



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

KAIO VÍTOR GONÇALVES DE FREITAS



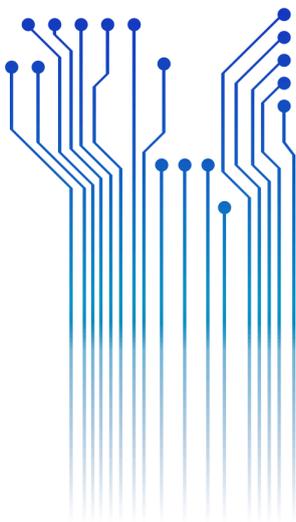
Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Projeto de Eficiência Energética no Instituto Federal de São Paulo,  
Campus Boituva



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2019

KAIO VÍTOR GONÇALVES DE FREITAS

PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO, CAMPUS  
BOITUVA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de  
Campina Grande como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do grau de  
Bacharel em Ciências no Domínio da  
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Professor Célio Anésio da Silva, D.Sc.  
Orientador

Campina Grande  
2019

KAIO VÍTOR GONÇALVES DE FREITAS

PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO, CAMPUS  
BOITUVA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de  
Campina Grande como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do grau de  
Bacharel em Ciências no Domínio da  
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Aprovado em        /        /

**Professor Helder Alves Pereira, Doutor.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Célio Anésio da Silva, D.Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador

Dedico esse trabalho à minha mãe, Taciana, como uma forma de fazê-la sentir prestígio e orgulho em detrimento de todo esforço, carinho e amor doado a mim durante esses últimos 24 anos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a mim, por todo esforço doado durante esses 5 anos de graduação seguidos da persistência na ideia de que, sendo o homem o único na natureza com a consciência da morte, fazer da vida uma luta digna de um ser eterno é a máxima expressão da dignidade humana.

Porém, nem um otimista compulsivo pensaria em realizar tal feito sem a companhia de pessoas que reafirmem o sentido de toda luta, tanto na rotina de estudos, quanto fora dela, e merecem destaque nesses agradecimentos.

Agradeço a toda minha família materna, em especial meus pais Taciana e Sergio, e paterna, Geraldo, Lucy e Lílian, por participarem da minha rotina e motivarem cada passo dado das minhas ambições.

Aos amigos presentes das brincadeiras da infância às trocas de experiências e risadas nas mesas de bar, em destaque Lucas Albuquerque, Dário Coutinho, Pedro Matheus, Rafael Lucena, Carlos Ramalho, Bruna Marinho, e um amigo que guardo, com fervor, na memória, Thiago Marinho.

Apesar disso, surgiram amigos durante o curso de graduação que pretendo manter vínculo para o resto da vida. Entre eles, Rafael Paiva, Josué Marcos, Isaac Emmanuel, Jandilson Almeida, Tamires Santos e, pela companhia e apoio na realização desse trabalho durante o meu período de estágio, Kaique Goes e Edvaldo Ângelo.

Por fim, enorme gratidão ao professor Célio Anésio por ter me servido de inspiração tanto profissional quanto pessoal, por conta de sua ética e esforço em sala de aula, área de atuação profissional e conselhos sobre perspectivas de futuro.

*“Eu devia estar contente  
Por ter conseguido tudo que eu quis  
Mas confesso, abestalhado  
Que eu estou decepcionado*

*Porque foi tão fácil de conseguir  
E agora eu me pergunto ‘e daí?’  
Há uma porção de coisas grande  
Pra eu conquistar  
E eu não posso ficar aí parado.”*

Raul Santos Seixas.

## RESUMO

Neste trabalho, apresenta-se um estudo de caso no escopo do programa de Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica. Tratam-se de procedimentos técnicos para economia de energia e redução de demanda no horário de ponta, de forma a trazer benefícios tanto ao consumidor pela redução do valor pago em sua fatura, quanto ao sistema de geração, transmissão e distribuição do país por reduzir a necessidade de investimentos em custos marginais de expansão do sistema. Devido ao constante crescimento da área, são impostas técnicas cada vez mais avançadas de medição e verificação para melhor viabilidade do projeto, surgindo os conceitos de correlação linear e modelo de regressão linear no contexto de eficiência energética. O estudo de ações de eficiência no Instituto Federal de São Paulo, Campus Boituva conseguiu, à partir de um investimento de R\$384.522,61, diminuir seu consumo de energia em 144,33 MWh/ano e menos 11,50 kW de demanda no horário de ponta.

**Palavras-chave:** Correlação, Demanda, Eficiência, Energia, Regressão.

## ABSTRACT

This paper presents a case study within the scope of the Energy Efficiency Program (PEE) from the National Electric Energy Agency. It's based on technical procedures to save energy and reduce demand at rush hours so as to bring benefits to the consumer by reducing the amount paid on their invoice, as well as the Brazil's generation, transmission and distribution system by reducing the need for investments of system expansion. Due to the constant growth of the area, more advanced techniques of measurement and verification are imposed for better project viability, and that is the reason why the concepts of linear correlation and linear regression model are commonly used in the context of energy efficiency. The study of efficiency actions at the Federal Institute of São Paulo, Campus Boituva was able, from an investment of R\$ 384.522,61, to reduce its energy consumption by 144.33 MWh/year and 11.50 kW less demand at the rush hour.

**Keywords:** Correlation, Demand, Efficiency, Energy, Regression.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de Correlação Linear Positiva.....	21
Figura 2 - Exemplo de Correlação Linear Negativa.....	21
Figura 3 - Curva fotométrica comum às lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W e 40 W.....	25
Figura 4 - Curva fotométrica da lâmpada LED tubular 18W.....	25
Figura 5 - <i>Layout</i> da Usina Fotovoltaica.....	31
Figura 6 - Alicates wattímetro durante a medição.....	38
Figura 7 - Horímetro instalado em um dos ambientes da unidade consumidora.....	38
Figura 8 - Gráfico de correlação com 90 dados.....	45
Figura 9 - Gráfico de correlação com 82 dados.....	46
Figura 10 - Demonstração da correlação entre geração e radiação.....	47
Figura 11 - Determinação da regressão.....	48

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis do CEE e CED. ....	18
Tabela 2 - Valores padrões da distribuição normal. ....	20
Tabela 3 - Comparativo entre as lâmpadas LEDs e fluorescentes deste trabalho. ....	25
Tabela 4 - Sistemas atuais: 1 a 3 (Ex Ante). ....	26
Tabela 5 - Sistemas atuais: 4 a 7 (Ex Ante). ....	26
Tabela 6 - Sistemas atuais: 8 a 11 (Ex Ante). ....	27
Tabela 7 - Sistemas atuais: 12 a 15 (Ex Ante). ....	27
Tabela 8 - Sistemas atuais: 16 e 17 (Ex Ante). ....	27
Tabela 9 - Sistemas propostos: 1 a 3 (Ex Ante). ....	28
Tabela 10 - Sistemas propostos: 4 a 7 (Ex Ante). ....	28
Tabela 11 - Sistemas propostos: 8 a 11 (Ex Ante). ....	28
Tabela 12 - Sistemas propostos: 12 a 15 (Ex Ante). ....	29
Tabela 13 - Sistemas propostos: 16 e 17 (Ex Ante). ....	29
Tabela 14 - Radiação solar na região de Boituva. ....	30
Tabela 15 - Dados das exposições das placas fotovoltaicas. ....	30
Tabela 16 - Rubrica materiais e equipamentos. ....	32
Tabela 17 - Rubrica mão de obra de terceiros. ....	32
Tabela 18 - Rubrica descarte de materiais. ....	33
Tabela 19 - Rubrica medição & verificação. ....	33
Tabela 20 - Separação dos custos por categoria contábil e origem. ....	34
Tabela 21 - Relação custo benefício ( <i>Ex Ante</i> ). ....	35
Tabela 22 - Quantidade de amostras por grupos. ....	37
Tabela 23 - Resultados das medições para o sistema atual. ....	42
Tabela 24 - Resultados das medições para o sistema proposto. ....	42
Tabela 25 - Resultados globais de economia em energia e redução de demanda na ponta: 1 a 3. ....	43
Tabela 26 - Resultados globais de economia em energia e redução de demanda na ponta: 4 a 7. ....	43
Tabela 27 - Resultados globais de economia em energia e redução de demanda na ponta: 8 a 11. ....	43
Tabela 28 - Resultados globais de economia em energia e redução de demanda na ponta: 12 a 15. ....	43
Tabela 29 - Resultados globais de economia em energia e redução de demanda na ponta: 16 e 17. ....	43
Tabela 30 - Dados diários de geração e radiação: 90 dias. ....	44
Tabela 31 - Dados diários de geração e radiação: 76 dias. ....	46
Tabela 32 - Validade da regressão. ....	48
Tabela 33 - Estatísticas e coeficientes. ....	49
Tabela 34 - Coeficiente de variação e precisão relativa. ....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AEE	Ação de Eficiência Energética
CED	Custo Unitário Evitado de Demanda
CEE	Custo Unitário Evitado de Energia
CPP	Chamada Pública de Projetos
ESCO	Companhia de Serviços de Energia ( <i>Energy Services Company</i> )
FRC	Fator de Recuperação de Capital
IFSP	Instituto Federal de São Paulo
M&V	Medição & Verificação
PEE	Programa de Eficiência Energética
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição & Verificação de Performance
PROPEE	Procedimentos do Programa de Eficiência Energética
RCB	Relação Custo Benefício

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	13
1.1	Objetivos.....	14
1.1.1	Geral.....	14
1.1.2	Específicos.....	14
1.2	Organização do Trabalho.....	14
2	Fundamentação Teórica.....	15
2.1	Fluxograma do Programa de Eficiência Energética.....	15
2.2	Cálculo da Viabilidade.....	16
2.2.1	Custos Unitários de Energia e Demanda Evitadas.....	17
2.2.2	Fator de Recuperação de Capital.....	18
2.3	Técnica de Amostragem.....	19
2.4	Modelo de Regressão Linear.....	20
2.5	Coeficiente de Correlação de Pearson.....	23
3	Estudo de Caso.....	24
4	Avaliação Ex Ante.....	26
4.1	Iluminação.....	26
4.2	Fotovoltaico.....	29
4.3	Custos Diretos e Indiretos.....	32
4.4	Custo Contábil.....	33
4.5	Cálculo Dos Benefícios.....	34
4.6	Relação Custo Benefício.....	35
5	Materiais e Métodos da Análise <i>Ex Post</i> .....	36
5.1	Iluminação.....	36
5.1.1	Variáveis Independentes e Fronteiras de Medição.....	37
5.1.2	Determinação das Economias.....	37
5.1.3	Metodologia de Cálculo.....	39
5.2	Fotovoltaico.....	39
5.2.1	Variáveis Independentes e Fronteira de Medição.....	40
5.2.2	Determinação das Economias.....	40
5.2.3	Metodologia de Cálculo.....	40
6	Resultados.....	42
6.1	Iluminação.....	42
6.2	Fotovoltaico.....	44
7	Conclusão.....	51
8	Referências Bibliográficas.....	52

# 1 INTRODUÇÃO

O consumo e os custos de energia vêm aumentando progressivamente ao longo dos últimos anos, sendo grande parte estimulada pelo crescimento econômico dos países em desenvolvimento (IEA, 2008).

O grande dilema energético consiste em não permitir o aumento descontrolado da demanda energética, uma vez que o impacto disso na segurança, nos custos e no planeta seria impraticável, considerando, também, que não é possível reduzir o perfil de consumo, por conta dos impactos que isso causaria nas economias dos países e no padrão de vida da sociedade (MOREIRA, 2017).

Por conseguinte, a eficiência energética é uma solução que permite atender níveis necessários de conforto e produtividade com menos custo e menos pressão sobre recursos e infraestruturas (BARROS et al., 2015). O incentivo de sua prática se dá, também, ao fato de que 1MWh conservado custa 75% do preço de 1MWh gerado. Logo, é mais viável investir em redução nos pontos de consumo do que em expansão da geração.

Atualmente, o Programa de Eficiência Energética (PEE) é a principal política de eficiência energética praticada no Brasil, atuando por meio das Chamadas Públicas de Projetos (CPP), por meio da determinação da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, que impõe às distribuidoras de energia aplicar meio por cento da receita operacional líquida para elaboração e execução de projetos que promovam o uso eficiente de energia elétrica em todos os setores da economia, segundo a Agência Nacional de Engenharia Elétrica (ANEEL).

As CPPs são realizadas anualmente pelas distribuidoras, em que são apresentados projetos de eficiência energética por empresas do ramo *Energy Services Company* (ESCO) para consumidores dentro da área de concessão das distribuidoras em específico. As CPPs são regidas por editais, que existem para parametrizar critérios e tornar justa a decisão de projetos e consumidores beneficiados pelo PEE.

São usos finais passíveis de eficientização iluminações internas e externas, climatizadores, motores, compressores de ar, refrigeradores. Nesse mesmo contexto, são sistemas passíveis de implementação junto a eficientização as usinas solares fotovoltaicas, aquecedores solar e inversor de frequência.

Desde 2013, o programa é regido pela apostila Procedimentos do Programa de Eficiência Energética, contendo 10 módulos elaborados pela ANEEL e dirigido às distribuidoras de energia para elaboração e execução de projetos no PEE.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 GERAL

O objetivo desse trabalho é apresentar análises técnicas, financeiras, e procedimentos de mensuração e validação de resultados em um projeto no âmbito do PEE.

### 1.1.2 ESPECÍFICOS

1. Revisar os pontos de análise técnica e de viabilidade financeira do projeto, assim como de modelos matemáticos que surportem a análise;
2. Demonstrar o cálculo de viabilidade do projeto de eficiência antes da etapa de medição e verificação;
3. Fazer comparativo de viabilidade do projeto após a implementação de todas as Ações de Eficiência Energética (AEE).

