

Impactos da gestão de energia e eficiência energética na redução de demanda de ponta e economia de energia – Estudo de caso: Programa Luz Solidária Enel Rio de Janeiro

Thamires Ferreira de Souza ¹

Adriano Pinheiros Fragoso ¹

Márcio Zamboti Fortes ¹

Luana Merenciano da Silva¹

Luiz Octávio Gavião²

Gilson Brito Alves Lima ¹

¹ Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói – RJ, Brasil.

² Escola Superior de Guerra – ESG, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

Resumo:

O presente trabalho apresenta um estudo de caso cuja finalidade é analisar o impacto da gestão de energia e eficiência energética do Programa Luz Solidária Enel. Este programa vem incentivando clientes de natureza residencial da Enel Distribuição Rio a adquirir eletrodomésticos com selo *PROCEL* no que diz respeito a redução de demanda de ponta e economia de energia. A análise foi seccionada com base na área de concessão da Enel Distribuição Rio, onde os clientes de tipologia residencial participantes da campanha vendas tiveram os dados de consumo de energia dos eletrodomésticos eficiente e ineficiente, coletados de acordo com a resolução normativa nº 556/2013 do Procedimento do Programa de Eficiência Energética, regidos pela *ANEEL*. Foram analisados os *retrofits* dos sistemas de refrigeração, climatização e iluminação, que no setor residencial possuem o maior índice de consumo de energia e para efeito do impacto na demanda de energia foi verificado o consumo de energia evitada e redução de demanda de ponta.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Refrigeração, Climatização, Iluminação, Redução do Consumo de Energia e Demanda de ponta.

Abstract:

This work presents a case study whose evaluation is the impact of energy management and energy efficiency of the Enel Solidary Light Program. This program has been encouraging residential customers of Enel Distribuição Rio to purchase appliances with the Procel seal in terms of demand reduction cutting edge and energy saving. The analysis was sectioned based on the concession area of Enel Distribuição Rio, where the residential customers participating in the sales campaign had their energy consumption data for the efficient and inefficient appliances collected in accordance with Normative Resolution nº. 556/2013 of the Procedure

of the Energy Efficiency Program, governed by *ANEEL*. The retrofits of the cooling, air conditioning, and lighting systems were analyzed, which in the residential sector have the highest energy consumption index, and for the effect of the impact on energy demand, avoided energy consumption and reduction were verified cutting-edge demand.

Keywords: Energy Efficiency, Refrigeration, Air Conditioning, Lighting, Reduction of Energy Consumption and Peak Demand.

1. INTRODUÇÃO

Nos anos 70, o segmento da energia foi marcado por uma grave crise do petróleo. Assim como grande parte dos países, o Brasil foi muito impactado por essa crise, de maneira que foi forçado a desenvolver formas de reorganização do consumo de energia do país. Os primeiros passos para o início de um novo conceito de consumo de energia ocorreram em 1975, em decorrência de um seminário dirigido pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Essas iniciativas não foram suficientes para impedir o 2º choque da crise do Petróleo no Brasil, exigindo celeridade no processo de implementação de programas de eficiência energética. A partir da década de 80, o país deu seus primeiros passos em programas de Eficiência Energética. Em 1984, o Brasil lançou o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE coordenado pelo INMETRO. Em 1985, vinculado ao Ministério das Minas e Energia (MME) e a Eletrobrás, foi criado também o Programa Nacional de Conservação de Energia – PROCEL. [1]

Apesar desses avanços, o MME encontrou dificuldades em seu processo de concepção. A tarifa baixa, recursos insuficientes e a resistência das concessionárias foram alguns dos limitadores, sendo mitigados por meio de arranjos institucionais. Essas estratégias foram fundamentais para a disseminação do que conhecemos hoje por Eficiência Energética no Brasil. [1]

Com passos mais sólidos sobre como ter o apoio das distribuidoras, foi criado o programa de Investimento em Eficiência Energética pelas concessionárias de energia, que previa o investimento de 1% do faturamento líquido das distribuidoras. Então, a partir de 2001, novo arcabouço legal foi elaborado, a exemplo da Lei nº 10.295 - Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. A nova legislação foi responsável pelo estabelecimento de mudanças institucionais, como o marco legal e o realinhamento tarifário. Além dessas medidas, foram implantados mecanismos de controle de energia, de financiamento, de apoio e de mercado. [2]

De acordo com o descrito por Patterson [3], a eficiência energética é a redução da energia requerida para a produção de uma mesma quantidade de serviços. E segundo Lund [4], o desenvolvimento sustentável e a eficiência energética estão diretamente ligados à redução de demanda, melhorias da eficiência na produção de energia e a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis. Complementando estas ideias, Silva e Nassar [5], dizem que a eficiência energética tem um papel fundamental na redução do uso de recursos energéticos não duráveis, por meio da utilização de recursos renováveis para a produção de energia, e a redução do custo da energia elétrica para o consumidor final. E ainda segundo Silva e Nassar [5], ações de eficiência energética contribuem significativamente para a redução do consumo e desperdício de energia, pois cada quilowatt economizado representa um ganho na redução de geração de energia.

Em que pese a complexidade dos projetos de energia e eficiência energética, os sistemas de gestão são primordiais para o sucesso de projetos desse segmento. A necessidade de ações contínuas e pontuais para a minimização dos impactos da alta demanda de energia e custo da energia desencadeiam no minucioso acompanhamento com o objetivo de garantir a eficiência do projeto em execução. [6]

Atualmente, os setores energéticos que possuem o maior consumo de energia são industrial, residencial e comercial. Em conjunto, estes setores chegaram a consumir mais de 80% da energia produzida no país. Por este motivo os projetos de eficiência que envolvem esses setores de consumo têm grande impacto na redução do consumo e demanda de energia do país. [7]

Este artigo tem como finalidade analisar os impactos da gestão da eficiência energética do programa Luz Solidária, implementado em 2015 pela Enel Distribuição Rio. A presente análise terá como corte seguindo os parâmetros pré-estabelecidos na lei 9.991:2000 [8] que determina que as concessionárias de energia do Brasil deverão investir 0,50% da receita operacional líquida em programas de eficiência energética e programas de pesquisa e desenvolvimento.

2. O PROGRAMA LUZ SOLIDÁRIA

O programa Luz Solidária [9] foi idealizado para consumidores de energia enquadrados na tipologia residencial, atendendo a Lei nº 9.991:2000 [8] que determinou a aplicação mínima de 0,50% da Receita Operacional Líquida (ROL) das concessionárias distribuidoras

de energia elétrica em Programas de Eficiência Energética (PEE). O projeto seguiu os procedimentos contidos na Resolução Normativa (RN) nº 556/2013 [10], da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabeleceu os Procedimentos para a aplicação dos recursos em Programas de Eficiência Energética (PROPEE). [11]

Implantado no Rio de Janeiro em 2015[12], o programa teve por finalidade incentivar a venda de eletrodomésticos com baixo consumo de energia. A iniciativa permitiu que os consumidores de classe residencial da Enel adquirissem 50% de desconto na compra de freezers, geladeiras e aparelhos de ar-condicionado, selecionados dentro dos critérios estabelecidos no Programa de Nacional de Conservação de Energia, ou seja, o projeto disponibilizou desconto na compra de eletrodomésticos com o selo PROCEL [13] que por sua vez dá a garantia de menor consumo de energia.

