durante o inverno, entre os participantes que tinham acesso a *feedback* de uso e dicas versáteis de economia de energia, sem as comparações de normas sociais. Essa redução média foi de aproximadamente 10%.

O estudo também destacou desafios em incentivar o comportamento de economia de energia entre os agregados familiares menos interessados em acompanhar seu consumo de eletricidade. Observou-se uma variação sazonal nos efeitos do tratamento, com uma influência mais pronunciada durante os meses de inverno.

Além disso, o estudo ressalta a importância do desenvolvimento de serviços de energia online e ferramentas de monitoramento eficazes e acessíveis. Embora tenha havido um interesse significativo em monitorar o consumo de eletricidade entre os participantes, a utilização da plataforma online e da ferramenta de comparação foi menor do que o esperado, sugerindo a necessidade de melhorias na usabilidade e clareza desses recursos.

Em termos de políticas e implicações, o estudo destaca a necessidade de abordagens multifacetadas para promover a mudança de comportamento no consumo de eletricidade, que incluem estruturas regulatórias adequadas, tecnologias acessíveis, incentivos financeiros apropriados e conselhos sobre energia bem planejados e implementados. Os resultados do estudo oferecem *insights* valiosos para formuladores de políticas e prestadores de serviços de energia sobre como os nudes de informação podem ser eficazes na promoção da economia de energia, especialmente em áreas com alta variação sazonal no consumo de eletricidade.

Artigo 13 [A13] - *Reducing consumption of electricity: A field experiment in Monaco with boosts and goal setting*

O estudo realizado por Lazaric & Toumi [2022] investigou a eficácia de estratégias comportamentais, como metas de redução de consumo de eletricidade e fornecimento de informações, para diminuir o consumo de eletricidade em residências no Principado de Mônaco. O experimento foi conduzido durante um período de seis meses, de dezembro de 2018 a maio de 2019.

O estudo contou com a participação de 77 famílias, divididas em quatro grupos: um grupo de controle e três grupos de tratamento. Os grupos de tratamento receberam diferentes intervenções: o Tratamento 1 consistiu em metas ambiciosas de redução de eletricidade combinadas com informações; o Tratamento 2 consistiu em metas modestas de redução de eletricidade combinadas com informações; e o Tratamento 3 consistiu apenas no fornecimento de informações. O objetivo foi avaliar a complementaridade entre os diferentes tratamentos, incluindo "*boosts*" (fornecimento de informações) e "*metas*" (ambiciosas ou modestas), para reduzir o consumo de energia elétrica.

Os resultados mostraram que o Tratamento 2, que envolveu metas modestas de redução de eletricidade combinadas com informações, teve o melhor desempenho na conservação de eletricidade. Além disso, o estudo explorou a relação entre as estratégias comportamentais e a preocupação ambiental das famílias, medida pelo Novo Paradigma Ecológico (NEP). Descobriu-se que os tratamentos 1 e 2 foram eficazes na redução do consumo de energia elétrica apenas em residências com altos níveis de preocupação ambiental, enquanto aqueles com baixo nível de preocupação não responderam a nenhuma das intervenções comportamentais.

Com base nesses resultados, os autores forneceram recomendações para a implementação de ferramentas comportamentais e "boosts" visando à redução do consumo de eletricidade. Essas recomendações destacaram a importância de adaptar as estratégias de acordo com o nível de preocupação ambiental das famílias e a necessidade de metas realistas e mensuráveis para incentivar mudanças de comportamento eficazes em relação ao consumo de eletricidade.

Artigo 14 [A14] - *Nudges and peak pricing: A common pool resource energy conservation experiment*

O artigo de Buckley & Llerena [2022] descreve um experimento de laboratório que investigou a eficácia de *nudges* e preços de pico na conservação de energia em um contexto de recursos de uso comum. O experimento foi concebido para simular escolhas hipotéticas de consumo de eletricidade em um jogo experimental que modela elementos dos esforços reais de conservação de energia, nos quais os participantes enfrentam um trade-off entre benefícios privados e sociais e uma desutilidade pessoal.

Os participantes foram divididos em grupos de quatro e participaram de 10 períodos de pico, nos quais a demanda de eletricidade pode exceder a oferta. Cada participante recebeu uma dotação de 100 ECU (Unidade de Consumo Experimental) para consumir eletricidade em cada período. No tratamento de controle e no tratamento de *nudges*, cada unidade de eletricidade consumida custava 1 ECU. No tratamento de preço, o custo aumentava para 3 ECU, induzindo os participantes a considerarem as consequências financeiras de seu consumo durante os períodos de pico.

Os participantes foram informados de que o consumo de eletricidade proporciona conforto pessoal, mas o consumo excessivo poderia resultar em reduções de conforto para todo o grupo devido a cortes de energia. Além disso, no tratamento de nudge, os participantes foram informados de que reduções voluntárias no consumo durante os períodos de pico poderiam evitar cortes de energia.

Ao final de cada período, os participantes receberam feedback sobre seu consumo, representado por um rosto sorridente se estivessem abaixo do nível socialmente ótimo de consumo e um rosto triste se estivessem acima desse nível.

Os resultados mostraram que tanto os *nudges* quanto os preços de pico levaram a um consumo significativamente menor de eletricidade em comparação com o grupo de controle. No entanto, o tratamento de preço resultou em um nível médio de consumo acima do equilíbrio de Nash, sugerindo que os participantes responderam ao aumento do preço, mas não o suficiente para atingir um nível ótimo de consumo.

O estudo sugere que os *nudges* podem ser uma alternativa eficaz aos preços de pico, pois são mais facilmente compreendidos e integrados à tomada de decisão dos participantes. No entanto, ambos os métodos tiveram a tendência de reforçar os padrões de consumo existentes, com os consumidores excessivos continuando a consumir excessivamente. Esses resultados têm implicações importantes para os formuladores de políticas interessados na promoção da conservação de energia.

Artigo 15 [A15] - *The Power of Nudging: Using Feedback, Competition, and Responsibility Assignment to Save Electricity in a Non-residential Setting*

O artigo de Klege et al., [2022] examina o uso de intervenções comportamentais para promover a economia de energia em um ambiente não residencial, especificamente em um grande prédio de escritórios do governo provincial com 24 andares e um total de 1.008 ocupantes.

O estudo dividiu os andares do prédio em três grupos: dois grupos de tratamento e um grupo de controle. Os grupos de tratamento receberam diferentes tipos de intervenções comportamentais, enquanto o grupo de controle não recebeu nenhuma intervenção. Ambos os grupos de tratamento receberam e-mails regulares incentivando os ocupantes a desligar os aparelhos e as luzes antes de deixar o escritório, além de receberem resultados de consumo de energia classificados semanalmente por andares. Além disso, no segundo grupo de tratamento, foram designados "defensores da energia" semanais para cada quarto. Esses defensores tinham a responsabilidade adicional de incentivar a economia de energia em seus respectivos espaços.

Os resultados mostraram que os andares que participaram apenas das competições inter-pavimentos reduziram o consumo de energia em 8%, enquanto aqueles designados adicionalmente como "defensores da energia" reduziram o consumo em 13%. Notavelmente, a redução no consumo de energia foi mais substancial após o horário de trabalho. No entanto, não houve diferença estatística significativa no consumo de energia entre os dois grupos de tratamento.

Além da análise quantitativa, entrevistas qualitativas foram conduzidas para uma compreensão mais aprofundada dos resultados obtidos.

Portanto, o estudo sugere que intervenções comportamentais, como competições inter-pavimentos e a atribuição de responsabilidade aos "defensores da energia", podem ser eficazes na promoção da economia de energia em ambientes não residenciais, mesmo quando os usuários não enfrentam as consequências financeiras diretas de seu comportamento.

Artigo 16 [A16] - *Experimental evidence on heat loss visualization and personalized information to motivate energy savings*

O artigo de Papineau & Rivers [2022] relata os resultados de um extenso teste de campo que investigou os efeitos de intervenções comportamentais e informações personalizadas na redução do consumo de energia em domicílios. O estudo envolveu a distribuição aleatória de duas abordagens diferentes para os domicílios selecionados: uma que forneceu uma representação visual da perda de calor doméstico por meio de imagens

infravermelhas, juntamente com mensagens personalizadas de eficiência energética, e outra que usou um relatório de energia residencial tradicional com informações personalizadas.

Os resultados demonstraram que as residências que receberam as imagens de perda de calor reduziram seu consumo de energia em uma quantidade significativamente maior do que aquelas que receberam o relatório tradicional de energia. Além disso, o grupo que recebeu as imagens de perda de calor demonstrou uma taxa mais alta de investimento em bens duráveis de eficiência energética. Notavelmente, as famílias mais ineficientes em termos de consumo de energia foram aquelas que apresentaram as maiores reduções de consumo e maior investimento em eficiência energética em relação ao grupo de comparação tradicional.

O estudo também destacou que o tratamento que incluiu imagens de perda de calor foi particularmente eficaz em motivar mudanças comportamentais em relação à eficiência energética. Ao fornecer uma representação visual tangível da perda de calor, os participantes foram capazes de compreender melhor o impacto de suas ações e tomar medidas para reduzir o consumo de energia.

A metodologia do estudo envolveu a distribuição das intervenções por meio das faturas mensais de serviços públicos, garantindo uma ampla cobertura e exposição dos domicílios participantes. Os resultados foram obtidos através da análise de dados de consumo de energia de mais de 12.000 domicílios, coletados ao longo de vários anos antes e depois da implementação das intervenções.

Em resumo, o estudo sugere que intervenções comportamentais baseadas em representações visuais da perda de calor doméstico, juntamente com mensagens personalizadas, podem ser uma estratégia eficaz para promover a eficiência energética e reduzir o consumo de energia em domicílios.

Artigo 17 [A17] - *The effect of normative-based feedback messaging on room air conditioner usage in university dormitory rooms in winter season*

O estudo realizado por Liu et al., [2022] investigou o efeito de mensagens de feedback normativo sobre o uso de ar-condicionados (ARCs) em quartos de dormitórios universitários durante a estação de inverno. A pesquisa foi conduzida em Chongqing, China, onde as temperaturas externas durante o período do estudo eram em torno de 10°C, e os ARCs são comumente usados como sistemas de aquecimento em edifícios residenciais.

Para o estudo, 32 quartos de dormitórios universitários foram recrutados, sendo que 24 quartos foram designados para grupos de tratamento e 8 quartos para o grupo de controle. Todos os quartos estavam equipados com ARC com modo de aquecimento disponível. As mensagens de feedback normativo foram entregues nos quartos por meio de diferentes métodos de entrega, incluindo entrega de feedback de hora em hora para todos os quartos do grupo, entrega diária de feedback para todos os quartos do grupo, e entrega diária de feedback apenas para os quartos com consumo diário de energia do ARC acima da média.

Durante o estudo de três semanas, o consumo de energia dos ARCs foi continuamente medido por medidores de energia, e informações sobre a sensação térmica dos ocupantes foram coletadas por meio de pesquisas diárias. Além disso, características pessoais e atitudes dos ocupantes em relação às mensagens de feedback foram coletadas por questionários.

Os resultados indicaram que as mensagens de feedback normativo podem potencialmente reduzir o consumo de energia do ARC, enquanto as votações de sensação térmica permaneceram dentro da faixa aceitável. No entanto, não foram encontradas diferenças significativas em comparação com períodos sem mensagens. Além disso, o estudo sugere que o efeito das mensagens de *feedback* na demanda de uso do ARC pode ser influenciado pela estabilidade emocional das pessoas, embora sejam necessárias investigações mais aprofundadas para confirmar essa descoberta.

Em resumo, o estudo oferece *insights* importantes sobre o impacto das mensagens de feedback normativo no uso de ARCs em dormitórios universitários durante a estação de inverno, destacando a necessidade de considerar fatores individuais, como estabilidade emocional, ao projetar intervenções de eficiência energética.

3.3 Comparação entre os trabalhos selecionados

Após a análise dos 17 artigos selecionados, gerou-se uma tabela (Tabela 3) que apresenta algumas particularidades de cada um, foram observadas as seguintes características: número de participantes dos testes, o tempo de teste, se houve ou não o uso de tecnologia e qual foi a tecnologia usada.

Tabela 3. Comparação dos trabalhos selecionados quanto ao uso de tecnologias inteligentes.

Trabalhos	Número de Participantes	Tempo de Teste	Uso de Tecnologia (Smart Meters, Sensores, Sistemas De Informação)	Tecnologia usada
A01	83	13 semanas	Sim	<i>Smart Plug</i>
A02	730	Duas semanas	Sim	Submedidor
A03	1.000	NE	Não	-
A04	291	Quatro meses	Não	-
A05	NE	Quatro meses	Não	-
A06	NE	12 meses	Sim	Sistema <i>Web</i>
A07	NE	NE	Não	-
A08	NE	NE	Não	-
A09	46	12 semanas	Sim	<i>Smart Plug</i>
A10	NE	12 meses	Sim	<i>Smart Meter</i>
A11	NE	NE	Não	-
A12	NE	NE	Não	-
A13	NE	NE	Não	-
A14	240	Dois meses	Não	-

A15	NE	NE	Não	-
A16	NE	NE	Não	-
A17	101	Três semanas	Sim	<i>Smart Plug</i>

Legenda: *NE: Não especificado.* **Fonte:** Elaboração própria [2023].

É possível observar na Tabela 3, que existe uma variabilidade no número de participantes, tempo de teste, uso de tecnologia e qual tecnologia usada. Majoritariamente, os trabalhos selecionados não especificaram a quantidade de participantes. Quanto ao tempo de teste não existe padronização, já quanto ao uso de tecnologias foi identificado que três utilizam de *Smart Plug*, um utiliza *Smart Meter*, Submedidor e Sistema *Web*, respectivamente. É conclusivo que não existe um método padrão-ouro investigado nos trabalhos selecionados.

Partindo do ponto que alguns dos artigos selecionados divergem no modo da utilização do princípio *nudges*, a Tabela 4 aponta quais são os principais princípios *nudges* utilizados em cada trabalho.

Tabela 4. Mapeamento dos princípios nudges usados nos trabalhos.

Princípios Nudge	TRABALHOS																
	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
<i>Espera do erro</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Estrutura de escolhas complexas</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Feedback</i>	X	X	-	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X
<i>Incentivo</i>	-	-	-	X	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-
<i>Mapeamento do entendimento</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Opção padrão</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Apelo</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Enquadramento</i>	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Meta</i>	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-
<i>Norma Social</i>	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-	X	-	-	-

Legenda: A: Artigo; ID: Identificação. **Fonte:** Google Scholar [2023].

Após a análise de cada trabalho em relação ao uso de princípios *nudges*, gerou-se o Quadro 4. Os princípios *nudges* foram divididos em três características: os mais utilizados, ou seja, apareceram em no mínimo cinco trabalhos; os menos utilizados, onde só foram constatados a utilização em apenas quatro trabalhos ou menos, e algumas estratégias *nudges* que não foram utilizadas em nenhum dos trabalhos.

Quadro 4. Nudges mais utilizados, menos utilizados e não explorados de acordo com o mapeamento sistemático.

<i>Nudges</i> Mais Utilizados	<i>Nudges</i> Menos Utilizados	<i>Nudges</i> Não Explorados
<i>Feedback</i>	<i>Apelo</i>	<i>Espera do erro</i>
<i>Incentivo</i>	<i>Enquadramento</i>	<i>Estrutura de escolhas complexas</i>
<i>Norma social</i>	<i>Meta</i>	<i>Mapeamento do entendimento</i>
-	-	<i>Opção padrão</i>

Fonte: Elaboração própria [2023].

3.4 Resumo do capítulo

Neste capítulo, foi explorado as aplicações dos *nudges* em várias instâncias, destacando seu papel na redução do consumo de energia elétrica e examinando sua viabilidade de aplicação na área da Ciência da Computação. Foi apresentado um conjunto abrangente de estratégias já consolidadas, assim como outras que podem ser exploradas em futuras pesquisas nesta área, em constante evolução. A análise crítica de estudos anteriores de múltiplas perspectivas serviu como alicerce sólido para este trabalho.

Embora alguns estudos tenham incrementado em suas pesquisas o uso de tecnologia, ainda há uma lacuna notável na profundidade de sua análise, no tocante ao potencial que as tecnologias podem trazer para essa mudança com o uso de *nudges*. Observamos ainda uma falta de exploração explícita dos *nudges* em Sistemas de Informação, especialmente em relação à mudança comportamental para o uso consciente de energia elétrica.

Assim, diante dos desafios e benefícios identificados no contexto dos *nudges* na Ciência da Computação, e reconhecendo as oportunidades inexploradas para sua aplicação na mudança comportamental, propõe-se neste trabalho o desenvolvimento de um Sistema de Informação com *Nudge*, visando promover o uso consciente de energia elétrica, principalmente para o contexto de *Smart Cities*.

Capítulo 4

Trabalhos Relacionados

*“As novas ideias surgem das diferenças.
Surgem quando há diferentes perspectivas e
uma justaposição de teorias diferentes”*

Nicholas Negroponte.

Nesta seção, será apresentado uma revisão de Trabalhos Relacionados a esta pesquisa, destacando aqueles que utilizam Tecnologias da Informação e estratégias baseadas em nudges para promover a eficiência energética. Inicialmente, serão expostos estudos que aplicam nudges como ferramenta de mudança comportamental, com foco na economia de energia elétrica, e suas respectivas abordagens tecnológicas ou metodológicas.

Em seguida, exploraremos pesquisas que integram sistemas de monitoramento energético baseados em Internet das Coisas (IoT) e outras tecnologias de suporte, analisando como essas soluções tecnológicas têm sido empregadas para melhorar o uso eficiente de energia, mesmo que sem o uso de intervenções comportamentais.

A análise desses trabalhos visa identificar as lacunas que ainda persistem e demonstrar como nossa pesquisa propõe preencher esses espaços, combinando intervenções comportamentais com monitoramento em tempo real para um impacto mais efetivo.

4.1 Apresentação dos trabalhos relacionados

Ruokamo et al. [2022] investigaram o impacto de intervenções com nudges em residências, usando boletins informativos mensais e uma plataforma online de serviços de energia. O estudo avaliou como as dicas de economia de energia, com ou sem o suporte de uma plataforma online, influenciavam o consumo de eletricidade, utilizando comparações entre pares (normas sociais). Embora o estudo tenha empregado nudges como estratégia, a plataforma online apenas fornecia informações de consumo e não integrava medidores inteligentes para monitoramento de dados em tempo real. De forma semelhante, Lazaric & Toumi [2022] exploraram a combinação de diferentes intervenções, incluindo *"boosts"* de informações e metas ambiciosas ou modestas. Essas intervenções foram enviadas por e-mails bimestrais, mas sem o uso de monitoramento em tempo real.

Outro estudo relevante é o de Lee & Kim [2022], que analisaram o projeto "*Electricity Piggy Bank*" na Coreia do Sul, o qual utilizou nudges para incentivar os participantes a reduzir o consumo de energia com base em seus históricos anteriores. Esse projeto oferecia recompensas monetárias, que podiam ser direcionadas para poupança ou resgatadas em supermercados. Embora tenham utilizado medidores inteligentes, os dados eram fornecidos por hora, e não em tempo real. Esses estudos revelam uma lacuna na integração entre as tecnologias de monitoramento em tempo real e estratégias de nudge, o que pode limitar o impacto das intervenções comportamentais.

Na literatura, também é comum encontrar trabalhos que utilizam nudges sem o suporte de tecnologias, como observado em Papineau & Rivers [2022], Ghesla et al. [2020], e Agarwal et al. [2017]. Esses estudos focaram em estratégias *offline*, como o uso de mensageiros infantis para influenciar o comportamento dos pais, envio de dicas e incentivos econômicos e ambientais, além de exibições visuais, como mapas de calor. No entanto, faltou a integração com Sistemas de Informação para potencializar as intervenções.

Por outro lado, trabalhos como os de Severino, Vasconcelos & Andrade [2020] e Ciscoto & Tavares [2022] exploram a aplicação de tecnologias de monitoramento inteligente. Severino, Vasconcelos & Andrade [2020] propuseram um sistema que utiliza IoT para identificar dispositivos conectados à rede elétrica e monitorar o consumo em tempo real, mas sem o uso de estratégias de nudge. Ciscoto & Tavares [2022] desenvolveram o sistema *EnergyQualy*, que também emprega dispositivos IoT para monitorar o consumo de energia e notificar usuários sobre interrupções via *Telegram*, mas igualmente sem aplicar intervenções comportamentais.

Em síntese, muitos estudos focam ou na aplicação de nudges para influenciar o comportamento de consumo, sem a utilização de suporte tecnológico robusto, ou no uso de tecnologias de monitoramento, sem incorporar estratégias comportamentais. Assim, identifica-se uma lacuna na literatura no que diz respeito à integração de nudges com Sistemas de Informação, especialmente em contextos de Cidades Inteligentes e no monitoramento em tempo real. A presente pesquisa busca suprir essa lacuna, propondo uma solução que combina intervenções comportamentais com tecnologias de monitoramento inteligente para otimizar o consumo de energia. A seguir, é possível observar uma tabela (Tabela 5) onde estão inseridos os trabalhos aqui mencionados, bem como, sua comparação.

Tabela 5. Trabalhos Relacionados com a pesquisa.

Trabalho	Pontos Fortes	Pontos Fracos	"Gap"
Ruokamo et al. (2022)	Integra nudges com uma plataforma online de serviços de energia e utiliza comparações entre pares (normas sociais) para incentivar o consumo consciente.	A plataforma online fornecia apenas informações de consumo, sem integração com medidores inteligentes para monitoramento em tempo real.	Falta de integração com tecnologias de monitoramento em tempo real, o que limita a eficácia das intervenções comportamentais baseadas em dados atualizados.
Lazaric & Toumi (2022)	Combina nudges com "boosts" de informações e metas para incentivar a	Não utilizou monitoramento em tempo real, limitando a resposta imediata dos	A ausência de monitoramento em tempo real impede que os

	economia de energia.	usuários às mudanças no consumo de energia.	consumidores ajustem seu comportamento de maneira ágil, comprometendo a efetividade das metas propostas.
Lee & Kim (2022)	Utiliza medidores inteligentes e nudges baseados em recompensas monetárias, aumentando a motivação dos participantes.	O sistema fornecia dados de consumo apenas por hora, não em tempo real, o que pode ser insuficiente para ajustes imediatos no comportamento.	A falta de monitoramento em tempo real e feedback imediato reduz a capacidade de intervenção contínua e eficaz no comportamento dos consumidores.
Papineau & Rivers (2022); Ghesla et al. (2020); Agarwal et al. (2017)	Aplicam nudges sem suporte tecnológico, como incentivos financeiros e uso de mensageiros infantis para influenciar comportamentos.	Não utilizam tecnologias de monitoramento em tempo real, o que limita a precisão e o impacto das intervenções em contextos dinâmicos.	Ausência de suporte tecnológico para personalizar e acompanhar o comportamento em tempo real, o que poderia aumentar o impacto das intervenções.
Severino, Vasconcelos & Andrade (2020)	Sistema de monitoramento inteligente baseado em IoT que coleta dados em tempo real sobre o consumo de eletrodomésticos.	Não incorpora estratégias de nudges para influenciar o comportamento dos consumidores, focando apenas no monitoramento de dados.	Falta a integração de intervenções comportamentais (nudges), o que poderia aumentar o impacto no comportamento de consumo de energia.
Ciscoto & Tavares (2022)	Desenvolvem um sistema que monitora a tensão elétrica em tempo real usando IoT, com notificações de falhas via Telegram.	O sistema não utiliza nudges ou estratégias comportamentais para influenciar o consumo de energia dos usuários.	A ausência de estratégias de nudges para moldar o comportamento do consumidor em tempo real representa uma lacuna que pode ser preenchida pela integração de tecnologias e nudges.

Fonte: Google Scholar [2024].

4.2 Resumo do capítulo

Neste capítulo pode-se revisar trabalhos relacionados ao uso de nudges e Tecnologias da Informação para eficiência energética. Foram discutidos estudos que aplicam nudges para promover mudanças comportamentais e trabalhos que utilizam monitoramento energético baseado em IoT, destacando-se a falta de integração entre as duas abordagens. Identificou-se uma lacuna na literatura, que é a ausência de sistemas que combinam nudges com monitoramento em tempo real, e a pesquisa proposta busca suprir essa necessidade, integrando comportamento e tecnologia para otimizar o consumo de energia.

Capítulo

5

Procedimentos Metodológicos

“Toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil – e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos”

Albert Einstein.

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um Sistema de Informação com estratégias *Nudge* e IA Generativa para promover o consumo consciente de energia elétrica. Para isso, propõe-se a criação de um suporte tecnológico que incorpore princípios *nudge*, visando influenciar o comportamento sustentável dos usuários em relação ao consumo de energia elétrica e o uso de IA Generativa para construção das mensagens. Este suporte tecnológico será desenvolvido com base no mapeamento sistemático sobre estratégias *nudge* e aplicações práticas, semelhantes na indústria, para contextos sustentáveis de energia, a exemplo da *MindSun*⁸, *CUBi Energia*⁹, *Lieno Tecnologia*¹⁰ e *Embrasul*¹¹ que são empresas que prestam serviço de monitoramento de energia elétrica de forma inteligente.

Apoiando-se no conhecimento científico, a disciplina de Sistemas de Informação é um campo de pesquisa que encontra amparo em problemas e desafios emergentes da sociedade e que utilizam de tecnologia da informação para superar esses impasses. Grande parte de suas pesquisas se enquadram no paradigma sociotécnico que, de acordo com Sarker et al., [2013], é um paradigma que une as necessidades humanas e fatores técnicos, dentro de um contexto organizacional. O paradigma sociotécnico, por si só, legitima nossa proposta ao considerar aspectos comportamentais e aspectos computacionais, e serve como marca identitária de Sistemas de Informação [Benbasat & Zmud, 2003].

Nesta proposta, visa considerar os fatores comportamentais humanos na pesquisa e no design de SI, introduzindo um modelo de processo para “empurrar” através de um Sistema de Informação. Os *nudges* não estão limitados apenas à concepção das interfaces de utilizador, uma vez que a forma e o conteúdo das informações ou mensagens também podem representar um *nudge*. Portanto, seguiremos a definição de *nudges* (para o contexto digital) em conformidade com o pensamento de Meske & Potthoff [2017], “*defini-se o nudge digital como uma forma sutil de usar elementos de design, informação e interação para orientar comportamento do usuário em ambientes digitais, sem restringir a liberdade de escolha do indivíduo*”.

⁸ <https://www.mindsun.tech/>

⁹ <https://www.cubienergia.com/>

¹⁰ <https://lieno.com.br/st/>

¹¹ <https://embrasul.com.br/energia/>

O sistema proposto aqui incluirá elementos informativos, utilizando técnicas *nudge*, para auxiliar os usuários na compreensão de seu consumo de energia elétrica e na adoção de práticas mais conscientes. A princípio, o suporte tecnológico será composto por ferramentas que fornecerão dados de consumo para geração de notificações personalizadas no entendimento do seu consumo e feedback com comparações entre seu consumo de energia. Espera-se que este Sistema de Informação contribua para que as pessoas entendam melhor suas práticas de consumo, e assim, colabore para a redução do consumo desnecessário de energia elétrica e para a promoção de hábitos mais sustentáveis entre os usuários.

O uso de *nudges* em sistemas de informação podem ajudar a (1) explicar certos padrões de comportamento com aquisição de dados de consumo através do sistema de informação e (2) fornecer soluções para comportamentos insustentáveis através dos *nudges*.

5.1 Posicionamento da pesquisa

Neste capítulo estão apresentados os referenciais e procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa. Para tal, inicialmente apresenta-se os instrumentos metodológicos adotados nesta dissertação, sendo as classificações quanto ao paradigma, à sua natureza, seu instrumento e ao método, no Quadro 5, a seguir.

Quadro 5. Posicionamento e referenciais metodológicos da pesquisa.