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este documento está dividido em 7 capítulos, dos quais este primeiro é dedicado à introdução. No capítulo 2, apresenta-se toda fundamentação teórica necessária para entendimento deste trabalho. Em sequência, no capítulo 3, descreve-se a unidade consumidora foco do estudo de caso juntamente com considerações sobre os sistemas encontrados. No capítulo 4, discorre-se sobre a avaliação do estudo usando apenas estimativas e valores nominais. Em seguida, no capítulo 5, são especificados os métodos adotados para a realização desse estudo, por meio da apresentação de parâmetros de interesse. Os resultados das ações de eficiência energética são apresentados no capítulo 6. Finalmente, no capítulo 7, as conclusões são apresentadas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresenta-se a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

### 2.1 FLUXOGRAMA DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA

#### ENERGÉTICA

Só poderão ser aplicados recursos do PEE para projetos de seguintes tipologias: industrial, comércio e serviços, poder público, serviços públicos, rural, residencial e iluminação pública (ANEEL, 2013). Para o caso de entidades públicas, todo aporte econômico é dado pela distribuidora, enquanto para órgãos privados, o custo é proveniente da distribuidora até a execução total do projeto para que, no fim, os custos envolvidos com as ações de eficiência energética sejam retornados à distribuidora por meio do pagamento do valor proporcional de economia de energia de cada fatura de energia da unidade consumidora com correções monetárias porém sem incidência de juros, que justifica a viabilidade de adequação ao programa por qualquer órgão.

As etapas do programa são listadas da seguinte forma:

- Seleção. Inicia-se com uma CPP, ou por ação própria da distribuidora (como a Carta Convite), para que as empresas proponentes avaliem em cada instalação as ações de eficiência energética viáveis para a unidade consumidora que desejam beneficiar, por meio de um pré-diagnóstico para que possa ser feito um acordo entre a proponente e o consumidor final e submissão da proposta;
- Definição. Os projetos selecionados para implantação passam à fase de diagnóstico, que deve apresentar um relatório contendo a descrição detalhada de cada ação de eficiência energética e sua implantação, assim como o valor do investimento, economia de energia relacionada, análise de viabilidade e estratégia de medição e verificação;
- Execução. A primeira etapa dessa fase consiste em medições no campo, definição do consumo no período de referência e elaboração do plano de

medição e verificação (Plano de M&V). Em seguida, faz-se a implementação das ações de eficiência energética;

- Verificação. Após o comissionamento das ações implementadas, inicia-se o período de determinação da economia segundo o Plano de M&V definido;
- Relatório final. Nessa fase, o relatório de auditoria contábil, relatório final do projeto e o relatório de M&V devem ser enviados à ANEEL.

## 2.2 CÁLCULO DA VIABILIDADE

O grande propósito do PEE é atingir a eficiência em duas óticas, a do sistema, por meio da valoração da energia economizada e demanda na ponta reduzida pelo custo marginal de expansão do sistema de geração, transmissão e distribuição nacional de energia, e pela ótica do consumidor, valorando essas grandezas pelo preço na sua fatura de energia.

Alguns critérios são de extrema importância para a submissão do projeto. Entre eles, o mais importante é:

- Relação custo benefício (RCB) que ele proporciona. O custo considerado são os aportes feitos para a sua realização, que podem ser do PEE, do consumidor ou de terceiros. Enquanto o benefício é a valoração da energia economizada e da redução da demanda na ponta durante a vida útil do projeto para o sistema elétrico.

Assim, para avaliação do projeto, é considerada a ótica do sistema elétrico, exceto no caso de instalação de centrais geradoras de energia elétrica, como a usina fotovoltaica que será vista nesse trabalho, em que se pode tomar como referência o preço efetivamente pago pelo consumidor.

O cálculo deve ser feito a partir das equações (1) e (2):

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T}, \quad (1)$$

$$BA_T = BA_{CG} + BA_{EE}. \quad (2)$$

Em que,  $CA_T$  é o custo anualizado total (R\$/ano) e  $BA_T$  é o benefício anualizado total (R\$/ano), dado pela soma do  $BA_{CG}$ , benefício anualizado da central geradora (R\$/ano), e  $BA_{EE}$ , benefício anualizado das ações de eficiência energética (R\$/ano).

Nesse mesmo contexto, para consumidores sem fins lucrativos, é definido que a RCB do projeto na ótica do sistema não pode ultrapassar 0,75 (CPFL, 2018). Para projetos com fins lucrativos o investimento retorna à distribuidora não só em economia de energia e demanda na ponta como também financeiramente, algumas distribuidoras flexibilizam esse valor para até 0,85 no edital da Chamada Pública (CPFL, 2018). No caso de projetos com mais de uma ação de eficiência energética, é permitido que a relação esteja acima do limite para alguns dos sistemas isolados, desde que a relação custo benefício do sistema, dada pela média ponderada de cada RCB, respeite o limite superior de 0,75 (ANEEL, 2013).

Logo, esse critério deve ser utilizado em dois tipos de avaliação, que são:

- Avaliação *ex ante*, quando se avaliam os custos e o benefício baseado em análises, cálculos e avaliação de preços de mercado com valores estimados (ANEEL, 2013);
- Avaliação *ex post*, quando são consideradas a economia de energia e a redução da demanda na ponta avaliadas por ações de medição e verificação e dos custos realmente despendidos (ANEEL, 2013).

Dessa forma, a avaliação *ex ante* deve mirar a avaliação *ex post*, que será apontada para fins de empossamento do investimento realizado. Assim, todas as suposições devem ser feitas de forma conservadora para que as metas de economia de energia e redução de demanda na ponta sejam atingidas com segurança, mesmo com diferenças na RCB.

### 2.2.1 CUSTOS UNITÁRIOS DE ENERGIA E DEMANDA EVITADAS

Para que seja realizada a valoração dos benefícios num cronograma de um ano, são introduzidos os conceitos de custo unitário de energia evitada (CEE) e o custo unitário de demanda evitada (CED), cujos valores das variáveis envolvidas são dadas por resoluções homologatórias periódicas da ANEEL. Esses dois parâmetros podem ser calculados pelas equações (3) e (4) (ANEEL, 2013):

$$CED = (12 \times C_1) + (12 \times C_2 \times LP), \quad (3)$$

$$CEE = \frac{(C_p \times LE_p) + (C_{fp} \times LE_{fp})}{LE_p + LE_{fp}}. \quad (4)$$

Sendo, conforme as equações (5), (6) e (7),

$$C_p = TE_p + TUSD, \quad (5)$$

$$C_{fp} = TE_{fp} + TUSD, \quad (6)$$

$$LE_{fp} = \frac{(7 \times LE_3) + (5 \times LE_4)}{12} \quad (7)$$

Pode-se ver, de forma resumida, a definição de cada parâmetro na tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis do CEE e CED.

Abreviatura	Nome do Parâmetro	Unidade
<b>CED</b>	<b>Custo Unitário Evitado de Demanda</b>	<b>R\$/kW.ano</b>
12	Meses	Mês/ano
$C_1$	Custo unitário de demanda no horário de ponta	R\$/kW.mês
$C_2$	Custo unitário de demanda no horário fora de ponta	R\$/kW.mês
$LP$	Constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta	1
<b>CEE</b>	<b>Custo Unitário Evitado de Energia</b>	<b>R\$/MWh</b>
$C_p$	Custo unitário da energia no horário de ponta na bandeira verde	R\$/MWh
$C_{FP}$	Custo unitário da energia no horário fora de ponta na bandeira verde	R\$/MWh
$LE_p$	Constante de perda de energia no posto de ponta considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta	1
$LE_{FP}$	Constante de perda de energia no posto de fora de ponta considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta	1
$LE_1$	Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta	1
$LE_2$	Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta	1
$LE_3$	Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos secos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta	1
$LE_4$	Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos úmidos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta	1
$TE_p$	Tarifa de Energia (TE) na ponta, Bandeira Verde	R\$/MWh
$TE_{FP}$	Tarifa de Energia (TE) fora da ponta, Bandeira Verde	R\$/MWh
$TUSD$	Parcela da Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição (TUSD) faturada em R\$/MWh	R\$/MWh

Fonte: O próprio autor.

Para que, por fim, seja calculado o benefício anualizado conforme a equação (8):

$$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP \times CED). \quad (8)$$

Sendo  $EE$  a energia anual economizada e  $RDP$  a demanda evitada no horário de ponta.

### 2.2.2 FATOR DE RECUPERAÇÃO DE CAPITAL

Já no caso de encontro do custo anualizado do projeto, ou seja, o custo por equipamentos de acordo com sua vida útil em anos, é introduzido o conceito de fator de recuperação de capital (FRC). Ao contrário do fator de valor atual, que é utilizado para encontrar o valor atual de uma série de pagamentos, o FRC é um índice usado para determinar o valor da prestação (DUTRA, 2006). Sendo, de acordo com a equação (9),

$$FRC_u = \frac{i \times (1+i)^u}{(1+i)^u - 1} \quad (9)$$

Em que  $FRC_u$  é o fator de recuperação de capital para  $u$  anos (1/ano),  $i$  é a taxa de desconto considerada (1/ano) e  $u$  é quantidade de anos.

A taxa de desconto a se considerar é a mesma especificada no plano nacional de energia (PNE), vigente na data de submissão do projeto que, nesse caso, é 8% ao ano. Então, para encontrar o custo anualizado, são utilizadas as equações (10) e (11),

$$CA_T = \sum_n CA_n, \quad (10)$$

$$CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u. \quad (11)$$

Sendo  $CA_n$  o custo anualizado de todos os equipamentos, incluindo custos relacionados (R\$/ano),  $CE_n$  é o custo de cada equipamento (R\$),  $CT$  é o custo total do projeto,  $CE_T$  é o custo total em equipamentos e  $FRC_u$  é o fator de recuperação de capital (1/ano) para  $u$  anos.

## 2.3 TÉCNICA DE AMOSTRAGEM

Em várias aplicações práticas, é necessário tirar conclusões a respeito de dados que, no caso de uma quantidade definida baixa, pode-se trabalhar com todo o grupo que é desejado compreender. No entanto, para quantidades que superem as necessidades de tempo, energia e recursos econômicos disponíveis, é necessário estudar poucos elementos retirados da população. Esse grupo de elementos denomina-se de amostra, e o processo de escolha desses elementos é chamado de amostragem (LEVIN, 1987).

As conclusões referentes à amostra são estendidas para toda a população da qual ela foi extraída. Para o propósito desse trabalho, tanto de quantidade de elementos para medição e confecção do *ex post* quanto para o modelo de regressão que será visto do sistema fotovoltaico, é interessante que qualquer dado da população possa vir a fazer parte da amostra, denominando-se, então, de método de amostragem probabilístico.

Não há questionamento sobre o fato de que uma amostra não representa, com perfeição, toda a população. A utilização da amostra implica, impreterivelmente, na aceitação de uma margem de erro chamada de erro amostral e a alternativa disponível para limitar seu valor se dá pela escolha da amostra com o tamanho mais adequado de elementos (TRIOLA, 1999).

Existe um grande dilema na etapa de escolha do tamanho da amostra, que se dá pelo fato de que o erro amostral e o tamanho da amostra são inversamente proporcionais, já que amostras desnecessariamente grandes acarretam desperdício de tempo e dinheiro, enquanto amostras excessivamente pequenas podem levar a resultados não confiáveis

(LEVINE *et al.*, 2000). Para formalizar a melhor escolha (tamanho mínimo da amostra) de forma mais adequada matematicamente, é usada a equação (12):

$$n_0 = \frac{z^2 \times cv^2}{e^2}. \quad (12)$$

Em que  $n_0$  é a estimativa inicial,  $cv$  é o coeficiente de variância, cuja recomendação do Módulo 8 do livro Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE), da ANEEL, é usar o valor de 0,50,  $e$  é o nível desejado de precisão (0,10) e  $z$  é o valor padrão de distribuição normal em relação ao comprimento do universo amostral (grau de liberdade) e o valor de confiança, conforme a tabela 2 (ICF INTERNATIONAL, 2011).

Tabela 2 - Valores padrões da distribuição normal.

Graus de Liberdade	Nível de Confiança				Graus de Liberdade	Nível de Confiança			
	95%	90%	80%	50%		95%	90%	80%	50%
1	12,71	6,31	3,08	1	16	2,12	1,75	1,34	0,69
2	4,3	2,92	1,89	0,82	17	2,11	1,74	1,33	0,69
3	3,18	2,35	1,64	0,76	18	2,1	1,73	1,33	0,69
4	2,78	2,13	1,53	0,74	19	2,09	1,73	1,33	0,69
5	2,57	2,02	1,48	0,73	21	2,08	1,72	1,32	0,69
6	2,45	1,94	1,44	0,72	23	2,07	1,71	1,32	0,69
7	2,36	1,89	1,41	0,71	25	2,06	1,71	1,32	0,68
8	2,31	1,86	1,4	0,71	27	2,05	1,7	1,31	0,68
9	2,26	1,83	1,38	0,7	31	2,04	1,7	1,31	0,68
10	2,23	1,81	1,37	0,7	35	2,03	1,69	1,31	0,68
11	2,2	1,8	1,36	0,7	41	2,02	1,68	1,3	0,68
12	2,18	1,78	1,36	0,7	49	2,01	1,68	1,3	0,68
13	2,16	1,77	1,35	0,69	60	2	1,67	1,3	0,68
14	2,14	1,76	1,35	0,69	120	1,98	1,66	1,29	0,68
15	2,13	1,75	1,34	0,69	∞	1,96	1,64	1,28	0,67

Fonte: (ICF INTERNATIONAL, 2011).

Para ajustar a estimativa inicial do tamanho da amostra para o universo de  $N$  dias, e ter, por fim, a quantidade ótima mínima de elementos da amostra, usa-se a equação (13).

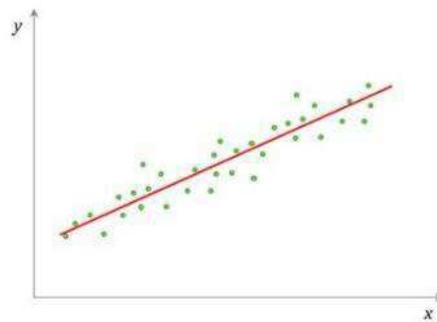
$$n = \frac{n_0 * N}{n_0 + N}. \quad (13)$$

## 2.4 MODELO DE REGRESSÃO LINEAR

A análise da regressão faz o estudo da relação entre uma variável chamada de variável dependente, que representa uma grandeza cujo valor depende de como outra variável é manipulada, e uma variável independente, que, por sua vez, representa a grandeza que está sendo manipulada em um experimento. A relação entre elas é dada por um modelo matemático chamado de modelo de regressão linear (BUSSAB & MORETTIN, 2013).