A fim de garantir que os eletrodomésticos ineficientes não continuem em uso, o projeto realizou a logística reversa de forma que ao comprar um equipamento novo, o consumidor deveria entregar seu equipamento usado, que por sua vez, era recolhido e descartado de acordo com a legislação nacional de tratamento dos resíduos sólidos. [14]

Além da venda de eletrodomésticos eficientes, o projeto doou réguas inteligentes aos primeiros dois mil participantes da campanha. Um aparelho que proporciona a redução do consumo energia em eletroeletrônicos com função *standby*. [15]

O projeto ainda realizou a troca de lâmpadas fluorescentes e/ou incandescentes por lâmpadas de LED com selo PROCEL, nas comunidades da área de concessão da Enel. Seguindo o mesmo procedimento da logística reversa dos equipamentos, as lâmpadas ineficientes eram coletadas e destinadas ao ponto de reciclagem para o descarte correto. [14]

A análise em questão trata-se da terceira edição do programa Luz Solidária Enel Rio, que teve a duração de 13 meses. Neste período foram concedidos R\$3.458.872,50 em descontos em eletrodomésticos com selo PROCEL, dos quais foram distribuídos na venda de 2486 geladeiras, 73 freezers e 384 aparelhos de ar-condicionado. Além disso foram trocadas seis mil lâmpadas incandescentes e fluorescentes por lâmpadas LED.[12][15]

3. MÉTODO DE PESQUISA

A fim de analisar os efeitos da Ação de Eficiência Energética (AEE), foram utilizados como referência os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE – de acordo com a resolução normativa da ANEEL nº556/2013 [10], o Guia de Medição e

Verificação para Programas de Eficiência Energética – 2014 ANEEL [16] e o Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance – PIMVP, EVO 2012. [17]

Com base nas orientações previstas no Volume I do PIMVP [17], quando não é possível analisar o consumo de energia com precisão não se pode fazer nenhuma exclusão das medições realizadas, pois se perderia a representação da dispersão existente no grupo analisado, a qual traz as características efetivas dos hábitos dos consumidores. Desta forma e conforme as regras de formulação de amostras, utilizou-se o maior número de medidas ou pontos que estivessem dentro dos intervalos de dispersão ($R^2 \geq 0,75$). Uma vez ordenadas pela terceira dimensão, buscou-se então selecionar o maior número de pontos ao redor da média, a fim de se obter o maior R^2 da amostra. O valor do R^2 é inversamente proporcional ao valor do erro da amostragem, ou seja, quanto menor o erro, melhor o R^2 e melhor a representatividade da regressão linear simples a ser obtida. A equação obtida garantiu que para qualquer ponto da amostragem, o valor obtido para o consumo seria igual aos dados aproximados às informações coletadas nas medições, comprovando que não houve exclusão de valores das medições realizadas.

Com a finalidade de evitar que as amostras coletadas fossem revistas e ajustadas no que diz respeito ao número e qualidade das amostras, a precisão relativa máxima foi de 10%. Para que a escolha dos pontos com o melhor coeficiente de correlação das medições fosse aplicada para a definição dos valores a serem processados, utilizou-se um índice, ou fator, que apresentasse correlação entre o consumo diário de energia elétrica e a variação de temperatura. Sendo assim, foi criada uma terceira dimensão, designada $kWh/\Delta T(^{\circ}C)$, como apoio a escolha desses pontos dentro do universo das amostragens realizadas. Essas dimensões não foram utilizadas nos cálculos, sendo usadas somente para a ordenação em ordem crescente das medições, colocando ao redor da sua média os pontos dessa amostragem que melhor representassem o universo amostral.

Para analisar a correlação linear das variáveis foi utilizado o método estatístico do coeficiente de correlação de Pearson, que por sua vez propõe que se o valor absoluto obtido através das equações for próximo a um, caracteriza que a relação linear é perfeita ou ideal. [18]

Nos casos em que a AEE não possui precisão adequada, o PIMVP dispõe de quatro opções para a determinação da economia de energia. São elas:

- Opção A - Medição isolada da AEE: Medição dos parâmetros-chave

A economia de energia é definida a partir de parâmetros – chave, que determinam o uso de energia do sistema afetado com a AEE. A frequência de medição pode ser curta ou contínua, limitando-se às variações esperadas dos parâmetros e tempo de obtenção da economia.

- Opção B - Medição isolada da AEE: Medição de todos os parâmetros

A economia de energia é definida a partir da medição do campo de consumo afetado pela AEE. A frequência de medição pode ser curta ou contínua, limitando-se às variações esperadas dos parâmetros e tempo de obtenção da economia.

- Opção C – Toda a instalação

A economia de energia é definida pela medição do consumo de energia de toda instalação ou sub instalação. A frequência de medição deve ser contínua durante todo o período de determinação da economia.

- Opção D: Simulação calibrada

A economia de energia é determinada por meio da simulação do consumo de energia de toda a instalação ou subestação.

Abaixo os parâmetros para os cálculos de viabilidade:

- A tipologia do projeto é residencial. Conforme mais bem detalhado no módulo 4 do PROPEE [10].
- A opção para determinação de eficiência energética foi a B para os refrigeradores, congeladores, aparelhos de ar-condicionado e filtros de linha.
- A opção para a determinação da eficiência energética das lâmpadas foi a A.
- Por se tratar de um projeto composto por muitas unidades consumidoras (UC), as ações de M&V foram realizadas por amostragem, conforme previsto no PIMVP.
- O registro do consumo médio da potência elétrica demandada pelos refrigeradores eficientes e ineficientes ocorreu de 06 a 07 dias.
- Foram levados em consideração a variação do consumo de energia de um mês para outro; Perfil de clientes; Economias Moderadas; e Fator de Utilização no Horário de Ponta;
- As fronteiras de medição foram os próprios refrigeradores analisados.

- Devido a variação de perfil de consumo dos clientes residências, foi utilizado o Coeficiente de Correlação de Pearson ou Coeficiente de Correlação de Produto- Momento. [18]

- Para obtenção dos dados do consumo horário médio e valores de demanda dos refrigeradores e ares-condicionados foram considerados os dados coletados pelo multimedidor TR4020 da Embrasul [19].

- Para obtenção dos dados do consumo das lâmpadas as medições foram feitas com o Alicata Wattímetro Modelo Minipa ET-4091 [20]

- Os refrigeradores e congeladores foram considerados em uma categoria única

4. CÁLCULOS

Para o cálculo da energia economizada e a redução de demanda com a implementação do projeto, conforme previsto no PIMPV, foi utilizada metodologia de amostragem que permite uma porcentagem de equipamentos seja analisada. Esta porcentagem foi pré definida através da equação (1).

$$n_0 = \frac{z^2 \times CV^2}{e^2} \quad (1)$$

Onde:

z = Coeficiente para intervalo de confiança;

CV = Coeficiente de variância;

e = Precisão absoluta

4.1 Análise de Eficiência Energética de refrigeradores e congeladores

Ao longo dos 13 meses de execução do projeto analisado, foram realizadas a substituição de 2559 refrigeradores ineficientes, por modelos de refrigeradores com o melhor índice de eficiência do mercado, conforme certificação PROCEL da época.

Para este estudo foram analisados os comportamentos de consumo de energia e energia demanda no sistema ineficiente – refrigeradores velhos – e no sistema eficiente – refrigeradores novos.