Critério	Abordagem adotada	Descrição
Quanto ao paradigma	Sociotécnico	De acordo com Sarker et al. [2013], a abordagem sociotécnica adota uma perspectiva com o objetivo de compreender os fatores humanos que levam ao surgimento de uma problemática, no qual, usa-se de tecnologia para superar este desafio. Nesse sentido, a dissertação propõe uma intervenção na realidade estudada por meio do desenvolvimento de um Sistema de Informação com estratégias de <i>nudge</i> .
Quanto à natureza da pesquisa	Tecnológica	A pesquisa é de natureza tecnológica, pois se fundamenta no desenvolvimento de um artefato tecnológico com base no conhecimento científico, conforme preconizado por Bunge [1985]. Seu objetivo é a aplicação prática do Sistema de Informação com <i>Nudge</i> para resolver um problema da sociedade, auxiliando na tomada de decisões relacionadas ao consumo de energia elétrica.
Quanto ao instrumento	Modelo taxonômico	Para conceber a elaboração da estratégia <i>Nudge</i> , que complementa o Sistema de Informação, adotou-se a Taxonomia de Münscher, Vetter & Scheuerle [2016].
Quanto ao método	<i>Design Science Research</i>	A escolha da <i>Design Science Research (DSR)</i> como método para conduzir a dissertação ocorreu devido ao fato de esta metodologia ser especialmente voltada para o desenvolvimento de artefatos, que é o objetivo principal da pesquisa.

Fonte: Elaboração própria [2024].

Conforme evidenciado no Quadro 5, esta dissertação empreende esforços para abordar um problema prático utilizando conhecimento técnico-científico, adotando assim uma perspectiva sociotécnica com o intuito de gerar soluções por meio de tecnologia - entendida como um artefato produzido a partir da aplicação de conhecimento científico.

De acordo com Cupani [2011], as pesquisas de natureza tecnológica também estão fundamentadas em bases científicas. Bunge [1983, p. 14] define a pesquisa tecnológica como um "campo do conhecimento relativo ao desenho de artefatos e à planificação da sua realização, operação, ajustamento, manutenção e monitoramento, à luz do conhecimento científico".

5.1.1 Artefato

Em termos técnicos e científicos, um artefato pode ser compreendido como um objeto material produzido pelo ser humano para atingir um objetivo ou problema do mundo real. Tem em sua natureza variadas formas, incluindo ferramentas, modelos, sistemas de informação, *frameworks*, construtos, métodos, instâncias e tecnologias sociais [March & Smith, 1995; Peffers et al., 2007]. No quadro abaixo (Quadro 6), está apresentada uma relação entre alguns tipos de artefatos documentados na literatura e suas respectivas descrições funcionais.

Quadro 6. Tipos de artefatos vs. descrição.

Artefato	Descrição
<i>Constructo</i>	Vocabulário conceitual de um domínio.
<i>Modelo</i>	Proposições que expressam relacionamentos entre os constructos.
<i>Framework</i>	Guia, conceitual ou real, que serve como suporte ou guia.
<i>Arquitetura</i>	Sistemas de estrutura de alto nível.
<i>Princípio de projeto</i>	Princípios-chave e conceitos para guiar o projeto.
<i>Método</i>	Passos para executar tarefas – “como fazer”.
<i>Instanciação</i>	Implementações em ambientes que operacionalizam constructos, modelos, métodos e outros artefatos abstratos.
<i>Teorias de projeto</i>	Conjunto prescritivo de instruções sobre como fazer algo para alcançar determinado objetivo. Uma teoria geralmente inclui outros artefatos abstratos, tais como constructos, modelos, frameworks, arquiteturas, princípios de design e métodos.

Fonte: Fernandes [2023].

Herbert Simon [1996] conceitua o artefato como uma ligação entre o objeto produzido e seu usuário, destacando que, quando em equilíbrio, permite que o artefato cumpra seu propósito. Por sua vez, Barbosa & Bax [2017] ressaltam que pesquisas envolvendo artefatos têm o potencial de gerar novos conhecimentos técnico-científicos durante todo o processo de desenvolvimento, avaliação e análise, considerando o contexto para o qual foram produzidos.

Neste contexto, a concepção do artefato tem início na identificação do conhecimento científico (paradigma) e com base no modelo taxonômico de Münscher, Vetter & Scheuerle [2016] como método de definição do princípio *nudge* adotado. Uma vez estabelecidos os fundamentos científicos, a dissertação aplicará o método *Design Science Research (DSR)*, recomendado para o desenvolvimento de artefatos técnico-científicos [Peffers et al., 2007]. Este método possibilita a realização das etapas previstas no DSR, incluindo concepção, planejamento, desenvolvimento, aplicação e avaliação do sistema proposto, através de experimentos. A seguir será possível apreciar o artefato gerado na pesquisa, a Arquitetura do Sistema de Informação com *Green Nudge*, e, na sequência, o *software*.

5.2 Aspectos Comportamentais

Com o objetivo de economizar mais energia as pessoas precisam mudar seu comportamento, com isso, para atingir este aspecto será utilizada a teoria *Nudge*. Para construção das intervenções *nudges* será utilizado o modelo taxonômico de Münscher, Vetter & Scheuerle [2016], que organiza os *nudges* em categorias e técnicas.

5.3 Aspectos Computacionais

Para atingir este aspecto será utilizado a *Design Science Research* (DSR) para a produção de um *Minimum Viable Product* (MVP). De acordo com Peffers et al., [2007], a DSR é implementada com base em seis etapas: i) Identificação do problema; ii) Definição dos objetivos; iii) Projeto e desenvolvimento; iv) Demonstração; v) Avaliação e vi) Comunicação. A DSR busca compreender o domínio no qual o problema está inserido para então gerar um artefato (no caso do presente trabalho, um *software*) que traz soluções apropriadas para os problemas propostos [Silva, Nogueira & Cunha, 2019].

O MVP é um conceito utilizado para o desenvolvimento ágil de *software*, é basicamente uma versão inicial do produto contendo o essencial para ser testada e validada com usuários reais. De acordo com Ries [2012], o MVP permite testar o produto com o menor investimento possível e assim promover o seu lançamento. A seguir estão descritas as etapas da DSR dentro do contexto deste trabalho, vide Quadro 7:

Quadro 7. Etapas da aplicação do DSR no projeto do Sistema de Informação com Nudge.

Etapas da DSR	Desenvolvimento
<i>Identificação do problema</i>	O consumo de energia elétrica, por sua vez, é compreendido de uma má forma e isso é refletido por meio dos comportamentos e hábitos pessoais dos cidadãos com este recurso natural. Pelo fato de não compreenderem como seus comportamentos refletem na sua forma de consumo, acabam consumindo energia elétrica de uma forma não consciente e sustentável, nos âmbitos financeiro e ambiental.
<i>Definição dos objetivos</i>	(1) Objetivo geral: Desenvolver um sistema computacional em apoio à tomada de decisão do usuário, para assim, motivá-lo a executar atitudes sustentáveis e conscientes. (2) Objetivos específicos: a) Elaborar as notificações com base nos princípios da Teoria <i>Nudge</i> ; b) Elaborar a arquitetura do sistema para, na sequência, ser desenvolvido; c) Testar a proposta elaborada.
<i>Projeto e desenvolvimento</i>	Após a elaboração dos objetivos, partiu-se para um mapeamento sistemático com o intuito de avaliar, no estado da arte, as estratégias <i>nudges</i> frente à problemática do consumo de energia elétrica. Para assim, identificar as estratégias mais utilizadas, menos utilizadas e não exploradas. Por conseguinte, houve a definição das estratégias <i>nudges</i> que serão usadas neste trabalho. Antes do desenvolvimento do sistema, foi necessário modelar conceitualmente sua Arquitetura do Sistema, Engenharia de <i>Software</i> e Engenharia de Prompt, bem como a definição dos recursos e ferramentas necessários para o desenvolvimento do artefato final.

<i>Demonstração</i>	Para esta etapa terá como meta apresentar a proposta para os potenciais usuários da plataforma, em um ambiente real. Simulando situações cotidianas e para o teste do sistema e até mesmo para apontar melhorias para novas implementações, antes de fornecer o serviço completo a futuros usuários.
<i>Avaliação</i>	Verificar a efetividade do Sistema de Informação com <i>Nudge</i> desenvolvido como potencial suporte tecnológico aliado à tomada de decisão do usuário. Para tal, será realizado através de procedimentos de avaliação e validação do artefato produzido.
<i>Comunicação</i>	Considerando o objetivo da proposta atual deste projeto, o mesmo está enquadrado como um artefato técnico-científico. Com isso, para o cunho técnico será documentada a proposição para o problema em questão. Já para o cunho científico, ocorreu ao longo do processo desta pesquisa, na elaboração desta dissertação, na elaboração do exame de qualificação e até a defesa da dissertação final e sua publicação em algum veículo científico. Além disso, este trabalho pode fornecer <i>insights</i> para pesquisas futuras e possíveis implementações na proposição tecnológica.

Fonte: Elaboração própria [2024].

Em suma, conforme abordado nas seções precedentes, o método de DSR foi empregado como o arcabouço metodológico para nortear o desenvolvimento desta etapa da pesquisa. Nos próximos segmentos, serão detalhados os procedimentos de modelagem, desenvolvimento e as implicações do Sistema de Informação com *Nudge* proposto nesta dissertação.

5.4 Engenharia de Prompt

A Engenharia de Prompt refere-se ao treinamento de modelos de Inteligência Artificial (IA) usando estratégias ou estímulos que direcionam o modelo a gerar respostas específicas [Nascimento, 2024]. Este campo emergente está ganhando destaque na IA devido ao seu papel na utilização de linguagem generativa [Brown et al., 2020].

Engenharia de Prompt consiste em um conjunto de técnicas e métodos para projetar, redigir e otimizar instruções destinadas a Modelos de Linguagem Generativa, conhecidos como prompts, de modo que as respostas sejam precisas, concretas, replicáveis e factualmente corretas [Nascimento, 2024]. Conforme destacado por Ferreira [2024], a Engenharia de Prompt é crucial para que a IA Generativa produza respostas adequadas aos usuários. Para Kleina [2024], os modelos de linguagem de grande escala (LLMs), prompts podem variar desde perguntas simples e diretas até descrições complexas de tarefas para serem executadas pelo modelo.

O desenvolvimento de prompts é reconhecido como um processo iterativo, e é essencial que o texto do prompt seja claro, conciso e evite complexidade desnecessária. Por isso é importante usar técnicas de engenharia de prompt como:

Quadro 8. Apresentação de algumas técnicas de Prompts.

Prompt	Descrição
<i>Explicit and Direct Prompting</i>	Formular perguntas ou instruções de forma clara e

	específica para obter respostas diretas e focadas.
<i>Example-based Prompting</i>	Fornecer exemplos para guiar o modelo de IA na produção de respostas em um formato ou estilo específico.
<i>Prompting Zero-shot</i>	Fazer perguntas ou comandos sem fornecer exemplos prévios, confiando na capacidade inerente do modelo de compreender e responder.
<i>Negative/Positive Prompting</i>	Incluir instruções específicas sobre o que deve ou não ser incluído nas respostas.
<i>Hybrid Prompting</i>	Combinar diferentes técnicas de prompt para maximizar a eficácia.
<i>Contextualization Prompting</i>	Adicionar informações relevantes ao prompt para ajudar o modelo a entender melhor o contexto.
<i>Contrast Prompting</i>	Utilizar dois conceitos, ideias ou cenários opostos para explorar diferenças ou criar uma comparação.
<i>Specific Limitation Prompting</i>	Definir restrições no prompt, como limites de tempo ou escopo, para guiar as respostas da IA.
<i>Disambiguation Prompting</i>	Especificar claramente no prompt para reduzir ambiguidades e melhorar a precisão das respostas.
<i>Role-Playing Prompting</i>	Criar cenários onde a IA assume um papel ou persona específica, como um especialista em determinado campo ou um personagem fictício, para explorar diferentes perspectivas ou abordagens em suas respostas.

Fonte: Extraído de Nascimento [2024].

De acordo com White et al. [2023] os padrões de prompt são classificados em cinco categorias: Semântica de Entrada, Personalização de Saída, Identificação de Erro, Melhoria de Prompt e Interação, quando trabalhados em *chatbots* e sistemas interativos baseados em texto. O nosso *PromptTemplate* será adaptado e utilizado da seguinte forma: Semântica de Entrada e Personalização de Saída, vide Quadro 9 a seguir:

Quadro 9. Categoria Padrão de Prompts.

Categoria	Descrição
<i>Semântica de Entrada</i>	Trata da compreensão do LLM sobre a entrada e sua tradução em algo útil para gerar saída. Inclui a criação de uma linguagem meta, útil quando a linguagem de entrada padrão não é adequada.
<i>Personalização de Saída</i>	Foca em restringir ou adaptar tipos, formatos, estruturas ou outras propriedades da saída gerada pelo LLM. Inclui padrões como Automatizador de Saída, Persona, Gerador de Visualização, Receita e Modelo.

Fonte: Baseado em Nascimento [2024].

5.5 Engenharia de Software do Sistema de Informação

Algumas tecnologias permitem a interação entre o processo de desenvolvimento e a implementação do sistema, facilitando sua compreensão. Assim é a UML, utilizada neste trabalho, que serve para modelagem gráfica do sistema e de seus componentes, melhorando sua legibilidade. Estes modelos gráficos são chamados de diagramas e auxiliam na representação da parte estrutural, comportamental e arquitetural do sistema [OMG, 2011].

Para modelagem dos diagramas UML, é necessário o uso de alguma ferramenta que permita a edição dos mesmos. Optou-se então pelo uso do *Draw.io*¹², pois este se apresenta como uma ferramenta gratuita que traz aos desenvolvedores grandes recursos e boa praticidade na elaboração dos diagramas [Change, 2012].

A escolha deste modelo de desenvolvimento de software para este trabalho fundamentou-se na necessidade de um modelo que atendesse às suas características evolutivas, bem como pela sua abordagem ao lidar com os riscos. Vale ressaltar que os riscos são compreendidos como situações adversas que surgem ao longo do desenvolvimento de um sistema [Leite, 2007], como: falta ou mudança de tecnologia, ferramentas que não podem ser utilizadas, problemas com a equipe de desenvolvimento, entre outras. O Fluxo Metodológico pode ser apreciado na Figura 3, a seguir.



Figura 3. Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos.
Fonte: Elaboração própria [2024].

5.6 Análise da influência dos Nudges

Discussões na literatura têm sustentado a premissa de que o nível de conscientização ambiental de cada indivíduo está ligado à adoção e modificação de comportamentos em direção a atitudes mais sustentáveis, especialmente quando são influenciados por valores ambientalistas em oposição a traços conservadores [Costa & Kahn, 2013]. Esse nível de conscientização está diretamente relacionado ao grau de percepção ambiental, que, por sua vez, reflete diretamente no comportamento ambiental do indivíduo [Braga et al., 2020; 2018].

Jensen et al., [2020] reitera que mensagens com apelo pró-social têm o potencial de incentivar de forma positiva mudanças comportamentais mais sustentáveis, incluindo *ecofeedbacks* [Shen et al., 2020]. Uma abordagem eficaz na disseminação dessas mensagens têm sido o uso de SMS ou aplicativos [Shen et al., 2020; Kroll et al., 2019; Møller et al., 2019]. Por outro lado, argumenta-se que as mudanças comportamentais são fortemente influenciadas através de reforços [Schiefelbein et al., 2018], ou seja,

¹² <https://app.diagrams.net/>

encaminhamento constante de intervenções comportamentais, que neste caso será o nudge. Kakkar & Li [2021] e Møller et al. [2019] revelaram que as mulheres e os idosos são fortemente motivados a adotar comportamentos sustentáveis do que homens. Caballero & Ploner [2022] citam que a renda é um fator determinante neste contexto.

Partindo do exposto anteriormente, pretende-se investigar a seguinte hipótese:

- A aplicação de *nudges* em um sistema de informação aumentará potencialmente a adoção do consumo consciente de energia elétrica, independente do nível de percepção ambiental, gênero, idade, renda e grau de escolaridade.

Para isso, quanto aos fins, esta avaliação é classificada como descritiva e exploratória, que visa descrever fatos e fenômenos de uma determinada realidade [Gil, 2006; Triviños, 1987]. Quanto à abordagem, possui caráter quantitativo, com o objetivo primordial de descrever as características de determinada população ou fenômeno, ou estabelecer relações entre variáveis, conforme Gil [2008, p. 28].

O foco da pesquisa é a análise de fatores determinantes no engajamento de mensagens nudge em potenciais usuários do artefato aqui desenvolvido à luz da consciência ambiental. Para tal, será aplicado um questionário estruturado (Apêndice A), definido por Gil [2002, p. 137] como “uma técnica de coleta de dados que consiste em um rol de questões propostas por escrito às pessoas que estão sendo pesquisadas”. Leite [2007] complementa que “o formulário é uma listagem não formal, catálogo ou inventário que coleta dados provenientes das observações e das interrogações”.

A amostra é classificada como amostragem por conveniência e não probabilística, no qual os resultados não serão extrapolados para a população geral, descrevendo apenas características da amostra investigada, semelhante a Nedel et al., [2015] e Iseri, Da Silva & Da Silva [2012].

O questionário estruturado é composto por 15 questões, divididas em três blocos. O Bloco 1 inclui cinco questões sobre os “Dados Socioeconômicos” para entender o perfil dos respondentes. O Bloco 2 contém cinco questões que avaliam a “Percepção Ambiental Geral”. O Bloco 3 possui cinco questões que analisam o “Engajamento do Sistema de Informação com Nudge”. O questionário foi aplicado de forma remota em junho de 2024.

A Escala de Percepção Ambiental (EPA) (Quadro 10) que será aplicada ao Bloco 2 foi adaptada da proposta por García [2011]. A EPA utiliza um conjunto de seis assertivas, positivas e negativas, com respostas em uma escala de 0 a 5, onde: 5 (Concorda totalmente); 4 (Concorda); 3 (Indiferente); 2 (Discorda); 1 (Discorda totalmente) e 0 (Neutro). A escala varia de 0 a 25 pontos, indicando que quanto maior a pontuação, maior a percepção ambiental. Nesta pesquisa, a pontuação máxima é 25 pontos (alta percepção ambiental) e a mínima é 0 (baixa percepção ambiental), em consideração a quantidade de questões no bloco. A análise dos dados se dará com a avaliação das médias das respostas para entender o comportamento da amostra.

Quadro 10. Nível de Percepção Ambiental.

Nível de Percepção Ambiental	Pontos para a tendência
------------------------------	-------------------------

Baixa percepção ambiental	<i>0 - 4 pontos</i>
Média percepção ambiental	<i>5 - 14 pontos</i>
Alta percepção ambiental	<i>15 - 25 pontos</i>

Fonte: Adaptado de García [2001].

5.7 Resumo do capítulo

O propósito deste capítulo foi introduzir a proposta geral desta pesquisa, que possui um caráter técnico-científico. Bem como as ferramentas utilizadas nesse processo de desenvolvimento do Sistema de Informação com *Nudge*. Apresentou-se o embasamento teórico-metodológico essencial para o desenvolvimento do artefato final, bem como um Fluxograma das etapas perpassadas até a validação da proposta (Etapa 5). Logo, para validar a proposta em questão, será conduzido um estudo de caso permitindo uma análise da sua aplicabilidade em um ambiente real.

Testes, Resultados e Discussão

“A ciência conhece um único comando: contribuir com a ciência.”

Bertold Brecht.

6.1 Desenvolvimento da Arquitetura *Nudge*

Nos últimos anos, os *nudges* têm despertado um interesse crescente como objeto de estudo, inclusive do ponto de vista teórico-conceitual [Nunes & Dib, 2022] e diversas tentativas têm sido feitas para categorizar as intervenções de *nudges* de forma sistemática.

Embora ainda não haja uma taxonomia universalmente aceita, e considerando o propósito deste estudo, que é o de notificar os usuários por meio de mensagens, é imprescindível estabelecer um modelo conceitual de intervenções na arquitetura de escolha para orientar a pesquisa.

Para a solução proposta serão utilizadas uma categoria (Informar para decidir) e duas técnicas (Simplificação com *Feedback* e Alterar o esforço: financeiro ou ambiental com *Mapeamento do entendimento*). Estas técnicas foram delimitadas a partir dos resultados vistos na seção 3.3 (Quadro 4), onde o *Feedback* é observado como uma estratégia mais utilizada e o *Mapeamento do entendimento* uma estratégia não explorada. Na Tabela 6, a seguir, é apresentada a categoria, as técnicas e as intervenções *green nudges* propostas.

Tabela 6. Categorização das intervenções propostas.

Categoria	Técnicas	Intervenções propostas	Exemplos
1. Informação para decisão	Explicar a informação (Simplificação)	<i>Feedback</i> ; Comunicação com elementos textuais e linguagem simples e direta.	"Seu consumo de energia neste momento está acima da média para esta hora do dia. Considere desligar aparelhos não essenciais para economizar energia."
	Alterar esforço em relação ao comportamento (Esforço financeiro e ambiental (CO ₂))	Mapeamento do entendimento; descrever quanto o usuário estará economizando, ao aplicar tal mudança de comportamento.	"Boa tarde! Você economizou 50 kWh de energia este mês, o equivalente a R\$30 em sua conta de energia. Pequenas mudanças podem fazer uma grande diferença. Continue economizando!"

Fonte: Elaboração própria [2024].

Serão cadastrados no sistema seis diferentes tipos de *nudges*, onde três são do tipo *Feedback* em comparação consigo mesmo (Tabela 7) (Positivo, Neutro ou Negativo) e três são do tipo *Mapeamento do Entendimento* (Tabela 8) (Positivo, Neutro ou Negativo).

Tabela 7. Mensagens elaboradas com o princípio *nudge* do tipo *Feedback* com comparação.

Nudge #1	Conteúdo da mensagem	Tipo
F01	"Semana passada foi consumido menos <N>% de energia comparado com a semana anterior. Isso mostra que você está sendo mais eficiente no uso de energia. Parabéns por economizar energia!"	Positivo
F02	"Semana passada seu consumo de energia se manteve estável em relação à semana anterior. Mudando alguns de seus hábitos de consumo de energia você encontra oportunidades de economia."	Neutro
F03	"Semana passada foi consumido mais <N>% de energia comparado com a semana anterior. Isso indica que você precisa dar mais atenção aos seus hábitos. Você pode fazer melhor para a próxima semana!"	Negativo

Legenda: N: valor numérico. **Fonte:** Elaboração própria [2024].

Tabela 8. Mensagens elaboradas com o princípio *nudge* do tipo *Mapeamento do entendimento*.

Nudge #2	Conteúdo da mensagem	Tipo
ME01	"Parabéns! Sua economia de <KWH>kWh esta semana resultou em uma economia de <CO2>kg de CO2 que seriam emitidos na atmosfera. Continue economizando energia e contribuindo para um mundo mais consciente!"	Positivo
ME02	"Esta semana seu consumo de energia foi semelhante ao da semana anterior. Monitorar seu uso de energia ajuda a identificar oportunidades para economizar ainda mais e reduzir gases na atmosfera."	Neutro
ME03	"Infelizmente sua falta de economia de energia esta semana contribuiu para a emissão de <CO2>kg de CO2 na atmosfera. Nesse momento é importante repensar seus hábitos de consumo. Você pode fazer melhor próxima semana!"	Negativo

Legenda: CO2: Gases de efeito estufa; KWH: Quilowatt-hora; \$: Valor em real. **Fonte:** Elaboração própria [2024].

6.2 Desenvolvimento da Arquitetura do Sistema

A arquitetura do sistema foi baseada no trabalho de Casarin [2016], cuja arquitetura serviu como referência devido às características semelhantes encontradas na atual pesquisa, bem como do contexto sustentável e propósito de mudança comportamental. A arquitetura de Casarin [2016] foi adotada uma abordagem baseada em CPS (Sistemas Ciber-Físicos) e com o propósito de reduzir as emissões de CO₂ na atmosfera, foi desenvolvido um sistema persuasivo denominado SapiEns e validado como uma arquitetura nível sub-ótima. Com isso, a proposta desta pesquisa está fundamentada em Casarin [2016] para o desenvolvimento da arquitetura.

A arquitetura do sistema é composta por três domínios¹³: o domínio humano, que representa os usuários que interagem com a arquitetura; o domínio virtual, que inclui sistemas e *softwares* que interagem com a arquitetura; e o domínio físico, que engloba dispositivos, sensores e atuadores responsáveis por perceber os elementos físicos do ambiente e interagir com a arquitetura. Além disso, a arquitetura é composta por seis camadas¹⁴ (Interação Humana, Interação Física, Interação Virtual, Sensibilidade ao Contexto, Representação e Operação), vide Figura 4 a seguir.

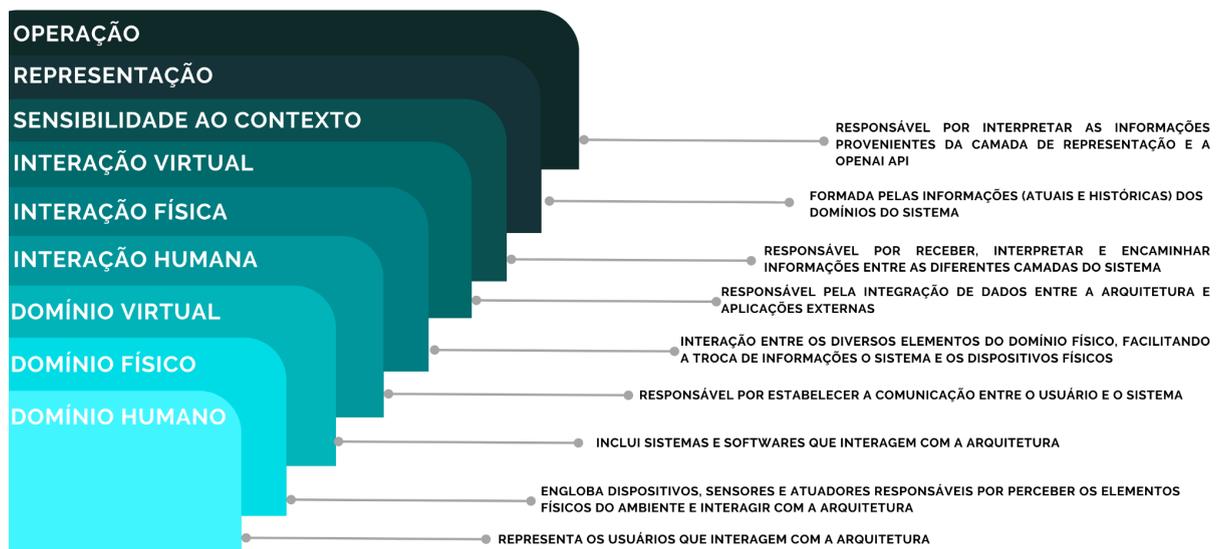


Figura 4. Apresentação dos Domínios e Camadas trabalhadas na arquitetura de Casarin [2016].

Fonte: Elaboração própria [2024].

A seguir será apresentado o desenho da arquitetura desenvolvida e seus respectivos Domínios, Camadas, Módulos e Fluxo de informações (Figura 5). Cada uma dessas camadas possui funcionalidades específicas, que serão descritas a seguir:

6.2.1 Camada de Interação Física

Esta camada possibilita a interação entre os diversos elementos do Domínio Físico, facilitando a troca de informações entre o CPS (Sistemas Ciber-Físicos) e os dispositivos físicos. Um conjunto de dispositivos nessa camada deve ser capaz de enviar e solicitar informações do ambiente por meio de diferentes protocolos de comunicação. Além disso, as informações circulantes nessa camada são utilizadas para monitorar, através da observação do ambiente, os níveis de habilidade e motivação de um usuário, os quais serão analisados pela camada de operação.

¹³ Espaços compostos por elementos semelhantes os quais interagem com a arquitetura.

¹⁴ Conjunto de recursos e funcionalidades específicas a fim de cumprir um objetivo comum.

