Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

DESENVOLVIMENTO DE UM CONJUNTO DE ALGORITMOS PARA IDENTIFICAÇÃO DA OPERAÇÃO DE CARGAS ELÉTRICAS COM BASE NOS PERFIS DE POTÊNCIA

DEVELOPMENT OF A SET OF ALGORITHMS FOR IDENTIFYING THE OPERATION OF ELECTRICAL LOADS BASED ON POWER PROFILES

Calebe Menezes Da Silva Alves, Elidiane Manoella Santos Silva, Gabriel Fernandes Araújo Dos Santos, Victor Veloso Vieira Ramos, William Nascimento Freitas, Alexandre Shozo Onuki

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Elétrica
E-mails para contato: ca220302@alunos.unisanta.br, es120954@alunos.unisanta.br, gs215520@alunos.unisanta.br, vr241699@alunos.unisanta.br, wf224769@alunos.unisanta.br e onuki@unisanta.br

RESUMO – Este trabalho apresenta algoritmos para identificar a operação de equipamentos residenciais via potências aparente, ativa e reativa, visando à detecção de furto de energia. O desenvolvimento dividiu-se em duas etapas: a primeira definiu as faixas de variação típicas de potência dos aparelhos a partir de levantamentos de consumo; a segunda realizou a comparação entre o padrão estabelecido e amostras genéricas para quantificar a similaridade via Fator de Similaridade Final. Para validação, medições por osciloscópio avaliaram oito eletrodomésticos em duas fases. Com Fator de Ampliação de Faixa ajustado em 10%, 30% ou 40% para os aparelhos testados, a identificação atingiu de 74,5% a 100%. A viabilidade técnica foi confirmada, assim como a necessidade de padrões por regime de operação.

Palavras-chave: Reconhecimento de padrão; Equipamentos elétricos residenciais; Medição elétrica; Detecção de furto de energia.

ABSTRACT – This work presents algorithms to identify the operation of residential equipment via apparent, active, and reactive powers, aiming at the detection of energy theft. The development was divided into two stages: the first defined the typical power variation ranges of the appliances based on consumption surveys; the second performed the comparison between the established pattern and generic samples to quantify the similarity via the Final Similarity Factor. For validation, oscilloscope measurements evaluated eight home appliances in two phases. With the Range Amplification Factor adjusted at 10%, 30%, or 40% for the tested appliances, the identification reached from 74.5% to 100%. Technical feasibility was confirmed, as well as the need for patterns per operation regime.

Keywords: Pattern recognition; Residential electrical appliances; Electrical measurement; Electricity theft detection.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho constitui a etapa inicial de uma pesquisa que visa identificar furtos de energia elétrica por meio do monitoramento do padrão de consumo do usuário. Vale destacar que o furto de energia elétrica é um problema enfrentado por distribuidoras em diversos países, com impactos financeiros e na qualidade do fornecimento (Smith, 2004). Essas irregularidades, classificadas como perdas não técnicas, ocorrem por meio de ligações clandestinas, manipulação de medidores e desvios diretos da rede (Depuru, Wang e Devabhaktuni, 2011). No Brasil, as perdas não técnicas corresponderam a 6,7% da energia injetada nas redes de distribuição em 2023 (38,2 TWh), e as perdas totais, a 14,1% (ANEEL, 2024); parte desses custos é repassada às tarifas e recai sobre os consumidores regulares.

Considerando que as cargas têm comportamento elétrico característico e funcionamento previsível, como, por exemplo, uma geladeira que opera de forma praticamente contínua em uma residência, a falta do registro de operação indica uma irregularidade. A identificação de equipamentos a partir de medições elétricas é estudada desde os trabalhos sobre monitoramento não intrusivo de cargas, em que variações das potências ativa e reativa são associadas à entrada e à saída dos equipamentos (Hart, 1992).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver e testar um conjunto de algoritmos, capaz de definir padrões de comportamento das potências aparente, ativa e reativa de equipamentos elétricos residenciais e de quantificar a similaridade entre novas medições e esses padrões, de modo a identificar a operação das cargas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa possui caráter aplicado e experimental e foi desenvolvida nas seguintes etapas: (1) levantamento do comportamento da potência elétrica de diferentes equipamentos residenciais típicos, considerando as características de operação de cada carga; (2) desenvolvimento de um conjunto de algoritmos para identificar o funcionamento de equipamentos elétricos com base no comportamento e na variação dos parâmetros de potência; (3) implementação dos algoritmos em uma planilha eletrônica, visando à execução dos procedimentos de análise e à identificação das cargas em operação; (4) realização de testes de desempenho dos algoritmos, com o objetivo de avaliar sua eficácia na detecção e identificação do funcionamento dos equipamentos elétricos; (5) ajuste e otimização dos algoritmos, com base