Abaixo detalhamos o processo de obtenção dessas grandezas.

4.1.1 Sistema Ineficiente

Foram coletadas as informações do consumo de energia de 97 refrigeradores/congeladores ineficientes, ao longo de 7 dias. A quantidade de amostras para esta análise foi definida através da equação (1) pré-estabelecida de acordo com as normas previstas no PIMVP.

A coleta dos dados de consumo de potência e tempo utilização foram obtidas por meio de um medidor, que por sua vez sincronizava os dados de potência e tempo de uso para a definição da potência horária e o tempo de utilização dos eletrodomésticos analisados. Para o cálculo do consumo médio diário foi multiplicado os valores obtidos da potência horaria com as horas de utilização.

A média dos resultados obtidos com a análise do sistema ineficiente está indicado na Tabela 1.

| | kWh Total Diário | Demanda (kW) |
|--------------|-------------------------|---------------------|
| Média | 1,895 | 0,08 |

Tabela 1. Média dos resultados obtidos

Para o cálculo do consumo diário de energia de cada eletrodoméstico foi necessário levar em consideração a variação de temperatura. Como a utilização dos refrigeradores varia de acordo com o perfil do usuário, a temperatura influencia diretamente no consumo de energia. Ou seja, se utilizarmos apenas os dados obtidos ao longo do período de medição não encontraremos informações precisas do consumo de energia. Desta forma fez-se necessário fazer a regressão de Pearson que é uma correlação entre a temperatura e o consumo de energia das amostras, encontrando uma equação da reta, conforme exposto em (2)

$$\text{Consumo Diário (kWh)} = a * \Delta T (^{\circ}C) + b \quad (2)$$

Onde a e b são os coeficientes obtidos da curva de dispersão das medidas reais utilizando-se dos pontos com o maior coeficiente de correlação dentro da amostragem e ΔT é a diferença da temperatura interna e externa.

Abaixo segue a representação gráfica da equação gerada a partir dos dados coletados das amostras de refrigeradores ineficientes.

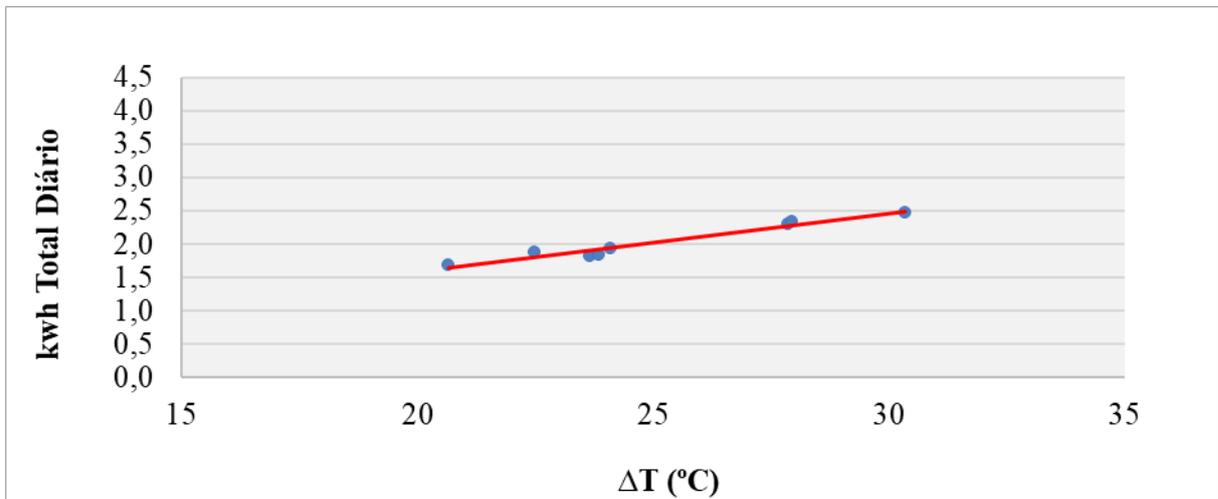


Gráfico 1. Correlação de Pearson dos refrigeradores e congeladores

Encontrada a equação reta definida em (3):

$$Y = 0,0878x - 0,1747 \quad (3)$$

Onde X é a variação da temperatura e Y é o consumo de energia diário.

Para obter o consumo de energia do sistema ineficiente durante um ano de utilização, precisou-se inserir os dados em (3), obtendo os valores de consumo diário. Estes valores multiplicados pela quantidade de dias daquele mês definiram o consumo mensal. Avançando com os cálculos, a fim de se definir a energia consumida durante um ano, somamos os dados mensais obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 2.

| Período (mês) | Temp. Máxima Amb. (°C) | Temp. Média de Conforto (°C) | ΔT (°C) | Consumo Diário (kWh/dia) | Consumo (kWh/Mês) | Demanda (kW) |
|---------------|------------------------|------------------------------|---------|--------------------------|-------------------|--------------|
| agosto-17 | 24,87 | 21,00 | 3,87 | 6,73 | 67,30 | 1,0993 |
| setembro-17 | 30,14 | 21,00 | 9,14 | 21,56 | 215,64 | 3,5224 |
| outubro-17 | 30,95 | 21,00 | 9,95 | 23,84 | 238,44 | 3,8948 |
| novembro-17 | 28,67 | 21,00 | 7,67 | 17,43 | 174,26 | 2,8465 |
| dezembro-17 | 30,29 | 21,00 | 9,29 | 21,99 | 219,86 | 3,5913 |
| janeiro-18 | 30,70 | 21,00 | 9,70 | 23,14 | 231,40 | 3,7799 |
| fevereiro-18 | 29,65 | 21,00 | 8,65 | 20,18 | 201,85 | 3,2971 |
| março-18 | 31,47 | 21,00 | 10,47 | 25,31 | 253,08 | 4,1339 |
| abril-18 | 28,56 | 21,00 | 7,56 | 17,12 | 171,17 | 2,7959 |
| maio-18 | 26,68 | 21,00 | 5,68 | 11,82 | 118,25 | 1,9315 |
| junho-18 | 25,60 | 21,00 | 4,60 | 8,78 | 87,85 | 1,4350 |

| | | | | | | |
|---|-------|-------|------|------|-----------------|---------------|
| julho-18 | 25,35 | 21,00 | 4,35 | 8,08 | 80,81 | 1,3200 |
| Consumo Total (kWh/ano) / Demanda Média (kW) | | | | | 2.059,93 | 2,8040 |

Tabela 2. Média dos dados coletados dos refrigeradores e congeladores ineficientes

4.1.2 Sistema Eficiente

O mesmo procedimento para a medição dos refrigeradores ineficientes foi realizado para a medição dos refrigeradores eficientes. A média dos dados obtidos com a coleta dos dados ao longo dos 07 dias está apresentado na Tabela 3.

| | kWh Total Diário | Demanda (kW) |
|--------------|-------------------------|---------------------|
| Média | 0,6481 | 0,03 |

Tabela 3. Média dos resultados obtidos

Para este sistema, a variável independente continua sendo a temperatura, e por isso se faz necessário a realização do ajuste para seguir o método de Correlação do Pearson. Desta forma, obtemos a equação da reta ilustrada no Gráfico 2.