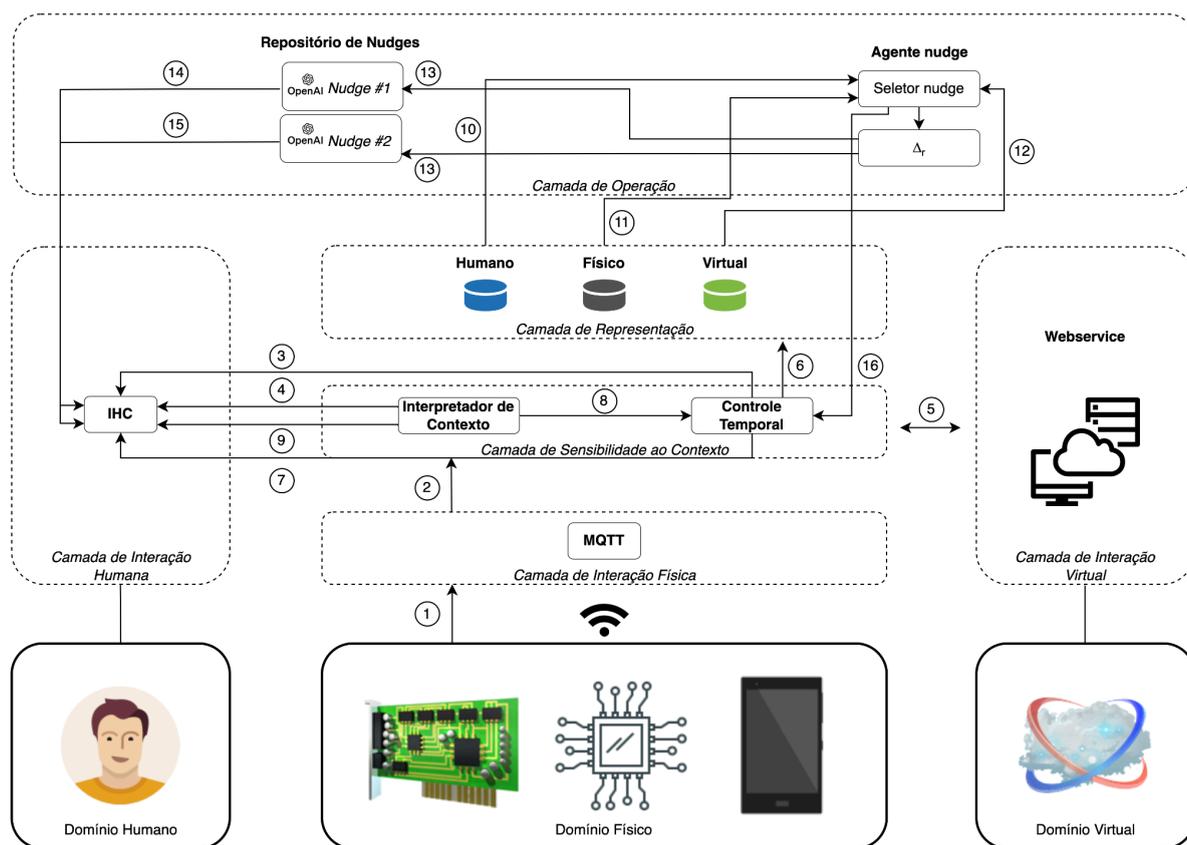


Figura 5. Proposta da Arquitetura do Sistema de Informação com estratégias Nudge e IA Generativa.

Fonte: Adaptado de Casarin [2016].

6.2.2 Módulos e componentes

A camada de interação física é composta pelo módulo MQTT. Este módulo tem como objetivo estabelecer a conexão entre os elementos do domínio físico e o CPS (Sistemas Ciber-Físicos). Dependendo da área de aplicação da arquitetura, pode-se optar pela utilização de um ou mais módulos para estabelecer a conexão.

O protocolo MQTT é baseado no modelo cliente/servidor. Os clientes são dispositivos que se conectam a um servidor (chamado de broker) usando TCP. As mensagens transmitidas são publicadas em um endereço (chamado de tópico), por exemplo, "casa/quarto/temperatura". Clientes podem se inscrever em vários tópicos, permitindo-lhes receber mensagens publicadas por outros clientes nesses tópicos.

Em uma comparação entre os protocolos HTTPS e MQTT, o MQTT mostrou-se mais eficiente em relação ao envio e recebimento de mensagens, consumo de energia, largura de banda e processamento [Nicholas, 2012]. O protocolo MQTT é utilizado pelo Facebook em seu Messenger [Zhang, 2011].

Conclui-se que o MQTT é um protocolo ideal para comunicação "Máquina para Máquina" (M2M) e também para IoT. Além disso, é aconselhável seu uso em aplicativos móveis, nos quais o consumo de energia e a largura de banda são fatores importantes [MQTT, 2010].

6.2.3 Fluxo de informações

Pode-se observar na Figura 5 a entrada e saída de informações na camada de interação física. Essas informações são representadas pelas setas 1 e 2 na arquitetura. Para uma compreensão mais detalhada do funcionamento da camada de interação física, ilustra-se na Tabela 9 o fluxo de informações e seus significados.

Tabela 9. Entradas e saídas da Camada de Interação Física da arquitetura.

Número da seta	Informação	Módulos ou Camadas Relacionadas (Saída/Entrada)
1	Dados brutos do domínio físico e id do dispositivo	Camada de Interação Física/ Camada de sensibilidade ao contexto
2	id do dispositivo, tipo de protocolo de comunicação, porta de comunicação, endereço do servidor (broker ou http), codificação dos dados (UTF-8, UTF-16, UTF-32, entre outros)	Domínio Físico/ Camada de Interação Física

Fonte: Elaboração própria [2024].

6.3 Camada de Interação Humana

Responsável por estabelecer a comunicação entre o usuário e o sistema, ou seja, ter contato com a interface (IHC), bem como permitir a observação de informações (saída de dados).

6.3.1 Módulos e componentes

Neste módulo não será criado interface gráfica ou outro meio para interagir com o usuário. As notificações nudges serão recebidas pelo aplicativo de mensagens (SMS) do próprio Smartphone.

6.3.2 Fluxo de informações

Pode-se perceber na Figura 5 a entrada e saída de informações na camada de interação humana. Estas informações são representadas pelas setas 3 e 4 na arquitetura. Para uma melhor compreensão do funcionamento da camada de interação humana, a Tabela 10 ilustra o seu fluxo de informações.

Tabela 10. Entradas e saídas da Camada de Interação Humana da arquitetura.

Número da seta	Informação	Módulos ou Camadas Relacionadas (Saída/Entrada)
----------------	------------	---

3	id do nudge, momento de envio do nudge (representação temporal) e id do usuário	Controle Temporal/IHC
4	Informação do domínio físico processadas	Interpretador de contexto/IHC

Fonte: Elaboração própria [2024].

6.4 Camada de Interação Virtual

Responsável pela interação da arquitetura com sistemas externos como interfaces baseadas em serviços na nuvem, sistemas de gerenciamento, entre outros, capazes de interagir virtualmente com a arquitetura por meio de interfaces baseadas em serviços web. Esta camada é responsável pela integração de dados entre a arquitetura e aplicações externas.

6.4.1 Módulos e componentes

A camada de interação virtual é composta pelo módulo denominado *webservice*, o qual é responsável por fornecer a interface de comunicação com sistemas externos. A comunicação com diferentes tipos de sistemas ocorre por meio de chamadas de serviços utilizando protocolos de comunicação web. Geralmente, utiliza-se o protocolo HTTP/HTTPS para chamadas desses tipos de serviços e também pode ocorrer a integração com WebAPIs (Interface de Programação de Aplicações na Web).

6.4.2 Fluxo de informações

Pode-se perceber na Figura 5 a entrada e saída de informações na camada de interação virtual. Essas informações são representadas pela seta número 5 na arquitetura. Esta seta representa o fluxo de informações sobre o usuário entre a camada de sensibilidade ao contexto e a camada de interação virtual.

6.5 Sensibilidade ao contexto

Esta camada é responsável por receber, interpretar e encaminhar informações entre as diferentes camadas do sistema.

6.5.1 Módulos e componentes

A camada de sensibilidade ao contexto é composta por dois módulos:

1. Interpretador de contexto: responsável por interpretar os dados provenientes das diferentes camadas do sistema. Deve adquirir e tratar a procedência dos dados, processá-los e encaminhar as informações resultantes aos respectivos destinos. Este

interpretador também é responsável pelo controle de segurança, impedindo acessos indevidos e gerenciando os diferentes níveis de acesso do sistema.

2. Controle temporal: responsável pela sincronia de tempo entre o mundo real e o virtual. Dado que o domínio físico está descrito de forma contínua e o domínio virtual de forma discreta, surge a necessidade de um controle temporal que mantenha a consistência entre esses domínios. Assim, os elementos pertencentes a qualquer domínio (físico, virtual ou humano) interagem e mudam em função do tempo, exigindo registro e controle temporal para garantir a sincronia entre os elementos do sistema.

6.5.2 Fluxo de informações

Pode-se perceber na Figura 5 as entradas e saídas de informações na camada de sensibilidade ao contexto. Estas informações são representadas pelas setas 5, 6, 7, 8 e 9 na arquitetura. Para uma melhor compreensão do funcionamento da camada de sensibilidade ao contexto, ilustra-se na Tabela 11 o fluxo de informações e seu significado.

Tabela 11. Entradas e saídas da Camada de Sensibilidade ao Contexto da arquitetura.

Número da seta	Informação	Módulos ou Camadas Relacionadas (Saída/Entrada)
5	Informações do consumo do usuário	Camada de sensibilidade ao contexto/ Camada de Interação Virtual
6	Informações advindas de um dos domínios (humano, virtual ou físico) com o tempo de recebimento dos dados, bem como o seu destino.	Controle temporal/ Camada de representação
7	Nudge com o tempo para disparo inserido (regras de negócio) e id do usuário	Controle temporal/IHC
8	Dados processados advindos do domínio físico	Interpretador de contexto/ Controle temporal
9	Informação do domínio físico processadas	Interpretador de contexto/IHC

Fonte: Elaboração própria [2024].

6.6 Camada de Representação

A camada de representação deve manter um conjunto de estados dos elementos dos domínios (humano, físico e virtual). Esses estados servem para simplificar a validação e integração entre as camadas de sensibilidade ao contexto e decisão. Em outras palavras, a camada de representação é formada pelas informações (atuais e históricas) dos domínios do sistema.

6.6.1 Módulos e componentes

A camada de representação é composta por repositórios, coleções de objetos ou bancos de dados, os quais têm a finalidade de persistir os dados de forma confiável e segura para o sistema. Em outras palavras, os componentes da camada de representação devem armazenar todos os dados e informações provenientes dos diferentes domínios do sistema em seus respectivos destinos.

6.6.2 Fluxo de informações

Pode-se perceber na Figura 5 a entrada e saída de informações na camada de representação. Estas informações são representadas pelas setas 10, 11 e 12 na arquitetura. Para uma melhor compreensão do funcionamento da camada de representação, ilustra-se na Tabela 12 o fluxo de informações e seu significado.

Tabela 12. Entradas e saídas da Camada de Representação da arquitetura.

Número da seta	Informação	Módulos ou Camadas Relacionadas (Saída/Entrada)
10	Informações do domínio humano	Humano/Seletor nudge
11	Informações do domínio físico	Físico/Seletor nudge
12	Informações do domínio virtual	Virtual/Seletor nudge

Fonte: Elaboração própria [2024].

6.7 Camada de Operação

O objetivo desta camada é dotar a arquitetura de capacidade para tomar decisões e disparar eventos. Além disso, deve ser responsável por interpretar as informações provenientes da camada de representação e seu Repositório de *Nudges*. Por fim, a camada de operação deve ser capaz de identificar o estado atual do usuário e selecionar o tipo de nudge para enviar ao usuário a fim de “empurrá-lo” a atuar sobre o ambiente.

6.7.1 Módulos e componentes

O Repositório de *Nudges* é formado por todos os *nudges* cadastrados no sistema, no qual contempla os desenvolvidos na Seção (5.1.1). Neste contexto, propõe-se a utilização da seguinte estrutura para o armazenamento de um *nudge*:

- i) IdNudge - identificador de um nudge, representado por um texto e número inteiro;
- ii) Tipo - tipo de nudge de acordo com o desenvolvido para esta pesquisa: *Feedback* ou *Mapeamento do entendimento* (Positivo, Neutro ou Negativo);
- iii) Conteúdo - conteúdo a ser enviado ao usuário a fim de tentar empurrá-lo. Para este sistema, o conteúdo será textual.

Além disso, os *nudges*, no Repositório de *Nudges*, são selecionados de forma direcionada, por exemplo, segundo as regras de negócio o *Nudge #1* será acionado nas segundas-feiras e o *Nudge #2* será acionado nas sextas-feiras. Para isso ele conta com os seguintes componentes:

1. Agente *nudge*: é responsável por acionar os nudges para o usuário a fim de empurrá-lo.
2. Seletor *nudge*: o seletor nudge tem como objetivo escolher o tipo do nudge (positivo, neutro ou negativo) e encaminhar para o usuário. Para isso, recebe informações da camada de representação e interage com a OpenAI API e encaminha para o usuário. Portanto, ele conta com o seguinte componente:
 - Rotina (Δr): Padrões de comportamento habituais podem ser identificados por meio dos sensores, analisando o consumo médio de energia do usuário.

A Rotina (Δr) são as informações de consumo do usuário, no qual, reflete os sete dias de monitoramento em um determinado horário (08:00 às 22:00 horas).

A Camada de Operação executa da seguinte maneira: inicialmente, o Agente Nudge seleciona os nudges e identifica o dia da semana (segunda-feira ou sexta-feira) para, a partir disso, determinar o tipo de nudge (*Nudge#1* ou *Nudge #2*) a ser utilizado. Em seguida, o agente verifica a Rotina (Δr) e calcula o consumo médio de energia do usuário comparando com a semana anterior. Com base nesses últimos dados, ele seleciona o *PromptTemplate* (Seção 5.8.1.2), gera a mensagem de notificação e a encaminha ao destinatário com o objetivo de torná-lo consciente e empurrá-lo a realizar a mudança comportamental. A seleção do Nudge estará condicionada a uma estrutura lógica do tipo “SE <pré-condição(ões)> ENTÃO <ação(ões)>”, no tocante aos tipos de Nudge (Positivo, Neutro ou Negativo). Este processo está ilustrado na Figura 7.

6.8 Prompt

No Quadro 11 abaixo é possível observar como o *PromptTemplate* está estruturado. Ao todo seis prompts foram elaborados, com base na Arquitetura Nudge (Seção 5.1.1) desenvolvida na pesquisa. Na sequência, é observado o *PromptTemplate* (Figura 5) durante a sua requisição.

Quadro 11. *PromptsTemplate.*

Nudges		ID	Prompts
Nudges #1	F01	Prompt #1	O usuário está buscando entender o seu consumo de energia através de técnicas nudges. Você irá explicar que ocorreu uma redução do consumo de energia comparado à semana anterior. Explique com uma linguagem simples e direta, através de feedback. O usuário consumiu esta semana 5% menos energia. Segue um exemplo como base: "Semana passada foi consumido menos <N>% de energia comparado com a semana anterior. Isso mostra que você está sendo

		<p>mais eficiente no uso de energia. Parabéns por economizar energia!" e altere as palavras quando possível. Observação: <N> é o valor numérico. Construa a mensagem entre 100 e 160 caracteres.</p>	
	F02	Prompt #2	<p>O usuário está buscando entender o seu consumo de energia através de técnicas nudges. Você irá explicar que ocorreu um consumo estável de energia comparado à semana anterior. Explique com uma linguagem simples e direta, através de feedback. Segue um exemplo como base: "Semana passada seu consumo de energia se manteve estável em relação à semana anterior. Mudando alguns de seus hábitos de consumo de energia você encontra oportunidades de economia." e altere as palavras quando possível. Construa a mensagem entre 100 e 160 caracteres.</p>
	F03	Prompt #3	<p>O usuário está buscando entender o seu consumo de energia através de técnicas nudges. Você irá explicar que ocorreu um aumento no consumo de energia comparado à semana anterior. Explique com uma linguagem simples e direta, através de feedback. O usuário consumiu mais 10% de energia. Segue um exemplo como base: "Semana passada foi consumido mais <N>% de energia comparado com a semana anterior. Isso indica que você precisa dar mais atenção aos seus hábitos. Você pode fazer melhor para a próxima semana!" e altere as palavras quando possível. Observação: <N> é o valor numérico. Construa a mensagem entre 100 e 160 caracteres.</p>
Nudges #2	ME01	Prompt #4	<p>O usuário está buscando entender o seu consumo de energia através de técnicas nudges. Você irá explicar que ocorreu uma redução no consumo de energia comparado à semana anterior. Descrever quanto o usuário estará economizando, ao aplicar tal mudança de comportamento, que pode ser convertido entre a quantidade de gases na atmosfera ou valor financeiro, você escolhe, um ou outro. O usuário consumiu menos 5% de energia. Segue um exemplo como base: "Parabéns! Sua economia de <KWH>kWh esta semana resultou em uma economia de <CO2>kg de CO2 que seriam emitidos na atmosfera. Continue economizando energia e contribuindo para um mundo mais consciente!" e altere as palavras quando possível. Observação: <KWH> é quilowatt-hora, <CO2> é gás carbônico. Construa a mensagem entre 100 e 160 caracteres.</p>
	ME02	Prompt #5	<p>O usuário está buscando entender o seu consumo de energia através de técnicas nudges. Você irá explicar que ocorreu um consumo estável de energia comparado à semana anterior. Descrever quanto o usuário estará economizando, ao aplicar tal mudança de comportamento, que pode ser convertido entre a quantidade de gases na atmosfera ou valor financeiro, você escolhe, um ou outro. Segue um exemplo como base: "Esta semana seu consumo de energia foi semelhante ao da semana anterior. Monitorar seu uso de energia ajuda a identificar oportunidades para economizar ainda mais e reduzir gases na atmosfera." e altere as palavras quando possível. Observação: <KWH> é quilowatt-hora, <CO2> é gás carbônico. Construa a mensagem entre 100 e 160 caracteres.</p>
	ME03	Prompt #6	<p>O usuário está buscando entender o seu consumo de energia através de técnicas nudges. Você irá explicar que ocorreu um aumento no consumo de energia comparado à semana anterior. Descrever quanto o usuário estará economizando, ao aplicar tal mudança de comportamento, que pode ser convertido entre a quantidade de gases na atmosfera ou valor financeiro, você escolhe, um ou outro. O usuário consumiu mais 10% de energia. Segue um exemplo como</p>

base: "Parabéns! Sua economia de <KWH>kWh esta semana resultou em uma economia de <CO2>kg de CO2 que seriam emitidos na atmosfera. Continue economizando energia e contribuindo para um mundo mais consciente!" e altere as palavras quando possível. Observação: <KWH> é quilowatt-hora, <CO2> é gás carbônico. Construa a mensagem entre 100 e 160 caracteres.

Fonte: Elaboração própria [2024].

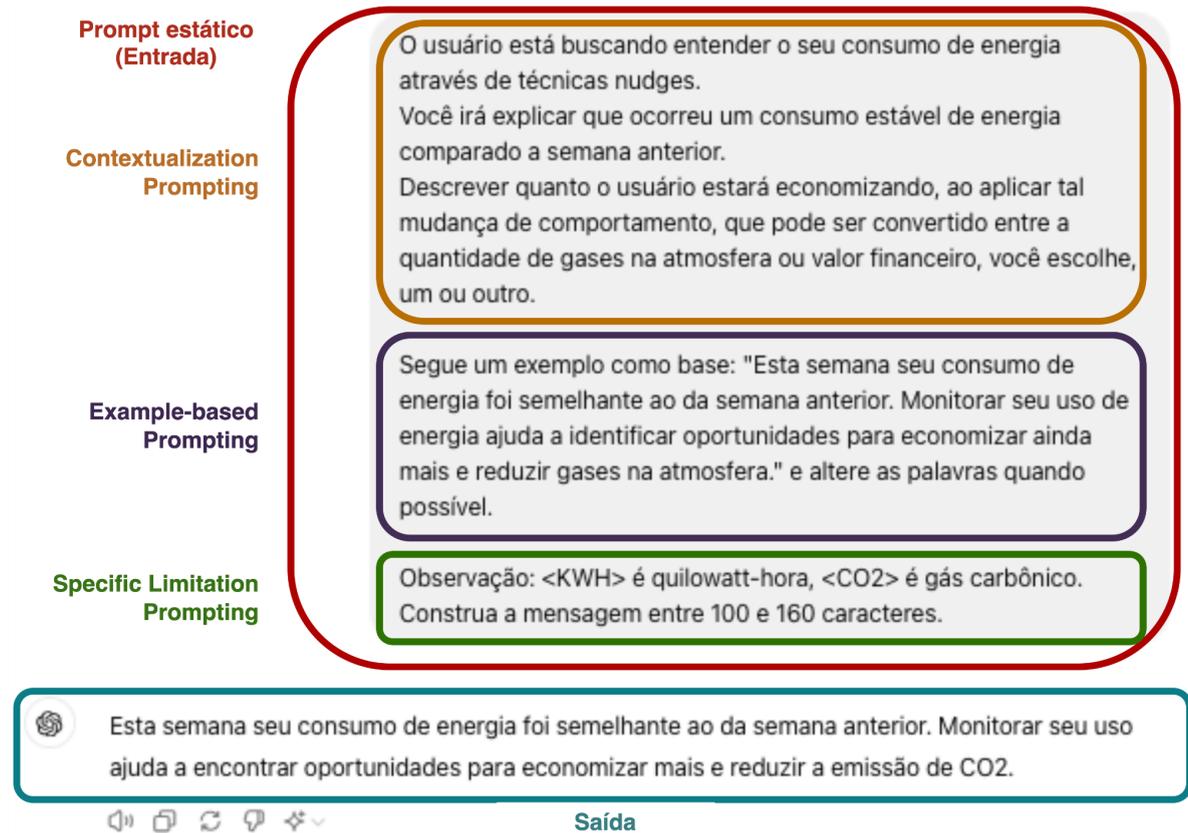


Figura 5. Requisição do Prompt#5, referente ao Nudge#2 [ME02].

Fonte: Elaboração própria [2024].

Na Figura 5 acima é observado o prompt estático, lugar onde é passado instruções para embasar melhor as respostas do LLM. Já nele é possível notar o uso de pelo menos quatro técnicas de engenharia de prompt:

- **Técnica de Contextualização (*Contextualization Prompting*):** Consiste em incorporar detalhes contextuais significativos ao prompt, facilitando o entendimento do modelo sobre o cenário ou tema abordado. Isso ajuda a IA a gerar respostas mais precisas e contextualmente adequadas.
- **Técnica baseada em exemplos (*Example-based Prompting*):** Utiliza exemplos concretos para orientar ou direcionar o entendimento do modelo.
- **Técnica de limitação específica (*Specific Limitation Prompting*):** Refere-se a uma abordagem onde são definidas limitações específicas ou restrições durante o desenvolvimento do software.

-
- **Técnica de Prompting Híbrido (*Hybrid Prompting*):** Consiste na combinação de múltiplas estratégias de prompt para otimizar os resultados. Integrando técnicas como *Contextualization*, *Example-based* e *Specific Limitation*, busca-se uma abordagem mais robusta e flexível para potencializar a eficácia das interações com o modelo de IA.

Para a tarefa de geração das mensagens a partir de LLMs será utilizado o *pipeline* descrito na Figura 6. Nele, um Nudge é concatenado a um template de prompt, gerando assim o texto final que será fornecido ao usuário. A LLM deve seguir as instruções fornecidas pelo prompt de entrada e gerar, a partir dos dados de consumo de energia, o *status* de consumo do usuário para trazer uma melhor consciência de seu consumo de energia.

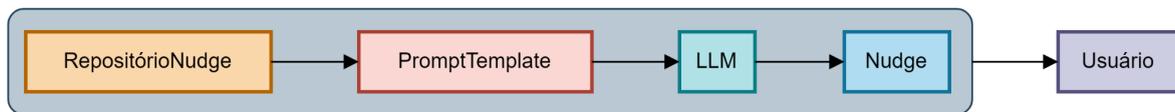


Figura 6. Pipeline para geração automática de nudges.

Fonte: Elaboração própria [2024].

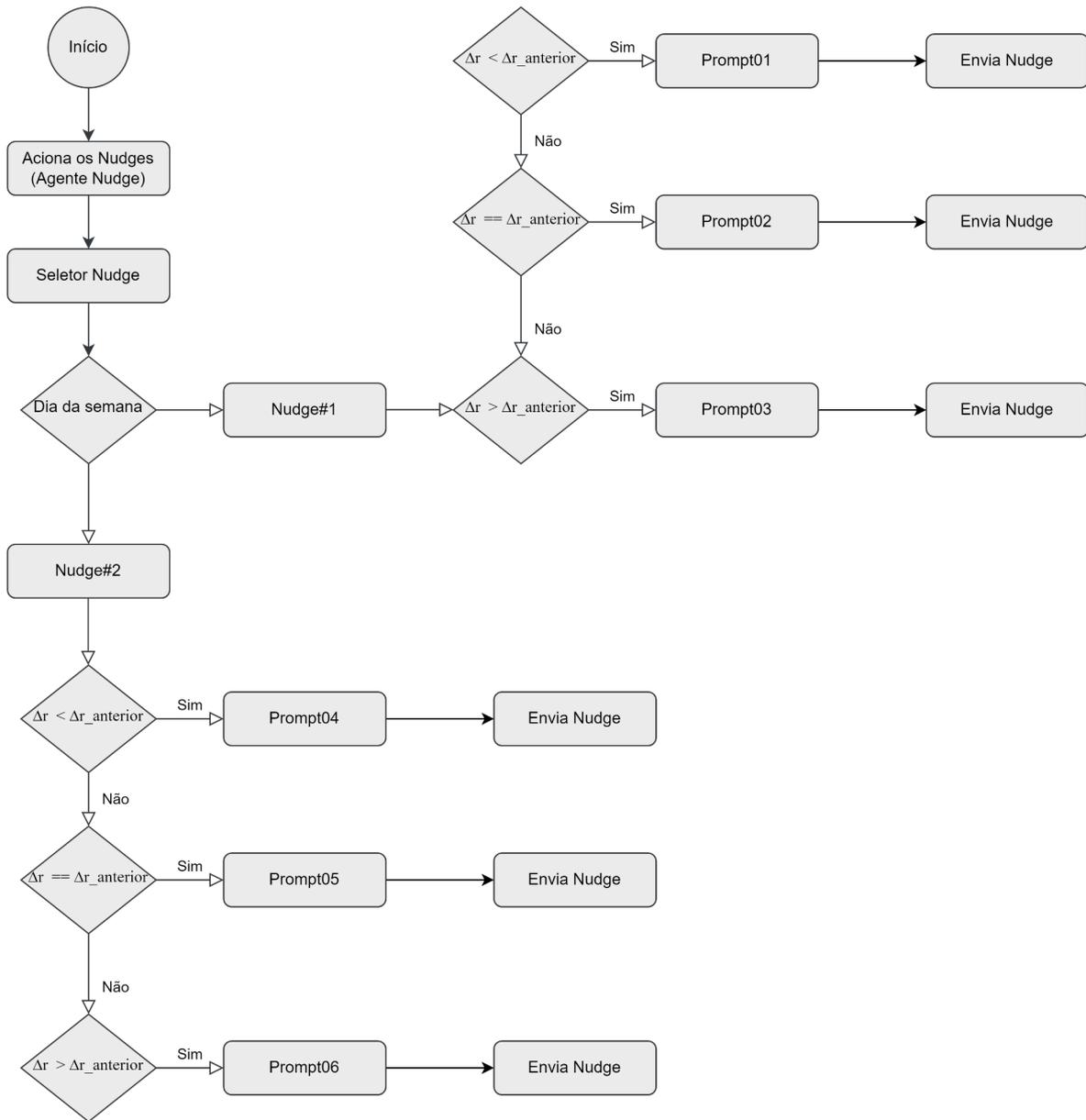


Figura 7. Fluxograma de representação da Camada de Operação.

Fonte: Elaboração própria [2024].