ISSN 2317-1316

nos resultados obtidos durante os testes, buscando aprimorar a precisão e a confiabilidade do processo de identificação das cargas; (6) análise e discussão dos resultados obtidos, considerando o desempenho dos algoritmos, suas limitações e a viabilidade de aplicação do método proposto.

2.1 Levantamento do comportamento da potência elétrica de diferentes equipamentos residenciais típicos

2.1.1 Considerações Iniciais sobre o processo de Medição das Potências

As medições foram realizadas em uma instalação elétrica residencial, utilizando um osciloscópio digital da marca GW Instek, modelo GDS-3154, equipado com quatro canais e capacidade de registro de 2.500 amostras de tensão e corrente. Para a aquisição dos dados, foi adotado um intervalo de amostragem de 100 ms entre os registros, possibilitando a obtenção de 416 amostras por ciclo, conforme a frequência do sinal analisado. Para a medição da corrente elétrica, foi utilizado um transdutor de corrente da marca Tektronix, modelo A622, com relação de conversão de 10 mV/A e, para o levantamento da tensão, foi utilizada uma ponta de prova com atenuação de 100:1.

2.1.2 Registros das Potências dos equipamentos

É importante destacar que foram realizados dois levantamentos, cada um composto por dez amostras, em períodos distintos. O primeiro levantamento teve como objetivo determinar os padrões de comportamento das cargas elétricas residenciais, enquanto o segundo foi utilizado para avaliar o funcionamento e o desempenho dos algoritmos desenvolvidos. Ressalta-se, ainda, que a residência utilizada para a realização das medições possui uma instalação elétrica com tensão nominal de 220 V.

As especificações dos equipamentos são descritas a seguir, e a Tabela 1 apresenta uma das medições do primeiro levantamento de cada um deles.

a) Geladeira convencional

A geladeira monitorada possui 464 litros, da marca Electrolux, modelo TF52, com alimentação em 220 V; a potência não foi informada pelo fabricante.

ISSN 2317-1316

b) Ar-condicionado convencional

O ar-condicionado monitorado é do tipo split hi-wall, da marca Gree, modelo Eco Garden GWC09QA-D3NNB4D, com capacidade de 9.000 BTU/h, somente frio, com alimentação em 220 V.

c) Ar-condicionado Inverter

O ar-condicionado inverter monitorado é do tipo split hi-wall, da marca Hitachi, modelo AirHome, com capacidade de 9.000 BTU/h, somente frio, gás refrigerante R-32 e alimentação em 220 V.

d) Micro-ondas

O micro-ondas monitorado é da marca Brastemp, modelo BMG45AR, com capacidade de 32 litros e função grill.

e) Air Fryer (fritadeira sem óleo)

A air fryer monitorada é da marca Philips Walita, Série 1000 XL, com capacidade de 6,2 litros, potência nominal de 1.700 W e alimentação em 220 V.

f) Chuveiro eletrônico

O chuveiro monitorado é da marca Lorenzetti, modelo Loren Shower Eletrônico Ultra, com potência nominal de 7.500 W e controle eletrônico de temperatura.

g) Grill Sanduicheira

A grill sanduicheira monitorada é da marca Chefman, modelo Grill Panini, com potência nominal de 1.500 W.

h) Cafeteira

A cafeteira monitorada é da marca Arno, modelo Cool Touch CFCT e potência nominal de 820 W.