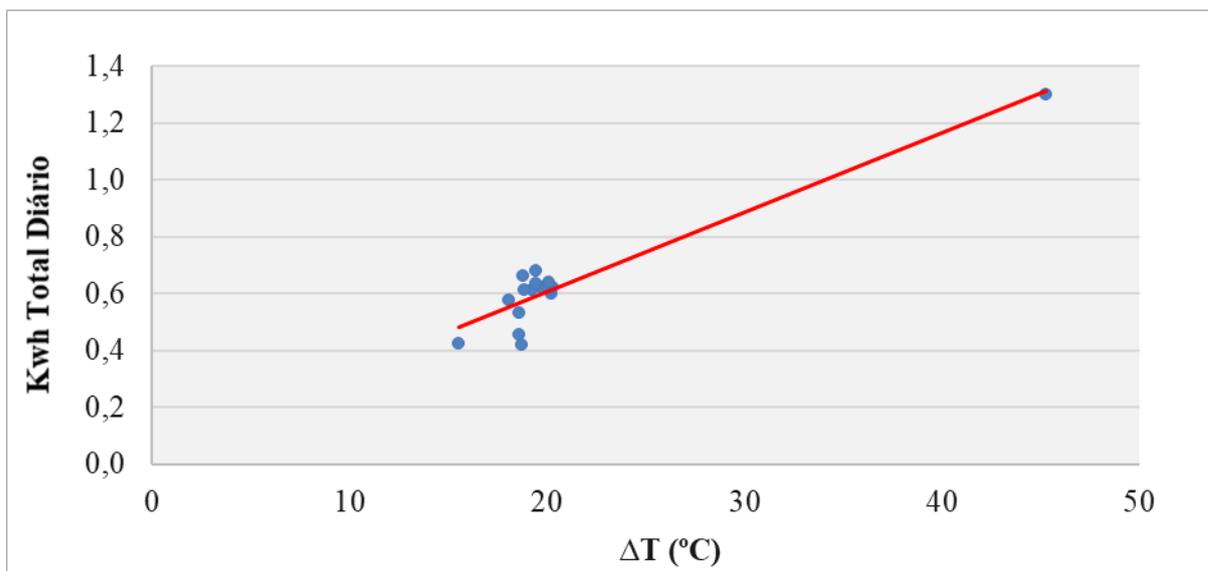


Gráfico 2. Correlação de Pearson dos refrigeradores e congeladores

Fazendo a aplicação da equação da reta e extrapolando os valores para os meses obtemos os resultados apresentados na Tabela 4.

| Período (mês) | Temp. Máxima Amb. (°C) | Temp. Média de Conforto (°C) | ΔT (°C) | Consumo Diário (kWh/dia) | Consumo (kWh/Mês) | Demanda (kW) |
|---|------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------|---------------|
| agosto-17 | 24,87 | 4,920 | 19,95 | 0,60 | 18,71 | 0,0252 |
| setembro-17 | 30,14 | 4,920 | 25,22 | 0,75 | 22,52 | 0,0313 |
| outubro-17 | 30,95 | 4,920 | 26,03 | 0,77 | 23,97 | 0,0322 |
| novembro-17 | 28,67 | 4,920 | 23,75 | 0,71 | 21,29 | 0,0296 |
| dezembro-17 | 30,29 | 4,920 | 25,37 | 0,75 | 23,40 | 0,0315 |
| janeiro-18 | 30,70 | 4,920 | 25,78 | 0,77 | 23,76 | 0,0319 |
| fevereiro-18 | 29,65 | 4,920 | 24,73 | 0,74 | 20,64 | 0,0307 |
| março-18 | 31,47 | 4,920 | 26,55 | 0,79 | 24,42 | 0,0328 |
| abril-18 | 28,56 | 4,920 | 23,64 | 0,71 | 21,20 | 0,0294 |
| maio-18 | 26,68 | 4,920 | 21,76 | 0,65 | 20,28 | 0,0273 |
| junho-18 | 25,60 | 4,920 | 20,68 | 0,62 | 18,72 | 0,0260 |
| julho-18 | 25,35 | 4,920 | 20,43 | 0,62 | 19,13 | 0,0257 |
| Consumo Total (kWh/ano) / Demanda Média (kW) | | | | | 258,05 | 0,0295 |

Tabela 4. Média dos dados coletados dos refrigeradores e congeladores eficientes

4.2 Análise de Eficiência Energética de aparelhos de ar-condicionado

4.2.1 Sistema Ineficiente

Para a análise da eficiência energética dos aparelhos de ar-condicionado foi necessário considerar a variação da capacidade de climatização do equipamento de acordo com o perfil de utilização de cada cliente. E para isso, foi considerada a temperatura setada durante o período de leitura do consumo de energia das 71 amostras pré definidas com base na Equação (1). Além disso, para chegar na resultante do tempo de utilização dos aparelhos de ar-condicionado, foi considerada a variação média do tempo de sua utilização com base na capacidade do aparelho medido. Ou seja, cada aparelho cujas informações de consumo foram coletadas, foram separados por sua capacidade de climatização e por meio dela foi feita uma média para definição do tempo médio de utilização de aparelhos de ar-condicionado para este projeto. Sendo assim, o medidor coletou informações de potência horária e tempo de utilização que serviram como base para o cálculo do consumo diário de energia das amostras. Que por sua vez foi calculado a partir da multiplicação do tempo de utilização do equipamento com a potência horária. Esse processo se fez necessário em cada uma das amostras previstas sendo separadas, conforme reportado anteriormente, por sua capacidade de climatização, com a finalidade de definir-se assim, o consumo médio da categoria analisada.

A média dos resultados obtidos está expresso na Tabela 5.

| Modelo | Capacidade (BTU/h) | Média h/dia |
|--------------------|--------------------|-------------|
| Janela | 7000 | 3,38 |
| | 7500 | 4,3 |
| | 9000 | 5,11 |
| | 10000 | 3,58 |
| | 11000 | 3,5 |
| | 12000 | 2,99 |
| | 21000 | 13,41 |
| Média Geral | | 4,1 |

Tabela 1. Média dos resultados obtidos

Ao fim de todo o processo de medição das amostras foi possível calcular então a média de consumo de energia do sistema ineficiente. Mas semelhantemente aos refrigeradores, a temperatura nesta condição se torna uma variável independente que influencia os resultados obtidos para este tipo de análise. Fazendo-se assim necessária a utilização do método de regressão de Pearson. A equação da reta obtida está representada no Gráfico 3.