6.8.1 Fluxo de informações

Pode-se perceber na Figura 5 a entrada e saída de informações na Camada de Operação. Estas informações são representadas pelas setas 13, 14, 15 e 16 na arquitetura. Para uma melhor compreensão do funcionamento da camada de interação humana, ilustra-se na Tabela 13 o fluxo de informações e seu significado.

Tabela 13: Entradas e saídas da Camada de Operação da arquitetura.

Número da seta	Informação	Módulos ou Camadas Relacionadas (Saída/Entrada)
----------------	------------	---

13	Seleção da OpenAI API	(Δr)/OpenAI API
14	Conjunto de nudges do tipo <i>Feedback</i> (Nudge #1)	OpenAI API/IHC
15	Conjunto de nudges do tipo <i>Mapeamento do entendimento</i> (Nudge #2)	OpenAI API/IHC
16	Nudge e Prompt selecionado e usuário a ser entregue	Seletor Nudge/Controle Temporal

Fonte: Elaboração própria [2024].

6.9 Requisitos

Esta unidade aborda os requisitos do sistema, identificando seus atores potenciais e como os requisitos se correlacionam aos casos de uso do sistema. Requisitos são, além de funções, objetivos, propriedades, restrições que o sistema deve possuir para satisfazer contratos, padrões ou especificações de acordo com o usuário. De forma mais geral, um requisito é uma condição necessária para satisfazer um objetivo [DEVMEDIA, 2017].

A lista de requisitos com todas as restrições e requisitos validados do sistema é reproduzida nos quadros seguintes, divididos em requisitos funcionais e requisitos não funcionais. O Quadro 12 lista 17 Requisitos Funcionais do sistema e o Quadro 13 lista 9 Requisitos Não Funcionais. Os requisitos foram elaborados com base no trabalho de Cavaleiro [2018], no qual desenvolveu um Sistema de Informação integrado a Smart Meter construído com Arduíno.

6.10.1 Prioridades dos requisitos

Projetos são desenvolvidos muitas das vezes com base em recursos escassos. Em detrimento disso, sempre surge a necessidade de priorizar onde os recursos serão empregados e em que determinado momento. Para estabelecer a prioridade dos requisitos foram adotadas denominações “essencial”, “importante” e “desejável”.

❖ **Essencial** – Todos os requisitos essenciais são fundamentais para o sistema, sendo que sem estes o sistema não pode ser dado como completo, ou apto para ser implementado.

❖ **Importante** – Os requisitos importantes são requisitos sem os quais o sistema entra em funcionamento, mas de forma não satisfatória. Requisitos importantes devem ser implementados, mas, se não forem, o sistema poderá ser implantado e usado mesmo assim.

❖ **Desejável** – Os requisitos desejáveis são requisitos que não comprometem as funcionalidades básicas do sistema, isto é, o sistema pode funcionar de forma satisfatória sem ele. Requisitos desejáveis são requisitos que podem ser deixados para versões posteriores do sistema, caso não haja tempo hábil para implementá-los na versão que está sendo especificada.

6.9.2 Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais de um sistema são declarações de serviços que o sistema deve fornecer, de como o sistema deve reagir a entradas específicas e de como o sistema deve se comportar em determinadas situações [Sommerville, 2011]. A seguir é apresentado um quadro com os requisitos funcionais do sistema.

Quadro 12. Requisitos Funcionais.

ID	Descrição	Prioridade
RF01	O Sistema deve processar dados referentes ao consumo de energia elétrica de um item monitorado por um Smart Meter.	ESSENCIAL
RF02	O Sistema deve processar dados referentes ao consumo de energia elétrica de um estabelecimento através de um Smart Meter.	ESSENCIAL
RF03	O Sistema deve ser integrado a Smart Meters.	ESSENCIAL
RF04	O Sistema deve ser integrado a bancos de dados.	ESSENCIAL
RF05	O Sistema deve processar os dados inseridos no banco de dados, monitorado pelo Smart Meter.	ESSENCIAL
RF06	O Sistema deve ser habilitado para a plataforma <i>mobile</i> .	ESSENCIAL
RF07	O Sistema deve processar os dados de consumo em kWh.	ESSENCIAL
RF08	O Sistema pode ser integrado à APIs.	ESSENCIAL
RF09	O Sistema deve permitir o cadastro de usuários. Os dados para cadastro são: Nome, E-mail, Telefone, Nível de acesso (Administrador ou Usuário normal).	ESSENCIAL
RF10	O Sistema deve permitir que o administrador cadastre usuários.	ESSENCIAL
RF11	O Sistema deve identificar usuários cadastrados de acordo com o nível de acesso.	ESSENCIAL
RF12	O Sistema deve permitir que o administrador cadastre dispositivos.	ESSENCIAL
RF13	O Sistema deve permitir que o administrador gerencie monitoramentos.	ESSENCIAL
RF14	O Sistema deve permitir que o administrador cadastre Notificações Nudges.	ESSENCIAL
RF15	Um monitoramento removido deve liberar que o Smart Meter utilizado possa ser cadastrado para outro monitoramento.	IMPORTANTE
RF16	O sistema deve permitir o envio de notificações <i>nudge</i> em tempo real ao usuário através de mensagens (SMS).	ESSENCIAL
RF17	Permitir a transferência de informações entre os domínios e as camadas.	ESSENCIAL

Fonte: Elaboração própria [2024].

6.9.3 Requisitos Não Funcionais

Os requisitos não funcionais descrevem as restrições aos serviços ou funções oferecidas pelo sistema. Incluem restrições de *timing*, restrições no processo de desenvolvimento e restrições impostas pelas normas. Muitos requisitos não funcionais são também requisitos de qualidade, como exigências de desempenho e robustez. No presente trabalho os requisitos não funcionais são descritos pelas categorias de Usabilidade, Confiabilidade e Segurança [Sommerville, 2011].

Quadro 13. Requisitos Não Funcionais.

ID	Descrição	Prioridade
RNF01	Este requisito diz respeito à velocidade de execução de tarefas.	ESSENCIAL
RNF02	O Sistema deve estar disponível a partir da internet com alta disponibilidade de 98.8%.	IMPORTANTE
RNF03	A informação que trafega pela plataforma só deve ser acessada por quem está autorizado. Esta não deve permitir vazamentos de informação.	ESSENCIAL
RNF04	O sistema apresentará melhor desempenho em dispositivos clientes com pelo menos 8 GB de memória RAM.	IMPORTANTE
RNF05	O Sistema deve se comunicar com o banco de dados MySQL.	ESSENCIAL
RNF06	O Sistema deve ser desenvolvido em linguagem Java.	ESSENCIAL
RNF07	O Sistema deve ser compatível com um modelo de Smart Meter.	DESEJÁVEL
RNF08	O Sistema deve utilizar o serviço de conexão MySQL Server para integração com Smart Meter e banco de dados.	IMPORTANTE
RNF09	O Sistema permitirá monitoramento simultâneo de aparelhos eletrodomésticos.	DESEJÁVEL

Fonte: Elaboração própria [2024].

6.10 Implementação

A linguagem de programação escolhida para implementação do Sistema de Informação com *Nudge* foi a linguagem Java que se caracteriza por ser de escrita simples, orientada a objetos, distribuída, robusta, segura, com alto desempenho, multi-thread e como propunha seu slogan, “*Write 57 once, run anywhere*”, interpretada, dinâmica e independente de arquitetura [Cardoso, 2007 *apud* Gosling, 1995].

A implementação do sistema utiliza diversas tecnologias para garantir uma infraestrutura robusta e eficiente. **Docker** e **Docker Compose** são usados para contêinerização e orquestração dos serviços. **MongoDB** serve como banco de dados NoSQL para armazenar logs e históricos de consumo energético. **Consul** gerencia configurações e a descoberta de serviços. **Java 17** e **Spring Boot** formam a base do backend, facilitando a criação e integração da aplicação. A **API do Twilio** permite o envio automático de mensagens SMS, informando os usuários sobre seu consumo energético. Juntas, essas tecnologias asseguram uma solução escalável e eficiente para a entrega de notificações e a promoção da conscientização energética.

6.11 Banco de dados

Na Figura 8 é apresentado o Diagrama de Classe do Sistema de Informação com *Nudge*. O objetivo do diagrama é realizar a apresentação gráfica da visão do projeto num aspecto de interação com o banco de dados.

Para atender as necessidades de armazenamento, organização e recuperação de dados, esta subseção configura o banco de dados do sistema e suas características. SGBD, sigla de Sistema Gerenciador de Banco de Dados (do inglês, DBMS – *DataBase Manangement*

System), é um sistema responsável pela segurança e proteção dos dados de um banco [Milani, 2006].

O SGBD escolhido para esta fase do trabalho é o NoSQL. NoSQL pode ser definido como um conjunto de princípios que permitem o processamento de dados de forma rápida e eficaz, com ênfase em desempenho [Kelly, 2013]. É uma abordagem alternativa, desenvolvida para estruturar dados sem seguir os rígidos padrões do modelo relacional. O banco de dados do Sistema de Informação com *Nudge* é nomeado de “sistema”.

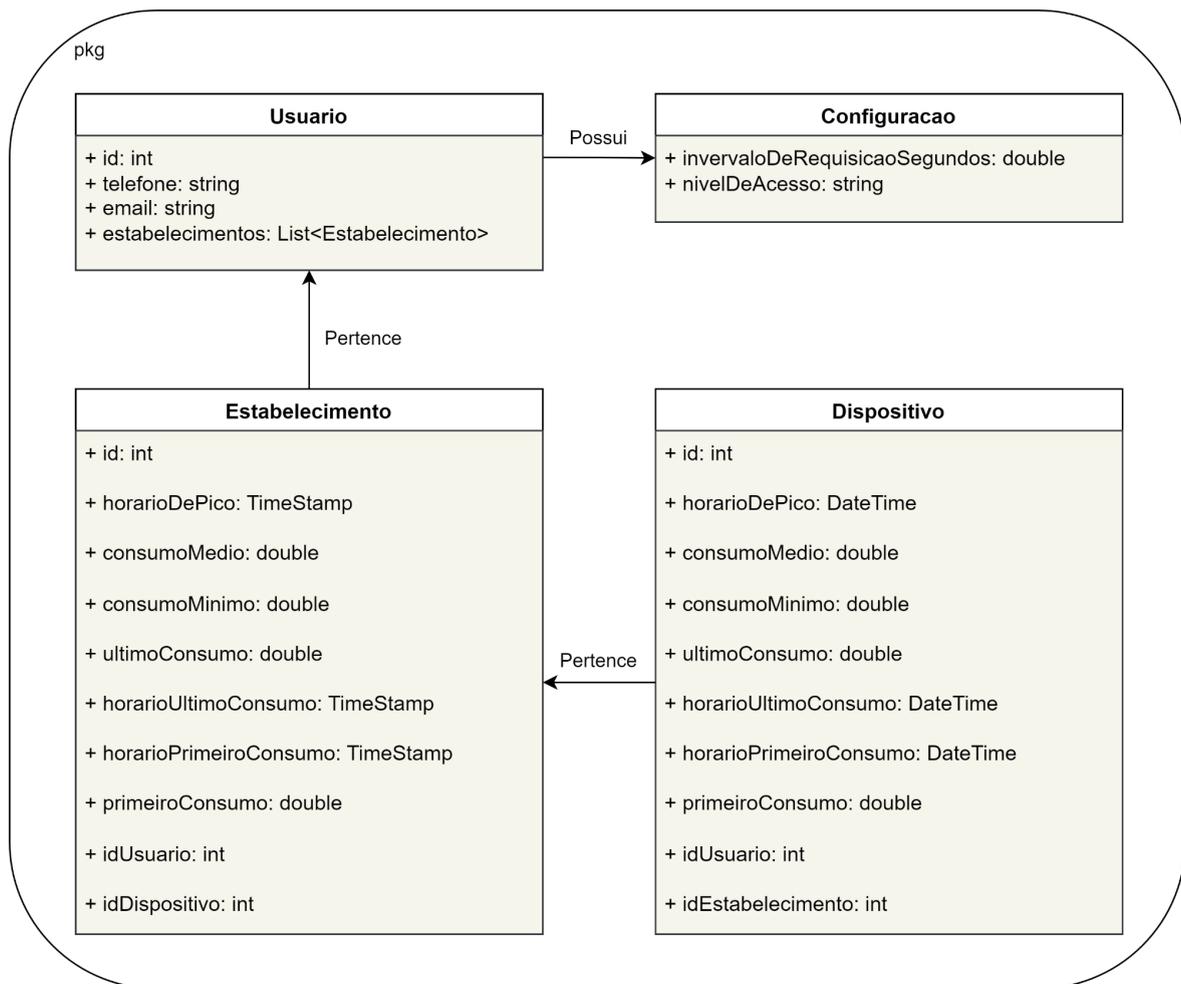


Figura 8. Diagrama de classes e modelagem do banco de dados.

Fonte: Elaboração própria [2024].

O banco “sistema” possui sete tabelas conforme o Quadro 14 abaixo.

Quadro 14. Tabelas do banco de dados “sistema”.

Item	Tables_in_sistema
1	Usuario
2	Configuracao
3	Dispositivo
4	Estabelecimento

5	RepositoryConfiguracao
6	RepositoryDispositivo
7	RepositoryEstabelecimento

Fonte: Elaboração própria [2024].

A tabela “usuario”, possui a função de armazenar dados de cadastro e definir o perfil do usuário. No Quadro 15 abaixo é possível visualizar todas as informações estruturais das colunas dessa tabela.

Quadro 15. Informações estruturais da tabela usuario.

Campo	Tipo	Key	Padrão	Extra
id	int(11)	PRI	NULL	auto_inc
telefone	string(12)		NULL	
email	string(45)		NULL	
estabelecimento	List<Estabelecimento>		NULL	

Fonte: Elaboração própria [2024].

O quadro com as informações estruturais da tabela “usuario” possui um campo extra com a sigla auto_inc (AUTO_INCREMENT) que permite que um número exclusivo seja gerado automaticamente quando um novo registro é inserido em uma tabela. A tabela do banco "Configuracao", possui o atributo de requisição dos dados da API. Nas tabelas, “Dispositivo” e “Estabelecimento”, são registrados os dados de consumo do equipamento monitorado e estabelecimentos e seus valores de leituras (consumo em kWh). Os quadros 16 e 17 discriminam suas informações estruturais das tabelas citadas respectivamente. Nas tabelas “RepositoryConfiguracao”, “RepositoryDispositivo” e “RepositoryEstabelecimento”, possuem um CRUD básico, com função de criar, atualizar, pesquisar e deletar seus respectivos atributos.

Quadro 16. Informações estruturais da tabela Configuracao.

Campo	Tipo	Key	Padrão	Extra
intervaloDeRequisicoesPorSegundo	double		NULL	
nivelDeAcesso	string		NULL	

Fonte: Elaboração própria [2024].

Quadro 17. Informações estruturais da tabela Dispositivo.

Campo	Tipo	Key	Padrão	Extra
id	int(11)	PRI	NULL	auto_inc
horarioDePico	DateTime		CURRENT_TIMESTAMP	
ConsumoMedio	double		NULL	
ConsumoMinimo	double		NULL	

UltimoConsumo	double	NULL
horarioUltimoConsumo	DateTime	CURRENT_TIMESTAMP
horarioPrimeiroConsumo	DateTime	CURRENT_TIMESTAMP
primeiroConsumo	double	NULL
idUsuario	int(11)	NULL
idEstabelecimento	int(11)	NULL

Fonte: Elaboração própria [2024].

Quadro 18. Informações estruturais da tabela Estabelecimento.

Campo	Tipo	Key	Padrão	Extra
id	int(11)	PRI	NULL	auto_inc
horarioDePico	DateTime		CURRENT_TIMESTAMP	
ConsumoMedio	double		NULL	
ConsumoMinimo	double		NULL	
UltimoConsumo	double		NULL	
horarioUltimoConsumo	DateTime		CURRENT_TIMESTAMP	
horarioPrimeiroConsumo	DateTime		CURRENT_TIMESTAMP	
primeiroConsumo	double		NULL	
idUsuario	int(11)		NULL	
idDispositivo	int(11)		NULL	

Fonte: Elaboração própria [2024].

6.12 Caso de uso

O objetivo desta seção é identificar os casos de uso do Sistema de Informação com Nudge. São apresentados os principais casos de uso e o diagrama gerado correspondente.

Um caso de uso especifica o comportamento de um sistema ou de parte de um sistema e é uma descrição de um conjunto de sequências de ações, incluindo variantes realizadas pelo sistema para produzir um resultado observável do valor de um ator. Graficamente, o caso de uso é representado como uma elipse [Booch et al., 2005]. O Quadro 19 reproduz os principais casos de uso do sistema. São enumerados e descritos 05 (cinco) casos de uso, destacando os relacionados com os requisitos apresentados nas seções anteriores. A Figura 9 destaca o Diagrama de Caso de Uso do Sistema de Informação com *Nudge*.

Neste sistema, há apenas dois atores interagindo: o ator Usuário e o ator Administrador.

- **Ator Usuário:** usuário que dispõe de *Smart Meters* integrado ao Sistema de Informação com *Nudge* e utiliza o serviço de monitoramento.
- **Ator Administrador:** administrador do sistema responsável por toda a gerência e também controle de contas de usuários.

Quadro 19. Principais Casos de Uso (UC).

ID	Descrição	Requisitos relacionados
UC01	O administrador cadastra usuários.	RF09, RF10
UC02	O administrador cadastra dispositivos.	RF12
UC03	O administrador gerencia monitoramentos.	RF13, RF15
UC04	O administrador cadastra as notificações <i>nudges</i> .	RF14
UC05	O usuário recebe as notificações <i>nudges</i> .	RF06, RF16, RF17

Fonte: Elaboração própria.

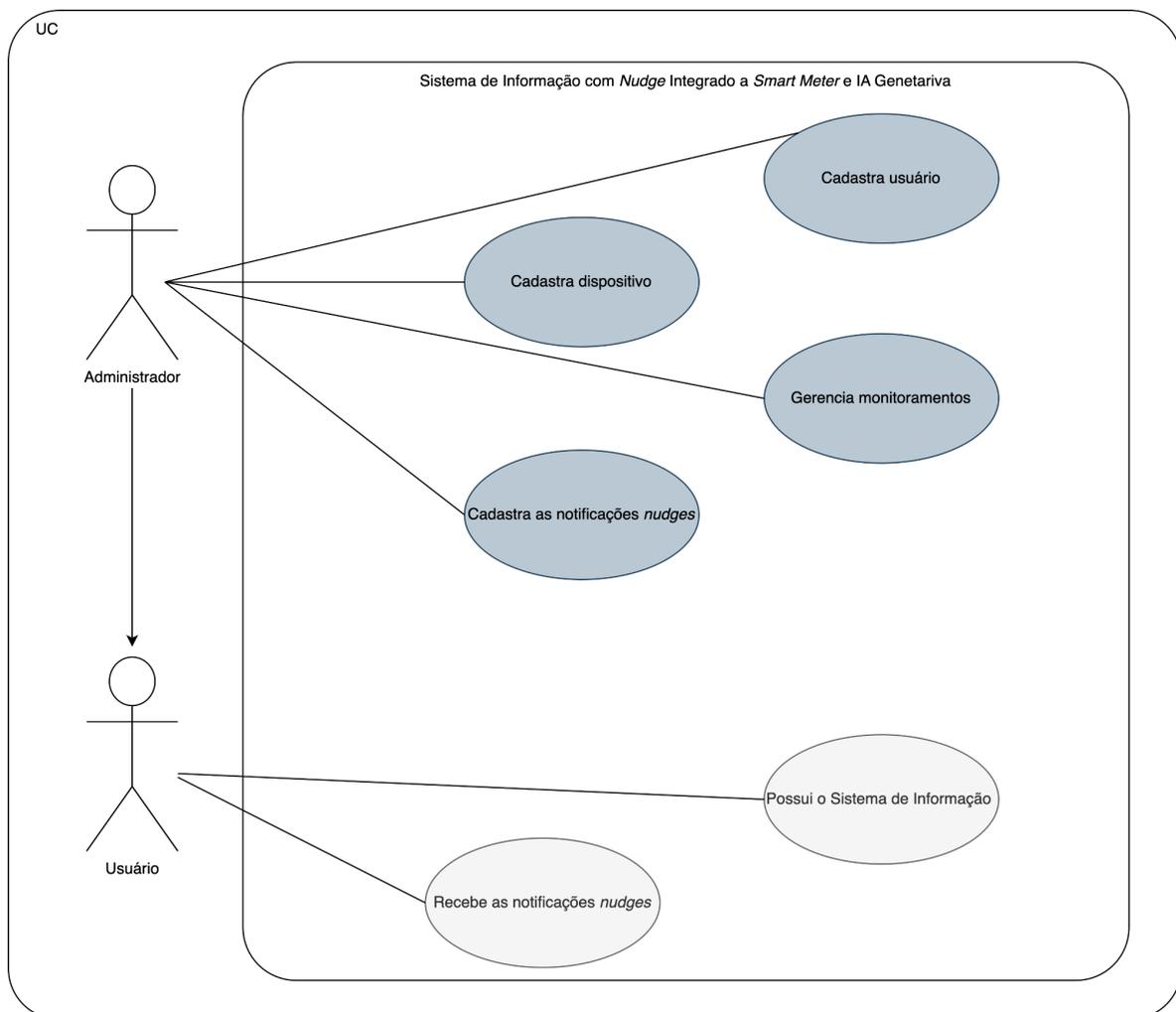


Figura 9. Diagrama de Caso de Uso do Sistema de Informação com *Nudge*.

Fonte: Elaboração própria [2024].

6.13 Funcionamento

Após a descrição das características e dos componentes do Sistema de Informação com *Nudge*, nesta seção é apresentado o funcionamento do sistema.

A estrutura do funcionamento desta proposta (Figura 10) é em um ambiente residencial que incorpora medidores inteligentes (*Smart Meters*) que serão instalados na rede elétrica, que pode ser incorporada a outros ambientes como comercial e industrial, também.

Os medidores inteligentes realizarão a coleta de dados de consumo elétrico, direcionando essas informações para um banco de dados na nuvem, através de um *gateway*. A princípio, este sistema na nuvem, por sua vez, estará implementado para monitorar apenas o consumo e realizar disparos de *nudges* aos usuários, comparados com o histórico de consumo usual.

Os medidores inteligentes integrados ao sistema estarão conectados em itens de interesse do usuário, a exemplo de lâmpadas, eletrodomésticos e tomadas, bem como o quadro geral de energia do ambiente. As análises e intervenções *nudge* serão prontamente disponibilizadas ao usuário por meio da interface gráfica do próprio *smartphone*.

O sistema proposto é composto por três elementos principais: (i) um módulo de *hardware*, representado por medidores inteligentes, que desempenha a função de adquirir dados, realizar pré-processamento e transmitir as informações para a nuvem; (ii) um serviço *web* em nuvem, caracterizado como *database* na *cloud*, incumbido de hospedar o *back-end*, receber os dados provenientes do módulo de *hardware*, bem como o monitoramento de dados de consumo e (iii) um sistema de geração e disparo de *nudges*, que será alcançado ao usuário através de SMS.

A integração dos *hardwares* e sistemas ocorrerá com o objetivo de promover a mudança de comportamento dos usuários em prol da eficiência energética. O usuário recebe os *nudges* e aos poucos começa a ter *insights* comportamentais.

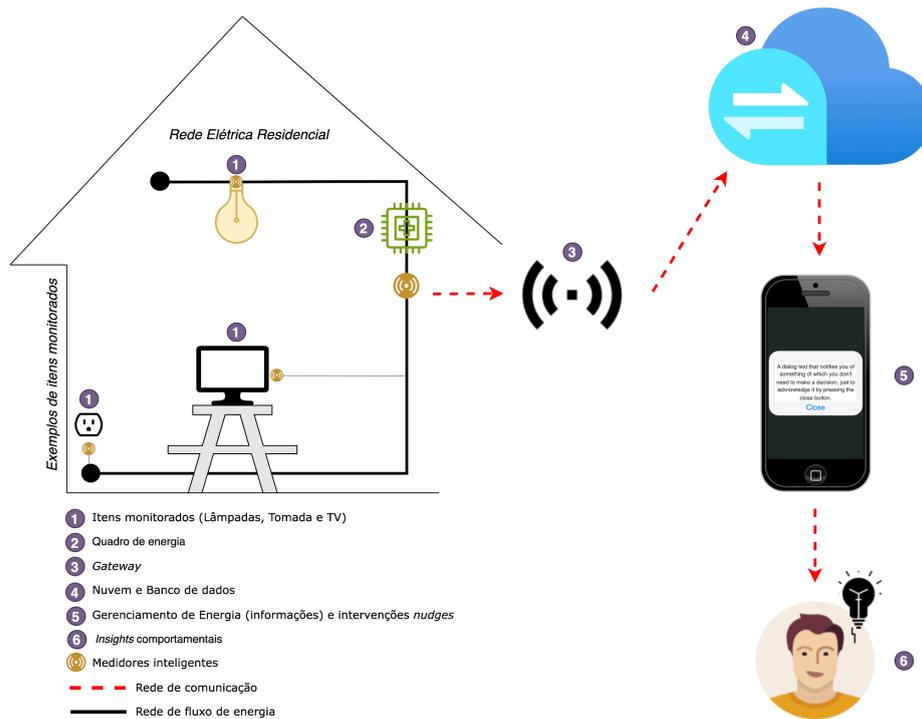


Figura 10. Desenho do cenário proposto para *Smarts Cities* com intervenções *Nudges* integrados à Sistemas de Informação para mudança de comportamento.

Fonte: Elaboração própria [2024].

Esta pesquisa possui parceria com duas *startups* que prestam serviços de monitoramento do consumo elétrico em João Pessoa-PB, a *MindSun* e a *Lieno Tecnologia*. E pelo fato de não possuímos o *hardware* de aquisição de dados de energia (medidores inteligentes) próprio, a aquisição de dados de consumo será feita através das APIs fornecidas pelas *startups*. Com isso, a Camada de Interação Virtual, da arquitetura proposta nesta pesquisa (Figura 5), será a responsável por fazer a integração dos dados de consumo dos usuários com o nosso Sistema de Informação. A Figura 11 apresenta o protótipo de como a mensagem *Nudge#1* (F01) será exibida via SMS.



Figura 11. Exemplo de exibição da mensagem *Feedback* com comparação (Nudge#1 - F01) .
Fonte: Elaboração própria [2024].

6.14 Testes

Para verificar a consistência do Sistema de Informação com Nudge desenvolvido em relação aos objetivos propostos e ao comportamento e a aplicabilidade do mesmo diante do consumo de energia, o sistema foi implementado e posto em simulação para realização de teste. Durante a construção do sistema, os componentes foram testados à medida que eram desenvolvidos, conforme as atividades propostas pelo modelo de desenvolvimento de software. Para teste dos dados criados, foram utilizados dados mockados (Figura 12), por conta da API da Startup parceira (Lieno Tecnologia) estar *off-line*.

Figura 12. Apresentação de um dado mockado utilizado nos testes.



Fonte: Dados da pesquisa [2024].

De acordo com a parametrização do sistema e ajuste dos cálculos, os requisitos foram realizados gerando *logs* para um período de uma semana, alterando datas (*date*) e valores

(*value*), conforme observado na Figura 15. O cálculo do consumo de energia é realizado por uma *engine principal*, que processa os *logs* de cada dispositivo monitorado. A *engine* do sistema verifica a existência de históricos de consumo na tabela de *logs*, considerando um intervalo de tempo específico, para evitar notificações redundantes. O Agente Nudge seleciona o tipo de nudge com base no dia da semana, categorizando-os como Positivo, Neutro ou Negativo. A Rotina (Δr) reflete sete dias de monitoramento do consumo energético em horários específicos, permitindo ao agente calcular o consumo médio e gerar notificações apropriadas. Antes de disparar um nudge, o sistema atualiza a tabela de histórico com novos dados. Se já houver um histórico no intervalo definido, nenhum nudge é disparado; caso contrário, o sistema calcula o consumo, cria um *log*, gera o nudge e atualiza o histórico. Essa abordagem assegura notificações relevantes e oportunas e pode ser apreciado através dos algoritmos vide Figura 13 e Figura 14.