ISSN 2317-1316

Tabela 1: Exemplo de medição de cada equipamento – levantamento 01

Equipamento	Vrms (V)	Irms (A)	Aparente (VA)	Ativa (W)	Reativa (VAr)	FP
Geladeira	218,005	1,102	240,270	154,766	183,732	0,644
Ar-cond. convencional	219,083	2,668	584,533	560,799	164,711	0,959
Ar-cond. inverter	219,352	2,737	600,346	558,371	218,824	0,930
Micro-ondas	230,290	7,082	1.631,634	1.522,252	578,108	0,933
Air fryer	219,996	7,598	1.672,146	1.670,826	65,237	0,999
Chuveiro eletrônico	213,487	28,585	6.110,165	5.638,816	2.300,125	0,921
Sanduicheira	219,249	6,686	1.466,257	1.465,106	57,790	0,999
Cafeteira	219,341	3,654	801,848	799,420	61,816	0,997

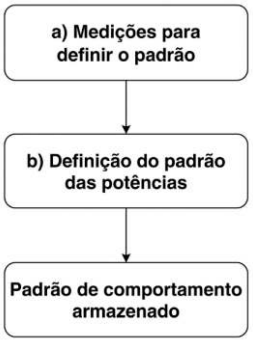
2.2 Descrição do Conjunto de Algoritmos desenvolvido

O conjunto de algoritmos é composto por duas estruturas, a primeira define o padrão de comportamento das potências de cada equipamento a partir das medições do primeiro levantamento e a segunda quantifica a similaridade entre um conjunto de medições e um padrão definido, ambas utilizam as potências aparente (S), ativa (P) e reativa (Q) como parâmetros para tal comparativo.

2.2.1 Estrutura dos Algoritmos para definição dos padrões do comportamento das potências

A primeira estrutura do conjunto de algoritmos é apresentada no fluxograma da Figura 1 e é composta por duas etapas: a obtenção das medições e a definição das faixas que caracterizam o padrão de comportamento das potências.

Figura 1: Estrutura do conjunto de algoritmos para determinação do padrão de comportamento da potência.



a) Medições para definir o padrão de comportamento das Potências

Nesta etapa são realizadas diversas medições das potências aparente, ativa e reativa do equipamento em uma condição típica de operação. Neste trabalho, os padrões foram definidos com as medições do primeiro levantamento.

ISSN 2317-1316

b) Definição do padrão dos Valores das Potências dos Equipamentos

Nesta fase, o sistema determinará a faixa padrão para cada equipamento, sendo esta composta pelo valor máximo (V_{Max}), mínimo (V_{Min}) e médio (V_{Med}) de cada parâmetro. Tais faixas determinam os limites considerados normais de cada parâmetro e são descritas, respectivamente, pelas Equações (1) a (3).

$$V_{Max}=V_{Mx}+\left(\frac{FAF}{100}\times V_{Mx}\right) \quad (1)$$

$$V_{Min}=V_{Mn}-\left(\frac{FAF}{100}\times V_{Mn}\right) \quad (2)$$

$$V_{Med}=\frac{\sum M_A}{N_A} \quad (3)$$

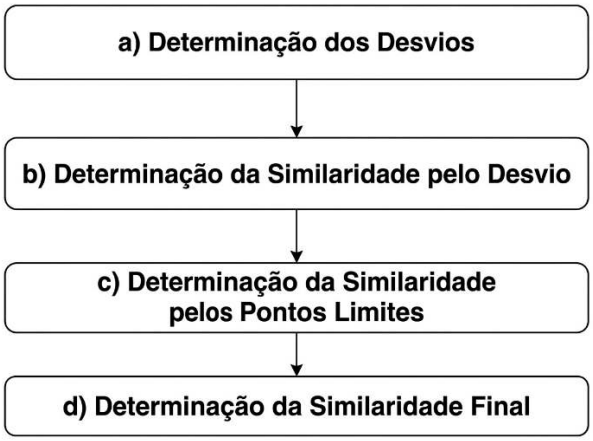
Onde: $FAF\text{-}Fator\ para\ Ampliação\ de\ Faixa$;
$V_{Mx}\text{-}Valor\ máximo\ dos\ parâmetros\ em\ um\ conjunto\ de\ amostras$;
$V_{Mn}\text{-}Valor\ mínimo\ dos\ parâmetros\ em\ um\ conjunto\ de\ amostras$;
$V_{Max}\text{-}Valor\ máximo\ Ampliado\ dos\ parâmetros\ em\ um\ conjunto\ de\ amostras$;
$V_{Min}\text{-}Valor\ mínimo\ Ampliado\ dos\ parâmetros\ em\ um\ conjunto\ de\ amostras$;
$V_{Med}\text{-}Valor\ médio\ dos\ parâmetros\ em\ um\ conjunto\ de\ amostras$;
$M_A\text{-}Valores\ das\ Amostras\ em\ um\ conjunto\ de\ amostras$;
$N_A\text{-}Número\ de\ Amostras\ em\ um\ conjunto\ de\ amostras.$

2.2.2 Estrutura dos Algoritmos para aferição da similaridade entre um conjunto de amostras e um padrão definido

A segunda estrutura, ilustrada no fluxograma da Figura 2, compara um conjunto de medições com um padrão definido e quantifica a similaridade em quatro etapas, descritas a seguir.