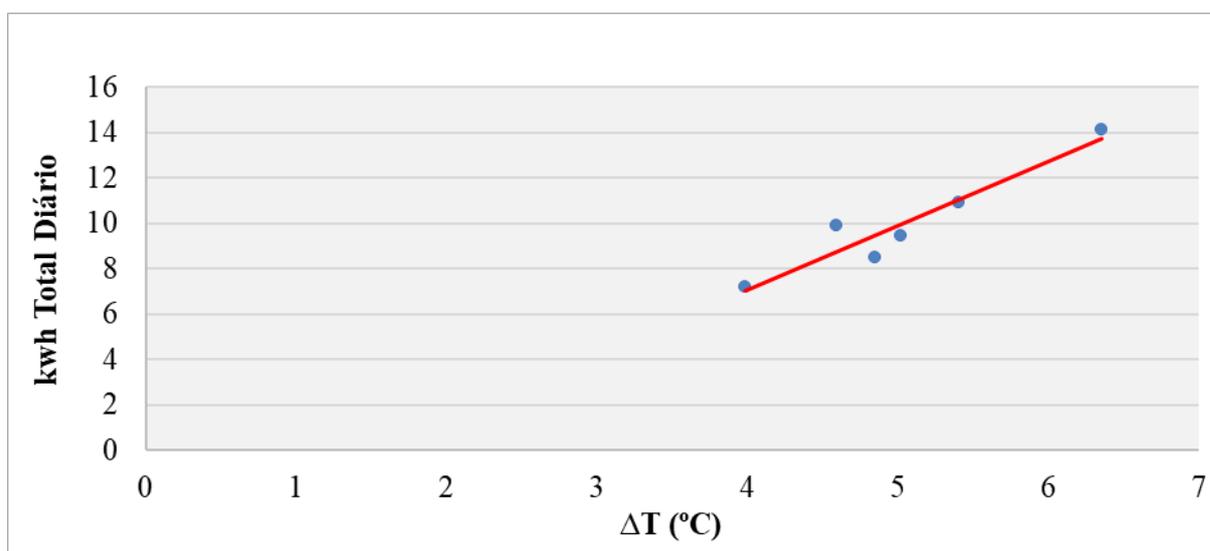


Gráfico 3. Correlação de Pearson dos aparelhos de ar-condicionado.

Fazendo a aplicação da equação da reta e extrapolando os valores para os meses obtemos os resultados indicados na Tabela 6.

| Sistema Ineficiente | | | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------|
| Período (Mês) | Temp. Máxima Amb. (°C) | Temp. Média de Conforto (°C) | ΔT (°C) | Consumo Mês (kWh/dia) | Sistema Ineficiente | Demanda (kW) |
| agosto/17 | 24,87 | 21 | 3,87 | 6,73 | 67,3 | 1,0993 |
| setembro/17 | 30,14 | 21 | 9,14 | 21,56 | 215,64 | 3,5224 |
| outubro/17 | 30,95 | 21 | 9,95 | 23,84 | 238,44 | 3,8948 |
| novembro/17 | 28,67 | 21 | 7,67 | 17,43 | 174,26 | 2,8465 |
| dezembro/17 | 30,29 | 21 | 9,29 | 21,99 | 219,86 | 3,5913 |
| janeiro/18 | 30,7 | 21 | 9,7 | 23,14 | 231,4 | 3,7799 |
| fevereiro/18 | 29,65 | 21 | 8,65 | 20,18 | 201,85 | 3,2971 |
| março/18 | 31,47 | 21 | 10,47 | 25,31 | 253,08 | 4,1339 |
| abril/18 | 28,56 | 21 | 7,56 | 17,12 | 171,17 | 2,7959 |
| maio/18 | 26,68 | 21 | 5,68 | 11,82 | 118,25 | 1,9315 |
| junho/18 | 25,6 | 21 | 4,6 | 8,78 | 87,85 | 1,435 |
| julho/18 | 25,35 | 21 | 4,35 | 8,08 | 80,81 | 1,32 |
| Consumo Total (kWh/ano) / Demanda Média (kW) | | | | | 2.059,93 | 2,804 |

Tabela 6. Média dos dados coletados dos aparelhos de ar-condicionado ineficientes

Seguindo a mesma metodologia de medição do sistema ineficiente foi utilizada para esta análise, contando com uma única diferença é que o sistema analisado agora é o eficiente. O resultado obtido para a determinação da equação da reta para o ajuste junto a variável independente está ilustrado no Gráfico 4.

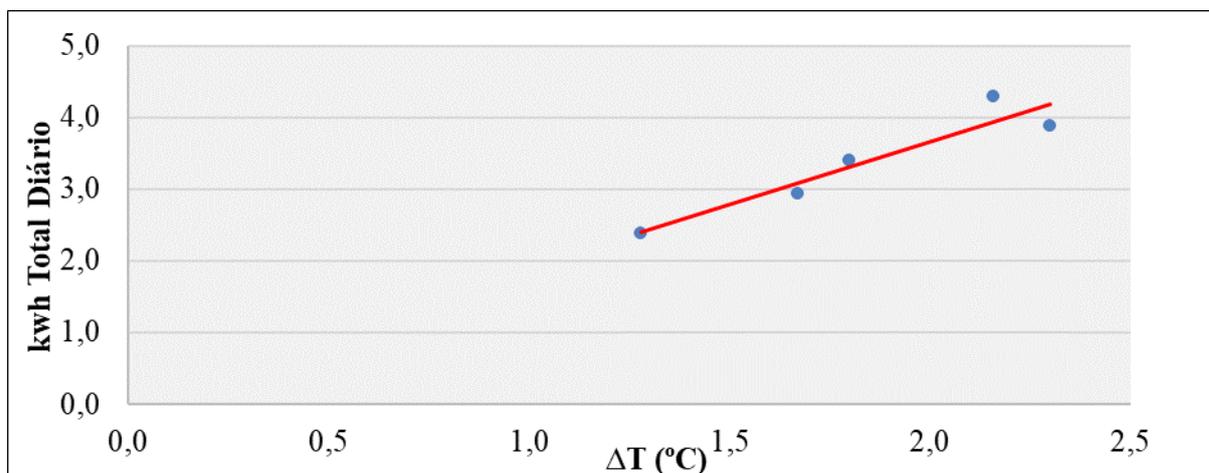


Gráfico 4. Correlação de Pearson dos aparelhos de ar-condicionado

Na aplicação da equação da reta tivemos o resultado apresentado na Tabela 7.

| Sistema Eficiente | | | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------|
| Período (Mês) | Temp. Máxima Amb. (°C) | Temp. Média de Conforto (°C) | ΔT (°C) | Consumo Diário (kWh/dia) | Consumo (kWh/Mês) | Demanda (kW) |
| agosto-17 | 24,87 | 21,00 | 3,87 | 6,91 | 69,10 | 1,2299 |
| setembro-17 | 30,14 | 21,00 | 9,14 | 16,10 | 160,96 | 2,8650 |
| outubro-17 | 30,95 | 21,00 | 9,95 | 17,51 | 175,07 | 3,1163 |
| novembro-17 | 28,67 | 21,00 | 7,67 | 13,53 | 135,33 | 2,4089 |
| dezembro-17 | 30,29 | 21,00 | 9,29 | 16,36 | 163,57 | 2,9115 |
| janeiro-18 | 30,70 | 21,00 | 9,70 | 17,07 | 170,72 | 3,0387 |
| fevereiro-18 | 29,65 | 21,00 | 8,65 | 15,24 | 152,41 | 2,7129 |
| março-18 | 31,47 | 21,00 | 10,47 | 18,41 | 184,14 | 3,2776 |
| abril-18 | 28,56 | 21,00 | 7,56 | 13,34 | 133,42 | 2,3748 |
| maio-18 | 26,68 | 21,00 | 5,68 | 10,06 | 100,65 | 1,7915 |
| junho-18 | 25,60 | 21,00 | 4,60 | 8,18 | 81,82 | 1,4564 |
| julho-18 | 25,35 | 21,00 | 4,35 | 7,75 | 77,47 | 1,3789 |
| Consumo Total (kWh/ano) / Demanda Média (kW) | | | | | 1.604,65 | 2,3802 |

Tabela 7. Média dos dados coletados dos aparelhos de ar-condicionado eficientes

4.3 Análise de Eficiência Energética de Iluminação

Foram realizadas medições com o Alicate Wattímetro Modelo Minipa ET-4091 [20] em uma das campanhas de troca, sendo todas as medições realizadas em bancada, e estimativas de utilização questionadas aos clientes beneficiados no ato da verificação.