Figura 13. Recorte do algoritmo para leitura e cálculo do consumo.

```
public class NotifyMeasurementUseCaseImpl implements NotifyMeasurementUseCase {
    private final MeasurementGateway measurementGateway;
    private final DeviceGateway deviceGateway;
    private final MeasurementHistoryGateway measurementHistoryGateway;
    private final NudgeGateway nudgeGateway;

    @Override
    public void execute(String notifyOnDaysJson, Integer daysConsult) {
        LocalDateTime now = LocalDateTime.now();
        LocalDateTime sinceDate = now.minusDays(daysConsult);
        DayOfWeek dayOfWeek = now.getDayOfWeek();

        List<Long> interactorIds =
            deviceGateway.findActivesInteractorIds(InteractorStatusEnum.HEALTHY.name());
        HashMap<Long, List<MeasurementLogResponseDTO>> measurementListHashMap =
            measurementGateway.consult(interactorIds, sinceDate, now);
        measurementListHashMap.forEach((deviceId, measurementLogResponses) -> {

            HistoryDTO findHistory = measurementHistoryGateway.findByDeviceLastHistory(deviceId,
                sinceDate, now);

            if (findHistory == null) {
                log.info("Dispositivo sem histórico atual, no intervalo entre {} e {}", sinceDate, now);
                Double consumption =
                    measurementLogResponses.parallelStream().mapToDouble(MeasurementLogResponseDTO::getValue).average().orElse(0.0);
                measurementHistoryGateway.create(HistoryDTO.builder()
                    .deviceId(deviceId)
                    .averageConsumption(consumption)
                    .lastMeasurement(ConvertStringLocalDateTimeFormatUtils.reverse(now,
                        DatePatternEnum.MONGO_DB_LOCAL_DATE_TIME))
                    .createdAt(ConvertStringLocalDateTimeFormatUtils.reverse(now,
                        DatePatternEnum.MONGO_DB_LOCAL_DATE_TIME))
                    .build()
                );
            } else {
                Double consumption =
                    measurementLogResponses.parallelStream().mapToDouble(MeasurementLogResponseDTO::getValue).average().orElse(0.0);
                log.info("Dispositivo com histórico para notificar, no intervalo entre {} e {}",
                    sinceDate, now);

                nudgeGateway.create(deviceId, consumption, findHistory, notifyOnDaysJson,
                    dayOfWeek.getValue());
                findHistory.setAverageConsumption(consumption);
                findHistory.setLastMeasurement(ConvertStringLocalDateTimeFormatUtils.reverse(now,
                    DatePatternEnum.MONGO_DB_LOCAL_DATE_TIME));
                measurementHistoryGateway.update(findHistory);
            }
        });
    }
}
```

Fonte: Dados da pesquisa [2024].

No script Java (Figura 13), a classe *NotifyMeasurementUseCaseImpl* implementa a interface *NotifyMeasurementUseCase* e tem como principal função notificar medições de consumo com base em um intervalo de dias especificado. A classe possui quatro dependências injetadas via construtor: *MeasurementGateway* para acessar medições, *DeviceGateway* para acessar dispositivos, *MeasurementHistoryGateway* para acessar o histórico de medições e *NudgeGateway* para enviar notificações.

O método *execute* possui dois parâmetros, *notifyOnDaysJson* e *daysConsult*, e segue a seguinte lógica: inicialmente, obtém a data e hora atuais (*now*), calcula a data inicial do intervalo de consulta (*sinceDate*) subtraindo *daysConsult* dias da data atual e obtém o dia da

semana atual (*dayOfWeek*). Em seguida, recupera a lista de IDs dos dispositivos ativos com status "HEALTHY" via *deviceGateway.findActivesInteractorIds*. Para cada ID de dispositivo, consulta os *logs* de medição no intervalo de datas, resultando em um mapeamento de ID para listas de *logs*.

Durante a iteração sobre cada dispositivo e seus *logs* de medição, o histórico de medição do dispositivo no intervalo de datas é buscado através de *measurementHistoryGateway.findByDeviceLastHistory*. Se não houver histórico (*findHistory* for nulo), registra a ausência de histórico atual, calcula a média de consumo a partir dos *logs* de medição e cria e armazena um novo *HistoryDTO* contendo o ID do dispositivo, o consumo médio calculado, a última medição e a data de criação. Se um histórico de medição for encontrado, a média de consumo é calculada de forma similar e a presença de histórico para notificação é registrada. Uma notificação (*nudge*) é então criada e enviada via *nudgeGateway.create*, contendo dados do dispositivo, consumo calculado, histórico encontrado, a configuração de notificação (*notifyOnDaysJson*) e o dia da semana. O histórico é atualizado com o novo consumo médio e a data da última medição, sendo persistido através de *measurementHistoryGateway.update*.

Figura 14. Recorte do algoritmo para criar/enviar nudge, referente ao Nudge #1 - F02 - Prompt #2.

```
public class NudgeGatewayImpl implements NudgeGateway {
    private final NotificationService notificationService;
    private final ChatService openAiService;
    @Value("${openai.api.prompts.nudges}")
    private String openApiNudge;
    @Value("${cron.notification.notifyOnDays}")
    private String daysTypeNudge;

    @Override
    public void create(Long deviceId, Double consumption, HistoryDTO findHistory, String
notifyOnDaysJson, int intDay) {
        Optional<PromptDTO> prompt = Optional.empty();
        String promptStr = "";
        UserEnergyNudgeDTO userEnergyNudgeDTO = ObjectMapperUtilsConfig.fromJson(openApiNudge,
UserEnergyNudgeDTO.class);
        DaysTypeNudgeDTO daysTypeNudgeDTO = ObjectMapperUtilsConfig.fromJson(daysTypeNudge,
DaysTypeNudgeDTO.class);

        Optional<DaysDTO> dayFind = daysTypeNudgeDTO.getDays().parallelStream().filter(day ->
day.getValue() == intDay).findFirst();
        if (dayFind.isPresent()) {
            NudgeDTO nudgeDTO = userEnergyNudgeDTO.getNudges().get(dayFind.get().getNudge());
            if (findHistory == null && nudgeDTO.getID().equalsIgnoreCase("Nudge-1")) {
                prompt = nudgeDTO.getPrompts()
                    .parallelStream()
                    .filter(p -> p.getID().equalsIgnoreCase("F02"))
                    .findFirst();
            }
            if (prompt.isPresent()){
                promptStr = prompt.get().getPrompt();
            }
        }
        try {
            promptStr = openAiService.getNudgeResponse(promptStr);
        } catch (Exception e){
            promptStr = "Na semana passada, seu consumo de energia foi estável comparado à semana
anterior. Alterando alguns hábitos, você pode encontrar oportunidades para economizar.";
        }
        notificationService.sendNudgeNotification("+5583981761905", promptStr);
    }
}
```

Fonte: Dados da pesquisa [2024].

O script Java (Figura 14) define a classe *NudgeGatewayImpl*, que implementa a interface *NudgeGateway*. Sua função é criar e enviar notificações baseadas no consumo de energia dos dispositivos e em seu histórico. A classe possui as seguintes dependências: *NotificationService*, responsável pelo envio de notificações; *ChatService*, utilizado para gerar respostas de prompts; e duas variáveis configuradas externamente, *openApiNudge* e *daysTypeNudge*, que armazenam dados JSON necessários para os nudges e os dias de notificação.

O método principal *create* recebe cinco parâmetros: *deviceId*, *consumption*, *findHistory*, *notifyOnDaysJson* e *intDay*. Inicialmente, são definidas as variáveis *prompt*, um objeto *Optional* para armazenar o prompt selecionado, e *promptStr*, uma string para a mensagem do prompt. Dois objetos, *userEnergyNudgeDTO* e *daysTypeNudgeDTO*, são deserializados a partir de JSON, contendo dados de configuração dos nudges e dos dias de notificação.

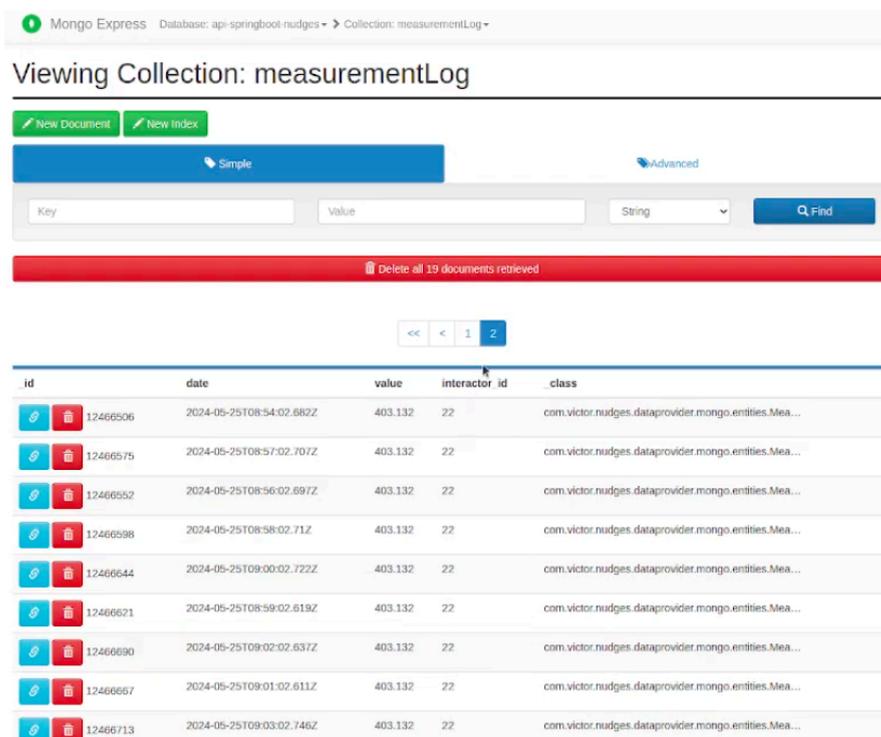
O método busca o dia correspondente ao *intDay* e, se encontrado, prossegue para buscar o *NudgeDTO* correspondente. Caso não haja histórico e o ID do nudge seja

"Nudge-1", um prompt específico é selecionado (ID "F02"). Se um prompt for encontrado, sua mensagem é atribuída a *promptStr*.

Utiliza-se o serviço *openAIService* para gerar uma resposta baseada em *promptStr*. Em caso de exceção, uma mensagem padrão é usada. O método *sendNudgeNotification* do *notificationService* é então chamado para enviar a notificação com a mensagem gerada.

Para testar a implementação do sistema de nudge, foi criado um ambiente de testes que englobava os recursos necessários para analisar o comportamento do sistema em diferentes situações. Isso incluiu a construção de uma base de conhecimento formada por um conjunto de dados sintéticos representando consumo de energia (Figura 15), permitindo a criação de diferentes cenários de investigação.

Figura 15. Apresentação da base de conhecimento utilizado nos testes.



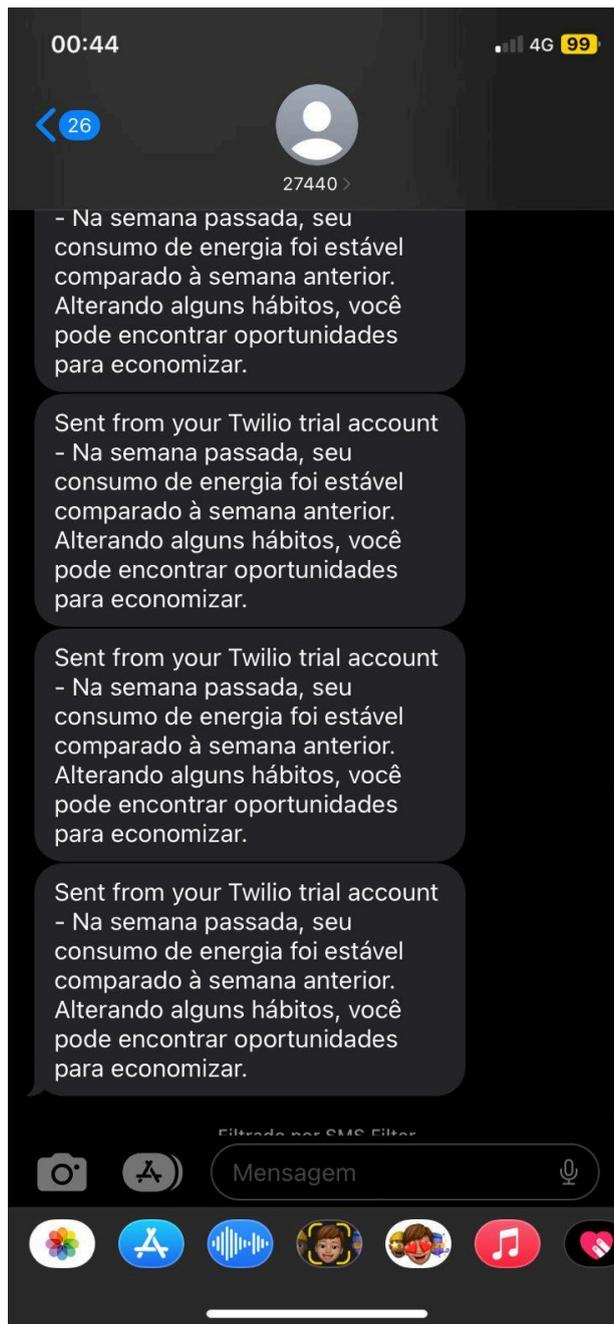
The screenshot shows the Mongo Express interface for a database named 'api-springboot-nudges'. The collection 'measurementLog' is being viewed. The interface includes buttons for 'New Document' and 'New Index', a search bar with 'Key' and 'Value' fields, and a 'Find' button. A red banner indicates 'Delete all 19 documents retrieved'. Below the search bar is a pagination control showing page 1 of 2. The main table displays the following data:

id	date	value	interactor	id	class
12466506	2024-05-25T08:54:02.682Z	403.132	22		com.victor.nudges.dataprovider.mongo.entities.Mea...
12466575	2024-05-25T08:57:02.707Z	403.132	22		com.victor.nudges.dataprovider.mongo.entities.Mea...
12466552	2024-05-25T08:56:02.697Z	403.132	22		com.victor.nudges.dataprovider.mongo.entities.Mea...
12466598	2024-05-25T08:58:02.717Z	403.132	22		com.victor.nudges.dataprovider.mongo.entities.Mea...
12466544	2024-05-25T09:00:02.722Z	403.132	22		com.victor.nudges.dataprovider.mongo.entities.Mea...
12466621	2024-05-25T09:59:02.619Z	403.132	22		com.victor.nudges.dataprovider.mongo.entities.Mea...
12466690	2024-05-25T09:02:02.637Z	403.132	22		com.victor.nudges.dataprovider.mongo.entities.Mea...
12466667	2024-05-25T09:01:02.611Z	403.132	22		com.victor.nudges.dataprovider.mongo.entities.Mea...
12466713	2024-05-25T09:03:02.746Z	403.132	22		com.victor.nudges.dataprovider.mongo.entities.Mea...

Fonte: Dados da pesquisa [2024].

Durante a execução dos casos de teste, simulando medições de consumo de energia de dispositivos fictícios, o sistema se comportou conforme esperado, gerando os nudges e interações previstas pelo fluxo de atividades. A detecção de situações (Positiva, Neutra ou Negativa) foi percebida adequadamente, gerando as ações de notificação de testes esperadas (Figura 16).

Figura 16. Mensagem *Nudge* disparada para o usuário no período de teste, exemplo com o Nudge #1 - F02 (Prompt #2).



Fonte: Dados da pesquisa [2024].

Ao final dos testes, o sistema mostrou um comportamento satisfatório na detecção de situações de consumo energético dos dispositivos, orientadas a partir da base de conhecimento. A implementação do disparo de notificações foi realizada através da API do Twilio, o que incluiu a obtenção do *token* do Twilio e do número cadastrado, além do envio das mensagens para o número de telefone associado ao responsável pelo dispositivo monitorado.

6.15 Resultados da influência dos Nudges

Esta seção apresenta os resultados da análise de Estatística Descritiva dos dados, coletados por meio do questionário, iniciando com a descrição do Perfil Socioeconômico dos respondentes (Tabela 14). Em seguida, são apresentados os resultados da análise da Percepção Ambiental Geral e das Mensagens Nudge. A amostra inicial do estudo compreendia 106 respostas, entretanto, duas amostras foram excluídas devido à ausência completa de dados, resultando em uma amostra final de 104 respostas. A estatística descritiva abaixo apresenta os valores das médias, desvio padrão, valores mínimos e máximos.

Tabela 14. Análise Estatística Descritiva.

Variable	Obs	Mean	Std. Dev	Min	Max
eng_nudge	104	78.31731	15.25846	40	100
perc_amb	104	15.88462	4.413808	4	25
idade	104	26.10577	6.8236	17	56
mulher	104	.5576923	.49900656	0	1
grau_esc	104	3.278846	1.01882	1	5
grau_renda	104	2.048077	1.850635	0	6

Fonte: Dados da pesquisa [2024].

A análise da Idade dos respondentes revelou uma média de 26 anos, com idades variando entre 17 e 56 anos. Em relação ao Gênero, a amostra é composta por 55,7% (N=58) de mulheres e 44,3% (N=46) de homens. No que tange ao Grau de Escolaridade, a maioria dos respondentes possui Ensino Superior em andamento (47,1%, N=49), seguido por 18,2% (N=19) com Ensino Superior Completo, 17,3% (N=18) com Pós-graduação em andamento, 15,3% (N=16) com Pós-graduação Completa e 1,9% (N=2) com Ensino Médio Completo. Quanto à Ocupação atual, 44,2% (N=46) Trabalham e Estudam, 32,6% (N=36) apenas Estudam, 18,2% (N=19) apenas Trabalham, e 4,8% (N=5) estão Desempregados. Em termos de renda, a média geral revelou uma que a amostra ganha Até um salário mínimo e meio (R\$ 2.118,00).

Na perspectiva de identificar a Percepção Ambiental Geral da amostra, partiu-se para a análise do padrão médio das pontuações, segundo a EPA. Para tanto, considerou-se as estatísticas de média e valores mínimo e máximo observados. Foi observado que a amostra compreende um nível Alto de Percepção Ambiental, onde a média geral da pontuação se enquadrou em *15,88 pontos*, variando entre as pontuações de 4 a 25 pontos.

Antes de avançar para o próximo construto e considerar os resultados obtidos, as variáveis observáveis utilizam-se de uma escala intervalar do tipo Likert onde, para medir o grau de concordância dos respondentes a cada pergunta as respostas foram convertidas em uma escala percentual de 0% a 100%, onde no questionário 1 representava discordância total (0%) e 5 representa concordância total (100%).

No contexto da nossa pesquisa sobre as Mensagens Nudge para o contexto de energia elétrica, os resultados indicam que o nível médio de engajamento geral para aderir ao consumo consciente, através das Mensagens Nudge, é de 78,31%, com variação entre 40% e

100% de engajamento. Essa alta taxa de engajamento (78,31%) sugere que as mensagens nudge são uma ferramenta eficaz para promover o consumo consciente de energia elétrica, dentro da amostra estudada. Para cada pessoa que não se sente engajada, aproximadamente 4 pessoas se mostram engajadas, destacando a eficácia dessa abordagem. Isso indica que as mensagens nudge são significativamente mais eficazes em engajar pessoas do que em não engajar.

Com o perfil da amostra qualificado e os dados obtidos pela pesquisa, partiu-se para investigar a hipótese elaborada nesta pesquisa, realizou-se um Teste de Correlação entre os construtos Percepção Ambiental Geral, Idade, Mulher, Grau de Escolaridade e Renda. Esses construtos foram classificados como motivadores da adoção ao consumo consciente, buscando investigar a hipótese da pesquisa.

Para avaliar a consistência do modelo proposto, foi utilizado, em todos os testes, um nível de significância (α) de 0,05 ou 5%, conforme é recomendado na literatura [Hair Junior et al., 2014]. Esse valor indica uma correlação significativa com as outras variáveis dentro do mesmo construto, mostrando estar relacionado com o que se pretende avaliar e permitindo um ajuste de maior qualidade, conforme recomendado pela literatura [Ringle, Wende & Will, 2005]. A seguir, pode ser observado o Teste Estatístico de Correlação.

Tabela 15. Teste Estatístico de Correlação.

	eng_nudge	perc_amb	idade	mulher	grau_esc	grauderenda
eng_nudge	1.0000					
perc_amb	0.3654 0.0001	1.0000				
idade	0.0442 0.6563	0.0146 0.8831	1.0000			
mulher	0.1372 0.1649	-0.0014 0.9891	0.0025 0.9802	1.0000		
grau_esc	-0.2287 0.0195	-0.0878 0.3756	0.2499 0.0105	-0.1179 0.2334	1.0000	
grau_renda	-0.1278 0.1962	-0.0825 0.4050	0.3871 0.0000	-0.1975 0.0445	0.3687 0.0001	1.0000

Fonte: Dados da pesquisa [2024].

Foram encontradas correlações positivas entre o Engajamento de Mensagens Nudge e Percepção Ambiental Geral ($r = 0,365$), Idade ($r = 0,04$) e Mulher ($r = 0,13$). Por outro lado, foram identificadas correlações negativas entre o Engajamento de Mensagens Nudge e Grau de Escolaridade ($r = -0,22$) e Grau de Renda ($r = -0,12$).

Observou-se que os construtos Percepção Ambiental Geral ($p = 0,0001$) e Grau de Escolaridade ($p = 0,02$) têm correlação significativa. Adicionalmente, verificou-se que o Grau de Renda está correlacionado positiva e significativamente com a Idade, ou seja, quanto maior a Idade, maior o Grau de Renda; da mesma forma, quanto maior o Grau de Escolaridade, maior o Grau de Renda.

Ao realizar o Modelo de Regressão Linear pelo Método dos Quadrados Ordinários (MQO), na amostra foi possível observar que dois construtos têm relação significativa, como mostra a Tabela 16, a seguir.

Tabela 16. Teste Estatístico de Regressão.

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	104
Model	4679.43536	5	935.887073	F(5,98)	=	4.74
				Prob > F	=	0.0006
Residual	19301.0935	98	196.949934	R squared	=	0.1951
				Adj R-squared	=	0.1541
Total	23980.5288	103	232.820668	Root MSE	=	14.034

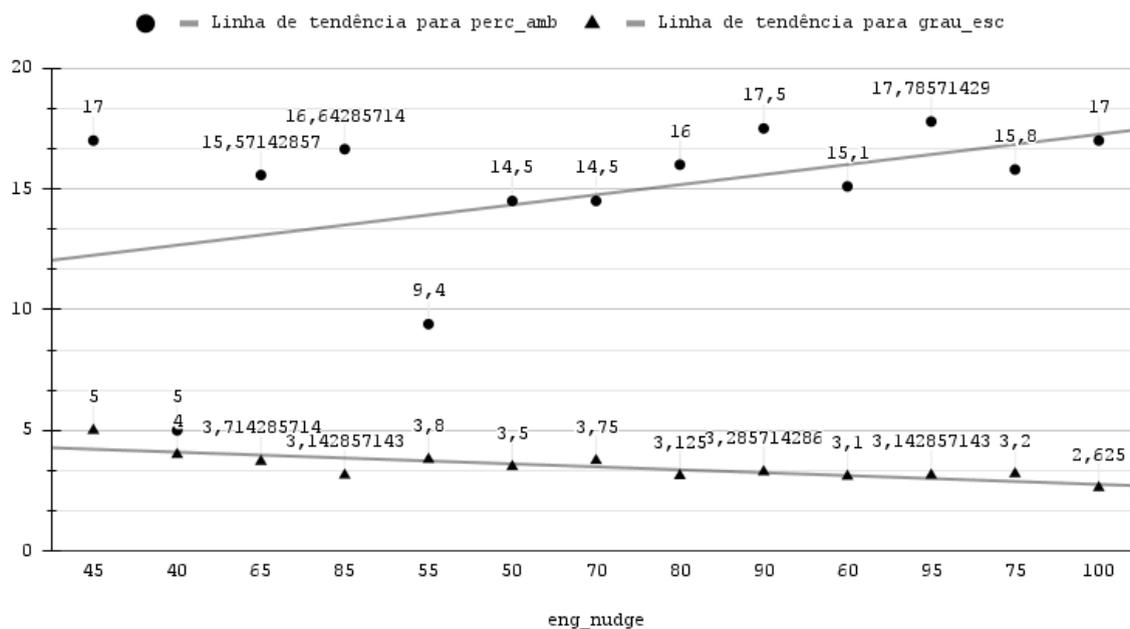
eng_nudge	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
perc_amb	1.185495	.3156288	3.76	0.000	.5591398 1.81185
idade	.2374502	.222932	1.07	0.289	-.204951 .6798515
mulher	3.207962	2.843623	1.13	0.262	-2.435116 8.85104
grau_esc	-2.922088	1.478101	-1.98	0.051	-5.855332 .0111552
grauderenda	-.3949549	.8687113	-0.45	0.650	-2.228884 1.328974
_cons	61.88827	8.514232	7.27	0.000	44.99206 78.78449

Fonte: Dados da pesquisa [2024].

Os construtos Percepção Ambiental Geral e Grau de Escolaridade foram identificados como fatores determinantes no Engajamento das Mensagens Nudge. O impacto da Percepção Ambiental Geral no engajamento é de Coef. 1,18 ($p = 0,000$), enquanto o impacto do Grau de Escolaridade é de Coef. -2,92 ($p = 0,05$), ambos apresentando significância estatística. O modelo tem uma significância de 0,06% ($\text{Prob} > F = 0,0006$) e um R^2 de 19,51% ($R\text{-squared} = 0,1951$), indicando que as variáveis de estudo explicam 19,51% do Engajamento das Mensagens Nudge na amostra ($\text{Numbs of obs} = 104$). É importante observar que esses resultados não podem ser generalizados devido às limitações na composição da amostra. Novas pesquisas são necessárias para identificar outros fatores que possam influenciar o engajamento.

O gráfico de dispersão (Gráfico 5) ilustra com maior clareza a relação entre o Engajamento de Mensagens Nudge e as variáveis de Percepção Ambiental Geral e Grau de Escolaridade, com base nas 104 respostas coletadas. Cada ponto no gráfico representa uma resposta individual, posicionada conforme a média dos valores apresentados na base de dados.

Gráfico 5. Gráfico de Dispersão sob as variáveis significativas investigadas.



Fonte: Dados da pesquisa [2024].

A linha de tendência central adicionada ao gráfico facilita a visualização da direção geral da relação entre as variáveis. Observa-se que o gráfico confirma o achado da matriz de correlação entre o Engajamento de Mensagens Nudge e a Percepção Ambiental Geral, indicada pela inclinação ascendente da linha de tendência. Por outro lado, a linha de tendência mostra uma relação significativa entre o Grau de Escolaridade e o Engajamento de Mensagens Nudge, com uma inclinação decrescente que confirma uma correlação inversamente proporcional significativa, vide análise dos Testes de Correlação e Regressão. Este gráfico é útil para visualizar como essas duas variáveis independentes (Grau de Escolaridade e Percepção Ambiental Geral) estão associadas ao Engajamento de Mensagens Nudge, permitindo entender a tendência geral e a força dessas relações no contexto do estudo.

6.16 Discussão

O objetivo principal desta última análise foi comparar os construtos com o Engajamento das Mensagens Nudge, no propósito de investigar qual dessas variáveis possui influência na adoção do consumo consciente de energia elétrica. Os resultados identificaram diferenças significativas nos construtos investigados, onde a Percepção Ambiental Geral tem correlação diretamente proporcional e significativa e o Grau de Escolaridade possui uma correlação inversamente proporcional e significativa.

Neste teste, é possível observar o quanto cada variável favorece para o Engajamento do Sistema de Informação com Nudge a adoção de um consumo consciente. A Percepção Ambiental Geral, Idade, Mulher e Grau de Escolaridade contribuem para um melhor Engajamento com o Sistema de Informação com Nudge, indicando que esses fatores são determinantes para o nível de conscientização sobre o consumo de energia elétrica. Em contrapartida, o Grau de Renda não apresentou ser fator significativo para o engajamento. Em

conformidade com Caballero & Ploner [2022], a renda é um determinante significativo no desempenho de intervenções de economia de energia, porém requer uma investigação mais aprofundada.