ISSN 2317-1316

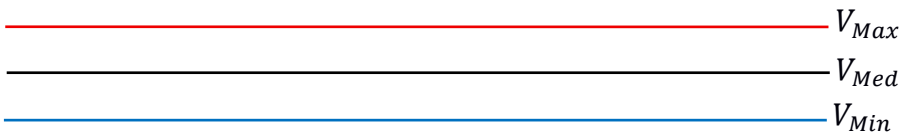
Figura 2: Estrutura do conjunto de algoritmos para quantificação da similaridade.



a) Determinação dos Desvios de Medição

Nesta fase do cálculo, determina-se o desvio V_{dm} (de uma determinada amostra) considerando uma determinada faixa padrão, tendo como objetivo a normalização do parâmetro. Esse parâmetro define se uma amostra está inserida na faixa padrão: o valor igual a zero significa total similaridade, enquanto o valor superior a 1 indica não compatibilidade, ou seja, amostra fora dos limites da faixa padrão, composta basicamente por três níveis, conforme a Figura 3.

Figura 3: Faixa padrão de normalidade.



Para determinar estes desvios, existem duas regras básicas: quando a amostra V_{am} é superior a V_{Med} , o parâmetro é determinado pela Equação (4); quando estiver na parte inferior, o valor é definido pela Equação (5).

$$V_{dm}=\frac{V_{am}-V_{Med}}{V_{Max}-V_{Med}} \quad (4)$$

$$V_{dm}=\frac{V_{Med}-V_{am}}{V_{Med}-V_{Min}} \quad (5)$$

b) Similaridade em função dos desvios de medição

Considerando que existirão inúmeros valores de amostras V_{am} também existirá a mesma quantidade de desvios. Esta parte do processo decisório tem por objetivo a definição do

ISSN 2317-1316

percentual de semelhança baseado nos valores dos desvios calculados, e o resultado varia em termos percentuais (0 – 100%).

Na primeira parte, é definida a média dos valores dos desvios das amostras Vm_{am} em um determinado intervalo de operação.

Em seguida, o usuário define os limites de similaridade, caracterizados por dois parâmetros (conforme as características do sistema): Ls_{inf} referente ao limite inferior que determina o índice mínimo que o sistema considera totalmente similar e Ls_{sup} referente ao limite superior que de forma inversa define que a amostra não tem similaridade ao padrão definido. Os valores localizados nessa faixa variam entre 0 e 100% através de uma equação linear.

Após as etapas iniciais, é determinado o fator de similaridade S_{dm} por meio de um conjunto de regras, conforme descrito a seguir:

- Quando $Vm_{am} \leq Ls_{inf}$ o fator de similaridade S_{dm}=100%, ou seja, a amostra é considerada totalmente similar ao padrão utilizado;
- Quando $Vm_{am} \geq Ls_{\text{sup}}$ o fator de similaridade S_{dm}=0%, ou seja, a amostra é considerada totalmente incompatível ao padrão utilizado;
- Quando $Ls_{inf}<Vm_{am}<Ls_{\text{sup}}$ o fator de similaridade Sp_{dm} é determinado pela Equação (6).

$$Sp_{dm}=\left[1-\left(\frac{Vm_{am}-Ls_{inf}}{Ls_{\text{sup}}-Ls_{inf}}\right)\right]\times 100 \qquad (6)$$

- Vale destacar que a análise é realizada em todos os parâmetros de potência e o resultado da similaridade entre os conjuntos analisados S_{dm} é a média em questão.

c) Similaridade em função dos desvios da quantidade de amostras inseridas na faixa de normalidade

Outro fator considerado no processo de avaliação da similaridade de um conjunto de amostras Sp_{fn} é a proporção de desvios que se encontram dentro do intervalo normalizado. Neste trabalho, considera-se que uma amostra está dentro da faixa estabelecida quando o valor do desvio é inferior ou igual a 1. Assim como no item anterior, o resultado é expresso em termos percentuais, variando de 0% a 100%.