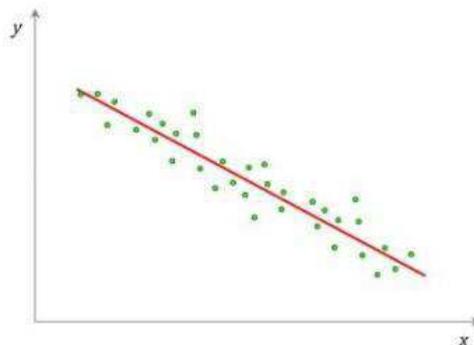
Para a criação do modelo deve-se, primeiramente, construir um diagrama de dispersão com os dados disponíveis para verificar se eles exibem uma tendência linear para que o relacionamento linear entre as duas variáveis seja assumido em conformidade com a figura 1 ou 2.

Figura 1 - Exemplo de Correlação Linear Positiva.



Fonte: NUNES (2018).

Figura 2 - Exemplo de Correlação Linear Negativa.



Fonte: NUNES (2018).

Para qualquer formato diferente de uma equação de primeiro grau, o modelo de regressão é chamado de não linear (BUSSAB & MORETTIN, 2013). No entanto, existem critérios para quantificar a relação entre as variáveis e ratificar sua viabilidade estatística de forma determinística (BUSSAB & MORETTIN, 2013), provando uma verdadeira correlação entre elas, por meio dos seguintes indicadores:

- Coeficiente de determinação, dado por  $R^2$ , que avalia a exatidão do modelo pelo afastamento da variável dependente em relação ao seu valor médio. Seu valor pode variar de 0 a 1. Caso chegue ao valor máximo, significa que o modelo de regressão explica 100% das variações na variável dependente. Sendo que, a partir

de 0,75, convencionou-se ter um valor aceitável (BUSSAB & MORETTIN, 2013). Matematicamente,  $R^2$  é, conforme a equação (14),

$$R^2 = \frac{\text{variação explicada da variável dependente}}{\text{variação total da variável dependente}}. \quad (14)$$

- Sensibilidade da variável, conhecida como estatística  $t$ , calculada pela divisão do valor do coeficiente da função linear por seu erro padrão, determinando se a estimativa tem importância estatística de acordo com o seu resultado (BUSSAB & MORETTIN, 2013). Para essa, convencionou-se que valores maiores que 2 são aceitáveis;
- $C_v(RMEQ)$ , calculado pela razão do erro padrão pela média da variável dependente (BUSSAB & MORETTIN, 2013), o qual deverá ser menor que 20%.

A equação de primeiro grau resultante encontrada segue a forma da equação (15),

$$\text{Variável Dependente} = A \times \text{Variável Independente} + B. \quad (15)$$

Após comprovar-se a validade estatística dos dados e montar a equação de primeiro grau do modelo, emprega-se, na equação resultante, os dados da variável independente disponíveis, calcula-se o erro individual por amostra (real – estimada), e somam-nos para verificar se o resultado será igual a zero. Esse princípio é denominado “Erro de Viés”, e quando atendida sua orientação, admite-se que a regressão é válida (CORREA, 2003).

Tal metodologia é considerada pois os coeficientes “A” e “B” são imparciais, ou seja, terão valor independente de erros de modelagem, dentre os quais a utilização de dados fora da faixa, a omissão de variáveis relevantes, a inclusão de variáveis irrelevantes, a forma funcional incorreta e a escassez de dados (CORREA, 2003).

Logo, interpretou-se os valores dos coeficientes como variáveis aleatórias, devendo-se assumir que, para cada valor da variável independente, o valor correspondente da variável dependente é resultado de  $A \times \text{Variável Independente} + B$ , dentre o qual intrinsecamente tem-se uma variável  $\epsilon$ , denominada “Termo de Erro”. Esse termo de erro é zero, em média, para cada valor da variável independente, caso os somatórios sigam o que foi dito inicialmente, provando ser uma boa estimativa (CORREA, 2003).

## 2.5 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

Todos os projetos estão passíveis a erros em seus dados resultantes por interferência humana ou por falha momentâneas em equipamentos como, por exemplo, o sombreamento parcial de uma usina fotovoltaica por algum indivíduo que coloque objetos perto das placas por algumas horas do dia ou falha de um inversor no processo de conversão da energia contínua para alternada até que um técnico responsável faça a devida manutenção. A fim de minimizar ao extremo essa dispersão, é usado o coeficiente de correlação de Pearson como solução.

O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) é uma medida adimensional que pode considerar diversos valores entre -1 e +1, medindo a intensidade e a direção de relações lineares. A intensidade, por sua vez, considera o grau de relacionamento entre duas variáveis, de forma que quanto mais próximo dos extremos, mais forte é a correlação linear (GOES *et al.*, 2016).

De uma forma mais prática, para a escolha dos  $n$  elementos mínimos da amostra calculada com melhor índice de correlação no meio da quantidade  $N$  total de dados disponíveis, deve-se utilizar um terceiro parâmetro que tenha correlação entre as variáveis envolvidas, que seria, de acordo com a equação (16),

$$r = \frac{\text{Variável Dependente}}{\text{Variável Independente}}. \quad (16)$$

Não usado em cálculos, esse índice é usado apenas para ordenar os dados, seja em ordem crescente ou decrescente, colocando ao redor de sua média os pontos mais aderentes à análise e que causariam um coeficiente de determinação maior.

### 3 ESTUDO DE CASO

O Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus Boituva é resultado de esforços da Prefeitura de Boituva e da Associação Vereador “Jandir Schincariol”, do IFSP e do ministério da educação que implementaram a escola em vista às necessidades da região, cuja principal atividade econômica é a indústria e serviços, oferecendo os cursos nas áreas de Informática e Automação Industrial (MEC, 2018).

O IFSP, como diversas instalações antigas que possuem grande prestígio e público no cenário atual, está sob efeito da depreciação do sistema elétrico e de iluminação, que acarretam na não adequação das instruções normativas estipuladas e alto desperdício de energia. Nesses casos, a solução mais simples e, ainda sim, adequada e efetiva, é a modernização do complexo sem alteração da estrutura (*retrofit*) (MARCILI, 2015).

Após criar um inventário de lâmpadas por meio de uma visita técnica ao local, chegou-se à relação de 876 lâmpadas em 17 ambientes. Dentre elas, 640 Lâmpadas Fluorescentes Tubulares (FLT) de 40 W e 236 FLT de 32 W. Ambas as lâmpadas possuem 1200 mm de comprimento e diferem, principalmente, por seu tipo de reator. A lâmpada de 40 W vem acompanhada de reatores magnéticos individuais enquanto se usa um reator eletrônico para cada duas FLT de 32 W, cujos valores são, respectivamente, 11 W e 3 W, conforme discriminado na tabela de materiais e equipamentos (Anexo C) do edital da CPP da Companhia Piratininga de Força e Luz (CPFL Piratininga) de 2018, distribuidora de energia com a concessão da área do IFSP, Campus Boituva.

Como a premissa do *retrofit* se baseia na conservação da estrutura do local, a nova lâmpada deve seguir as exigências da NBR 8995 de níveis e uniformidade da mesma forma que as lâmpadas da linha da base seguiam ao serem instaladas. Como as lâmpadas fluorescentes e LEDs tubulares possuem curvas fotométricas semelhantes, não há necessidade de projeto luminotécnico, diferentemente do *retrofit* de luminárias públicas. Portanto, precisando apenas usar a correspondência de fluxos luminosos, leva-se em conta que toda a luz emitida pelo LED é direcionada para o ambiente de trabalho, enquanto a da fluorescente se dispersa por toda extensão da lâmpada, justificando a menor necessidade de fluxo ao fazer essa troca e a consequente redução de consumo, conforme as figuras 3 e 4.



## 4 AVALIAÇÃO EX ANTE

Neste capítulo apresenta-se as estimativas de custo e benefícios do projeto de eficiência energética.

### 4.1 ILUMINAÇÃO

Os sistemas de iluminação já presentes e os que estão sendo propostos são descritos conforme as tabelas 4 a 8, separados verticalmente por ambientes, entre eles, salas de aulas, salas administrativas, laboratórios, corredores e auditórios. Já na horizontal, encontram-se os resultados de quantidade e potência de lâmpadas e reatores, potência total instalada, tempo e dias de utilização do sistema, funcionamento ao ano, horas, dias e meses de utilização em horário de ponta, potência média na ponta, fator de coincidência na ponta e energia consumida.

Tabela 4 - Sistemas atuais: 1 a 3 (Ex Ante).

		TOTAL	Ilum1	Ilum2	Ilum3
<b>Tipo de equipamento / tecnologia</b>			FLT	FLT	FLT
<b>Lâmpadas</b>	Potência W	<b>624,00</b>	32	40	40
	Quantidade	<b>876</b>	64	320	160
<b>Reatores</b>	Potência W	<b>142,00</b>	3	11	11
	Quantidade	<b>750</b>	32	320	160
<b>Potência instalada</b>	kW	<b>40,55</b>	2,14	16,32	8,16
<b>Tempo de utilização do sistema, em um dia</b>	h/dia		14,00	7	10
<b>Dias de utilização do sistema, em um ano</b>	dia/ano		245,00	200,00	200,00
<b>Funcionamento</b>	h/ano		3.430,00	1.400,00	2.000,00
<b>Horas de utilização em horário de ponta, em um dia</b>	h/dia		3,00	2,00	2,00
<b>Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês</b>	dia/mês		22,00	22,00	22,00
<b>Meses de utilização em horário de ponta, em um ano</b>	mês/ano		10,50	9,50	9,50
<b>Potência média na ponta</b>	kW	<b>23,45</b>	1,88	8,61	4,31
<b>Fator de coincidência na ponta</b>			0,88	0,53	0,53
<b>Energia consumida</b>	MWh/ano	<b>65,66</b>	7,35	22,85	16,32
<b>Demanda média na ponta</b>	kW	<b>23,45</b>	1,88	8,61	4,31

Fonte: O próprio autor.

Tabela 5 - Sistemas atuais: 4 a 7 (Ex Ante).

		Ilum4	Ilum5	Ilum6	Ilum7
<b>Tipo de equipamento / tecnologia</b>			FLT	FLT	FLT
<b>Lâmpadas</b>	Potência W		32	40	32
	Quantidade		24	72	8
<b>Reatores</b>	Potência W		3	11	3
	Quantidade		12	72	4
<b>Potência instalada</b>	kW		0,80	3,67	0,27
<b>Tempo de utilização do sistema, em um dia</b>	h/dia		14	5	12
<b>Dias de utilização do sistema, em um ano</b>	dia/ano		200,00	200,00	200,00
<b>Funcionamento</b>	h/ano		2.800,00	1.000,00	2.400,00
<b>Horas de utilização em horário de ponta, em um dia</b>	h/dia		3,00	3,00	3,00
<b>Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês</b>	dia/mês		22,00	22,00	22,00
<b>Meses de utilização em horário de ponta, em um ano</b>	mês/ano		9,50	9,50	9,50

Potência média na ponta	kW	0,64	2,91	0,21	0,00
Fator de coincidência na ponta		0,79	0,79	0,79	0,00
Energia consumida	MWh/ano	2,25	3,67	0,64	0,04
Demanda média na ponta	kW	0,64	2,91	0,21	0,00

Fonte: O próprio autor.

Tabela 6 - Sistemas atuais: 8 a 11 (Ex Ante).

		Ilum8	Ilum9	Ilum10	Ilum11
Tipo de equipamento / tecnologia		FLT	FLT	FLT	FLT
Lâmpadas	Potência	W	40	32	40
	Quantidade		16	4	8
Reatores	Potência	W	22	3	11
	Quantidade		8	2	8
Potência instalada	kW	0,82	0,13	0,41	0,20
Tempo de utilização do sistema, em um dia	h/dia	12	8	1	12
Dias de utilização do sistema, em um ano	dia/ano	200,00	200,00	200,00	200,00
Funcionamento	h/ano	2.400,00	1.600,00	200,00	2.400,00
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia	h/dia	3,00	3,00	0,00	3,00
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês	dia/mês	22,00	22,00	22,00	22,00
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano	mês/ano	9,50	10,50	10,50	10,50
Potência média na ponta	kW	0,65	0,12	0,00	0,18
Fator de coincidência na ponta		0,79	0,88	0,00	0,88
Energia consumida	MWh/ano	1,96	0,21	0,08	0,49
Demanda média na ponta	kW	0,65	0,12	0,00	0,18

Fonte: O próprio autor.

Tabela 7 - Sistemas atuais: 12 a 15 (Ex Ante).

		Ilum12	Ilum13	Ilum14	Ilum15
Tipo de equipamento / tecnologia		FLT	FLT	FLT	FLT
Lâmpadas	Potência	W	32	40	40
	Quantidade		16	4	48
Reatores	Potência	W	3	11	11
	Quantidade		8	4	48
Potência instalada	kW	0,54	0,20	2,45	0,13
Tempo de utilização do sistema, em um dia	h/dia	12	5	14	12
Dias de utilização do sistema, em um ano	dia/ano	245,00	200,00	200,00	200,00
Funcionamento	h/ano	2.940,00	1.000,00	2.800,00	2.400,00
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia	h/dia	3,00	1,00	3,00	3,00
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês	dia/mês	22,00	22,00	22,00	22,00
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano	mês/ano	10,50	9,50	10,50	9,50
Potência média na ponta	kW	0,47	0,05	2,14	0,11
Fator de coincidência na ponta		0,88	0,26	0,88	0,79
Energia consumida	MWh/ano	1,58	0,20	6,85	0,32
Demanda média na ponta	kW	0,47	0,05	2,14	0,11

Fonte: O próprio autor.