A amostra revela uma população majoritariamente composta por mulheres de 26 anos, com Ensino Superior em andamento e que trabalham e estudam simultaneamente. Esse perfil demográfico nos permite refletir sobre a importância da conscientização do consumo de energia entre esses indivíduos. O estudo conduzido por Kakkar & Li [2021] explorou as motivações subjacentes à redução do consumo de energia, revelando que as mulheres respondem de forma mais eficaz a essas motivações. De maneira similar, Møller et al. [2019] identificaram que mulheres e idosos são mais propensos a reduzir o consumo de energia em ambientes domésticos.

Diante desses achados, é relevante explorar como esses fatores influenciam o comportamento dos homens, considerando que podem estar mais inclinados a adotar comportamentos insustentáveis. A investigação sobre as diferenças de gênero na resposta às iniciativas de economia de energia pode oferecer insights valiosos para desenvolver estratégias mais eficazes e inclusivas, considerando as estratégias nudes nesse íterim.

A análise dos dados revela que indivíduos com um alto nível de percepção ambiental tendem a ser mais conscientes em relação ao seu consumo de energia elétrica. Em contrapartida, aqueles com um nível de percepção ambiental baixo ou médio demonstram menor conscientização. Isso corrobora com o estudo de De Oliveira Braga et al. [2020], no qual discute que indivíduos com baixo nível de percepção ambiental tendem a ser menos conscientes sobre seu consumo de energia, possivelmente devido à falta de informação ou interesse em questões ambientais. O uso de tecnologia para promover comportamentos sustentáveis e saudáveis tem sido uma tendência crescente em várias áreas, especialmente em Cidades Inteligentes [Ranchordás, 2020]. Nesse contexto, os Sistemas de Informação desempenham um papel crucial, facilitando a coleta, análise e disseminação de dados relevantes para incentivar mudanças positivas de comportamento e auxiliar na tomada de decisão. Dessa forma, os usuários são capacitados a fazer escolhas mais conscientes e alinhadas com seus valores pessoais e ambientais.

Da Cunha [2023] destacou que as teorias comportamentais desempenham um papel crucial ao investigar os fatores que influenciam as decisões e os comportamentos relacionados ao consumo de energia elétrica. Este padrão sugere que aumentar a percepção ambiental pode ser uma estratégia eficaz para promover comportamentos mais sustentáveis. Neste teste, é possível observar o quanto cada construto contribui para o engajamento com mensagens nudge. A Percepção Ambiental Geral contribui para um maior engajamento, confirmando que, quanto mais o indivíduo possui consciência ambiental, mais ele se motiva a estar consciente do seu consumo de energia.

É importante salientar que o nudge não é uma estratégia utilizada como forma de Educação Ambiental, isto é, reeducar as pessoas para devidos interesses. Pelo contrário, os nudes são uma forma de apresentar as informações para o indivíduo. Contudo, suas preferências individuais, hábitos, percepção, norma social é o que define seus comportamentos. À vista disso, a importância do Mapeamento do Entendimento na apresentação dessas informações, uma vez que o objetivo dessa estratégia é mapear informações difíceis de se avaliar para esquemas mais simples [Thaler & Sunstein, 2008].

Macedo [2005] argumenta que o nível de conscientização ambiental de um indivíduo está diretamente relacionado ao seu nível de percepção, sendo a percepção ambiental um pré-requisito fundamental para alcançar diferentes níveis de conscientização. A soma de educação e percepção possui, portanto, um grande potencial para a efetiva preservação ambiental. A justificativa para essa análise é que a percepção envolve toda a nossa personalidade, história pessoal, afetividade e desejos, sendo uma forma essencial pela qual os seres humanos se relacionam com o mundo.

Davidoff [2001] sustenta que a percepção ambiental é essencial para alcançar variados níveis de conscientização ambiental. A combinação de percepção e conscientização ambiental, juntamente com o conhecimento científico, tem o potencial de promover uma conservação ambiental efetiva. O autor ainda define a percepção como o processo de organizar e interpretar dados sensoriais para desenvolver um entendimento sobre nós mesmos e nosso ambiente.

A percepção é, portanto, individual e influenciada pelo contexto em que o indivíduo está inserido, assim como por suas motivações, expectativas, valores e emoções. Em sua maioria, no processo de tomada de decisão as pessoas não pensam de forma racional e lógica e isso se reflete nos fatores emocionais e contextuais do indivíduo [Jesus, 2018]. Cada indivíduo percebe o ambiente através de múltiplos filtros, que incluem suas experiências e características pessoais.

Os autores De Oliveira Braga et al. [2020] também consideram a percepção como a organização, por meio do conhecimento, das sensações que explicam os "como e porquês" do comportamento humano. A preservação do meio ambiente está, assim, intimamente relacionada à percepção de pertencimento ao ambiente, o que leva a ações que influenciam o equilíbrio e a relação entre sociedade e natureza. Para quantificar um fenômeno ambiental, é necessário primeiro percebê-lo. O avanço do conhecimento científico requer o estudo de indicadores ambientais e a troca de experiências [Maia et al., 2001]. Ao monitorar esses indicadores ambientais, como o consumo de energia, fazem compreender melhor o meio ambiente e a relação entre eles.

Na maioria dos casos, a população está ciente dos impactos ambientais, contudo, continua a degradar o meio ambiente [Da Cunha, 2023] por falta de percepção ambiental e dos seus impactos individuais. Brandalise et al. [2009] sugerem que a percepção pode ser considerada uma variável interveniente que influencia o processo de tomada de decisão em questões ambientais. Embora a percepção interfira na tomada de decisão, ela é, em grande parte, um resultado da educação ambiental que a sociedade possui. A partir do conhecimento e da percepção ambiental, atitudes e comportamentos podem ser modificados.

Considerar ferramentas computacionais inteligentes contribui para a conscientização sobre a importância do uso racional da energia elétrica para garantir uma maior eficiência nos recursos energéticos disponíveis e promover a sustentabilidade ambiental [Gastaldello, 2017].

Utilizando técnicas de Nudge, Engenharia de Software, Engenharia de Prompt e Inteligência Artificial é possível conseguir formas de custo-benefício para oferecer às pessoas um serviço para reduzir custos financeiros e impacto ambiental, melhorando suas práticas no consumo de energia. Para fazer um paralelo entre as soluções de trabalhos semelhantes, a Tabela 17 elenca as principais características desses sistemas e soluções, expostas de maneira a simplificar a comparação entre os mesmos.

Tabela 17. Síntese das características das soluções comparadas a este trabalho.

Trabalho	Objetivo	Tecnologia Inteligente	IA	Tipo do sistema	Comunicação com o usuário
Lee & Kim [2022]	<i>Incentivar os participantes a consumirem menos energia do que foi observado nos seus históricos anteriores, oferecendo recompensas monetárias que poderiam ser direcionadas para poupança, doações ou resgatadas em um supermercado local.</i>	Sim	Não	NE	APP
Lazarcic & Toumi [2022]	<i>Emprego de nudges para incentivar a economia de energia.</i>	Não	Não	NE	E-mail
Ruokamo et al. [2022]	<i>Entrega de nudges por meio de boletins informativos mensais e uma plataforma online de serviços de energia para economia de energia.</i>	Não	Não	Plataforma On-Line	Sistema Web
Ciscoto & Tavares [2022]	<i>Monitoramento da tensão elétrica e notificar ao usuário em caso de interrupção da fonte de energia, além de auxiliar no diagnóstico de falhas.</i>	Sim	Não	Sistema de Monitoramento e Alerta	APP
Severino, Vasconcelos & Andrade [2020]	<i>Monitorar o gasto de energia residencial.</i>	Sim	Não	Sistema de Monitoramento	APP
Schiefelbein et al. [2019]	<i>Framework persuasivo aplicado à sustentabilidade.</i>	Não	Não	Sistema de Alerta e Lembrete	APP
Casarin [2016]	<i>Arquitetura persuasiva baseada em sistemas ciber-físicos.</i>	Sim	Não	Sistema Persuasivo	APP
Esta dissertação	<i>Sistema de Informação com Nudge e IA Generativa como suporte no consumo sustentável de energia elétrica.</i>	Sim	Sim	Sistema de Informação	SMS

Legenda: NE - Não especificado.

A dissertação apresenta vários pontos em comum com outros trabalhos no contexto de economia de energia, mas também traz avanços significativos que a diferenciam. Em termos de pontos em comum, vários estudos, como os de Lee & Kim [2022], Lazarcic & Toumi [2022] e Ruokamo et al. [2022], incentivam a economia de energia por meio de recompensas monetárias e nudges. Schiefelbein et al. [2019] e Casarin [2016] utilizam frameworks e arquiteturas persuasivas para incentivar a sustentabilidade. Outros estudos, como os de Ciscoto & Tavares [2022] e Severino, Vasconcelos & Andrade [2020], focam no monitoramento e na notificação de consumo de energia. Além disso, muitos trabalhos, como os de Lee & Kim (2022), Ciscoto & Tavares [2022], Severino, Vasconcelos & Andrade (2020), Schiefelbein et al. [2019] e Casarin [2016], utilizam aplicativos para comunicação com os usuários.

No entanto, a dissertação traz grandes avanços que a diferenciam dos demais estudos. Primeiro, ela integra a Inteligência Artificial (IA) generativa com *nudges* para fornecer suporte proativo e personalizado na redução do consumo de energia elétrica, o que não é observado nos outros trabalhos. Esta combinação permite intervenções mais sofisticadas e adaptadas ao comportamento individual dos usuários. Segundo, o sistema de informação desenvolvido na dissertação oferece um suporte mais inteligente e eficiente, utilizando IA

para criar notificações personalizadas, ao contrário dos outros trabalhos que se concentram apenas em monitoramento, notificações ou abordagens persuasivas sem inteligência avançada. Terceiro, a dissertação utiliza SMS para comunicação, uma abordagem mais direta e acessível em comparação com aplicativos e e-mails, facilitando o acesso às informações e aumentando o engajamento dos usuários.

Quando contrapomos as soluções, percebemos que os trabalhos de Lee & Kim [2022], Lazaric & Toumi [2022] e Ruokamo et al. [2022] se concentram em incentivos e *nudges*, mas sem a utilização de IA. A dissertação, ao integrar IA generativa, oferece uma abordagem mais avançada e personalizada. Os estudos de Ciscoto & Tavares [2022] e Severino, Vasconcelos & Andrade [2020] focam no monitoramento e notificação, mas não fornecem intervenções personalizadas baseadas em IA, algo que a dissertação aborda ao oferecer recomendações personalizadas e suporte proativo. Finalmente, os trabalhos de Schiefelbein et al. [2019] e Casarin [2016] utilizam frameworks e arquiteturas persuasivas, mas sem a integração de tecnologias inteligentes como a IA. A dissertação diferencia-se ao combinar IA com nudges, criando uma solução mais eficaz e adaptada às necessidades dos usuários.

Considerar ferramentas computacionais inteligentes contribui para a conscientização sobre a importância do uso racional da energia elétrica para garantir uma maior eficiência nos recursos energéticos disponíveis e promover a sustentabilidade ambiental [Gastaldello, 2017].

Kroll et al. [2019] investigou o incentivo à economia de energia em residências inteligentes por meio de normas sociais e autocompromisso, demonstrou-se que a implementação de nudges digitais em aplicativos de casa inteligente pode efetivamente promover mudanças comportamentais significativas. Essas mudanças são cruciais para a manutenção dos ganhos de eficiência energética e para a mitigação dos efeitos rebote. Contudo, é importante ressaltar que este estudo é preliminar e possui diversas limitações, conforme destacado pelos autores.

No estudo de Löschel & Rodemeier [2020], foi desenvolvido um aplicativo de economia de energia para dispositivos móveis, projetado para ampla utilização pela população alemã. Este aplicativo utiliza uma técnica de *nudging* para definição de metas, solicitando aos usuários que estabeleçam objetivos específicos de consumo de energia. Os resultados indicaram uma baixa adesão ao aplicativo e um efeito nulo do nudge no consumo de eletricidade entre os usuários. Um possível mecanismo subjacente a esse efeito nulo é a auto-seleção adversa: os usuários do aplicativo já apresentavam um consumo de energia relativamente baixo e não exibiam os vieses comportamentais que normalmente justificam a eficácia da definição de metas. Adicionalmente, foi observado que o nudge reduziu significativamente a probabilidade de uso contínuo do aplicativo ao longo do tempo [Löschel & Rodemeier, 2020].

Esses trabalhos abrem espaços para explorar estratégias alternativas, como intervenções baseadas em SMS. Estudos indicam que intervenções via SMS aumentaram significativamente o engajamento dos usuários com *feedbacks*, resultando em economias substanciais para consumidores com consumo acima da média [Shen et al., 2020; Møller et al., 2019; Graml, 2011].

Os *green nudges* promovem o consumo sustentável de energia elétrica, projetados para incentivar comportamentos mais eficientes e conscientes em relação ao uso da energia elétrica. A utilização de *feedbacks* é amplamente reconhecida como uma estratégia eficaz em

intervenções comportamentais. A literatura apresenta um vasto corpo de evidências sobre os benefícios do *feedback* e *ecofeedback* [Callery, Goodwin & Moncayo, 2021; Legault et al., 2020; Lee et al., 2020; Shen et al., 2020; Schleich, Faure & Klobasa, 2017; Allcott, 2011]. Os resultados demonstram que *feedbacks* aprimorados auxiliam na redução do consumo de energia ao corrigir percepções equivocadas dos consumidores sobre seus níveis de uso de energia, diminuindo, assim, a lacuna entre intenção e ação. Isso leva a uma redução significativa do consumo de energia elétrica.

Os *green nudges* aumentam a conscientização sobre o consumo de energia elétrica e a importância de práticas sustentáveis. Ao fornecer informações e *feedback*, eles ajudam as pessoas a compreenderem o impacto de suas ações no consumo de energia e a se envolverem ativamente na adoção de comportamentos mais sustentáveis [Buckley, 2020; Okeke et al., 2018]. Isso resulta em um maior engajamento dos indivíduos com a temática da eficiência energética [Schwartz et al., 2013].

Os *green nudges* levam a uma economia financeira para os consumidores. Sousa [2022] e Hacker & Dimitropoulos [2017], discutem que o uso mais eficiente de energia resulta em contas de energia mais baixas, proporcionando economia de custos a curto e longo prazo.

A redução do consumo de energia elétrica por meio dos *green nudges*, além de gerar um impacto nos custos financeiros, têm um impacto positivo no meio ambiente [Mbewe, 2018; Kasperbauer, 2017; Frederiks, Stenner & Hobman, 2015]. Ao diminuir a demanda por energia, contribui-se para a redução das emissões de gases de efeito estufa, que estão associadas à produção de eletricidade. Além disso, a promoção do consumo sustentável de energia elétrica ajuda a preservar os recursos naturais e a proteger o meio ambiente [Henkel et al., 2019; Jesus, 2018].

Os *green nudges* são fáceis de implementar e podem ser aplicados em diferentes contextos, como residências [Thalib et al., 2020], comércios [Ferreira, Valentim & Lucena, 2022] e empresas [Charlier et al., 2020]. Eles não exigem grandes investimentos em infraestrutura e podem ser adaptados às necessidades específicas de cada contexto. Além disso, os *green nudges* têm um potencial de escalabilidade significativo [Okeke et al., 2018; Allcott, 2011], ou seja, podem ser amplamente adotados e replicados em diferentes comunidades e regiões [Thaler & Sunstein, 2008].

O Sistema de Informação com Nudge é uma proposta desenvolvida para abordar a problemática do consumo insustentável de energia elétrica, utilizando métodos e tecnologias inovadoras, como Nudges, *Smart Meters* e a API da *OpenAI*. O objetivo geral é “empurrar” os usuários a adotarem um comportamento de consumo mais consciente. Esta abordagem difere significativamente do trabalho de Casarin [2016] e Schiefelbein et al. [2018].

No trabalho de Casarin [2016] o foco principal era a elaboração de uma arquitetura ciber-física e a aplicação de estratégias persuasivas para contextos ambientais. De forma comparativa, o estudo de Schiefelbein et al. [2018] também buscou incentivar atitudes mais sustentáveis, empregando estratégias persuasivas e o uso de um aplicativo para o acompanhamento do consumo de energia pelos usuários e envio de alertas com *feedback*. No entanto, a inovação de nossa proposta reside também na utilização de *Smart Meters*, que permite o monitoramento em tempo real dos dados de consumo de energia, uma

funcionalidade que não estava presente nos trabalhos mencionados e muito menos a utilização de linguagem generativa para produção de mensagens.

Nos estudos de Schiefelbein et al. [2018], a comparação dos dados de consumo era realizada por meio das faturas de energia elétrica, uma abordagem menos dinâmica e imediata em relação ao monitoramento proporcionado pelos *Smart Meters* em nossa proposta.

O Sistema de Informação com *Nudge* tem o potencial de ser aplicado em outros contextos, como observado na literatura o uso de *Nudges* no consumo de água [Legault et al., 2020; Brick, Martino & Visser, 2017; Carlsson & Stenman, 2012] e gás [Aggarwal, Kumar & Tiwari, 2018].

Até o momento, tem sido explorada a aplicação de nudges em vários contextos, com particular ênfase na sua eficácia na redução do consumo de eletricidade. O presente estudo investiga sua viabilidade para implementação na área de Ciência da Computação. É apresentada uma proposta que pode ser mais explorada através de pesquisas nesses domínios. A análise de estudos anteriores de diversas perspectivas constitui uma base sólida para esta proposta. Conforme observado por Anagnostopoulos et al., [2007], o avanço da computação móvel facilitou o desenvolvimento de soluções utilizando sensores e aplicações móveis para o benefício dos indivíduos.

Embora alguns estudos tenham incorporado a tecnologia nas suas pesquisas, permanece uma lacuna notável na profundidade da análise relativamente ao potencial das tecnologias para instigar mudanças comportamentais através de nudges. Em alinhamento com Romancini et al., [2022], a adoção de comportamentos que reduzam o consumo e mitiguem os impactos energéticos contribui para a eficiência energética, permitindo muitas vezes que tarefas rotineiras sejam executadas com redução do consumo de energia.

A pesquisa apresenta vários pontos fortes, notadamente o desenvolvimento de nudges, uma metodologia conhecida por sua simplicidade, acessibilidade, viabilidade e escalabilidade [Da Cunha, 2023]. No que diz respeito ao desenvolvimento do *software* proposto, a sua integração com os serviços de monitorização existentes parece altamente viável, dado que algumas empresas já possuem a infra-estrutura necessária. Essa integração, aliada a estratégias de incentivo, permitiria que os usuários recebessem informações sobre seu consumo, auxiliando assim na prevenção de resíduos e promovendo o consumo consciente [Romancini et al., 2022].

No entanto, continua a existir uma notável ausência de utilização explícita de nudges nos Sistemas de Informação, particularmente no que diz respeito à mudança comportamental para o uso consciente da eletricidade. Ao unir essas tecnologias econômicas com incentivos do governo brasileiro, torna-se concebível a concepção de equipamentos de medição que forneçam aos consumidores dados pertinentes, informativos e transparentes, garantindo-lhes maior controle sobre o uso de energia elétrica em seus estabelecimentos. Esta capacitação permite aos consumidores, através das suas próprias iniciativas, gerir a sua utilização de forma prudente [Romancini et al., 2022].

Apesar dos programas nacionais, persiste uma escassez de ação política, juntamente com a falta de mudanças nos hábitos de consumo e de instrumentação e tecnologias acessíveis destinadas à redução de resíduos [Sena, 2018].

Reconhecendo os desafios e benefícios identificados no domínio dos nudges em Ciência da Computação, e reconhecendo as oportunidades inexploradas para a sua aplicação

na mudança comportamental, este estudo propôs o desenvolvimento de um Sistema de Informação com Nudges e IA Generativa, com o objetivo de promover o uso consciente da eletricidade, particularmente no contexto das Cidades Inteligentes e das Casas Inteligentes.

Capítulo

7

Considerações Finais

“A menor distância entre dois pontos é a ciência.”

Adan Fernandes da Silva.

Esta dissertação teve como objetivo geral desenvolver um suporte tecnológico para apoiar a mudança de comportamento em relação ao consumo insustentável de energia elétrica, utilizando Sistemas de Informação, *Green Nudges* e IA Generativa. Para atingir esse objetivo, foram estabelecidos e alcançados diversos objetivos específicos que possibilitaram uma análise abrangente e fundamentada sobre a efetividade das intervenções propostas.

O primeiro passo desta pesquisa consistiu em identificar *green nudges* na literatura científica que foram eficazes na promoção de um consumo sustentável de energia elétrica. A revisão da literatura permitiu a seleção criteriosa de *nudges* que se mostraram bem-sucedidos em diversos contextos, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento das intervenções neste estudo. Em seguida, foram identificadas as tecnologias atualmente utilizadas, nesta etapa foi crucial entender como as inovações tecnológicas podem ser integradas às estratégias de *nudge*, garantindo a eficácia e a viabilidade do suporte tecnológico proposto. Ao longo da investigação foi possível identificar os *green nudges*, tecnologias e as características básicas que um sistema deveria apresentar e qual seria a principal função do sistema ao monitorar os dados de consumo elétrico.

Os resultados obtidos do questionário demonstram que a combinação de Sistemas de Informação com *green nudges* é uma abordagem promissora para fomentar comportamentos sustentáveis. As mensagens *nudges* desenvolvidas mostraram-se eficazes em engajar os usuários, indicando influenciar positivamente suas práticas de consumo. Embora os resultados sejam promissores, é importante reconhecer as limitações deste estudo. A composição da amostra e o contexto específico em que as intervenções foram aplicadas sugerem que novas pesquisas são necessárias para generalizar os achados e explorar outros fatores que possam influenciar a adoção de comportamentos sustentáveis.

A modelagem da arquitetura *green nudge* foi um passo fundamental na construção da intervenção. A arquitetura desenvolvida permitiu a integração harmoniosa dos *nudges* identificados, criando um *pipeline* robusto para a aplicação prática das mensagens de incentivo ao comportamento sustentável através do uso da OpenAI API. A partir da arquitetura *green nudge*, foi modelada a arquitetura do Sistema de Informação, incorporando os *green nudges* de maneira eficaz. Este Sistema de Informação foi projetado para ser acessível e capaz de engajar os usuários na adoção de práticas de consumo sustentável de energia elétrica. Em adição, o sistema apresenta-se sutilmente na rotina do usuário, haja vista

que o programa é executado em nuvem e encaminhado um *output* para o usuário em dias estratégicos.

A modelagem da engenharia de *software* do Sistema de Informação foi realizada com foco na eficiência e robustez. A integração dos *green nudges* no sistema foi desenvolvida de forma a maximizar o impacto positivo sobre o comportamento dos usuários.

O sistema integra componentes para análise e notificação de situações adversas de consumo (Positivo, Neutro ou Negativo). A parte de análise inteligente é executada na nuvem que dispara as demais ações do *software*. A notificação é realizada através do envio de mensagens de texto que informam ao usuário seu *status* semanal. A utilização de mensagens SMS para notificar mostra-se adequada por ser um mecanismo que está presente em qualquer aparelho de telefonia móvel, desde que coberto por sinal da operadora de telefonia, e também por seu baixo custo [Silva & Siebra, 2012].

O teste do suporte tecnológico foi realizado através de experimentos simulados em computador, com o uso de dados sintéticos imitando medições em um ambiente residencial. Com estes experimentos foi possível testar o funcionamento do *software* que se mostrou bastante promissor na entrega de notificações.

O suporte tecnológico apresentado neste trabalho é um sistema de monitoramento de dados de consumo elétrico de usuários que, com recursos de inteligência artificial personalizados para o mesmo, torna este processo mais moderno e inovador, bem como lhe auxilia conscientemente sobre seu consumo e no processo de tomada de decisão quanto a diminuir ou permanecer com suas práticas de consumo.

Esta dissertação apresentou contribuições significativas tanto para o campo acadêmico quanto para a indústria. No âmbito acadêmico, a pesquisa aprofundou o entendimento sobre o uso de *green nudges* e Inteligência Artificial (IA) generativa em Sistemas de Informação voltados à sustentabilidade, fornecendo uma nova abordagem para influenciar comportamentos relacionados ao consumo de energia elétrica de forma mais eficaz e personalizada. A criação de uma arquitetura integrada de *green nudges* e IA para suportar a mudança de comportamento contribui para o desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras na área de políticas públicas.

Para a indústria, o sistema desenvolvido oferece uma solução prática para monitorar e notificar usuários sobre o consumo de energia de maneira acessível e escalável, utilizando infraestrutura em nuvem e SMS, ferramentas com potencial para reduzir custos operacionais e otimizar o uso de energia elétrica em ambientes residenciais. Além disso, as diretrizes e a arquitetura apresentada podem ser adaptadas e aplicadas por empresas que desejam integrar soluções de consumo sustentável, promovendo maior eficiência energética no mercado.

Sugere-se em investigações futuras o teste do sistema, de fato, em diferentes contextos, permitindo uma compreensão abrangente da eficácia das intervenções. Em suma, esta pesquisa contribuiu significativamente para o campo dos Sistemas de Informação e da Sustentabilidade, demonstrando que os *green nudges* podem ser uma ferramenta poderosa na promoção de comportamentos sustentáveis, além de contribuir com inovação tecnológica no eixo de políticas públicas. O desenvolvimento e a avaliação do suporte tecnológico aqui apresentados abrem caminho para novas aplicações e estudos, fortalecendo a interseção entre tecnologia e sustentabilidade.

7.1 Limitações

Para o Mapeamento Sistemático, o *Google Scholar*, embora seja uma excelente ferramenta de busca de artigos e pesquisas acadêmicas, possui algumas limitações, o que gera acesso limitado a artigos, algumas fontes acadêmicas importantes podem não estar indexadas limitando a abrangência das buscas.

As limitações enfrentadas durante esta pesquisa incluem desafios relacionados à infraestrutura, como a disponibilidade e qualidade dos equipamentos necessários para a implementação do sistema de informação em ambiente real. O período de férias dos alunos também representou uma dificuldade, reduzindo a disponibilidade de participantes para a coleta de dados e testes. Adicionalmente, houve interrupções devido a greves, que impactaram o cronograma e o planejamento das atividades.

As agendas da equipe de apoio técnico das startups envolvidas apresentaram outro obstáculo, uma vez que a colaboração com esses parceiros frequentemente sofreu mudanças. O tempo hábil para experimentação e desenvolvimento foi restrito, resultando em uma janela limitada para testar e refinar as soluções propostas. Além da API da Startup parceira está *off-line*. Essas restrições, em conjunto, influenciaram o andamento e os resultados da pesquisa, demandando ajustes constantes no planejamento e execução das atividades.

7.2 Perspectivas futuras

- **Implementar avaliação dos nudges:** Desenvolver um sistema de *scores* para avaliar a eficácia dos nudges.
- **Definir margens para cálculos de consumo:** Estabelecer parâmetros para medir o nível de consumo entre as categorias Positivo, Neutro e Negativo.
- **Avaliar dinâmicas alternativas de aplicação de nudges:** Explorar diferentes métodos para a aplicação de nudges, a exemplo: outros dias, outros horários.
- **Otimização da proposta:** Refinar a proposta global para maximizar sua eficácia, verificar outras tecnologias disponíveis para melhorar a eficiência da aplicação.
- **Aplicar estudos longitudinais e transversais:** Conduzir estudos que analisem os efeitos dos nudges ao longo do tempo e em diferentes momentos.
- **Realizar estudos experimentais com usuários:** Executar experimentos em ambiente real com usuários, divididos em períodos Pré-experimento, Experimento e Pós-experimento, para verificar a eficácia das intervenções.

REFERÊNCIAS

ABESCO. Brasil desperdiça meia Itaipu por ano. 2018. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/novidade/brasil-desperdica-meia-itaipu-por-ano/>. Acesso em: 21 Mar. 2024.