Para definirem-se os tempos (hs) em que o universo de equipamentos permanece ligado diariamente, calculou-se a média de horas diária a partir dos dados originalmente oriundos da própria percepção do cliente.

Como a substituição de lâmpadas ocorreu na tipologia residencial, o tempo de uso das lâmpadas foi estimado diretamente pelos moradores mediante pesquisa, fornecendo representatividade e refletindo o real hábito das unidades nas quais houve *retrofit*. A média obtida fora considerada tanto para o período Inicial, quanto para o Final.

As tabelas 8 e 9 trazem os resultados encontrados.

| Sistema Ineficiente | | | |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Tipo de Sistema | Amostras Realizadas | Potência Média (W) | Tempo de Uso Médio (h) |

| | | | |
|--------------|------------|-------|------|
| INC 60W | 93 | 59,87 | 3,99 |
| LFC 20W | 96 | 20,13 | 3,94 |
| Total | 189 | | |

Tabela 8. Resultados obtidos com os dados coletados do sistema de iluminação

| Sistema Eficiente | | | |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Tipo de Sistema | Amostras Realizadas | Potência Média (W) | Tempo de Uso Médio (h) |
| LLB 8W | 189 | 8,1 | 3,97 |
| Total | 189 | 8,1 | 3,97 |

Tabela 9. Resultados obtidos com os dados coletados do sistema de iluminação

4.4 Análise de Eficiência Energética de filtros de linha

A amostragem mínima de medição requerida no manual PROPEE da ANEEL foi de 90 filtros de linha, visto o tamanho do universo de 2.000 unidades trocadas. No entanto, alcançou-se índices aceitáveis de precisão relativa a partir da análise de 65 amostras, permitindo para o referido estudo a consideração delas. As medições foram realizadas com o Multimedidor de Energia Embrasul TR4020 [19] durante 168 horas contínuas antes e após a inclusão da referida tecnologia.

4.4.1 Sistema Ineficiente

Para a análise de ambos os sistemas se levou em consideração que os filtros de linha se caracterizam por suportar a conexão de até 5 diferentes equipamentos simultaneamente, fez-se necessário levantar os hábitos observados em cada UC visitada durante o processo de M&V.

A Tabela 10 apresenta a média de equipamentos ligados a energia através do filtro de linha.

| Quant. De Filtro de Linha | Quant. Observada | % |
|----------------------------------|-------------------------|----------|
| 1 | 28 | 0,4308 |
| 2 | 16 | 0,2462 |
| 3 | 13 | 0,2 |
| 4 | 5 | 7,69% |
| 5 | 2 | 0,0308 |

| | | |
|--------------------|-----------|-------------|
| 6 | 1 | 0,0154 |
| Total geral | 65 | 100% |

Tabela 10. Média da quantidade de equipamentos utilizados nos filtros de linha

O consumo diário, por sua vez, originou-se da multiplicação da potência elétrica média (W) medida, por 24 horas. Para determinação do erro (precisão relativa), fez-se necessário correlacionar o consumo diário com a quantidade de equipamentos conectados ao filtro de linha. Utilizando-se dos conceitos outrora explanados (Coeficiente de Correlação de Pearson), criou-se a grandeza kWh/dia*Qtde.Eqps representado no Gráfico 5.

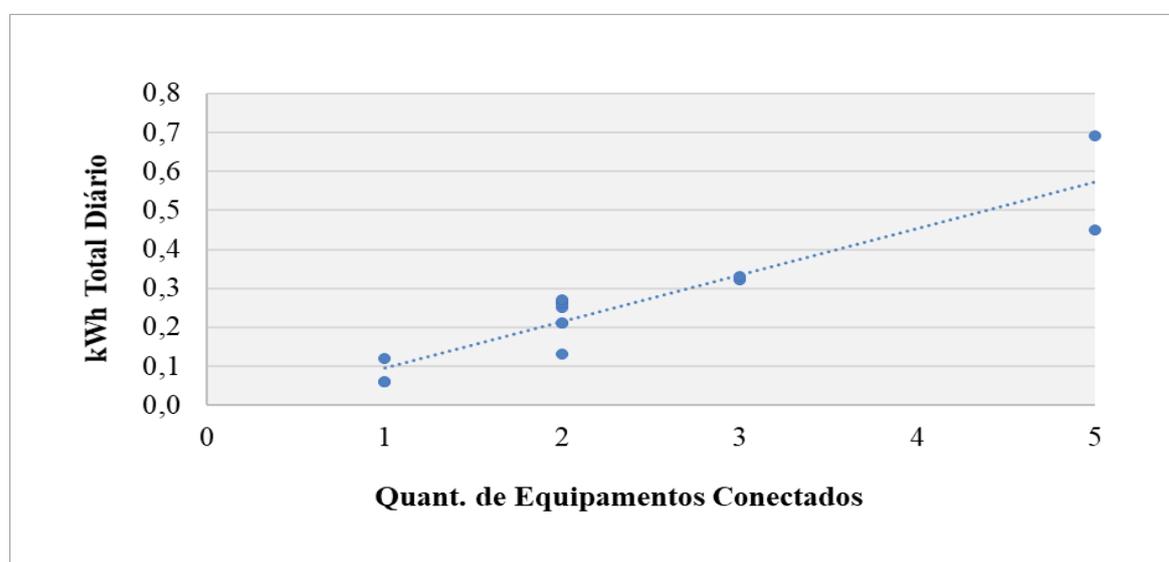


Gráfico 5. Correlação de Pearson com base na quantidade de equipamentos

Mediante alcance de um valor superior a 0,75 para o R^2 , fez-se possível ajustar a amostra em acordo com a equação encontrada com base no gráfico acima. Para analisar o consumo anual de energia elétrica nos filtros de linha antigos considerou-se as médias obtidas para o consumo diário em função das quantidades de equipamentos conectados ao filtro de linha.

4.2.1 Sistema Eficiente

Seguindo a mesma metodologia de medição do sistema ineficiente foi utilizada para esta análise, utilizando apenas como base as amostras eficientes. O Gráfico 6 ilustra a correlação de Pearson para o sistema eficientizado com régua no stand-by