Tabela 8 - Sistemas atuais: 16 e 17 (Ex Ante).

		Ilum16	Ilum17
Tipo de equipamento / tecnologia		FLT	FLT
Lâmpadas	Potência	W	32
	Quantidade		116
Reatores	Potência	W	3
	Quantidade		58
Potência instalada	kW	3,89	0,20
Tempo de utilização do sistema, em um dia	h/dia	3	12
Dias de utilização do sistema, em um ano	dia/ano	50,00	100,00
Funcionamento	h/ano	150,00	1.200,00
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia	h/dia	1,00	3,00
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês	dia/mês	22,00	22,00
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano	mês/ano	9,50	9,50
Potência média na ponta	kW	1,03	0,16
Fator de coincidência na ponta		0,26	0,79
Energia consumida	MWh/ano	0,58	0,24
Demanda média na ponta	kW	1,03	0,16

Fonte: O próprio autor.

Em resumo, tem-se 40,55 kW instalados no sistema de iluminação, o que ocasiona um consumo de 65,66 MWh/ano com 23,45 kW de demanda no horário de ponta. Já os sistemas propostos são detalhados nas tabelas 9 a 13.

Tabela 9 - Sistemas propostos: 1 a 3 (Ex Ante).

		TOTAL	Ilum1	Ilum2	Ilum3
Tipo de equipamento / tecnologia			LED	LED	LED
Lâmpadas	Potência	W 306,00	18	18	18
	Quantidade	876	64	320	160
Reatores	Potência	W 0,00	0	0	0
	Quantidade	0	0	0	0
Potência instalada		kW 15,77	1,15	5,76	2,88
Tempo de utilização do sistema, em um dia		h/dia	14	7	10
Dias de utilização do sistema, em um ano		dia/ano	245,00	200,00	200,00
Funcionamento		h/ano	3.430,00	1.400,00	2.000,00
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia		h/dia	3,00	2,00	2,00
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês		dia/mês	22,00	22,00	22,00
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano		mês/ano	10,50	9,50	9,50
Potência média na ponta		kW 9,10	1,01	3,04	1,52
Fator de coincidência na ponta			0,88	0,53	0,53
Energia consumida		MWh/ano 25,56	3,95	8,06	5,76
Demanda média na ponta		kW 9,10	1,01	3,04	1,52

Fonte: O próprio autor.

Tabela 10 - Sistemas propostos: 4 a 7 (Ex Ante).

		Ilum4	Ilum5	Ilum6	Ilum7
Tipo de equipamento / tecnologia			LED	LED	LED
Lâmpadas	Potência	W 18	18	18	18
	Quantidade	24	72	8	4
Reatores	Potência	W 0	0	0	0
	Quantidade	0	0	0	0
Potência instalada		kW 0,43	1,30	0,14	0,07
Tempo de utilização do sistema, em um dia		h/dia	14	5	12
Dias de utilização do sistema, em um ano		dia/ano	200,00	200,00	200,00
Funcionamento		h/ano	2.800,00	1.000,00	2.400,00
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia		h/dia	3,00	3,00	3,00
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês		dia/mês	22,00	22,00	22,00
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano		mês/ano	9,50	9,50	9,50
Potência média na ponta		kW 0,34	1,03	0,11	0,00
Fator de coincidência na ponta			0,79	0,79	0,79
Energia consumida		MWh/ano 1,21	1,30	0,35	0,01
Demanda média na ponta		kW 0,34	1,03	0,11	0,00

Fonte: O próprio autor.

Tabela 11 - Sistemas propostos: 8 a 11 (Ex Ante).

		Ilum8	Ilum9	Ilum10	Ilum11
Tipo de equipamento / tecnologia			LED	LED	LED
Lâmpadas	Potência	W 18	18	18	18
	Quantidade	16	4	8	4
Reatores	Potência	W 0	0	0	0
	Quantidade	0	0	0	0
Potência instalada		kW 0,29	0,07	0,14	0,07
Tempo de utilização do sistema, em um dia		h/dia	12	8	12
Dias de utilização do sistema, em um ano		dia/ano	200,00	200,00	200,00
Funcionamento		h/ano	2.400,00	1.600,00	2.400,00
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia		h/dia	3,00	3,00	3,00
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês		dia/mês	22,00	22,00	22,00
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano		mês/ano	9,50	10,50	10,50
Potência média na ponta		kW 0,23	0,06	0,00	0,06
Fator de coincidência na ponta			0,79	0,88	0,88
Energia consumida		MWh/ano 0,69	0,12	0,03	0,17
Demanda média na ponta		kW 0,23	0,06	0,00	0,06

Fonte: O próprio autor.

Tabela 12 - Sistemas propostos: 12 a 15 (Ex Ante).

			<b>Ilum12</b>	<b>Ilum13</b>	<b>Ilum14</b>	<b>Ilum15</b>
<b>Tipo de equipamento / tecnologia</b>			LED	LED	LED	LED
<b>Lâmpadas</b>	Potência	W	18	18	18	18
	Quantidade		16	4	48	4
<b>Reatores</b>	Potência	W	0	0	0	0
	Quantidade		0	0	0	0
<b>Potência instalada</b>		kW	0,29	0,07	0,86	0,07
<b>Tempo de utilização do sistema, em um dia</b>		h/dia	12	5	14	12
<b>Dias de utilização do sistema, em um ano</b>		dia/ano	245,00	200,00	200,00	200,00
<b>Funcionamento</b>		h/ano	2.940,00	1.000,00	2.800,00	2.400,00
<b>Horas de utilização em horário de ponta, em um dia</b>		h/dia	3,00	1,00	3,00	3,00
<b>Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês</b>		dia/mês	22,00	22,00	22,00	22,00
<b>Meses de utilização em horário de ponta, em um ano</b>		mês/ano	10,50	9,50	10,50	9,50
<b>Potência média na ponta</b>		kW	0,25	0,02	0,76	0,06
<b>Fator de coincidência na ponta</b>			0,88	0,26	0,88	0,79
<b>Energia consumida</b>		MWh/ano	0,85	0,07	2,42	0,17
<b>Demanda média na ponta</b>		kW	0,25	0,02	0,76	0,06

Fonte: O próprio autor.

Tabela 13 - Sistemas propostos: 16 e 17 (Ex Ante).

			<b>Ilum16</b>	<b>Ilum17</b>
<b>Tipo de equipamento / tecnologia</b>			LED	LED
<b>Lâmpadas</b>	Potência	W	18	18
	Quantidade		116	4
<b>Reatores</b>	Potência	W	0	0
	Quantidade		0	0
<b>Potência instalada</b>		kW	2,09	0,07
<b>Tempo de utilização do sistema, em um dia</b>		h/dia	3	12
<b>Dias de utilização do sistema, em um ano</b>		dia/ano	50,00	100,00
<b>Funcionamento</b>		h/ano	150,00	1.200,00
<b>Horas de utilização em horário de ponta, em um dia</b>		h/dia	1,00	3,00
<b>Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês</b>		dia/mês	22,00	22,00
<b>Meses de utilização em horário de ponta, em um ano</b>		mês/ano	9,50	9,50
<b>Potência média na ponta</b>		kW	0,55	0,06
<b>Fator de coincidência na ponta</b>			0,26	0,79
<b>Energia consumida</b>		MWh/ano	0,31	0,09
<b>Demanda média na ponta</b>		kW	0,55	0,06

Fonte: O próprio autor.

Dessa forma, para a potência instalada proposta de 15,77 kW e considerando o mesmo perfil de uso do sistema de iluminação por parte da unidade consumidora, seria observado uma redução do consumo para 25,56 MWh/ano, 71,07% abaixo da anterior, e uma diminuição de 61,19% da demanda no horário de ponta, indo para 9,10 kW.

## 4.2 FOTVOLTAICO

Apesar disso, levando em consideração a suprir a margem de RCB disponível, foi dimensionada uma Usina Fotovoltaica de 77,55 kWp. Por conta do alto custo de

implementação de projetos de fontes incentivadas, nem sempre é possível compensar o consumo por completo da UC por meio do PEE, por prejudicar a viabilidade do projeto. Desse modo, foram preenchidos 5 telhados de um prédio do Campus localizados em posições de maior incidência solar de forma que a RCB do projeto estivesse dentro dos critérios da ANEEL de forma conservadora, ou seja, sem chegar ao limite, para que não haja risco do projeto ser inviabilizado durante a análise *ex post*.

Foi utilizado o *software* SOLergo, da fabricante Electro Graphics. No referido *software*, a avaliação do recurso solar disponível é realizada de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) e Atlas Solarimétrico do Brasil (2000), tendo como referência o local com os dados históricos e de radiação solar nas imediações de Boituva, conforme a tabela 14.

Tabela 14 - Radiação solar na região de Boituva.

Mês	Total diário [MJ/m <sup>2</sup> ]	Total mensal [MJ/m <sup>2</sup> ]
Janeiro	20,12	623,72
Fevereiro	20,93	586,04
Março	18,36	569,16
Abril	16,32	489,6
Mai	13,28	411,68
Junho	12,32	369,6
Julho	12,75	395,25
Agosto	16,29	504,99
Setembro	16,92	507,6
Outubro	19,01	589,31
Novembro	20,59	617,7
Dezembro	22,04	683,24

Fonte: SOLERGO.

O sistema fotovoltaico é composto por 1 gerador em 2 exposições, diferenciadas pelo azimute (distância horizontal, em graus, do norte à direção que a placa está voltada) e *tilt* (inclinação entre a superfície do telhado juntamente com o suporte da placa e a superfície horizontal), como é exposta na tabela 15.

Tabela 15 - Dados das exposições das placas fotovoltaicas.

Descrição	Tipo de instalação	Azimute	Tilt	Sombreamento
Exposição 1	Ângulo fixo	5°	0°	0%
Exposição 2	Ângulo fixo	-44°	10°	0%

Fonte: O próprio autor.

O gerador é composto de 235 módulos fotovoltaicos de silício policristalino com uma vida útil estimada de mais de 25 anos, e degradação devido ao envelhecimento de 0,8% ao ano. O módulo escolhido, devido principalmente à disponibilidade e compromisso da principal comercializadora de materiais para a empresa proponente, a

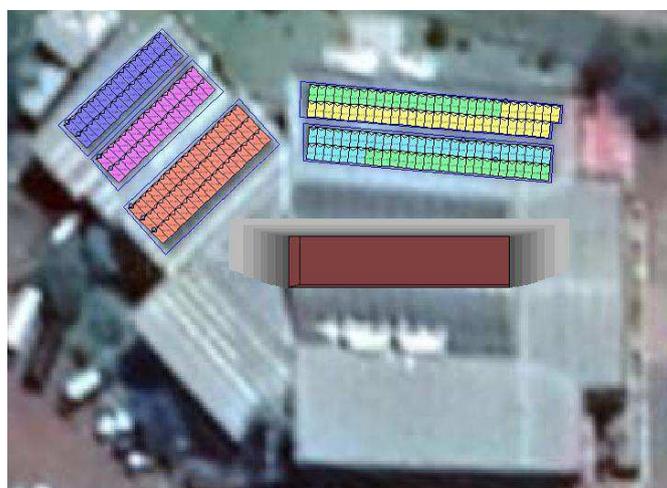
Sices Solar, foi da fabricante CSI Canadian Solar, cujo modelo é o *Max Power CS6U* – 330 W.

$$P = P_{\text{módulos}} * N^{\circ}_{\text{módulos}} = 330 \text{ W} * 235 = 77,55 \text{ kWp.}$$

A unidade de conversão desse sistema consiste no uso de 3 inversores iguais da fabricante ABB, no modelo o *Trio-27.5-TL-OUTD*, com 2 MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) cada, cuja potência nominal é dada por 27,5 kW.

Dessa forma, as placas são arranjadas entre as MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dos inversores, separados por cores, e resultam no *layout* da figura 5.

Figura 5 - *Layout* da Usina Fotovoltaica.



Fonte: O próprio autor.

A partir dos dados da plataforma Sunrise and Sunset, levantou-se os dados de pôr do sol da cidade de Boituva em 2018, chegando à média anual de por do sol às 18 h e 12 min.

Mesmo que a média de por do sol seja 12 minutos acima do início do horário de ponta da CPFL Piratininga, as 18:00h, a redução de demanda na ponta não é considerada na usina fotovoltaica uma vez que o projeto de fontes incentivadas não se caracterizam como uma AEE, havendo apenas uma compensação da energia consumida na fatura de energia do consumidor, tendo como resultado a energia gerada ao ano de 108,67 MWh.

### 4.3 CUSTOS DIRETOS E INDIRETOS

Faz parte dos custos diretos inerentes à rubrica materiais e equipamentos as especificações descritas pela tabela 16. As lâmpadas LED obedecem a Vida Útil descrita em catálogo (25000 h) com relação ao seu perfil de utilização, da forma da equação (17),

$$Vida\ Útil = \frac{Vida\ útil\ em\ horas}{Funcionamento,\ em\ h/ano} \quad (17)$$

Tabela 16 - Rubrica materiais e equipamentos.

