

Universidade Federal do Pampa

Camila Vieira Pinheiro

Gestão de Energia em Edificações Públicas: Caso Prefeitura de Manoel Viana

Alegrete

2018

Camila Vieira Pinheiro

Gestão de Energia em Edificações Públicas: Caso Prefeitura de Manoel Viana

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Área de atuação Sistema Elétrico de Potência, para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pampa.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler
Unipampa
Orientador



Prof. Me. Daniel Lima Lemes
Unipampa



Prof. Me. Natalia Braun Chagas
Unipampa

Camila Vieira Pinheiro

Gestão de Energia em Edificações Públicas: Caso Prefeitura de Manoel Viana

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Área de atuação Sistema Elétrico de Potência, para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pampa.

Orientador: José Wagner Kaehler

**Alegrete
2018**

Agradecimentos

É inevitável não começar a agradecer a Deus, sem a fé eu não teria conseguido chegar a onde estou. Sem a fé eu não teria passado pelo ano mais desafiador e angustiante da minha vida, tanto acadêmico como pessoal.

E é depois de Deus que eu começo a agradecer aos responsáveis por me ensinar a ter fé, meu pai Ricardo e minha mãe Rosane. Com o meu pai eu aprendi que nunca se deve desistir, mesmo que doa, mesmo que seja difícil, mesmo que pareça que não vai dar certo, desistir não faz parte do nosso vocabulário. Com minha mãe aprendi a ser forte, não tão forte quanto ela, mas forte o suficiente para passar os obstáculos da vida. Obrigada, por nunca terem desistido de mim, por terem me dado toda a ajuda financeira, psicológica e espiritual.

Agradeço ao meu orientador José Wagner Maciel Kaehler que sem ele esse trabalho não seria possível, acolheu-me e me entendeu em todos os momentos de realização desse trabalho. Toda a minha admiração e respeito a sua experiência e dedicação.

Aos meus amigos de Alegrete Yuri Desconsi e Tailize Oliveira que vivenciaram toda a minha trajetória no curso, que sorriram e choraram comigo.

Aos meus padrinhos, Eduardo, Dirce, Arony e Diva, e os amigos de Santa Maria Leila, Paulo Roberto, Alysson e PJ, que mesmo de longe, sempre me apoiaram e me deram forças.

E por fim, mas não menos importante, aos meus familiares que de uma maneira ou de outra me ajudaram com uma palavra de motivação e compreensão.

RESUMO

O consumo de eletricidade no Brasil só aumentou nos últimos anos e estima-se que continue aumentando. Os setores comercial, público e residencial, que representam as edificações, são as grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica do Brasil. No ano de 2016 foram responsáveis por 48,1% do consumo e espera-se que até 2026 representem 49,5%. Outra característica do sistema elétrico brasileiro é o fato de ser predominantemente baseado na geração centralizada, possuindo grandes usinas hidrelétricas, distantes dos centros de consumo.

A atual crise econômica do país e os altos valores de tarifação de energia elétrica têm motivado a busca por novas formas de geração de energia, sendo a geração distribuída uma das mais atrativas. A geração distribuída é capaz de gerar eletricidade próxima ou no próprio local de consumo, reduzindo assim as perdas na transmissão e distribuição de energia. Dessa forma, o emprego da geração distribuída através de fontes renováveis em edificações, pode evitar ou adiar a construção de novas usinas hidrelétricas e termelétricas e reduzir impactos socioambientais devido às grandes construções dessas usinas, além de principalmente reduzir os gastos com a fatura de energia elétrica.

Este trabalho apresenta um estudo de caso das edificações públicas de Manoel Viana, com diagnóstico energético e um anteprojeto de geração distribuída, através de uma usina geradora fotovoltaica, para suprir a demanda de eletricidade dos prédios públicos do município de Manoel Viana.

Palavras-chave: geração distribuída, prédios públicos, Manoel Viana, diagnóstico energético.

ABSTRACT

Electricity consumption in Brazil has only increased in recent years and estimates have continued. Commercial panels, public and residential, which represent the buildings, are the main responsible for the consumption of electric energy in Brazil. In the year 2016 they were responsible for 48.1% of consumption and it is expected that up to 2026 represent 49.5%. Another characteristic of the Brazilian electrical system is that it is predominantly based on centralized generation, with large hydroelectric plants, far from the centers of consumption.