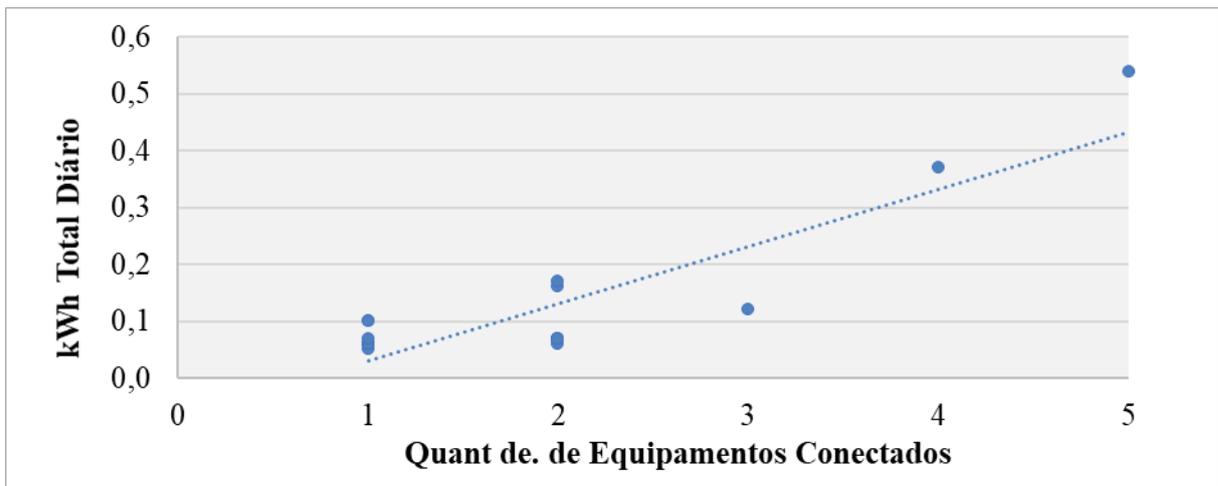


Gráfico 6. Correlação de Pearson com base a quantidade de equipamentos na régua no stand-by.

4.5 Análise da Economia de Energia por eficiência do sistema.

Com o intuito de analisar o impacto anual da eficiência energética na aquisição de eletrodomésticos com certificação Procel, foi realizada uma comparação entre a média da potência e demanda consumidas inicialmente, com o sistema ineficiente, e a média da potência e demanda consumidas com o sistema eficiente. Com esta análise obtivemos os resultados expressos nas Tabelas 11 e 12.

| Sistema Ineficiente | | |
|---------------------|-----------------------------|---------|
| Tipologia | Descrição | Valor |
| Refrigeração | Energia Consumida (MWh/ano) | 1622,29 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 185,24 |
| Climatização | Energia Consumida (MWh/ano) | 791,01 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 1076,72 |
| Iluminação | Energia Consumida (MWh/ano) | 300,82 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 138,3 |
| Filtro de linha | Consumo Anual (MWh/ano) | 480,56 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 54,86 |

Tabela 11. Resultados das médias da energia e demanda consumidas no Sistema Ineficiente.

| Sistema Eficiente | | |
|-------------------|-----------------------------|--------|
| Tipologia | Descrição | Valor |
| Refrigeração | Energia Consumida (MWh/ano) | 660,36 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 75,4 |
| Climatização | Energia Consumida (MWh/ano) | 616,19 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 914 |

| | | |
|-----------------|-----------------------------|--------|
| Iluminação | Energia Consumida (MWh/ano) | 70,27 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 32,42 |
| Filtro de linha | Consumo Anual (MWh/ano) | 306,00 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 34,93 |

Tabela 12. Resultados das médias da energia e demanda consumidas no Sistema Eficiente.

Ao realizarmos uma comparação com a projeção dos consumos médios de energia mensal ao longo de 12 meses entre sistema eficiente e o ineficiente de refrigeração e climatização obtemos o comportamento na demanda de energia elétrica desses eletrodomésticos registrados nos Gráficos 7 e 8.

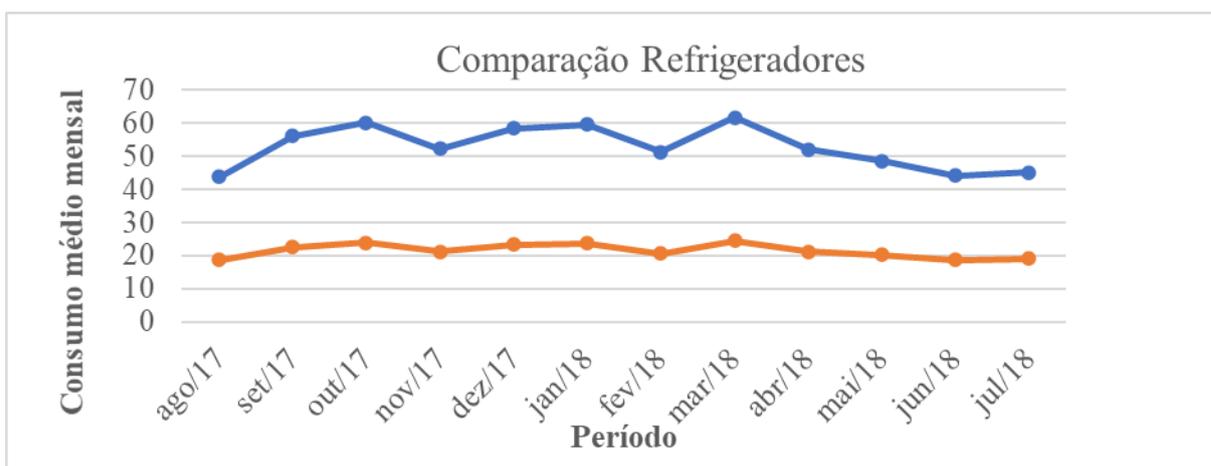


Gráfico 7. Consumo de energia sistema de refrigeradores eficiente x ineficiente.

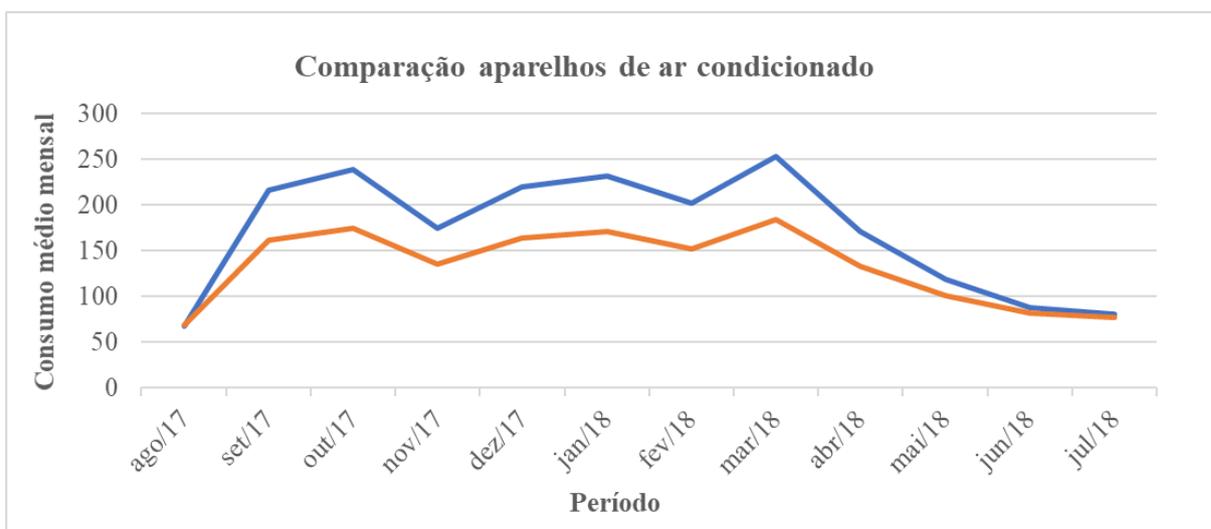


Gráfico 8. Consumo de energia sistema de aparelhos de ar-condicionado eficiente x ineficiente.