Sistema	Material	Vida Útil (anos)	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Ilumin 1	LED Tubular T8 18W PROCEL	7,28	64	R\$ 23,85	R\$ 1.526,40
Ilumin 2	LED Tubular T8 18W PROCEL	17,85	320	R\$ 23,85	R\$ 7.632,00
Ilumin 3	LED Tubular T8 18W PROCEL	12,5	160	R\$ 23,85	R\$ 3.816,00
Ilumin 4	LED Tubular T8 18W PROCEL	8,92	24	R\$ 23,85	R\$ 572,40
Ilumin 5	LED Tubular T8 18W PROCEL	25	72	R\$ 23,85	R\$ 1.717,20
Ilumin 6	LED Tubular T8 18W PROCEL	10,41	8	R\$ 23,85	R\$ 190,80
Ilumin 7	LED Tubular T8 18W PROCEL	125	4	R\$ 23,85	R\$ 95,40
Ilumin 8	LED Tubular T8 18W PROCEL	10,41	16	R\$ 23,85	R\$ 381,60
Ilumin 9	LED Tubular T8 18W PROCEL	15,62	4	R\$ 23,85	R\$ 95,40
Ilumin 10	LED Tubular T8 18W PROCEL	125	8	R\$ 23,85	R\$ 190,80
Ilumin 11	LED Tubular T8 18W PROCEL	10,41	4	R\$ 23,85	R\$ 95,40
Ilumin 12	LED Tubular T8 18W PROCEL	8,5	16	R\$ 23,85	R\$ 381,60
Ilumin 13	LED Tubular T8 18W PROCEL	25	4	R\$ 23,85	R\$ 95,40
Ilumin 14	LED Tubular T8 18W PROCEL	8,928	48	R\$ 23,85	R\$ 1.144,80
Ilumin 15	LED Tubular T8 18W PROCEL	10,41	4	R\$ 23,85	R\$ 95,40
Ilumin 16	LED Tubular T8 18W PROCEL	166,66	116	R\$ 23,85	R\$ 2.766,60
Ilumin 17	LED Tubular T8 18W PROCEL	20,83	4	R\$ 23,85	R\$ 95,40
Fotovoltaico	Paineis Fotovoltaicos	25	235	R\$ 636,59	R\$ 149.600,00
Fotovoltaico	Inversor	15	3	R\$ 11.733,33	R\$ 35.199,99
Fotovoltaico	Estrutura	25	1	R\$ 59.200,00	R\$ 59.200,00
<b>Total</b>					<b>R\$ 234.892,59</b>

Fonte: O próprio autor.

Fazem parte dos custos diretos inerentes a rubrica Mão de Obra de Terceiros aqueles especificados pela tabela 17.

Tabela 17 - Rubrica mão de obra de terceiros.

Mão de Obra de Terceiros	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Custo Total PEE (R\$)
Gerenciamento do Projeto	1	R\$ 8.700,00	R\$ 8.700,00
Diagnóstico Energético	1	R\$ 15.900,00	R\$ 15.900,00
Execução dos Serviços de Troca - Iluminação	876	R\$ 24,73	R\$ 21.663,48
Implantação e Supervisão da Usina Fotovoltaica	1	R\$ 21.000,00	R\$ 21.000,00
Relatório Final do Projeto	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
<b>Total</b>			<b>R\$ 77.263,48</b>

Fonte: O próprio autor.

Todos os materiais e equipamentos retirados de operação deverão ser descartados de maneira ambientalmente adequada. Dessa forma, a tabela 18 descreve os custos indiretos inerentes a rubrica Descarte de Materiais.

Tabela 18 - Rubrica descarte de materiais.

Descarte de Materiais e Equipamentos	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Custo Total PEE (R\$)
Lâmpada	876	R\$ 1,30	R\$ 471,30
Reator	750	R\$ 1,54	R\$ 667,50
Transporte	1	R\$ 272,09	R\$ 272,09
<b>Total</b>			<b>R\$ 2.565,89</b>

Fonte: O próprio autor.

Para a rubrica medição & verificação, dividiu-se os sistemas em agrupamentos levando em consideração o tipo de lâmpada e horários de funcionamento, de forma a reduzir a quantidade de amostras a serem medidas e, conseqüentemente, reduzir os custos do projeto. Os agrupamentos serão explicados com maiores detalhes na etapa *ex post* desse trabalho, onde serão efetivamente medidos, e na tabela 19 encontram-se descritos os serviços e custos indiretos inerentes estimados.

Tabela 19 - Rubrica medição &amp; verificação.

Medição & Verificação	Grupo	Quantidade	Amostragem	Valor Unitário (R\$)	Custo Total PEE (R\$)
Plano de M&V		1		R\$ 2.550,00	R\$ 2.550,00
Medição Inicial - Lâmpada Fluorescente Tubular 40W	1	48	32	R\$ 16,99	R\$ 543,68
Medição Inicial - Lâmpada Fluorescente Tubular 40W	2	24	19	R\$ 16,99	R\$ 322,81
Medição Inicial - Lâmpada Fluorescente Tubular 40W	3	160	60	R\$ 16,99	R\$ 1.019,40
Medição Inicial - Lâmpada Fluorescente Tubular 32W	4	4	4	R\$ 16,99	R\$ 67,96
Medição Inicial - Lâmpada Fluorescente Tubular 40W	5	320	74	R\$ 16,99	R\$ 1.257,26
Medição Inicial - Lâmpada Fluorescente Tubular 40W	6	72	41	R\$ 16,99	R\$ 696,59
Medição Inicial - Lâmpada Fluorescente Tubular 40W	7	4	4	R\$ 16,99	R\$ 67,96
Medição Inicial - Lâmpada Fluorescente Tubular 32W	8	116	53	R\$ 16,99	R\$ 900,47
Medição Inicial - Lâmpada Fluorescente Tubular 40W	9	12	11	R\$ 16,99	R\$ 186,89
Medição Inicial - Lâmpada Fluorescente Tubular 32W	10	88	46	R\$ 16,99	R\$ 781,54
Medição Inicial - Lâmpada Fluorescente Tubular 32W	11	28	22	R\$ 16,99	R\$ 373,78
Medição Final - Lâmpada LED 18W	1	48	32	R\$ 14,36	R\$ 459,39
Medição Final - Lâmpada LED 18W	2	24	19	R\$ 14,36	R\$ 272,76
Medição Final - Lâmpada LED 18W	3	160	60	R\$ 14,36	R\$ 861,36
Medição Final - Lâmpada LED 18W	4	4	4	R\$ 14,36	R\$ 57,42
Medição Final - Lâmpada LED 18W	5	320	74	R\$ 14,36	R\$ 1.062,35
Medição Final - Lâmpada LED 18W	6	72	41	R\$ 14,36	R\$ 588,60
Medição Final - Lâmpada LED 18W	7	4	4	R\$ 14,36	R\$ 57,42
Medição Final - Lâmpada LED 18W	8	116	53	R\$ 14,36	R\$ 760,87
Medição Final - Lâmpada LED 18W	9	12	11	R\$ 14,36	R\$ 157,92
Medição Final - Lâmpada LED 18W	10	88	46	R\$ 14,36	R\$ 660,38
Medição Final - Lâmpada LED 18W	11	28	22	R\$ 14,36	R\$ 315,83
Medição Inicial - Fotovoltaico		1		R\$ 4.000,00	R\$ 4.000,00
Medição Final - Fotovoltaico		1		R\$ 4.000,00	R\$ 4.000,00
Relatório de M&V		1		R\$ 5.100,00	R\$ 5.100,00
<b>Total</b>				<b>R\$ 27.122,65</b>	

Fonte: O próprio autor.

#### 4.4 CUSTO CONTÁBIL

A tabela 20 apresenta os custos totais separados por categoria contábil e origem, resumindo em uma só tela as informações anteriormente descritas. Os custos de mão de obra própria, transporte, marketing, treinamento e capacitação são dados por certas porcentagens dos custos anteriormente discriminados por definição do edital da CPP de 2018 da CPFL Piratininga, dessa forma:

- Mão de obra própria: 5% do somatório dos custos de materiais e equipamentos, mão de obra de terceiros e descarte;
- Transporte: 0,5% do somatório dos custos de materiais e equipamentos, mão de obra de terceiros e descarte;
- Marketing: 5% do custo em materiais e equipamentos;
- Treinamento e capacitação: 5% do somatório dos custos de materiais e equipamentos, mão de obra de terceiros e descarte.

Tabela 20 - Separação dos custos por categoria contábil e origem.

Rubrica	% PEE	Recursos do PEE (R\$)		Recursos do Consumidor (R\$)
<b>Custos Diretos</b>				
Materiais e Equipamentos	60,77%	R\$	234.892,59	R\$ -
Mão de Obra Própria	4,07%	R\$	15.736,10	R\$ -
Mão de Obra de Terceiros	19,99%	R\$	77.263,48	R\$ -
Transporte	0,41%	R\$	1.573,61	R\$ -
<b>Custos Indiretos</b>				
Marketing	3,04%	R\$	11.744,63	R\$ -
Treinamento e Capacitação	4,07%	R\$	15.736,10	R\$ -
Descarte de Materiais	0,66%	R\$	2.565,89	R\$ -
Medição e Verificação	7,02%	R\$	27.122,65	R\$ -
<b>Total dos Custos do Projeto</b>	<b>100,00%</b>	<b>R\$</b>	<b>386.545,05</b>	<b>R\$ -</b>

Fonte: O próprio autor.

## 4.5 CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS

Os benefícios do projeto refletem a economia financeira resultante da implementação das proposições de melhorias sob o ponto de vista do sistema elétrico, impactando diretamente na infraestrutura da distribuidora e permitindo que a mesma postergue investimentos quanto a ampliação da mesma.

A Resolução Homologatória vigente é aquela de número 2.314 de 17 de outubro de 2017, para um Fator de Carga (FC) de 67%. Dentro da resolução, encontram-se os valores de todas as variáveis especificadas para o cálculo dos Custos Unitários Evitados de Energia e Demanda no capítulo 2.2.1. deste trabalho considerando a unidade consumidora no posto tarifário azul. Como resultado, tem-se que o CEE= 329,05 R\$/MWh e CED= 306,37 R\$/kW.

Sendo assim, a valorização do benefício total resultante pode ser melhor descrito como a soma do benefício inerente a AEE com a do benefício inerente à usina fotovoltaica, multiplicados pelos seus custos de energia e demanda evitadas. As equações abaixo desenvolvem tal raciocínio.

$$\begin{aligned}
 Bat = & (EE_{ilum} \times CEE + RDP_{ilum} \times CED) + (EE_{ilum} \times CEE + RDP_{ilum} \times CED) + \\
 & (EE_{CG} \times CEE + RDP_{CG} \times CED),
 \end{aligned}$$

$$BA_t = (40,10 \times 329,05 + 14,36 \times 306,37) + (108,67 \times 329,05 + 0 \times 306,37),$$

$$BA_t = R\$ 53.352,25.$$

Assim, a valoração do benefício por meio da economia de energia e redução da demanda na ponta anualizado é dada por R\$ 53.522,25, que será usado juntamente com o custo anualizado no capítulo seguinte para encontrar o RCB do projeto.

## 4.6 RELAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO

A fim de facilitar a compreensão desta análise, a tabela 21 apresenta as RCBs por sistema eficientizado considerando o FRC de cada sistema para encontrar o custo anualizado, e por fim a RCB<sub>PEE</sub> do projeto.

Tabela 21 - Relação custo benefício (*Ex Ante*).

Sistema	EE (MWh/ano)	RDP (kW)	Custo Anualizado PEE (R\$)		Benefício Anualizado (R\$)		RCB
Ilumin 1	3,40	0,87	R\$	468,17	R\$	1.385,54	0,34
Ilumin 2	14,78	5,57	R\$	1.345,39	R\$	6.572,18	0,20
Ilumin 3	10,56	2,79	R\$	813,26	R\$	4.328,52	0,19
Ilumin 4	1,04	0,29	R\$	151,66	R\$	432,96	0,35
Ilumin 5	2,38	1,88	R\$	264,79	R\$	1.358,10	0,19
Ilumin 6	0,30	0,10	R\$	45,56	R\$	128,00	0,36
Ilumin 7	0,03	0,00	R\$	12,56	R\$	8,69	1,45
Ilumin 8	1,27	0,42	R\$	91,13	R\$	545,03	0,17
Ilumin 9	0,10	0,05	R\$	17,96	R\$	49,26	0,36
Ilumin 10	0,05	0,00	R\$	25,13	R\$	17,37	1,45
Ilumin 11	0,32	0,12	R\$	22,78	R\$	139,63	0,16
Ilumin 12	0,73	0,22	R\$	104,63	R\$	306,40	0,34
Ilumin 13	0,13	0,03	R\$	14,71	R\$	54,11	0,27
Ilumin 14	4,44	1,39	R\$	303,32	R\$	1.884,03	0,16
Ilumin 15	0,15	0,05	R\$	22,78	R\$	64,00	0,36
Ilumin 16	0,27	0,47	R\$	364,31	R\$	234,11	1,56
Ilumin 17	0,16	0,10	R\$	15,73	R\$	84,14	0,19
<b>Total Ilumin</b>	<b>40,10</b>	<b>14,36</b>	<b>R\$</b>	<b>4.083,87</b>	<b>R\$</b>	<b>17.592,08</b>	<b>0,23</b>
<b>Fotovoltaico</b>	<b>108,67</b>	<b>0,00</b>	<b>R\$</b>	<b>34.339,29</b>	<b>R\$</b>	<b>35.761,17</b>	<b>0,96</b>
<b>RCB<sub>PEE</sub></b>							<b>0,72</b>

Fonte: O próprio autor.

Tendo em vista as considerações da tabela supra, ao parametrizar os custos e benefícios numa única unidade (R\$), a RCB do projeto chegou a 0,23 com a eficientização do sistema de iluminação, dando uma grande margem para a implementação da Usina Fotovoltaica, que possuiu RCB de 0,96 chegando, por fim, à relação custo benefício do projeto de valor 0,72, com uma margem de 0,03 unidades de forma a garantir que a mensuração e validação dos benefícios na análise *ex post* não prejudique a viabilidade do projeto.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS DA ANÁLISE *EX POST*

Neste capítulo apresenta-se as o benefício real do projeto por meio da mensuração e validação dos resultados, com a especificação de instrumentos de medição e ferramentas matemáticas utilizadas.