ISSN 2317-1316

A primeira parte consiste em contabilizar as amostras que possuem o desvio inferior ou igual a 1 e dividir o número encontrado pela quantidade de amostras analisadas; esse parâmetro foi denominado Nd_{faixa} e é expresso em percentual.

Em seguida, o usuário deverá definir o percentual mínimo de amostras dentro da faixa de normalidade ln_{inf} para que o conjunto de amostras seja considerado similar ao padrão.

- Caso Nd_{faixa}>ln_{inf} o sistema assumirá que o conjunto de amostras é totalmente compatível (Sp_{fn}=100%).
- Porém se Nd_{faixa}<ln_{inf} os valores abaixo do índice definido por ln_{inf} terão Sp_{fn} proporcional, definido pela Equação (7).

$$Sp_{fn}=\left(\frac{Nd_{faixa}}{ln_{inf}}\right)\times 100 \quad (7)$$

- De forma análoga ao item anterior, a análise é realizada em todos os parâmetros de potência e o resultado da similaridade entre os conjuntos analisados S_{fn} é a média em questão.

d) Similaridade Final

Considerando as duas variáveis S_{dm} e S_{fn}, é possível determinar o fator de similaridade final S_f obtido pela Equação (8):

$$S_f=\frac{(S_{dm}\times Fp_{dm})+(S_{fn}\times Fp_{nf})}{Fp_{dm}+Fp_{nf}} \quad (8)$$

Onde: $Fp_{dm}=Fator\ de\ ponderação\ para\ similaridade\ referente\ ao\ desvio$; $Fp_{nf}=Fator\ de\ ponderação\ para\ similaridade\ referente\ ao\ número\ de\ amostras.$

Os fatores de ponderação podem assumir valores de 0 a 1, conforme as preferências do usuário.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ajustes Iniciais

Inicialmente, foi realizada uma análise para a determinação das oscilações naturais das medições e suas particularidades e, por meio de uma avaliação técnica, foram determinados os ajustes descritos na Tabela 2.

ISSN 2317-1316

Tabela 2: Parâmetros adotados no conjunto de algoritmos

Parâmetro	Valor
FAF – Geladeira e Chuveiro	10%
FAF – Ar-condicionado Inverter	40%
Ls_{inf} / Ls_{sup}	0,5 / 1,5
ln_{inf}	90%

3.2 Padrões Obtidos

Os padrões de comportamento da geladeira, do ar-condicionado inverter e do chuveiro, definidos pelas Equações (1) a (3) a partir do primeiro levantamento, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Padrões de comportamento das potências

Equipamento	Potência	V_{Max}	V_{Med}	V_{Min}
Geladeira	S (VA)	264,30	236,04	209,58
	P (W)	170,24	147,57	128,70
	Q (VAr)	203,79	184,17	163,54
Ar-condicionado Inverter	S (VA)	907,08	618,35	360,21
	P (W)	850,39	575,29	335,02
	Q (VAr)	325,79	225,15	131,29
Chuveiro	S (VA)	7.015,31	6.309,27	5.499,15
	P (W)	6.538,11	5.860,57	5.074,93
	Q (VAr)	2.672,77	2.284,32	2.011,16

No padrão, a geladeira mostrou faixa estreita e potência reativa superior à ativa devido à característica do motor do compressor. O chuveiro eletrônico apresenta a maior potência ativa média (5.860,6 W) e reativa de 2.284,3 VAr, associada ao controle eletrônico. O ar-condicionado inverter tem a faixa mais larga, pois o FAF = 40% foi necessário para acomodar a variação de demanda do compressor.

3.3 Resultados em relação à similaridade entre os equipamentos

A Tabela 4 apresenta a comparação entre os três padrões e todas as medições do segundo levantamento. Os valores destacados mostram o comportamento do equipamento contra o próprio padrão.