Conforme apresentados nos gráficos anteriormente, pode-se observar a redução significativa do consumo de energia mensal de energia ao substituir o equipamento ineficiente pelo equipamento eficiente.

Ao fim de um ano de utilização destes novos eletrodomésticos energeticamente mais eficientes, um consumidor residencial do Rio de Janeiro, pode reduzir em até 60% da demanda e do consumo de energia ao trocar refrigeradores, reduzir até 22% ao trocar aparelhos de ar-condicionado e reduzir até 77% ao trocar lâmpadas. Estas informações estão melhor explicitadas na Tabela 13.

| Resultados de economia de energia | | |
|--|-----------------------------|--------------|
| Tipologia | Descrição | Valor |
| Refrigeração | Energia Consumida (MWh/ano) | 109,84 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 961,93 |
| | Economia (%) | 59,29% |
| Climatização | Energia Consumida (MWh/ano) | 1622,29 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 185,24 |
| | Economia (%) | 22,10% |
| Iluminação | Energia Consumida (MWh/ano) | 230,54 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 105,89 |
| | Economia (%) | 76,56% |
| Filtro de linha | Consumo Anual (MWh/ano) | 174,56 |
| | Demanda Média na Ponta (kW) | 19,93 |
| | Economia (%) | 36,32% |

Tabela 13. Resultados de energia consumida, % de economia e demanda de ponta por tipologia.

5. CONCLUSÕES

Um sistema de gestão de energia bem executado garante resultados de impactos significativos na economia de energia e na redução de demanda de ponta. Com base neste estudo podemos identificar que a partir da efficientização de 10.943 eletrodomésticos foi possível reduzir o consumo de energia em 1.541,54 MWh/ano e reduzir na demanda de ponta na ordem de 398,39 kW, o que garantiu uma conservação de energia próxima a 50%. A Tabela 14 apresenta um resumo destas informações de forma totalizada.

Resultados Obtidos - Economia

| Descrição | Refrigeração | Climatização | Filtro de Linha | Iluminação | Total |
|----------------------------------|--------------|--------------|-----------------|------------|----------|
| Quantidade de Equipamentos | 2559 | 384 | 2000 | 6000 | 10943 |
| Energia Economizada (MWh/ano) | 961,93 | 174,83 | 174,56 | 230,54 | 1.541,85 |
| Economia (%) | 59,29% | 22,10% | 36,32% | 76,64% | 48,26% |
| Redução de Demanda na Ponta (kW) | 109,84 | 162,73 | 19,93 | 105,89 | 398,39 |

Tabela 14. Resultados Totais

Esses resultados cooperam diretamente nos ganhos energéticos previstos na projeção de demanda de energia elétrica 2017-2026, que prevê um ganho adicional de eficiência no consumo final de energia elétrica de 4,1%. Essa porcentagem gira em torno da redução da demanda de energia em 4GW [21]. Já de acordo com o caderno de eficiência e demanda do plano de expansão de energia 2030, esses resultados estão alinhados com o crescimento de 3% previsto no setor residencial até 2030. [22] [23]

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Plano Nacional de Energia 2030, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético.
- [2] 7 Revista PEE 2013, agosto de 2013 – 1ª edição. Disponível em http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/revista_pee_2013.pdf. Acesso em 26 de agosto de 2020.
- [3] PATTERSON, M. G. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. *Energy policy*, 1996. 24(5), 377-390.
- [4] LUND, H. Renewable Energy Strategies for Sustainable Development. *Energy*. 2007. 32(6), 912- 919.
- [5] SILVA, C. O. S.; NASSAR, C. A. G. Análise do Uso da Energia Elétrica no Instituto Federal Fluminense Campus Campos Guarus. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS*. Vol. 5, N. 3. setembro. / dezembro 2016.
- [6] Normas Técnicas – ISO50001. Disponível em: <https://www.normastecnicas.com/iso/iso-50001/>. Acesso em 04 de fevereiro de 2021.[7] Balanço Energético Nacional 2018, ano

base 2017. Disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018_Int.pdf.

Acesso em 26/08/2020

[8] Planalto – Presidência da República – Casa Civil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19991.htm. Acesso em 06 de fevereiro de 2021.

[9] Programa Luz Solidária – Disponível em: <https://www.luzsolidaria.com.br/> Acesso em 01 de junho de 2020.

[10] Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 556, 2013. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2013556.pdf> Acesso em 15 de julho de 2020.

[11] Agência Nacional de Energia Elétrica. PROPEE – 2013. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/-/asset_publisher/94kK2bHDLPmo/content/ojfljkdasfbskd-vsvjdbf/656831?inheritRedirect=false . Acesso em 06 de fevereiro de 2021.

[12] Enel Distribuição Rio de Janeiro, “Relatório Final do Projeto Luz Solidária III”, 2017.

[13] Selo de Eficiência Energética – Inmetro. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbeselo.asp>. Acesso em 10 de fevereiro de 2021.

[14] Planalto – Presidência da República – Casa Civil lei nº 12.305/2010 http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-

2010/2010/lei/112305.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2012.305%2C%20DE%202%20DE%20AGOSTO%20DE%202010.&text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,1998%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs%20de%20Art.&text=%C2%A7%20o%20Esta%20Lei,s%C3%A3o%20regulados%20por%20legisla%C3%A7%C3%A3o%20espec%C3%ADfica.

[15] Enel Distribuição Rio de Janeiro “Relatório de Medição e Verificação do Projeto Luz Solidária III”, 2017.

[16] Agência Nacional de Energia Elétrica Programa de Eficiência Energética, 2015. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/-/asset_publisher/94kK2bHDLPmo/content/medicao-e-verificacao-m-v-/656831?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fprograma-eficiencia-

energetica%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_94kK2bHDLPmo%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2. Acesso em 15 de julho de 2020.

[17] Abesco, EVO PIMVP 2012. Disponível em: http://www.abesco.com.br/wp-content/uploads/2015/07/PIMVP_2012-PTBR.pdf. Acesso em 10 de fevereiro de 2021.

[18] Departamento de Informática e Estatística - Universidade Federal de Santa Catarina, Carmo, Vera. Disponível em: http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/Correlacao/Correlacao_Pearson_Spearman_Kendall.pdf. Acesso em 10 de fevereiro de 2021.

[19] Embrasul – Multimedidor TR4020 Disponível em : http://www.embrasul.com.br/painel/pdf/Cat%C3%A1logo_TR4020_v05r00_pt_HR.pdf. Acesso em 20 de agosto de 2020.

[20] Manual Minipa ET4091 Disponível em: <http://www.minipa.com.br/images/Manual/ET-4091-1100-BR.pdf> Acesso em 20 de agosto de 2020.[19] Programa Luz Solidária – Disponível em: <https://www.luzsolidaria.com.br/> Acesso em 01 de junho de 2020.

[20] Empresa de Pesquisa Energética - Balanço Energético Nacional 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018> Acesso em 01 de fevereiro de 2021.

[21] Empresa de Pesquisa Energética - Projeção da demanda de energia elétrica. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF%5B1%5D.pdf Acesso em 01 de fevereiro de 2021.

[22] Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/dados-abertos/Documents/Plano%20de%20Dados%20Abertos%202018-2019.pdf> Acesso em 01 de fevereiro de 2021.

[23] Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030, Ministério de Minas e Energia – janeiro de 2021.