### 5.1 ILUMINAÇÃO

Para execução da AEE, o projeto foi dividido em sistemas, com base no tipo de equipamento retirado, tipo de equipamento instalado e perfil de uso dos equipamentos. Tendo-se em consideração que o horário de ponta da CPFL Piratininga é das 18hs às 21hs, a Unidade Consumidora possui as seguintes características operacionais:

- Grupo 1 (FLT 40 W): salas com tempo de operação de 14 h, sendo 3 h no horário de ponta;
- Grupo 2 (FLT 40 W): salas com tempo de operação de 12 h, sendo 3 h no horário de ponta;
- Grupo 3: salas com tempo de operação de 10 h, sendo 2 h no horário de ponta;
- Grupo 4: salas com tempo de operação de 8 h, sendo 3 h no horário de ponta;
- Grupo 5: laboratórios com tempo de operação de 7 h, sendo 2 h no horário de ponta;
- Grupo 6: corredor com tempo de operação de 5 h, sendo 3 h no horário de ponta;
- Grupo 7: salas com tempo de operação de 5 h, sendo 1 h no horário de ponta;
- Grupo 8: auditório com tempo de operação de 3 h, sendo 1 h no horário de ponta;
- Grupo 9: ambientes com tempo de operação de 1 h, sem funcionamento no horário de ponta.
- Grupo 10 (FLT 32 W): salas com tempo de operação de 14 h, sendo 3 h no horário de ponta;
- Grupo 11 (FLT 32 W): salas com tempo de operação de 12 h, sendo 3 h no horário de ponta.

### 5.1.1 VARIÁVEIS INDEPENDENTES E FRONTEIRAS DE MEDIÇÃO

Para esse caso, não foram consideradas variáveis independentes. As medições foram efetuadas diretamente nos pontos de alimentação das luminárias, garantindo, assim, que não sofreram interferências de outras cargas.

Foram efetuadas as medições de potência no número de lâmpadas (amostras) necessárias para garantir o critério de 10% de precisão e de 95% de confiança em cada agrupamento, que são vistos na tabela 22, tanto para a linha de base quanto para os equipamentos pós *retrofit*.

Tabela 22 - Quantidade de amostras por grupos.

Grupo	Quantidade	Amostragem
1	48	32
2	24	19
3	160	60
4	4	4
5	320	74
6	72	41
7	4	4
8	116	53
9	12	11
10	88	46
11	28	22
<b>Total</b>	<b>876</b>	<b>366</b>

Fonte: O próprio autor.

### 5.1.2 DETERMINAÇÃO DAS ECONOMIAS

A determinação das economias foi feita a curto prazo, no âmbito de cada projeto, para ser viável economicamente. As extrapolações destas economias para o longo prazo foram feitas através de estudos específicos. Os processos tiveram as seguintes definições de parâmetros:

- Potência – foi medida por um wattímetro alicate, até a leitura estabilizar, em uma amostra das lâmpadas do sistema antigo e novo;

Figura 6 - Alicate wattímetro durante a medição.



Fonte: O próprio autor.

- Tempo – foi estimado por uma medição do acendimento das luminárias, em todos os horários e no horário de ponta, e também por entrevistas com responsáveis da unidade consumidora. O horímetro tem um sensor de luminosidade o qual é checado seu status a cada segundo. Possui memória de massa com variação do intervalo de armazenamento de dados. Este aparelho registrou a presença de luz ao longo do dia, por um período de 7 dias, e armazenamento das medições a cada 5 minutos;

Figura 7 - Horímetro instalado em um dos ambientes da unidade consumidora.



Fonte: O próprio autor.

- Energia – foi obtida pela multiplicação da potência medida pelo tempo de funcionamento estimado, em ambos os períodos de medição;
- Demanda na ponta – foi obtida pela multiplicação da potência pela parcela de tempo de funcionamento na ponta.

### 5.1.3 METODOLOGIA DE CÁLCULO

O consumo de energia foi calculado por meio da equação (18) (PIMVP, 2010):

$$\begin{aligned}
 & \textit{Economia de energia} \\
 = & \textit{Tempo estimado} \times (\textit{Potência da linha de base medida} & (18) \\
 & - \textit{Potência do período de determinação da economia medida})
 \end{aligned}$$

Em relação à redução da demanda na ponta, foi usada a equação (19) para cada sistema:

$$\begin{aligned}
 & \textit{RDP} \\
 = & \textit{FCP estimado} \times (\textit{Potência da linha de base} & (19) \\
 & - \textit{Potência do período de determinação da economia})
 \end{aligned}$$

## 5.2 FOTOVOLTAICO

O módulo 06 do PROPEE determina que a apuração da energia elétrica e demanda geradas deverão ser feitas por um ano. Entretanto, ações de eficiência energética caracterizam-se por um cronograma anual, principalmente aquelas oriundas das Chamadas Públicas de Projetos, inviabilizando assim tal estudo durante o período de execução do projeto, visto que influencia diretamente outras etapas da AEE, como faturamento de materiais e serviços, ações de conscientização e divulgação, relatórios de M&V e Final, entre outras.

Dessa forma, e, em se tratando de geração solar fotovoltaica, faz-se possível minimizar substancialmente este período de acompanhamento de modo a garantir, ainda assim, confiabilidade no parâmetro estimado de energia economizada. O módulo 06 do PROPEE salienta que na existência de dados locais quanto a disponibilidade da fonte utilizada, o tempo de um ano poderá ser reduzido.

Sabendo-se que o município de Boituva se encontra localizado a 35km de uma estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada em Sorocaba/SP, e que esta fornece medições horárias de radiação, consolida-se, assim, um modelo matemático para extrapolação da energia elétrica anual gerada pelo sistema solar fotovoltaico em função da radiação incidente sobre o mesmo.

### 5.2.1 VARIÁVEIS INDEPENDENTES E FRONTEIRA DE MEDIÇÃO

Foi considerada como variável independente a radiação diária ( $\text{kJ/m}^2$ ). A radiação foi obtida por meio da estação meteorológica do INMET mais próxima, a qual encontra-se instalada há aproximadamente 35 km do consumidor, no município de Sorocaba-SP, enquanto fronteira de medição da geração foi o próprio inversor.

### 5.2.2 DETERMINAÇÃO DAS ECONOMIAS

O método escolhido foi a medição de todos os parâmetros-chaves. O processo teve a seguinte definição, com dois fatores analisados:

- Geração de energia – Obtenção, por meio do inversor, dos valores diários de geração para quando findados os 90 dias iniciais de operação da usina dispor de um efetivo banco de dados para correlação.
- Radiação – Obtenção, por meio do portal virtual do INMET, dos valores diários de radiação para quando findados os 90 dias iniciais de operação da usina dispor de um efetivo banco de dados para correlação.

Esta Opção se justificou visto que, novamente, a determinação das economias foi feita a curto prazo, no âmbito de cada projeto, para ser viável economicamente. A extrapolação desta economia para o longo prazo foi realizada por meio de estudos específicos.

### 5.2.3 METODOLOGIA DE CÁLCULO

Utilizando-se do princípio da regressão, explanado no protocolo internacional de medição & verificação de performance (EVO, 2012), correlacionou-se a energia elétrica gerada com o seu parâmetro de influência (radiação) a fim de se determinar uma equação matemática que representasse o comportamento da mesma.

Após a aquisição dos dados anuais do parâmetro de influência, foi-se encontrado o tamanho da amostra. Para minimizar o limite do erro em torno da verdadeira estimativa e elevar a probabilidade de que esta se encontre dentro dos limites da faixa de precisão, adotou-se 10% de precisão com 95% de confiança. Baseando-se nessas informações, uma estimativa inicial do tamanho da amostra global é  $n_0 = 96,04$ . Ao ajustar a estimativa

inicial do tamanho da amostra para o universo de 365 dias, tem-se uma quantidade ótima de 76 amostras.

À partir da correlação dos valores de geração e radiação obtidos em cada um dos 76 dias analisados, teve-se uma equação capaz de representar o comportamento da energia elétrica gerada em função da radiação solar, sob influência das suas mais diversas variações (radiação mínima e radiação máxima, por exemplo). A equação resultante pode ser melhor descrita conforme a equação (20).

$$Energia\ Gerada\ \left(\frac{kWh}{dia}\right) = A \times Radiação\ \left(\frac{kJ}{m^2}\right) + B \quad (20)$$

Utilizando-se dos dados oriundos da estação automática do INMET considerada, que disponibiliza também valores históricos das radiações diárias medidas nos últimos 365 dias, normaliza-se o referido parâmetro admitindo as respectivas radiações para os dias do ano, conforme prevê o princípio da Economia Normalizada descrito no PIMVP. Desta forma, para cada dia compreendido entre os últimos 365 observados, tem-se um valor de radiação válido, o qual será empregado na equação supra, resultando na geração diária de energia elétrica. A somatória destas culminará na geração anual de energia elétrica extrapolada.

## 6 RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se os resultados do projeto após todas as ações de mensuração e extrapolação dos dados obtidos.

### 6.1 ILUMINAÇÃO

De acordo com as premissas do projeto, os custos se mantêm e os resultados por sistema se diferenciam do *ex ante* pela média da medição de tempo de funcionamento e a redução de potência por conta da depreciação medidas nas amostras por agrupamento, de acordo com as tabela 23 e 24, para o sistema atual e o sistema proposto, respectivamente.

Tabela 23 - Resultados das medições para o sistema atual.

Agrupamento	Funcionamento (horas)		Potência (Lâmpada + Reator)	
	<i>Ex Ante</i>	<i>Ex Post</i>	<i>Ex Ante</i>	<i>Ex Post</i>
1	14	13,45	51	41,2
2	12	11,03	51	49,55
3	10	10,21	51	43,5
4	8	9,12	33,5	31,9
5	7	6,97	51	46,4
6	5	4,34	51	49,45
7	5	5,02	51	40,6
8	1	0,9	33,5	29,3
9	1	1,03	51	48,6
10	14	13,56	33,5	21,8
11	12	12,77	33,5	28,3

Fonte: O próprio autor.

Tabela 24 - Resultados das medições para o sistema proposto.

Agrupamento	Funcionamento (horas)		Potência (Lâmpada + Reator)	
	<i>Ex Ante</i>	<i>Ex Post</i>	<i>Ex Ante</i>	<i>Ex Post</i>
1	14	13,45	18	18
2	12	11,03	18	18
3	10	10,21	18	18
4	8	9,12	18	18
5	7	6,97	18	18,1
6	5	4,34	18	18
7	5	5,02	18	18,1
8	1	0,9	18	18
9	1	1,03	18	18
10	14	13,56	18	18
11	12	12,77	18	17,8

Fonte: O próprio autor.

Com as informações acima, temos os seguintes resultados do projeto, das tabelas 25 a 29.

Tabela 25 - Resultados globais de economia em energia e redução de demanda na ponta: 1 a 3.

Resultados Globais			TOTAL	Ilumin 1	Ilumin 2	Ilumin 3
Redução de demanda na ponta		kW	11,50	0,21	4,78	2,15
Custo evitado de demanda (CED) =	306,37	%	0,56	0,17	0,61	0,59
Energia economizada		MWh/ano	31,07	0,83	12,68	8,16
Custo da energia evitada (CEE) =	329,05	%	0,55	0,17	0,61	0,59
Benefício anualizado iluminação - Ex post		R\$	13745,90	339,68	5636,14	3344,76

Fonte: O próprio autor.

Tabela 26 - Resultados globais de economia em energia e redução de demanda na ponta: 4 a 7.

Resultados Globais			Ilumin 4	Ilumin 5	Ilumin 6	Ilumin 7
Redução de demanda na ponta		kW	0,25	1,79	0,06	0,00
Custo evitado de demanda (CED) =	306,37	%	0,43	0,64	0,34	0,00
Energia economizada		MWh/ano	0,90	2,26	0,18	0,03
Custo da energia evitada (CEE) =	329,05	%	0,43	0,64	0,34	0,65
Benefício anualizado iluminação - Ex post		R\$	374,30	1294,32	75,97	8,56

Fonte: O próprio autor.

Tabela 27 - Resultados globais de economia em energia e redução de demanda na ponta: 8 a 11.

Resultados Globais			Ilumin 8	Ilumin 9	Ilumin 10	Ilumin 11
Redução de demanda na ponta		kW	0,38	0,05	0,00	0,12
Custo evitado de demanda (CED) =	306,37	%	0,62	0,44	0,00	0,65
Energia economizada		MWh/ano	1,15	0,09	0,05	0,32
Custo da energia evitada (CEE) =	329,05	%	0,62	0,44	0,63	0,65
Benefício anualizado iluminação - Ex post		R\$	493,83	44,18	16,16	140,90

Fonte: O próprio autor.

Tabela 28 - Resultados globais de economia em energia e redução de demanda na ponta: 12 a 15.

Resultados Globais			Ilumin 12	Ilumin 13	Ilumin 14	Ilumin 15
Redução de demanda na ponta		kW	0,22	0,04	0,97	0,03
Custo evitado de demanda (CED) =	306,37	%	0,46	0,66	0,56	0,35
Energia economizada		MWh/ano	0,73	0,14	3,12	0,10
Custo da energia evitada (CEE) =	329,05	%	0,46	0,66	0,56	0,35
Benefício anualizado iluminação - Ex post		R\$	308,38	56,40	1324,53	40,88

Fonte: O próprio autor.

Tabela 29 - Resultados globais de economia em energia e redução de demanda na ponta: 16 e 17.

Resultados Globais			Ilumin 16	Ilumin 17
Redução de demanda na ponta		kW	0,35	0,09
Custo evitado de demanda (CED) =	306,37	%	0,39	0,63
Energia economizada		MWh/ano	0,20	0,14
Custo da energia evitada (CEE) =	329,05	%	0,39	0,63
Benefício anualizado iluminação - Ex post		R\$	170,67	76,23

Fonte: O próprio autor.

A energia economizada prevista é de 31,07 MWh/ano e a redução de demanda na ponta foi de 11,50 kW para a etapa *ex post*, menor do que a prevista na etapa *ex ante* de,

respectivamente, 40,10 MWh/ano economizados e 14,35 kW de demanda na ponta reduzida,

## 6.2 FOTOVOLTAICO

Como ponto de partida, foram levantadas as informações de geração e radiação observadas para os últimos 90 dias na tabela 30, juntamente com o valor correspondente do Coeficiente de Pearson.

Tabela 30 - Dados diários de geração e radiação: 90 dias.