ABESCO. Mais energia, menos economia. 2018. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. Disponível em:

<http://www.abesco.com.br/novidade/maisenergia-menos-economia/>. Acesso em: 21 Mar. 2024.

AFZALAN, N., Sanchez, T. W., & Evans-Cowley, J. (2017). Creating smarter cities: Considerations for selecting online participatory tools. *Cities*, 67, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.04.002>

AGARWAL, S. et al. Nudges from school children and electricity conservation: Evidence from the “Project Carbon Zero” campaign in Singapore. *Energy economics*, v. 61, p. 29–41, 2017.

AGGARWAL, Shubham; KUMAR, Sudhanshu; TIWARI, Manoj Kumar. Decision support system for pradhan Mantri Ujjwala Yojana. *Energy Policy*, v. 118, p. 455-461, 2018.

AGHA-HOSSEIN, M. M. et al. Providing persuasive feedback through interactive posters to motivate energy-saving behaviours. *Intelligent buildings international*, v. 7, n. 1, p. 16–35, 2015.

ALFARIS, F.; JUAIDI, A.; MANZANO-AGUGLIARO, F. Intelligent homes’ technologies to optimize the energy performance for the net zero energy home. *Energy and Buildings*, v. 153, p. 262–274, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.089>

ALLCOTT, H. (2011). Social norms and energy conservation. *Journal of Public Economics* 95 (9 – 10), 1082 – 1095.

ALMEIDA, Rildo Afonso et al. Sistema de monitoramento do consumo de energia elétrica utilizando a tecnologia Arduino. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 7, p. 72961-72984, 2021.

ANAGNOSTOPOULOS, C.B., Ntarladimas, Y. and Hadjiefthymiades, S., 2007. Situational Computing: An Innovative Architecture With Imprecise Reasoning. *Journal Of Systems And Software*, 80(12), pp.1993-2014.

ANDRADE, Otavio Morato de. NudgeRio: um caso de aplicação de Ciência Comportamental às Políticas Públicas. *Revista Cadernos do Desenvolvimento Fluminense*, [s. l.], n. 16, p.111-124, 1o Semestre 2019.

ANDRÉ, P. R. R. NUDGE IN RIO: O USO DE INTERVENÇÕES COMPORTAMENTAIS EM POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O CUMPRIMENTO DA AGENDA 2030 NA CIDADE DO RIO. Disponível em: <<http://www.repositorio-bc.unirio.br:8080/xmlui/bitstream/handle/unirio/13552/ANDRE%20C%20Pedro.%20Nudge%20in%20Rio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

ANEEL. Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição. 2020. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>. Acesso em: 21 Mar. 2024.

ANGELIDOU, M. (2015). Smart Cities: A conjuncture of four forces. *Cities*, 47, 95-106. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.05.004>

ANGELIDOU, M. (2017). The role of Smart City characteristics in the plans of fifteen cities. *Journal of Urban Technology*, 24(4), 3-28. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.05.004>

ANTONIOLLI, Eduarda Araujo et al. Previsão do consumo de energia elétrica em um frigorífico: um estudo de caso usando regressão linear, redes neurais e máquinas de vetor de suporte. *Tekhne e Logos*, v. 13, n. 2, p. 102-115, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 37122: Cidades e comunidades sustentáveis - Indicadores para cidades inteligentes. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BALTA-OZKAN, N.; DAVIDSON, R.; BICKET, M.; WHITMARSH, L. Social barriers to the adoption of smart homes. *Energy Policy*, v. 63, p. 363-374, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.043>

BARBOSA, A. L. N. H. Participação feminina na força de trabalho brasileira: evolução e determinantes. 2014. In: Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., and Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, 80(4):571 – 583. Software Performance.

BARBOSA, D. M.; BAX, M. A Design Science como metodologia para criação de um modelo de Gestão da Informação para o contexto da avaliação de cursos de graduação. *Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação*, Brasília, v. 10, n. 1, p. 32-48, jan./jul. 2017.

BASTIDA, L.; COHEN, J. J.; KOLLMANN, A.; MOYA, A.; REICHL, J. Exploring the role of ICT on household behavioural energy efficiency to mitigate global warming. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 103, p. 455–462, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.004>

BECKEL, C.; SADOMORI, L.; STAAKE, T.; SANTINI, S. Revealing household characteristics from smart meter data. *Energy*, v. 78, p. 397-410, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.025>

BENBASAT, I.; ZMUD, R. W. The Identity Crisis Within the IS Discipline: Defining and Communicating the Discipline's Core Properties. *MIS Quarterly*, v. 27, n. 2, p. 183–194, 2003.

BOOCH, G. et al. UML: guia do usuário. 2a . ed. [S.l.]: Elseviers, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 54, 55, 56 e 57.

BORGES, Fabricio Quadros & Borges, Fabrinio Quadros. Planejamento público de matrizes elétricas sustentáveis e inteligência artificial. 2023.

BRAGA, Waleska Reali de Oliveira; MORAES, Nelson Russo de; DIAS BAPTISTA, Renato; PUTTI, Fernando Ferrari; BRAGA JÚNIOR, Sérgio Silva. A CONSTRUÇÃO DA PERCEPÇÃO AMBIENTAL DE ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS BRASILEIROS. *Revista Observatório*, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 1076–1106, 2018. DOI: 10.20873/uft.2447-4266.2018v4n3p1076. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/observatorio/article/view/5247>. Acesso em: 13 jun. 2024.

BRAGA, W. R. de O.; BRAGA JUNIOR, S. S.; SILVA, D. da. PELO AMOR OU PELA DOR: A PERCEPÇÃO AMBIENTAL DE ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS BRASILEIROS. *Revista Expectativa*, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 74–97, 2020. DOI: 10.48075/revex.v19i1.23823. Disponível

em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/expectativa/article/view/23823>. Acesso em: 13 jun. 2024.

BRANDALISE, L. T., BERTOLINI, G. R., ROJO, C. A., LEZANA, Á. G., & POSSAMAI, O. A percepção e o comportamento ambiental dos universitários em relação ao grau de educação ambiental. *Revista Gestão & Produção*, v. 16, n. 2, p. 286-300, 2009.

BRANDÃO, M., & Joia, L. A. (2018). A influência do contexto na implantação de um projeto de Cidade Inteligente: O caso Cidade Inteligente Búzios. *Revista de Administração Pública*, 52(6), 1125-1154. <https://doi.org/10.1590/0034-761220170133>

BRANDON, A. et al. Testing for crowd out in social nudges: Evidence from a natural field experiment in the market for electricity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 116, n. 12, p. 5293–5298, 2019.

BRICK, Kerri; DE MARTINO, Samantha; VISSER, Martine. Behavioural nudges for water conservation: Experimental evidence from Cape Town. Preprint, 2017.

BROWN, Tom et al. Language models are few-shot learners. *Advances in neural information processing systems*, v. 33, p. 1877-1901, 2020.

BUCKLEY, P.; LLERENA, D. Nudges and peak pricing: A common pool resource energy conservation experiment. *Journal of behavioral and experimental economics*, v. 101, n. 101928, p. 101928, 2022.

BUCKLEY, Penelope. Prices, information and nudges for residential electricity conservation: A meta-analysis. *Ecological Economics*, v. 172, p. 106635, 2020.

BUNGE, M. *Understanding the world*. Dordrecht: Reidel, 1983.

CABALLERO, Nicolas; PLONER, Matteo. Boosting or nudging energy consumption? The importance of cognitive aspects when adopting non-monetary interventions. *Energy Research & Social Science*, v. 91, p. 102734, 2022.

CALLERY, Patrick J.; GOODWIN, Christopher C.; MONCAYO, Daniel. Norm proximity and optimal social comparisons for energy conservation behavior. *Journal of Environmental Management*, v. 296, p. 113332, 2021.

CAMARANO, A. A. (org). *Novo regime demográfico: uma nova relação entre população e desenvolvimento?* Rio de Janeiro: Ipea, 2014.

CAMERO, A., & Alba, E. (2019). Smart City and information technology: A review. *Cities*, 93,84-94. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.014>

CARDOSO, J. *Java para Telemóveis MIDP 2.0*. Porto, Portugal: FEUP Edições, 2007.

CARLSSON, F., & Johansson-Stenman, O. (2012). Behavioral economics and environmental policy. *Annu. Rev. Resour. Econ.*, 4(1), 75-99.

CASARIN, Jonas. Uma arquitetura persuasiva baseada em sistemas ciber-físicos. 2016.

CAVALHEIRO, Rafael de Souza. *Sistemas de informação integrado a smart meter construído com arduino*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Faculdade de Computação, Belém, 2018. 94 f.

CHAN, M.; ESTÈVE, D.; ESCRIBA, C.; CAMPO, E. A review of smart-homes - present states and future challenges. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v. 91, n. 1, p. 55-81, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2008.02.001>

CHANG, H. “SEAN”; HUH, C.; LEE, M. J. Would an energy conservation nudge in hotels encourage hotel guests to conserve? *Cornell hospitality quarterly*, v. 57, n. 2, p. 172–183, 2016.

CHANGE Vision. Astah Community. [S. l.]: Change Vision, 2012.

CHARLIER, Christophe et al. "Under Pressure! Nudging Electricity Consumption within Firms: Feedback from a Field Experiment". GREDEG Working Papers, 2019-18. Groupe de REcherche en Droit, Economie, Gestion (GREDEG CNRS), Université Côte d'Azur, France, revised Mar 2020.

CHOURABI, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T. A. & Scholl, H. J. (2012). Understanding Smart Cities: An integrative framework. In 45th Hawaii International Conference on System Sciences, 2289-2297. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2012.615>

COSTA, Dora L.; KAHN, Matthew E. Energy conservation “nudges” and environmentalist ideology: Evidence from a randomized residential electricity field experiment. *Journal of the European Economic Association*, v. 11, n. 3, p. 680-702, 2013.

CUNHA, J. Desperdiço consome 10% da energia elétrica no país, diz associação. 2015. Folha de São Paulo. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/02/1586778-desperdicio-consome-10-da-energia-eletrica-no-pais-diz-associacao.shtml>. Acesso em: 28 Mai. 2024.

CUNHA, M. A., Przeybilovicz, E., Macaya, J. F. M., & Burgos, F. (2016). Smart Cities: Transformação digital de cidades. São Paulo, Brasil. Disponível em: https://ceapg.fgv.br/sites/ceapg.fgv.br/files/u60/ebook_smart_cities.pdf.

CUPANI, Alberto. La peculiaridad del conocimiento tecnológico. *Scientiae Studia*, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 353-71, 2006.

DA CUNHA, José Adson O. Guedes. Nudges no Design de Sistemas de Informação. Sociedade Brasileira de Computação, 2023.

DA SILVA JUNIOR, Daveny Jales et al. Economia de energia elétrica com aplicações sustentáveis frente a uma recessão de geração de eletricidade em meio a uma crise

hidroenergética no Brasil. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 1, p. e10012139638-e10012139638, 2023.

DAVID, Solange Mendes Geraldo Ragazi. A tríade energia elétrica, desenvolvimento sustentável e tecnologia-bases e desafios para uma regulação evolutiva no Brasil. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DAVIDOFF, L.F. *Introdução à Psicologia*. São paulo: Mc Graw-Hill, 2001.

DE OLIVEIRA, M, M; LEITE, J. P. A; RIBEIRO, B. C. Ciências comportamentais e inovação em governo: um mapeamento nos laboratórios públicos de inovação do Brasil. In: XXIX Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP, 2021, Campinas. Anais eletrônicos... Campinas: Galoá, 2021. Disponível em: <<https://proceedings.science/unicamp-pibic/pibic-2021/trabalhos/ciencias-comportamentais-e-inovacao-em-governo-um-mapeamento-nos-laboratorios-pu?lang=pt-br>>. Acesso em: 15 Mai. 2024.

DE OLIVEIRA BRAGA, Waleska Reali; JUNIOR, Sergio Silva Braga; DA SILVA, Dirceu. Pelo amor ou pela dor: a percepção ambiental de estudantes universitários brasileiros. *Revista Expectativa*, v. 19, n. 1, p. 74-97, 2020.

DE SOUZA, Luciane Albuquerque Sá. Uso De Nudges No Contexto Do Consumo Sustentável: Uma Busca Por Publicações Científicas Entre Os Anos De 2008 A 2022. *Destarte*, v. 12, n. 1, p. 1-18, 2023.

DEVMEDIA. *Introdução a requisitos de software*. 2017. Access date: 19 dez. 2017. Disponível em: Citado na página 52.

DIJKSTRA, A. (2006). Technology adds new principles to persuasive psychology: evidence from health education. In *Persuasive Technology*, pages 16–26. Springer.

DILEEP, G. A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable energy*, [online], v. 146, p. 2589-2625, 2020.

DURAN, J., & Pérez, V. (2015, November). Smart, innovative and sustainable cities for the future income: Caracas city. In 2015 IEEE Thirty Fifth Central American and Panama Convention (CONCAPAN XXXV)(pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CONCAPAN.2015.7428474>.

EGEBARK, J., & Ekström, M. (2016). Can indifference make the world greener?. *Journal of Environmental Economics and Management*, 76, 1-13.

EMEAKAROHA, Anthony et al. A persuasive feedback support system for energy conservation and carbon emission reduction in campus residential buildings. *Energy and buildings*, v. 82, p. 719-732, 2014.

EPE. Consumo Anual de Energia Elétrica por classe (nacional) - 1995-2019. 2019. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/Consumo-Anual-de-Energia-Elétrica-por-classe-nacional>. Acesso em: 21 Mar. 2024.

EYCK, A., Geerlings, K., Karimova, D., Meerbeek, B., Wang, L., IJsselsteijn, W., de Kort, Y., Roersma, M., & Westerink, J. (2006). Effect of a virtual coach on athletes' motivation. In *Persuasive Technology*, pages 158–161. Springer.

FARUQUE, M. A. AL; VATANPARVAR, K. Energy Management-as-a-Service over Fog Computing Platform. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 3, n. 2, p. 161– 169, 2016.

FERREIRA, BEATRIZ DA SILVA; VALENTIM, Isabella Christina Dantas; LUCENA, Wenner Glaucio Lopes. NUDGE NA DECISÃO DO INVESTIDOR: UMA REFLEXÃO SOBRE AS ESCOLHAS DE INVESTIMENTO E AS PRÁTICAS ESG. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*. 2022.

FERREIRA, E. Dias. Engenheiro de Prompt: Nova Profissão em Ascensão. 2023. Disponível em: <https://ica.ele.puc-rio.br/blog/engenheiro-de-prompt-nova-profissao-em-ascensao/>. Acesso em: 19 jun 2024

FIRPO, D., Kasemvilas, S., Ractham, P., & Zhang, X. (2009). Generating a sense of community in a graduate educational setting through persuasive technology. In *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology*, page 41. ACM.

FOGG, B. J. (2003). *Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.

FRAGA, Érica; PINTO, Ana Estela de Sousa. Escolas públicas de São Paulo usam teorias de Nobel para reduzir evasão. *Folha de São Paulo*, 15 out. 2017. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/paywall/login.shtml?https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2017/10/1927050-escolas-publicas-de-sao-paulo-usam-teorias-de-nobel-para-reduzir-evasa-o.shtml>>. Acesso em: 28 Mai. 2024.

FREDERIKS, E.R.; Stenner, K.; Hobman, E.V. Household Energy Use: Applying Behavioural Economics to Understand Consumer Decision-making and Behaviour. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, 41, 1385–1394.

GARCÍA, M. C. La ambientalización de la Universidad. Un estudio sobre la formación ambiental de los estudiantes de la Universidad de Santiago de Compostela y la política ambiental de la institución. 2000. 611 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciencias de La Educación, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 2001.

GASPAR, P. da S. A Contribuição das Smart Cities para a Sustentabilidade de uma Região: Concelho de Oeiras. 2017. 104 f. Dissertação (Mestrado) -Curso de Gestão, Universidade Atlântica, Barcarena, 2016. Disponível em: <https://repositorio-cientifico.uatlantica.pt/bitstream/10884/1156/1/Patrick%20Gaspar.pdf>. Acesso em: 28 Mai. 2024.

GASSER, R., Brodbeck, D., Degen, M., Luthiger, J., Wyss, R., & Reichlin, S. (2006). Persuasiveness of a mobile lifestyle coaching application using social facilitation. In *Persuasive Technology*, pages 27–38. Springer.

GASTALDELLO, D. Desenvolvimento de metodologia para previsão da demanda de energia elétrica residencial considerando aspectos socioeconômicos e ferramentas computacionais inteligentes. *Univ. Politec. São Paulo*. 2017.

GHAFFARIANHOSEINI, A.; DAHLAN, N. D.; BERARDI, U.; GHAFFARIANHOSEINI, A.; MAKAREMI, N. The essence of future smart houses: from embedding ICT to adapting to sustainability principles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 24, p. 593-607, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.032>

GHESLA, C. et al. Pro-environmental incentives and loss aversion: A field experiment on electricity saving behavior. *Energy policy*, v. 137, n. 111131, p. 111131, 2020.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

GIL, Antônio Carlos. Técnicas de pesquisa em economia e elaboração de monografias. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002

GOMES, J. Elas previnem fraudes e interrupções no fornecimento de energia elétrica: conheça as Smart grids. EESC. USP. 2023. Disponível em: <https://eesc.usp.br/ppgs/sel/post.php?guidn=elas-previnem-fraudes-e-interrupcoes-nofornecimento-de-energia-eletrica-conheca-as-smart-grids&catid=noticias>. Acesso em: 24 maio 2023.

GRAML, Tobias et al. Improving residential energy consumption at large using persuasive systems. 2011. ECIS 2011 Proceedings. 184. <https://aisel.aisnet.org/ecis2011/184>. Acesso em: 13 junho 2024.

GUADAGNIN, C. De 2011 a 2015, Brasil desperdiçou energia suficiente para um ano de consumo. 2016. Gazeta do Povo. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/de-2011-a-2015-brasil-desperdicou-energia-suficiente-para-um-ano-de-consumo-8bnk42j8ibd25of8e9yiw5h1/>. Acesso em: 28 Mai. 2024.

HACKER, Philipp; DIMITROPOULOS, Georgios. Behavioural law & economics and sustainable regulation: from markets to learning nudges. In: *Environmental Law and Economics*. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 155-183.

HAIR JR, J. F. et al. A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). Sage Publications, 2014.

HANDGRAAF, M. J. J.; VAN LIDTH DE JEUDE, M. A.; APPELT, K. C. Public praise vs. private pay: Effects of rewards on energy conservation in the workplace. *Ecological economics: the journal of the International Society for Ecological Economics*, v. 86, p. 86–92, 2013.

HEATON, J., & Parlikad, A. K. (2019). A conceptual framework for the alignment of infrastructure assets to citizen requirements within a Smart Cities framework. *Cities*, 90, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.041>

HEINSFELD, B. D., & Pischetola, M. (2019). O discurso sobre tecnologias nas políticas públicas em educação. *Educação e Pesquisa*, 45. <https://doi.org/10.1590/S1678-4634201945205167>

HENKEL, C., Seidler, A. R., Kranz, J., & Fiedler, M. (2019). How to Nudge ProEnvironmental behaviour: an Experimental Study. In *European Conference on Information Systems (ECIS)*.

HENRY, M. L.; FERRARO, P. J.; KONTOLEON, A. The behavioural effect of electronic home energy reports: Evidence from a randomised field trial in the United States. *Energy policy*, v. 132, p. 1256–1261, 2019.

HILLE, Stefanie; WEBER, Sylvain; BROSCHE, Tobias. Consumers' preferences for electricity-saving programs: Evidence from a choice-based conjoint study. *Journal of cleaner production*, v. 220, p. 800-815, 2019.

HOWELL, S. K. et al. User Centered Neuro-Fuzzy Energy Management through Semantic-Based Optimization. *IEEE Transactions on Cybernetics*, v. 49, n. 9, p. 3278–3292, 1 set. 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira 2013. Rio de Janeiro, 2014a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/educacao/9221-sintese-de-indicadores-sociais.html?edicao=17068&t=publicacoes>).

ICON. Gutenberg Open Science: The appeal of manipulation : proceedings of the 2nd International Students Conference. 2019. Disponível em: <<https://openscience.ub.uni-mainz.de/handle/20.500.12030/9003>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

INHASZ, Juliana; MARTINES, Victoria Lacerda Abreu. Nudge: improving financial behaviour decisions, a literature review. 2020.

ISERI, Simone Suemi; DA SILVA, Lúcio Pércio Mariano; DA SILVA, Marco Antonio Costa. Consumo consciente—a percepção de acadêmicos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). *Anais do Sciencult*, v. 3, n. 1, p. 219-228, 2012.

JAMES, P. et al. Smart cities: Fundamental concepts. *Handbook of smart cities*, p. 3-33, 2021.

JENSEN, Carsten Lynge et al. Is social nudging too emotionally taxing? A field experiment of public utilities and electricity consumers in Denmark. *Energy Research & Social Science*, v. 67, p. 101515, 2020.

JESUS, W. X. O último a sair apague a luz: a economia comportamental aplicada ao consumo de energia elétrica da UFG. 2018. 130 f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública em Rede Nacional) - Universidade Federal de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2018.

JUNG, M.; CHO, D.; SHIN, E. Repairing a cracked mirror: The heterogeneous effect of personalized digital nudges driven by misperception. *Production and operations management*, v. 30, n. 8, p. 2586–2607, 2021.

KAHNEMAN, Daniel. Rápido e devagar: Duas formas de pensar. Rio de Janeiro: Objetiva, 2012. 607 p.

KAKKAR, Vikas and Li, King King, Reducing Electricity Consumption: A Comparison of Different Motivations (July 10, 2021). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3894320> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3894320>.

KANG, K.; LIN, J. R.; ZHANG, J. P. BIM-and IoT-based monitoring framework for building performance management. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, v. 3, n. 4, p. 254-261, 2018. <https://doi.org/10.1080/24705314.2018.1536318>

KASPERBAUER, Tyler J. The permissibility of nudging for sustainable energy consumption. *Energy Policy*, v. 111, p. 52-57, 2017.

KELLY, Ann. *Making Sense of NoSQL: A Guide for Managers and the Rest of Us* by Ann Kelly and Dan McCreary. 2013.

KHATOUN, R., & Zeadally, S. (2016), Smart Cities: Concepts, architectures, research opportunities. *Communications of the ACM*, 59(8), 46-57. <https://doi.org/10.1145/2858789>

KITCHENHAM, B. A., Budgen, D., & Brereton, P. (2015) *Evidence-based software engineering and systematic reviews*. CRC Press.

KLEGE, R. A. et al. The power of nudging: Using feedback, competition, and responsibility assignment to save electricity in a non-residential setting. *Environmental & resource economics*, v. 81, n. 3, p. 573–589, 2022.

KLEINA, N. (2023) O que é GPT-4 Turbo, a versão mais poderosa do ChatGPT Disponível em: <https://www.mundoconectado.com.br/inteligencia-artificial/o-que-e-gpt-4-turbo-a-versao-mais-poderosa-do-chatgpt/>. Acesso em: 19 jun 2024.

KOBAYASHI, A. R. K., Kniess, C. T., Serra, F. A. R., Ferraz, R. R. N., & Ruiz, M. S. (2017). Cidades Inteligentes e sustentáveis: Estudo bibliométrico e de informações patentárias. *International Journal of Innovation*, 5(1), 77-96. <http://dx.doi.org/10.5585/ijji.v5i1.159>

KROLL, Tobias et al. Nudging People to Save Energy in Smart Homes with Social Norms and Self-Commitment. In: ECIS. 2019.

LAAYATI, O.; BOUZI, M.; CHEBAK, A. Smart energy management: Energy consumption metering, monitoring and prediction for mining industry. 2020 IEEE 2nd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science, ICECOCS 2020, 2 dez. 2020.

LAMBERT, C. L. (2007). Baby think it over, inc. *American Academy of Pediatrics*, 107(4), 806–807. WI 54701, United States. ISSN: 00314005. DOI: 10.1542/peds.107.4.806.

LANGHAMMER, N.; KAYS, R. Performance evaluation of wireless home automation networks in indoor scenarios. *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 3, n. 4, p. 2252-2261, 2012. <https://doi.org/10.1109/TSG.2012.2208770>

LAWRENCE, M. *The Energy Cloud Emerging Opportunities on the Decentralized Grid*. [s.l.: s.n.]. 2015.

LAZARIC, N.; TOUMI, M. Reducing consumption of electricity: A field experiment in Monaco with boosts and goal setting. *Ecological economics: the journal of the International Society for Ecological Economics*, v. 191, n. 107231, p. 107231, 2022.

LEE, Eungkyoon et al. From intention to action: Habits, feedback and optimizing energy consumption in South Korea. *Energy Research & Social Science*, v. 64, p. 101430, 2020.

LEE, M.; KIM, D. Nudging down household electricity usage during peak hours with small monetary rewards. *Energy & environment*, v. 33, n. 5, p. 853–869, 2022.

LEGAULT, Lisa et al. Impact of a motivational intervention and interactive feedback on electricity and water consumption: A smart housing field experiment. *Environment and Behavior*, v. 52, n. 6, p. 666-692, 2020.

LEITE, J. C. O Modelo Espiral. 2007.

LEITE, A. D. A energia do Brasil. 2 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

LIN, K.; CHEN, M.; DENG, J.; HASSAN, M. M.; FORTINO, G. Enhanced Fingerprinting and Trajectory Prediction for IoT Localization in Smart Buildings. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, v. 13, n. 3, p. 1294-1307, 2016. <https://doi.org/10.1109/TASE.2016.2543242>

LIU, M. et al. The effect of normative-based feedback messaging on room air conditioner usage in university dormitory rooms in winter season. *Energy and buildings*, v. 277, n. 112587, p. 112587, 2022.

LIU, Y. et al. Intelligent Edge Computing for IoT-Based Energy Management in Smart Cities. *IEEE Network*, v. 33, n. 2, p. 111–117, mar. 2019.

LÖSCHEL, Andreas; RODEMEIER, Matthias and Werthschulte, Madeline, When Nudges Fail to Scale: Field Experimental Evidence from Goal Setting on Mobile Phones (2020). CESifo Working Paper No. 8485, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3676090> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3676090>.

MACEDO, R. L. G. Percepção, conscientização e conservação ambientais. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.

MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W. Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: Univ Pontifica Comillas, 2001.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, v. 15, p. 251-266, 1995.

MARIKYAN, D.; PAPAGIANNIDIS, S.; ALAMANOS, E. A systematic review of the smart home literature: A user perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 138, p. 139–154, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.015>

MBEWE, Samson. Investigating household energy poverty in South Africa by using unidimensional and multidimensional measures. 2018. Dissertação de Mestrado. University of Cape Town.

MCCALLEY, Teddy; Kaiser, Florian; Midden, Cees; Keser, Merijn; Teunissen, Maarten. Persuasive appliances: goal priming and behavioral response to product-integrated energy feedback. In: FOGG, B. J. (Ed.). *Persuasive Technology*. Springer, 2006. p. 45-49.

MELLO, T. M., & FUCIDJI, J. R. Racionalidade limitada e a tomada de decisão em sistemas complexos. *Revista de Economia Política*, 36(3), 622–645. (2016).

MENEGUIN, F. B., ÁVILA, F. A Economia Comportamental Aplicada a Políticas Públicas. In: ÁVILA, F.; BIANCHI, A. M. *Guia de Economia Comportamental e Experimental*. São Paulo: EconomiaComportamental.org, p. 210-218. 2015.

MESKE, Christian; POTTHOFF, Tobias. *The DINU-model—a process model for the design of nudges*. 2017.

MEYERS, R. J.; WILLIAMS, E. D.; MATTHEWS, H. S. Scoping the potential of monitoring and control technologies to reduce energy use in homes. *Energy and Buildings*, v. 42, p. 563–569, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.026>

MIDDEN, C., McCalley, T., Ham, J., & Zaalberg, R. (2008). Using persuasive technology to encourage sustainable behavior. Workshop paper at Sixth International Conference on Pervasive Computing, 1, 83–86.

MILANI, A. *MySQL: guia do programador*. 1a . ed. [S.l.]: Novatec Editora, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 68.