ISSN 2317-1316

Tabela 4: Similaridade final FSF entre os padrões e as medições do segundo levantamento

Medições	Fator de Similaridade *FSF*		
(levantamento 02)	Geladeira	Ar-Condicionado Inverter	Chuveiro
Ar-condicionado convencional	0,0%	83,1%	0,0%
Ar-condicionado inverter	0,0%	**74,5%**	0,0%
Chuveiro eletrônico	0,0%	0,0%	**100,0%**
Geladeira convencional	**99,2%**	38,8%	0,0%
Micro-ondas	0,0%	0,0%	0,0%
Air fryer	0,0%	0,0%	0,0%
Sanduicheira	0,0%	0,0%	0,0%
Cafeteira	0,0%	55,0%	0,0%

3.4 Análise dos Resultados Obtidos

Os padrões da geladeira e do chuveiro demonstram um resultado esperado, pois reconheceram as medições do próprio equipamento (FSF entre 99,2 e 100%) e não apresentaram nenhuma similaridade com os demais, já que suas faixas de potência não se sobrepõem às dos outros equipamentos avaliados.

O padrão do ar-condicionado inverter reconheceu as próprias medições com FSF = 74,5%, valor inferior ao dos demais. As cinco primeiras medições do segundo levantamento (648 W a 796 W) ficaram dentro da faixa, mas as cinco últimas (894 W a 1.007 W) ultrapassaram o limite superior de potência ativa (850,4 W), mesmo com FAF de 40%. Ademais, a faixa ampla resultou em similaridade de 83,1% para o ar-condicionado convencional, valor superior ao do próprio inverter, 55,0% para a cafeteira e 38,8% para a geladeira.

Portanto, a técnica funcionou para cargas de comportamento estável, como a geladeira e o chuveiro, e, com os padrões dos demais equipamentos, também reconheceu o micro-ondas (100%) e o ar-condicionado convencional (94,3%). Para cargas com potência variável, como os condicionadores de ar, cuja demanda depende da temperatura ambiente e é maior no período inicial de refrigeração, a faixa única não representou adequadamente o equipamento: a ampliação da faixa melhorou o reconhecimento, mas reduziu a capacidade de distinguir outras cargas.

Uma solução analisada foi atribuir cada conjunto de medições ao padrão de maior FSF; com esse critério, todos os equipamentos com padrão foram identificados corretamente e nenhuma carga sem padrão superou 60%.

ISSN 2317-1316

4 CONCLUSÃO

Os resultados do trabalho demonstraram a eficácia do método, alcançando taxas de reconhecimento de 100% para o chuveiro, que se comportou como uma carga estável, e de 99,2% para a geladeira. O ar-condicionado inverter obteve 74,5% de acerto, enquanto nenhuma das cargas sem padrão registrou correspondência acima de 60%. Por outro lado, notou-se que o ar-condicionado apresenta uma carga muito variável em função das condições climáticas e de uso. Essa variação acaba sendo bem mais expressiva no período inicial de refrigeração do ambiente. Como próximos passos, o grupo pretende construir padrões por regime de operação a partir de medições feitas apenas após a estabilização da carga. Pretende-se também focar no desenvolvimento da detecção de chaveamento, avaliando as variações da corrente ou da potência. O desenvolvimento destes passos vai permitir comparar o consumo estimado com o valor medido, ajudando a detectar possíveis furtos de energia elétrica.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se o Claude, assistente de inteligência artificial desenvolvido pela Anthropic, como ferramenta de apoio ao processamento e à verificação dos dados obtidos nas medições, à conferência dos cálculos implementados em planilha eletrônica, à elaboração de fluxogramas e tabelas, bem como à organização, redação e revisão de trechos do texto. Todo o conteúdo produzido com o auxílio dessa ferramenta foi revisado, editado e validado pelos autores, que assumem integral responsabilidade pelas informações apresentadas e pelo conteúdo final do trabalho.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Perdas de energia elétrica na distribuição**: relatório com dados de 2023. Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/perdasenergias. Acesso em: 17 out. 2026.

DEPURU, S. S. S. R.; WANG, L.; DEVABHAKTUNI, V. Electricity theft: overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft. Energy Policy, v. 39, n. 2, p. 1007-1015, 2011.

HART, G. W. Nonintrusive appliance load monitoring. Proceedings of the IEEE, v. 80, n. 12, p. 1870-1891, 1992.

SMITH, T. B. Electricity theft: a comparative analysis. Energy Policy, v. 32, n. 18, p. 2067-2076, 2004.