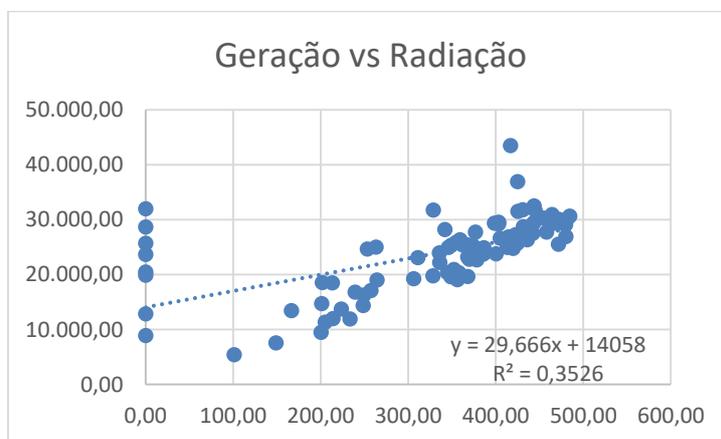
Data	Geração	Radiação	Coefficiente Correlação de Pearson
16/02/2019	375,00	24.471,67	0,015323842
17/02/2019	357,60	20.352,11	0,017570666
18/02/2019	471,70	25.513,34	0,018488367
19/02/2019	414,50	26.846,04	0,015439894
20/02/2019	461,50	29.738,17	0,015518776
21/02/2019	424,60	25.719,71	0,01650874
22/02/2019	311,20	23.114,20	0,013463585
23/02/2019	444,70	31.751,08	0,014005823
24/02/2019	467,30	29.372,26	0,015909569
25/02/2019	471,80	30.087,72	0,015680816
26/02/2019	480,70	29.986,25	0,016030681
27/02/2019	476,00	29.427,24	0,016175489
28/02/2019	475,30	29.682,14	0,016012996
01/03/2019	464,20	30.916,20	0,015014782
02/03/2019	453,80	30.301,26	0,014976275
03/03/2019	479,70	29.058,75	0,016507937
04/03/2019	413,10	24.950,31	0,016556909
05/03/2019	350,00	20.538,29	0,017041341
06/03/2019	436,10	26.365,07	0,016540825
07/03/2019	386,50	24.897,74	0,015523497
08/03/2019	349,20	25.377,32	0,013760318
09/03/2019	257,40	17.125,63	0,015030104
10/03/2019	233,60	11.939,89	0,019564669
11/03/2019	249,30	16.264,75	0,015327626
12/03/2019	378,30	22.694,15	0,016669494
13/03/2019	434,60	28.177,18	0,015423829
14/03/2019	380,90	23.816,59	0,015993054
15/03/2019	480,00	26.913,13	0,017835161
16/03/2019	443,20	29.441,20	0,015053734
17/03/2019	484,60	30.669,39	0,015800771
18/03/2019	354,70	25.872,79	0,013709383
19/03/2019	346,10	24.942,93	0,013875675
20/03/2019	352,30	20.920,91	0,016839612
21/03/2019	253,40	24.633,07	0,010286984
22/03/2019	166,80	13.430,02	0,012419937
23/03/2019	306,10	19.277,80	0,015878368
24/03/2019	458,20	27.743,99	0,016515289
25/03/2019	400,20	23.775,09	0,016832744
26/03/2019	422,60	27.295,69	0,015482298
27/03/2019	403,40	29.244,63	0,013793985
28/03/2019	374,20	25.258,48	0,014814827
29/03/2019	376,70	27.761,55	0,013569127
30/03/2019	419,70	24.786,23	0,016932789
31/03/2019	336,10	22.189,38	0,015146886
01/04/2019	385,60	23.726,15	0,01625211
02/04/2019	328,50	31.777,84	0,010337392
03/04/2019	328,20	19.753,22	0,016615013
04/04/2019	405,00	26.647,96	0,015198162
05/04/2019	417,00	43.471,90	0,009592403
06/04/2019	387,10	23.980,18	0,016142498
07/04/2019	442,20	27.483,54	0,01608963
08/04/2019	398,60	29.357,78	0,013577321

Data	Geração	Radiação	Coefficiente Correlação de Pearson
09/04/2019	369,90	22.825,27	0,016205723
10/04/2019	368,10	23.230,52	0,015845534
11/04/2019	213,30	18.519,36	0,011517677
12/04/2019	424,80	36.917,70	0,011506676
13/04/2019	341,90	28.199,60	0,012124285
14/04/2019	0,00	25.721,34	0
15/04/2019	0,00	31.999,01	0
16/04/2019	0,00	23.655,80	0
17/04/2019	443,60	32.529,70	0,013636769
18/04/2019	430,80	31.834,70	0,013532403
19/04/2019	425,40	31.541,60	0,013486951
20/04/2019	362,00	25.404,35	0,014249528
21/04/2019	205,30	11.323,60	0,018130277
22/04/2019	248,40	14.375,10	0,01727988
23/04/2019	101,30	5.390,44	0,018792529
24/04/2019	367,70	25.438,20	0,014454639
25/04/2019	431,40	28.750,40	0,015005009
26/04/2019	403,40	29.524,70	0,013663136
27/04/2019	359,10	26.359,70	0,013623069
28/04/2019	356,40	19.069,02	0,018690001
29/04/2019	239,40	16.782,09	0,014265208
30/04/2019	200,60	9.507,75	0,021098577
01/05/2019	201,00	14.729,08	0,013646474
02/05/2019	148,90	7.576,50	0,019652874
03/05/2019	223,50	13.732,54	0,016275212
04/05/2019	213,90	11.971,35	0,017867659
05/05/2019	345,00	20.335,10	0,016965739
06/05/2019	368,10	19.649,80	0,018733015
07/05/2019	264,40	19.031,71	0,013892603
08/05/2019	202,00	18.545,35	0,010892218
09/05/2019	348,90	19.625,12	0,017778235
10/05/2019	335,50	23.984,81	0,01398802
11/05/2019	263,40	24.991,79	0,010539461
12/05/2019	0,00	28.666,36	0
13/05/2019	0,00	12.873,31	0
14/05/2019	0,00	8.912,34	0
15/05/2019	0,00	20.444,20	0
16/05/2019	0,00	19.878,44	0

Fonte: O próprio autor.

Nota-se pela coluna “Geração” da tabela 30, que o sistema não teve funcionamento em 8 dias por conta do desligamento do disjuntor pelo cliente e, outrora, falha no inversor. Por isso, houve um impacto relevante na correlação entre as variáveis, como é visto na figura 8, que resultou num  $R^2 = 0,3526$ .

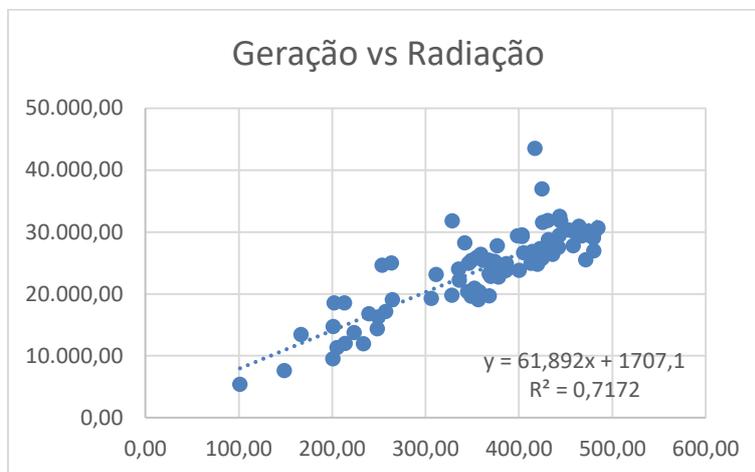
Figura 8 - Gráfico de correlação com 90 dados.



Fonte: O próprio autor.

Ao retirar essas amostras nulas, nota-se considerável melhora no coeficiente de correlação apresentado na figura 9, indo para  $R^2 = 0,7172$ .

Figura 9 - Gráfico de correlação com 82 dados.



Fonte: O próprio autor.

Para se alcançar as melhores 76 amostras dentre os 82 dias de informações válidas, foi utilizada a variável auxiliar dada por Geração/Radiação, a qual apresenta aquelas com melhor aderência entre a variável dependente e a variável independente a partir da sua análise de forma crescente. Na tabela 31, apresentam-se as 76 datas consideradas.

Tabela 31 - Dados diários de geração e radiação: 76 dias.

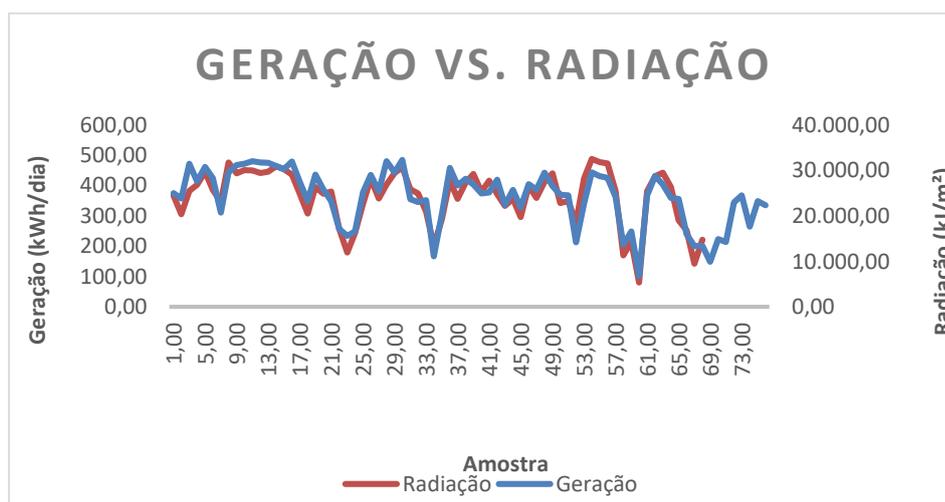
Data	Geração	Radiação	Data	Geração	Radiação
16/02/2019	375	24.471,67	27/03/2019	403,4	29.244,63
17/02/2019	357,6	20.352,11	28/03/2019	374,2	25.258,48
18/02/2019	471,7	25.513,34	29/03/2019	376,7	27.761,55
19/02/2019	414,5	26.846,04	30/03/2019	419,7	24.786,23
20/02/2019	461,5	29.738,17	31/03/2019	336,1	22.189,38
21/02/2019	424,6	25.719,71	01/04/2019	385,6	23.726,15
22/02/2019	311,2	23.114,20	03/04/2019	328,2	19.753,22
23/02/2019	444,7	31.751,08	04/04/2019	405	26.647,96
24/02/2019	467,3	29.372,26	06/04/2019	387,1	23.980,18
25/02/2019	471,8	30.087,72	07/04/2019	442,2	27.483,54
26/02/2019	480,7	29.986,25	08/04/2019	398,6	29.357,78
27/02/2019	476	29.427,24	09/04/2019	369,9	22.825,27
28/02/2019	475,3	29.682,14	10/04/2019	368,1	23.230,52
01/03/2019	464,2	30.916,20	11/04/2019	213,3	18.519,36
02/03/2019	453,8	30.301,26	13/04/2019	341,9	28.199,60
03/03/2019	479,7	29.058,75	17/04/2019	443,6	32.529,70
04/03/2019	413,1	24.950,31	18/04/2019	430,8	31.834,70
05/03/2019	350	20.538,29	19/04/2019	425,4	31.541,60
06/03/2019	436,1	26.365,07	20/04/2019	362	25.404,35
07/03/2019	386,5	24.897,74	21/04/2019	205,3	11.323,60
08/03/2019	349,2	25.377,32	22/04/2019	248,4	14.375,10
09/03/2019	257,4	17.125,63	23/04/2019	101,3	5.390,44
10/03/2019	233,6	11.939,89	24/04/2019	367,7	25.438,20
11/03/2019	249,3	16.264,75	25/04/2019	431,4	28.750,40
12/03/2019	378,3	22.694,15	26/04/2019	403,4	29.524,70
13/03/2019	434,6	28.177,18	27/04/2019	359,1	26.359,70

Data	Geração	Radiação	Data	Geração	Radiação
14/03/2019	380,9	23.816,59	28/04/2019	356,4	19.069,02
15/03/2019	480	26.913,13	29/04/2019	239,4	16.782,09
16/03/2019	443,2	29.441,20	30/04/2019	200,6	9.507,75
17/03/2019	484,6	30.669,39	01/05/2019	201	14.729,08
18/03/2019	354,7	25.872,79	02/05/2019	148,9	7.576,50
19/03/2019	346,1	24.942,93	03/05/2019	223,5	13.732,54
20/03/2019	352,3	20.920,91	04/05/2019	213,9	11.971,35
22/03/2019	166,8	13.430,02	05/05/2019	345	20.335,10
23/03/2019	306,1	19.277,80	06/05/2019	368,1	19.649,80
24/03/2019	458,2	27.743,99	07/05/2019	264,4	19.031,71
25/03/2019	400,2	23.775,09	09/05/2019	348,9	19.625,12
26/03/2019	422,6	27.295,69	10/05/2019	335,5	23.984,81

Fonte: O próprio autor.

A fim de atestar a correlação entre as variáveis supras, ilustrou-se por meio da figura 10 a semelhança dos seus comportamentos, corroborando a ideia de que a geração diária de energia é diretamente influenciada pela radiação diária incidente sobre a planta fotovoltaica.

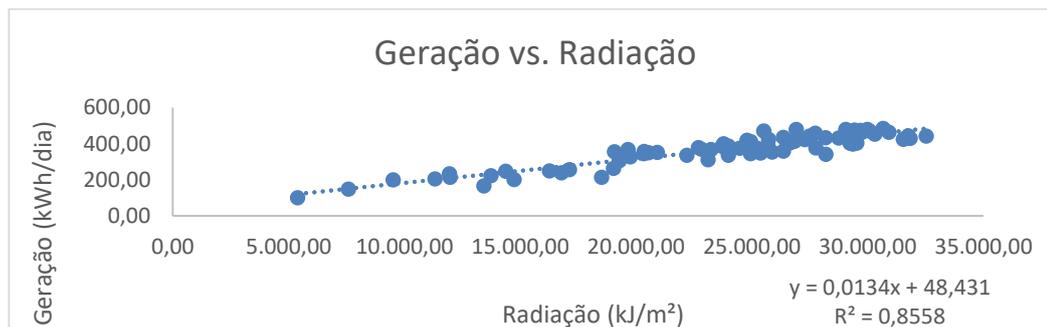
Figura 10 - Demonstração da correlação entre geração e radiação.