MØLLER, Niels Framroze et al. Can pecuniary and environmental incentives via SMS messaging make households adjust their electricity demand to a fluctuating production?. *Energy Economics*, v. 80, p. 1050-1058, 2019.

MORGAN, Gareth. Paradigmas, metáforas e resolução de quebra-cabeças na teoria das organizações. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, v. 45, n. 1, p. 58-71, 2005.

MORRIS, M., & Guilak, F. (2009). Mobile heart health: Project highlight. *Pervasive Computing, IEEE*, 8(2), 57–61.

MQTT. Mqtt specification version. public.dhe.ibm.com/software/dw/webservices/ws-mqtt/mqtt-v3r1.html, 2010. [Online; acessado 28 Mai. 2024].

MÜNSCHER, R., Vette, M., & Scheuerle, T. (2016). A review and taxonomy of choice architecture techniques. *Journal of Behavioral Decision Making*, 29, 511-524. <https://doi.org/10.1002/bdm.1897>

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7: Energia limpa e acessível. Brasília, DF, 2023a. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>. Acesso em: 28 Mai. 2024.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11: Cidades e comunidades sustentáveis. Brasília, DF, 2023b. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11>. Acesso em: 28 Mai. 2024.

NASCIMENTO, Jefferson Rodrigues do. Exploração de técnicas de engenharia de prompt para aprimorar os resultados do uso de LLM no TCMRio / Jefferson Rodrigues do Nascimento. - 2024. 64 f.: il. Monografia (especialização) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto MetrÓpole Digital, Residência em Tecnologia da Informação, Natal, RN, 2024.

NEIROTTI, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., & Scorrano, F. (2014). Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. *Cities*, 38,25-36. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.12.010>

NEDEL, Tamires et al. PERCEPÇÃO AMBIENTAL, CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA: UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA COM ALUNOS DO ENSINO MÉDIO. 2015.

NICHOLAS, Stephend. Power profiling: HTTPS long polling vs. MQTT with SSL, on Android. Disponível em: <<http://stephendnicholas.com/archives/1217>>. Acesso em: 28 Mai. 2024.

NUNES, Marcelo de Oliveira; DIB, Luís Antônio da Rocha. Arquitetura de escolhas na tomada de decisão de turistas no contexto da pandemia de covid-19. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, v. 16, p. e-2465, 2022.

OKEKE, F., Sobolev, M., Dell, N., & Estrin, D. (2018). Good vibrations: can a digital nudge reduce digital overload?. In *Proceedings of the 20th international conference on human-computer interaction with mobile devices and services* (pp. 1-12).

OLIVEIRA, Gelcimar Ribeiro et al. Desenvolvimento de uma bancada automatizada de teste de medidores eletrônicos de energia elétrica com aplicação de inteligência artificial na aferição da calibração. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 15, n. 4, p. e3643-e3643, 2024.

OLIVEIRA, C. T., Antonio, F., Burani, G. F., & Udaeta, M. E. M. (2017). GHG reduction and energy efficiency analyses in a zero-energy solar house archetype. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 12 (3), 225–232. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctx004>.

OMG. UML® Resource Page. [S. l.]: Object Management Group, Inc, [1997-2012].

OPREA, S. V.; BRA, A.; IFRIM, G. A.; COROIANU, L. Day-ahead electricity consumption optimization algorithms for smart homes. *Computers & Industrial Engineering*, v. 135, p. 382–401, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.023>

PAPINEAU, M.; RIVERS, N. Experimental evidence on heat loss visualization and personalized information to motivate energy savings. *Journal of environmental economics and management*, v. 111, n. 102558, p. 102558, 2022.

PEFFERS, Ken et. al. A design science research methodology for information systems research. *Journal of management information systems*, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

PINOCHET, L. H. C., Romani, G. F., de Souza, C. A., & Rodríguez-Abitia, G. (2019). Intention to live in a Smart City based on its characteristics in the perception by the young public. *Revista de Gestão*,26(1), 73-92. <https://doi.org/10.1108/REGE-06-2018-0077>.

PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Quarto plano anual de aplicação de recursos do programa nacional de conservação de energia elétrica. Grupo Coord. De Cons. Energ. Eletr. 2023.

QASEM, M. H., & AlMobaideen, W. (2019). Heterogeneity in IoT-based Smart Cities Designs. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 13(12), 210-225. <https://doi.org/10.3991/ijim.v13i12.9763>

RANCHORDÁS, Sofia. Nudging citizens through technology in smart cities. *International Review of Law, Computers & Technology*, 34:3, 2020, p. 256.

RATHI, Sambhu Singh; CHUNEKAR, Aditya. Not to buy or can be ‘nudged’ to buy? Exploring behavioral interventions for energy policy in India. *Energy Research & Social Science*, v. 7, p. 78-83, 2015.

RIES, E. (2012). *A startup enxuta*. Leya.

RINGLE, C. M.; WENDE, S.; WILL, S. *SmartPLS 2.0 M3 (Beta)*. Germany: University of Hamburg, 2005.

RUOKAMO, E. et al. The effect of information nudges on energy saving: Observations from a randomized field experiment in Finland. *Energy policy*, v. 161, n. 112731, p. 112731, 2022.

ROMANCINI, E.M.R. et al., 2022. Intelligent Monitoring of Electricity Consumption in Homes Using IoT Resources. *Annals of Computer On The Beach*, 13, pp.134-141.

SANCHEZ, Henrique Cunha. *Nudging for good: como os nudges influenciam a tomada de decisão dos indivíduos*. 2023.

SANO, Hironobu. *Laboratórios de inovação no setor público: mapeamento e diagnóstico de experiências nacionais*. ENAP, 2020.

SANTOS, L. D. T. *Erros de decisão e arquitetura de escolha: uma análise exploratória da literatura*. lume.ufrgs.br, 2018.

SARKER, S.; CHATTERJEE, S.; XIAO, X. How ‘Sociotechnical’ is our IS Research? An Assessment and Possible Ways Forward. *ICIS 2013 Proceedings*, p. 1–24, 2013.

SCHIEFELBEIN, Un Hee et al. Pervasive system based on situation-awareness for feedback of energy efficiency. In: *Proceedings of the XIV Brazilian Symposium on Information Systems*. 2018. p. 1-8.

SCHLEICH, Joachim; FAURE, Corinne; KLOBASA, Marian. Persistence of the effects of providing feedback alongside smart metering devices on household electricity demand. *Energy Policy*, v. 107, p. 225-233, 2017.

SCHNÉ, T.; JASKÓ, S.; SIMON, G. Embeddable adaptive model predictive refrigerator control for cost-efficient and sustainable operation. *Journal of Cleaner Production*, v. 190, p. 496–507, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.137>

SCHUBERT, C. (2017). Green nudges: Do they work? Are they ethical?. *Ecological economics*, 132, 329-342.

SCHWARTZ, Daniel et al. The Hawthorne effect and energy awareness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 110, n. 38, p. 15242-15246, 2013.

SEQUEIRA, H. et al. Energy cloud: Real-time cloud-native energy management system to monitor and analyze energy consumption in multiple industrial sites *Proceedings - 2014 IEEE/ACM 7th International Conference on Utility and Cloud Computing, UCC 2014*. Anais...Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 29 jan. 2014

SENA, G.E.O., 2018. Electricity Consumption Meter With Local And Remote Access Using Esp8266 Platform. Conference Name: ACM Woodstock conferenceConference Short Name: WOODSTOCK'18Conference Location:El Paso, Texas USA.

SERAFIM, Amanda Sahory Nunes; VARELLA, Fabiana Karla de Oliveira Martins; SANTOS, Sophia Victória. 2023. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento do consumo de energia elétrica: uma ferramenta para o uso eficiente de energia no setor residencial. *Engenharia, Gestão e Inovação* Volume 11, p. 127.

SHAIKH, P. H.; NOR, N. B. M.; NALLAGOWNDEN, P.; ELAMVAZUTHI, I.; IBRAHIM, T. A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 34, p. 409–429, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.027>

SHEN, Meng et al. Eco-feedback delivering methods and psychological attributes shaping household energy consumption: Evidence from intervention program in Hangzhou, China. *Journal of cleaner production*, v. 265, p. 121755, 2020.

SILVA, E., Nogueira, R., & Cunha, M. (2019, April). SCAMOA: Um sistema para gerenciamento e controle das armas apreendidas sob a custódia da Polícia Civil. In *Anais da XIX Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe* (pp. 265-274). SBC.

SILVA, Manuella D.; SIEBRA, Claurton A. Uma Abordagem Pervasiva e Inteligente de Baixo Custo para o Monitoramento de Pacientes com Doenças Cardiovasculares. In: *Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS)*. SBC, 2012. p. 188-197.

SIMON, H. A. *Models of bounded rationality*. v. 1-2. Cambridge: MIT Press, 1982.

SIMON, H. A. *The Sciences of the Artificial*. 3 ed. Cambridge: MIT Press, 1996.

SITTÓN-CANDANEDO, I. et al. Edge computing, iot and social computing in smart energy scenarios. *Sensors (Switzerland)*, v. 19, n. 15, 1 ago. 2019.

SMITH, Zackary A. *The environmental policy paradox*. 6th edition. Pearson, 2013. 1992.

SOMMERVILLE, Ian. *Software engineering 9th Edition*. ISBN-10, v. 137035152, p. 18, 2011.

SOUSA, Clara Tronca de. *Economia comportamental: a influência dos nudges nas escolhas econômicas individuais dos brasileiros endividados*. 2022.

SOUZA, R. J., Santos, C. A. C., Ochoa, A. A. V., Marques, A. S., Neto, J. L. M., & Michima, P. S. A. (2020). Proposal and 3E (energy, exergy, and exergoeconomic) assessment of a cogeneration system using an organic Rankine cycle and an Absorption Refrigeration System in the Northeast Brazil: Thermodynamic investigation of a facility case study. *Energy Conversion and Management*, 217(1), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113002>.

STRENGERS, Y.; NICHOLLS, L. Convenience and energy consumption in the smart home of the future: Industry visions from Australia and beyond. *Energy Research & Social Science*, v. 32, p. 86–93, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.02.008>

SUDARSHAN, A. Nudges in the marketplace: The response of household electricity consumption to information and monetary incentives. *Journal of Economic Behavior & Organization*, v. 134, p. 320–335, 2017.

SVANE, O. (2007). Helping, informing or coaxing the consumer? Exploring persuasive technology as applied to household's energy use. In *Proceedings of the Nordic Consumer Policy Research Conference*, volume 1, pages 1–11. Citeseer, Elsevier Science B.V., Issue 11.

TAN, S. Y.; TAEIHAGH, A. Smart city governance in developing countries: A systematic literature review. *Sustainability*, [online], v. 12, n. 3, p. 899, 2020.

THALER, R. H., & Sunstein, C. R. (2008). *Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth and Happiness* Yale University Press: New Haven & London.

THALIB, Supriadi et al. The MODELS OF EFFICIENT ENERGY BEHAVIOR IN HOUSEHOLD: THE USE OF THE "NUDGE" IDEAS IN DESIGNING ENERGY SAVING PROGRAMS IN INDONESIA. *Asia Proceedings of Social Sciences*, v. 5, n. 2, p. 192-196, 2020.

TRIVIÑOS, A. N. S. *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo: Atlas, 1987.

WANG, Yongli et al. Energy management of smart micro-grid with response loads and distributed generation considering demand response. *Journal of Cleaner Production*, v. 197, p. 1069–1083, 1 out. 2018.

WHITE, Jules et al. A prompt pattern catalog to enhance prompt engineering with chatgpt. arXiv preprint arXiv:2302.11382, 2023.

WONG-PARODI, G. et al. Encouraging energy conservation at work: A field study testing social norm feedback and awareness of monitoring. *Energy policy*, v. 130, p. 197–205, 2019.

YANG, H.; LEE, H. Lighting scheduling for energy saving in smart house based on life log data. *Procedia Environmental Sciences*, v. 22, p. 403-413, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.11.038>

YIGITCANLAR, T. (2016). *Technology and the city: Systems, applications and implications*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315739090>

YIGITCANLAR, T., Kamruzzaman, M., Buys, L., Ioppolo, G., Sabatini-Marques, J., da Costa, E. M., & Yun, J. J. (2018). Understanding 'Smart Cities': Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. *Cities*, 81, 145-160. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.04.003>

ZHANG, L. (2011). *Building Facebook Messenger*. Retrieved from <https://www.facebook.com/notes/facebook-engineering/building-facebook-messenger/10150259350998920> [Online; acessado em 28 Mai. 2024].

Apêndice A

Pesquisa de avaliação

Pesquisa da Dissertação de Mestrado intitulada: **Desenvolvimento de um Sistema de Informação com Nudge no contexto de consumo sustentável de energia elétrica em Cidades Inteligentes.**

Bem-vind@s à etapa de avaliação da nossa proposta de **Sistema de Informação com Mensagens Nudge** para o consumo consciente de energia elétrica.

Para isso, você responderá algumas perguntas, sobre seu perfil, percepção ambiental e nossa proposta.

Tempo de preenchimento: no máximo 10 minutos.

Ao submeter este formulário, mesmo de forma anônima, você declara consentimento que suas respostas serão utilizadas para fins de pesquisa acadêmica.

Obrigado pela colaboração!

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Centro de Informática (CI)

Programa de Pós-graduação em Informática (PPGI)

Discente: Victor F. S. Gomes (victor.gomes@estudantes.ufpb.br).

Orientação: Alisson de Brito e José Adson Cunha.

* Indica uma pergunta obrigatória

Bloco 1 - Informações Socioeconômicas:

1. Informe sua idade *

2. Informe seu gênero *

Se as alternativas não corresponderem a sua resposta, escreva em "Outros".

Marcar apenas uma oval.

- Homem
- Mulher
- Não-binário
- Transsexual
- Outro: _____

3. Nível de escolaridade/grau de instrução *

Marcar apenas uma oval.

- Ensino fundamental completo
- Ensino médio em andamento
- Ensino médio completo
- Ensino superior em andamento
- Ensino superior completo
- Pós-graduação em andamento
- Pós-graduação completo
- Outro: _____

4. Ocupação atual *

Marcar apenas uma oval.

- Trabalho
- Estudo
- Trabalho e estudo
- Desempregado (a)
- Outro: _____

5. Informe sobre sua renda mensal *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma renda
- Até um salário mínimo (R\$1.412,00)
- Até um salário mínimo e meio (R\$2.118,00)
- Até dois salários mínimos (R\$2.824,00)
- Até dois salários mínimos e meio (R\$3.526,00)
- Até três salários mínimos (R\$4.236,00)
- Outro: _____

Bloco 2 - Percepção Ambiental Geral

6. Em uma escala de 0 a 5, o quanto você concorda com a afirmação a seguir: *

"Atualmente, o consumo excessivo de energia elétrica está contribuindo significativamente para problemas ambientais, como aumento das emissões de gases de efeito estufa e esgotamento de recursos naturais, impactando negativamente o equilíbrio ecológico." (Se achar mais fácil de entender, utilize a escala de percentuais: 0 - 0%, 1 - 20%, 2 - 40%, 3 - 60%, 4 - 80% e 5 - 100%).

Marcar apenas uma oval.

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

7. Em uma escala de 0 a 5, **o quanto você se considera consciente sobre os impactos ambientais do consumo de energia elétrica no seu dia a dia?** (Se achar mais fácil de entender, utilize a escala de percentuais: 0 - 0%, 1 - 20%, 2 - 40%, 3 - 60%, 4 - 80% e 5 - 100%). *

Marcar apenas uma oval.

- 0 - Neutro
- 1 - Pouco Consciente
- 2 - Moderadamente Consciente
- 3 - Consciente
- 4 - Muito Consciente
- 5 - Extremamente Consciente

8. Indique, em uma escala de 0 a 5, **o quão importante é para você utilizar energia elétrica de maneira consciente.** (Se achar mais fácil de entender, utilize a escala de percentuais: 0 - 0%, 1 - 20%, 2 - 40%, 3 - 60%, 4 - 80% e 5 - 100%). *

Marcar apenas uma oval.

- 0 - Neutro
- 1 - Pouco Importante
- 2 - Moderadamente Importante
- 3 - Importante
- 4 - Muito Importante
- 5 - Extremamente Importante

9. Avalie, em uma escala de 0 a 5, **o quanto suas escolhas de consumo de energia elétrica são influenciadas pela preocupação com o meio ambiente.** *
- (Se achar mais fácil de entender, utilize a escala de percentuais: 0 - 0%, 1 - 20%, 2 - 40%, 3 - 60%, 4 - 80% e 5 - 100%).

Marcar apenas uma oval.

- 0 - Neutro
- 1 - Pouco Influenciadas
- 2 - Moderadamente Influenciadas
- 3 - Influenciadas
- 4 - Muito Influenciadas
- 5 - Extremamente Influenciadas

10. Avalie, em uma escala de 0 a 5, **seu grau de responsabilidade na redução dos impactos ambientais.** *
- (Se achar mais fácil de entender, utilize a escala de percentuais: 0 - 0%, 1 - 20%, 2 - 40%, 3 - 60%, 4 - 80% e 5 - 100%).

Marcar apenas uma oval.

- 0 - Neutro
- 1 - Pouca Responsabilidade
- 2 - Moderada Responsabilidade
- 3 - Responsável
- 4 - Muita Responsabilidade
- 5 - Extrema Responsabilidade

Bloco 3 - Engajamento do Sistema de Informação com Mensagens Nudge

Nesta seção você encontrará a proposta inicial da nossa pesquisa, que é apresentar um *Sistema de Informação com Mensagens Nudge* para o consumo consciente de energia elétrica.

- Para as Cidades Inteligentes, a implementação de Medidores Inteligentes é uma estratégia eficaz para promover o consumo consciente. Esses dispositivos monitoram o consumo de energia em tempo real. Integrados a um sistema de informação, os medidores enviam dados de consumo para a geração de notificações, baseadas em técnicas de nudge, incentivando práticas de consumo mais conscientes e destacando como o seu comportamento individual impacta no uso de energia.

Observe essas telas e com base nela, responda as perguntas seguintes.



Feedback positivo



Feedback neutro



Feedback negativo

11. As informações apresentadas nas mensagens sobre seus dados de consumo, ^{*} são de clara compreensão?

Marcar apenas uma oval.

- Discordo plenamente
- Discordo parcialmente
- Nem discordo, nem concordo
- Concordo parcialmente
- Concordo plenamente

12. Você acredita que a forma de apresentação dos dados de consumo é ^{*} suficiente para influenciar o seu comportamento?

Marcar apenas uma oval.

- Discordo plenamente
- Discordo parcialmente
- Nem discordo, nem concordo
- Concordo parcialmente
- Concordo plenamente

13. Você estaria satisfeito com o nível de detalhamento do seu consumo, fornecidas pela mensagem? *

Marcar apenas uma oval.

- Totalmente insatisfeito
- Parcialmente insatisfeito
- Nem insatisfeito, nem satisfeito
- Parcialmente satisfeito
- Totalmente satisfeito

14. Você concorda que através das notificações das mensagens influenciaram suas decisões relacionadas ao seu consumo de energia? *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Nem discordo, nem concordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

15. Você concorda que receber notificações para orientar seu comportamento em relação ao uso de energia são úteis para trazer uma melhor consciência de seu consumo? *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Nem discordo, nem concordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

Apêndice B

id	eng_nudge	perc_amb	idade	Mulher	grau_esc	grau de renda	Renda_num
1	100		21	25	1	2	2118
2	75		24	24	0	5	2118
3	95		18	29	0	3	3526
4	95		21	24	0	3	3526
5	60		21	19	0	3	2118
6	100		12	20	1	3	1412
7	75		19	29	0	3	2118
8	95		19	47	1	4	0
9	90		20	34	1	4	2824
10	60		19	33	0	3	1412
11	80		13	25	1	2	1412
12	80		15	19	1	3	1412
13	70		14	32	1	5	3526
14	50		8	25	0	4	3526
15	80		17	33	1	3	1412
16	55		14	19	1	3	0
17	60		19	25	0	2	8500
18	50		16	24	0	5	6
19	75		13	20	1	3	0
20	85		9	20	0	3	0
21	90		13	21	1	3	1412
22	90		20	18	1	3	2118
23	100		22	22	1	3	1412
24	55		9	31	1	5	3526
25	80		20	27	0	5	0
26	85		12	18	1	3	1412
27	100		23	21	1	1	2824
28	70		20	22	1	5	2824
29	85		24	20	1	3	1412
30	100		12	20	0	3	0
31	60		10	27	0	5	6
32	65		16	25	0	5	2118
33	60		10	19	0	3	0
34	80		12	21	0	3	0
35	65		16	18	0	3	1412
36	75		12	23	1	2	2824
37	75		12	22	1	3	1412
38	75		20	40	1	5	0

39	70	16	17	1	3	0	0
40	90	18	28	0	4	3	2824
41	95	15	33	0	4	6	7766
42	85	12	28	1	5	4	3526
43	40	5	30	0	4	2	2118
44	80	21	18	1	3	0	0
45	80	17	20	0	3	0	0
46	90	19	20	1	3	0	0
47	65	19	22	0	3	2	2118
48	90	18	35	1	5	4	3526
49	100	11	23	0	2	1	1412
50	60	13	24	1	3	0	0
51	85	25	21	1	3	2	2118
52	90	21	30	0	4	5	4236
53	70	15	22	0	3	0	0
54	90	18	31	1	2	0	0
55	55	10	42	0	4	5	4236
56	65	19	27	0	3	1	1412
57	65	11	27	1	4	2	2118
58	60	14	32	1	1	2	2118
59	90	18	24	0	2	1	1412
60	95	13	27	0	2	1	1412
61	75	13	26	1	2	1	1412
62	85	12	25	1	3	0	0
63	100	15	26	0	2	1	1412
64	85	15	28	0	2	0	0
65	85	7	23	1	5	1	1412
66	85	21	21	0	3	1	1412
67	95	18	56	0	4	6	
68	75	21	26	1	3	1	1412
69	60	12	27	0	5	2	2118
70	90	13	27	1	3	3	2824
71	95	20	26	1	4	2	2118
72	95	19	22	1	3	1	1412
73	85	19	26	1	4	2	2118
74	80	13	24	0	3	6	4942
75	70	12	46	1	4	6	20000
76	45	17	25	0	5	2	2118
77	65	14	23	0	3	1	1412

78	95	18	25	1	3	5	4236
79	75	11	21	1	3	1	1412
80	90	18	37	1	4	2	2118
81	95	21	25	1	5	4	3526
82	90	21	49	1	2	1	1412
83	90	15	23	1	2	0	0
84	85	17	24	1	2	0	0
85	50	20	25	1	3	0	0
86	70	8	23	1	3	4	3526
87	70	21	22	1	3	2	2118
88	70	10	38	1	4	6	
89	95	18	23	0	2	2	2118
90	85	19	22	0	3	0	0
91	60	20	25	0	3	3	2824
92	60	13	21	1	3	1	1412
93	95	12	27	1	2	1	1412
94	95	20	27	0	2	4	3526
95	50	14	26	1	2	4	3526
96	90	13	28	0	5	4	3526
97	55	4	24	1	3	1	1412
98	65	14	26	0	5	6	14120
99	85	20	26	1	3	1	1412
100	100	20	27	0	5	2	2118
101	95	17	30	1	3	2	2118
102	85	21	24	0	2	1	1412
103	55	10	31	0	4	5	4236
104	75	13	17	1	3	1	1412

escolaridade

Ensino superior completo
Pos-graduacao em andamento
Ensino superior em andamento
Ensino superior em andamento
Ensino superior em andamento
Ensino superior em andamento
Pos-graduacao completo
Pos-graduacao completo
Ensino superior em andamento
Ensino superior completo
Ensino superior em andamento
Pos-graduacao em andamento
Pos-graduacao completo
Ensino superior em andamento
Ensino superior em andamento
Ensino superior completo
Pos-graduacao em andamento
Ensino superior em andamento
Ensino superior em andamento
Ensino superior em andamento
Ensino superior em andamento
Pos-graduacao em andamento
Pos-graduacao em andamento
Ensino superior completo
Ensino superior em andamento
Pos-graduacao em andamento

renda

Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Nenhuma renda
Ate dois salarios minimos (R\$2.824,00)
Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Nenhuma renda
Acima de tres salarios minimos e meio
Acima de tres salarios minimos e meio
Nenhuma renda
Nenhuma renda
Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Nenhuma renda
Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ate dois salarios minimos (R\$2.824,00)
Ate dois salarios minimos (R\$2.824,00)
Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Nenhuma renda
Acima de tres salarios minimos e meio
Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Nenhuma renda
Nenhuma renda
Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ate dois salarios minimos (R\$2.824,00)
Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Nenhuma renda

Ensino superior em andamento	Nenhuma renda
Pos-graduacao completo	Ate dois salarios minimos (R\$2.824,00)
Pos-graduacao completo	Acima de tres salarios minimos e meio
Pos-graduacao em andamento	Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Pos-graduacao completo	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ensino superior em andamento	Nenhuma renda
Ensino superior em andamento	Nenhuma renda
Ensino superior em andamento	Nenhuma renda
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Pos-graduacao em andamento	Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Ensino superior completo	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ensino superior em andamento	Nenhuma renda
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Pos-graduacao completo	Ate tres salarios minimos (R\$4.236,00)
Ensino superior em andamento	Nenhuma renda
Ensino superior completo	Nenhuma renda
Pos-graduacao completo	Ate tres salarios minimos (R\$4.236,00)
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Pos-graduacao completo	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ensino médio completo	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ensino superior completo	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ensino superior completo	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ensino superior completo	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ensino superior em andamento	Nenhuma renda
Ensino superior completo	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ensino superior completo	Nenhuma renda
Pos-graduacao em andamento	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Pos-graduacao completo	Acima de tres salarios minimos e meio
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Pos-graduacao em andamento	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ensino superior em andamento	Ate dois salarios minimos (R\$2.824,00)
Pos-graduacao completo	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Pos-graduacao completo	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ensino superior em andamento	Acima de tres salarios minimos e meio
Pos-graduacao completo	Acima de tres salarios minimos e meio
Pos-graduacao em andamento	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)

Ensino superior em andamento	Acima de tres salarios minimos e meio
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Pos-graduacao completo	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Pos-graduacao em andamento	Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Ensino superior completo	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ensino superior completo	Nenhuma renda
Ensino superior completo	Nenhuma renda
Ensino superior em andamento	Nenhuma renda
Ensino superior em andamento	Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Pos-graduacao completo	Acima de tres salarios minimos e meio
Ensino superior completo	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ensino superior em andamento	Nenhuma renda
Ensino superior em andamento	Ate dois salarios minimos (R\$2.824,00)
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ensino superior completo	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Ensino superior completo	Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Ensino superior completo	Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Pos-graduacao em andamento	Ate dois salarios minimos e meio (R\$3.526,00)
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Pos-graduacao em andamento	Acima de tres salarios minimos e meio
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Pos-graduacao em andamento	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo e meio (R\$2.118,00)
Ensino superior completo	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)
Pos-graduacao completo	Ate tres salarios minimos (R\$4.236,00)
Ensino superior em andamento	Ate um salario minimo (R\$1.412,00)

Apêndice C

Teste de Normalidade dos Resíduos da Regressão e Teste VIF de Multicolinearidade.

```
. jrb6 residuos
```

```
Jarque-Bera normality test: 1.942 Chi(2) .3788
```

```
Jarque-Bera test for Ho: normality: (residuos)
```

```
. vif
```

Variable	VIF	1/VIF
grauderenda	1.35	0.739820
idade	1.21	0.826317
grau_esc	1.19	0.843170
mulher	1.05	0.949422
perc_amb	1.01	0.985232
Mean VIF	1.16	

Teste de *White* para Homocedasticidade

```
. estat intest, white
```

```
White's test for Ho: homoskedasticity
```

```
against Ha: unrestricted heteroskedasticity
```

```
chi2(19) = 13.82
```

```
Prob > chi2 = 0.7940
```

```
Cameron & Trivedi's decomposition of IM-test
```

Source	chi2	df	p
Heteroskedasticity	13.82	19	0.7940
Skewness	9.88	5	0.0788
Kurtosis	2.12	1	0.1455
Total	25.82	25	0.4175