Fonte: O próprio autor.

Alternando o tipo de gráfico para o da figura 11 (gráfico de dispersão), pôde-se analisar tal correlação de tal modo a determinar uma equação capaz de retratar o comportamento da geração de energia em função da radiação. A imagem abaixo ilustra o mencionado.

Figura 11 - Determinação da regressão.



Fonte: O próprio autor.

A equação (21) é a resultante e descrita da seguinte forma,

$$\text{Energia Gerada} \left( \frac{kWh}{dia} \right) = 0,0134 \times \text{Radiação} \left( \frac{kJ}{m^2} \right) + 48,431 \quad (21)$$

Na tabela 32, é vista a validade de regressão por meio da aplicação dos valores de radiação na equação supra para encontrar a geração estimada e comparação com a geração real de energia.

Tabela 32 - Validade da regressão.

Data	Geração	Radiação	Estimado	Erro
16/02/2019	375,00	24.471,67	376,60	-1,60
17/02/2019	357,60	20.352,11	321,35	36,25
18/02/2019	471,70	25.513,34	390,57	81,13
19/02/2019	414,50	26.846,04	408,44	6,06
20/02/2019	461,50	29.738,17	447,22	14,28
21/02/2019	424,60	25.719,71	393,33	31,27
22/02/2019	311,20	23.114,20	358,39	-47,19
23/02/2019	444,70	31.751,08	474,21	-29,51
24/02/2019	467,30	29.372,26	442,31	24,99
25/02/2019	471,80	30.087,72	451,91	19,89
26/02/2019	480,70	29.986,25	450,55	30,15
27/02/2019	476,00	29.427,24	443,05	32,95
28/02/2019	475,30	29.682,14	446,47	28,83
01/03/2019	464,20	30.916,20	463,02	1,18
02/03/2019	453,80	30.301,26	454,77	-0,97
03/03/2019	479,70	29.058,75	438,11	41,59
04/03/2019	413,10	24.950,31	383,02	30,08
05/03/2019	350,00	20.538,29	323,85	26,15
06/03/2019	436,10	26.365,07	401,99	34,11
07/03/2019	386,50	24.897,74	382,31	4,19
08/03/2019	349,20	25.377,32	388,74	-39,54
09/03/2019	257,40	17.125,63	278,09	-20,69
10/03/2019	233,60	11.939,89	208,55	25,05
11/03/2019	249,30	16.264,75	266,54	-17,24
12/03/2019	378,30	22.694,15	352,76	25,54
13/03/2019	434,60	28.177,18	426,29	8,31
14/03/2019	380,90	23.816,59	367,81	13,09
15/03/2019	480,00	26.913,13	409,34	70,66
16/03/2019	443,20	29.441,20	443,24	-0,04
17/03/2019	484,60	30.669,39	459,71	24,89
18/03/2019	354,70	25.872,79	395,39	-40,69
19/03/2019	346,10	24.942,93	382,92	-36,82
20/03/2019	352,30	20.920,91	328,98	23,32
22/03/2019	166,80	13.430,02	228,53	-61,73
23/03/2019	306,10	19.277,80	306,95	-0,85
24/03/2019	458,20	27.743,99	420,48	37,72
25/03/2019	400,20	23.775,09	367,26	32,94
26/03/2019	422,60	27.295,69	414,47	8,13
27/03/2019	403,40	29.244,63	440,60	-37,20

Data	Geração	Radiação	Estimado	Erro
28/03/2019	374,20	25.258,48	387,15	-12,95
29/03/2019	376,70	27.761,55	420,71	-44,01
30/03/2019	419,70	24.786,23	380,82	38,88
31/03/2019	336,10	22.189,38	345,99	-9,89
01/04/2019	385,60	23.726,15	366,60	19,00
03/04/2019	328,20	19.753,22	313,32	14,88
04/04/2019	405,00	26.647,96	405,78	-0,78
06/04/2019	387,10	23.980,18	370,01	17,09
07/04/2019	442,20	27.483,54	416,99	25,21
08/04/2019	398,60	29.357,78	442,12	-43,52
09/04/2019	369,90	22.825,27	354,52	15,38
10/04/2019	368,10	23.230,52	359,95	8,15
11/04/2019	213,30	18.519,36	296,78	-83,48
13/04/2019	341,90	28.199,60	426,59	-84,69
17/04/2019	443,60	32.529,70	484,66	-41,06
18/04/2019	430,80	31.834,70	475,34	-44,54
19/04/2019	425,40	31.541,60	471,40	-46,00
20/04/2019	362,00	25.404,35	389,10	-27,10
21/04/2019	205,30	11.323,60	200,28	5,02
22/04/2019	248,40	14.375,10	241,20	7,20
23/04/2019	101,30	5.390,44	120,72	-19,42
24/04/2019	367,70	25.438,20	389,56	-21,86
25/04/2019	431,40	28.750,40	433,97	-2,57
26/04/2019	403,40	29.524,70	444,36	-40,96
27/04/2019	359,10	26.359,70	401,92	-42,82
28/04/2019	356,40	19.069,02	304,15	52,25
29/04/2019	239,40	16.782,09	273,48	-34,08
30/04/2019	200,60	9.507,75	175,93	24,67
01/05/2019	201,00	14.729,08	245,95	-44,95
02/05/2019	148,90	7.576,50	150,03	-1,13
03/05/2019	223,50	13.732,54	232,59	-9,09
04/05/2019	213,90	11.971,35	208,97	4,93
05/05/2019	345,00	20.335,10	321,13	23,87
06/05/2019	368,10	19.649,80	311,94	56,16
07/05/2019	264,40	19.031,71	303,65	-39,25
09/05/2019	348,90	19.625,12	311,60	37,30
10/05/2019	335,50	23.984,81	370,07	-34,57
Soma	27687,40	1.790.199,21	27687,40	0,00

Fonte: O próprio autor.

Nota-se, pela tabela 33, que para o presente estudo, todos os parâmetros alcançaram resultados aderentes ao que a validação estatística do modelo matemático, os quais, respectivamente, a somatória da geração real e estimada iguais (Erro de Viés),  $R^2 > 0,75$ ,  $t > 2$  e  $C_v(RMEQ) < 0,2$ .

Tabela 33 - Estatísticas e coeficientes.

<b>Estatística t</b>	20,96	3,11
<b>Coefficientes</b>	0,01	48,43
<b>Erro padrão dos coeficientes</b>	0,00	15,58
<b>R2 e REMQ</b>	0,86	34,55
<b>CV(REMQ)</b>	0,09	

Fonte: O próprio autor.

Estatisticamente, o PROPEE considera o fator “95/10”, ou seja, 95% de confiança para 10% de erro nas amostragens submetidas para análise. Além disso, considera-se aceitável um coeficiente de variação (CV) inferior a 50%. Na tabela 34, tem-se um resumo dos resultados obtidos para a análise supra.

Tabela 34 - Coeficiente de variação e precisão relativa.

	<b>Geração</b>	<b>Radiação</b>	<b>Estimado</b>
<b>Soma</b>	27687,40	1790199,21	27687,40
<b>Média</b>	364,31	23555,25	364,31
<b>Desvio Padrão</b>	90,37	6234,41	83,60
<b>CV</b>	24,81%	26,47%	22,95%
<b>Erro Padrão</b>	10,37	715,14	9,59
<b>Precisão Abs.</b>	20,32	1401,67	18,80
<b>Precisão Rel.</b>	5,58%	5,95%	5,16%

Fonte: O próprio autor.

Conforme tabela acima, considerando 95% de confiança, o erro resultante foi da ordem de 5,16% para a regressão proposta, inferior aos 10% sugeridos. O CV, por sua vez, foi de 22,95%, também abaixo daquele limítrofe.

Utilizando-se dos dados oriundos da estação automática do INMET mais próxima à unidade consumidora, que disponibilizou valores históricos das insolações diárias medidas nos últimos 365 dias, admitiu-se o referido parâmetro para os dias do ano em análise. Este valor foi empregado na equação outrora descrita, resultando na geração diária de energia elétrica estimada. A somatória destas resultou a geração anual de energia elétrica extrapolada para o sistema solar fotovoltaico instalado no IFSP de Boituva na ordem de 113,26MWh, 6,32% superior a aquela prevista na etapa *ex ante*.

## 7 CONCLUSÃO

Neste trabalho de conclusão de curso, fez-se um estudo relativo aos procedimentos técnicos, matemáticos e financeiros do panorama atual do Programa de Eficiência Energética da Agência Nacional de Energia Elétrica, a partir de informações compartilhadas pela Vitális Energia, empresa do ramo. De acordo com os benefícios destacados na ótica do consumidor e do sistema elétrico brasileiro, nota-se a relevância de despertar o interesse em mais consumidores de energia que se enquadram no escopo de atuação do programa a participarem das seleções com intermédio de profissionais especializados.

É importante considerar que os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Instalações Elétricas, Geração de Energia e Gerenciamento de Energia foram fundamentais para compreensão dos conceitos associados aos sistemas de iluminação interna, fotovoltaico e eficiência energética.

Destaca-se que o investimento de R\$386.545,05 no projeto de efficientização do Instituto Federal de São Paulo, Campus Boituva, desenvolvido pela CPFL Piratininga, beneficiou a instituição, promovendo uma economia de energia de 144,33 MWh/ano e redução de demanda na ponta de 11,50 kW, sendo a relação custo benefício do projeto igual 0,75.

Além disso, é importante destacar os benefícios relevantes promovidos a sociedade por meio da execução deste projeto, proporcionando a redução dos gastos com energia elétrica, bem como dos custos com a manutenção de equipamentos obsoletos na instituição, além de combater o desperdício de energia, a preservação do meio ambiente e a geração de energia limpa. Entre tantos, destacam-se a possibilidade de suprir o consumo de energia elétrica de 60 residências com faturas na ordem de 200 kWh/mês, e evitar a emissão de 23,15 tCO<sub>2</sub>, a qual corresponde ao plantio de 139 árvores.

Os resultados apresentados poderão servir de base para trabalhos futuros que objetivem englobar mais ações de eficiência energética em uma mesma unidade consumidora, bem como avaliar o uso de mais ferramentas matemáticas para aprimorar as ações de validação dos dados mensurados, uma vez que os resultados poderão servir de subsídio para desenvolver modelos mais complexos a serem aplicados no mercado de eficiência energética.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2013) NBR ISSO/CIE 8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA (2008). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3ª Ed. Brasília.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2013). *Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE*. 10 Módulos. Brasília – DF: ANEEL.
- BARROS, B. F. et al. (2014). *Geração, Transmissão, Distribuição e Consumo de Energia Elétrica*. Érica.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P.A. (2013). *Estatística Básica*. 8ª Ed: Saraiva.
- COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. (2018). *Chamada Pública NP/PEE-CPFL Energia\_001/2018*. São Paulo.
- CORREA, S. M. B. B. (2003). *Probabilidade e Estatística*. 2ª Ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual.
- EVO – EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION (2012). *Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água - vol. 1 - EVO 10000 – 1:2012 (Br)*. Sofia: EVO.
- GOES, K. M. et al. (2016). *Aplicação da Correlação de Pearson no Agrupamento e Seleção de Amostras*. XXII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Curitiba.
- ICF INTERNATIONAL (2011), PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO (PUC-RIO), JORDÃO ENGENHARIA. *Estabelecimento de requisitos mínimos de medição e verificação de resultados que possam ser aplicados aos projetos de eficiência energética desenvolvidos pelas distribuidoras*. Preparado para o Instituto “ABRADEE” da Energia, com o apoio da FUPAI. Rio de Janeiro.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2017). *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 2ª Ed. São José dos Campos.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2008). *Key World Energy Statistics*. Paris: OECD.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2018). *Energy Efficiency: Analysis and Outlooks to 2040*. Paris: OECD.
- LEVIN, J. (1987). *Estatística Aplicada a Ciências Humanas*. 2ª Ed. São Paulo: Editora Harbra Ltda.
- LEVINE, D. M. et al. (2000). *Estatística: Teoria e Aplicações usando o Microsoft Excel em Português*. Rio de Janeiro: LTC.

- MARCILI, F. (2015). *4 passos do retrofit para economizar até 90% de energia com LED*. Acesso em 29 de abril de 2019, disponível em Blog Celenapar: [www.celenapar.com.br/blog/4-passos-do-retrofit-para-economizar-ate-90-de-energia-com-led/](http://www.celenapar.com.br/blog/4-passos-do-retrofit-para-economizar-ate-90-de-energia-com-led/)
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (2017). *Instituto Federal de São Paulo, Câmpus Boituva: Sobre o Câmpus*. Acesso em 29 de abril de 2019, disponível em MEC: <https://btv.ifsp.edu.br/index.php/sobre-o-campus>
- MINISTÉRIO DE MINAS DE ENERGIA (2007). *Plano Nacional de Energia: 2030*. Brasília.
- MOREIRA, J. R. S. (2017). *Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética*. LTC.
- NUNES, P. (2018). *Diagramas de Dispersão*. Acesso em 29 de abril de 2019, disponível em: [know.net/cienciasexactas/estatística/diagrama-de-dispersao/](http://know.net/cienciasexactas/estatística/diagrama-de-dispersao/)
- SOBRINHO, J. D. V. (2006). *Matemática Financeira*. 7ª Ed. São Paulo: Atlas.
- TIBA, C. et al. (2000). *Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres*. Recife: CDU.
- TIMÓTEO, J. (2011). *Iluminação: Conceitos*. Acesso em 28 de abril de 2019, disponível em Slideshare: <https://pt.slideshare.net/MarioTimotius/iluminacao1-conceitos>
- TRIOLA, M. F. (1999). *Introdução à Estatística*. 7ª Ed. Rio de Janeiro: LTC.