The current climate crisis and high levels of electricity have motivated the search for new forms of energy generation, being a distributed generation of the most attractive. A distributed generation may be capable of self-arresting in a local place of consumption, as well as losses in transmission and distribution of energy. From now on, the new series of hydroelectric and thermoelectric plants can reduce the production of electric energy and reduce the consumption of electric energy. .

This work presents a case study of Manoel Viana public elections, with an energy program and a preliminary project of generation of distribution, through a photovoltaic power generating plant, to supply a demand of electricity of the public presences of the municipality of Manoel Viana.

Key words: distributed generation, public buildings, Manoel Viana, energy diagnosis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Distribuição da Radiação Solar	18
Figura 2- Ângulo de declinação.....	20
Figura 3- Carta Solar de Manoel Viana	22
Figura 4- Selo PROCEL.....	26
Figura 5- Metodologia adotada	28
Figura 6- Localização via satélite do município de Manoel Viana.....	30
Figura 7- Carta Solar de Manoel Viana	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Precipitações média anuais	31
Gráfico 2- Temperaturas médias máximas e mínimas durante o ano.	32
Gráfico 3- Somatório de consumo mensal de energia elétrica das edificações públicas municipais.	35
Gráfico 4- Consumo mensal das edificações e iluminação pública	37
Gráfico 5- Fluxo de caixa do caso base	56
Gráfico 6- Fluxo de caixa do investimento com sistema fotovoltaico com ações de eficiência energética.....	59
Gráfico 7- Fluxo de caixa do investimento da eficiência energética.....	60
Gráfico 8- Fluxo de caixa do investimento consolidado eficiência energética e geração distribuída.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Característica das diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos.....	23
Tabela 2- Climatologia do Município de Manoel Viana	31
Tabela 3- Características das edificações públicas.....	34
Tabela 4- Consumo de energia elétrica mensal por edificação.....	35
Tabela 5- Síntese dos valores monetários e físicos da fatura de energia elétrica	36
Tabela 6- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	39
Tabela 7- Os indicadores e a ação de eficiência energética.....	39
Tabela 8- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	40
Tabela 9- Os indicadores e a ação de eficiência energética.....	40
Tabela 10- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	40
Tabela 11- Os indicadores e a ação de eficiência energética	41
Tabela 12- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	41
Tabela 13- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	41
Tabela 14- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	42
Tabela 15- Os indicadores e a ação de eficiência energética	42
Tabela 16- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	43
Tabela 17- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	43
Tabela 18- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	43
Tabela 19- Os indicadores e a ação de eficiência energética	44
Tabela 20- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	44
Tabela 21- Os indicadores e a ação de eficiência energética	44
Tabela 22- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	45
Tabela 23- Os indicadores e a ação de eficiência energética	45
Tabela 24- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.	46
Tabela 25- Os indicadores e a ação de eficiência energética	46
Tabela 26- Valores monetários do sistema proposto de iluminação.	47
Tabela 27- Síntese dos parâmetros energéticos.....	47
Tabela 28- Investimento evitado e a redução de demanda.....	48
Tabela 29- Informações solarimétrica de Manoel Viana.....	49
Tabela 30- Dados climatológicos para Alegrete	50
Tabela 31- Especificações da micro geração fotovoltaica	54
Tabela 32- Relação de energia produzida com os dados climatológicos	55
Tabela 33- Especificação da micro geração fotovoltaica.....	57
Tabela 34- Relação de energia produzida com os dados climatológicos	58
Tabela 35- Caracterização dos casos.....	60
Tabela 36- Comparativo entre a eficiência energética e a geração PV	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Organização do trabalho.....	13
1.2	Objetivo Geral	14
1.3	Objetivos específicos.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
1.1	Geração Distribuída.....	15
2.1	Geração distribuída em edificações.....	16
2.2	Energia Solar Fotovoltaica	17
2.3	O efeito fotoelétrico.....	19
2.4	Rastreamento e captação de energia.....	19
2.5	Módulos fotovoltaicos	22
2.6	Sistemas fotovoltaicos	23
2.7	Sistema fotovoltaico isolado.....	24
2.8	Sistema fotovoltaico conectado à rede	24
2.9	Sistemas fotovoltaicos híbridos	25
2.10	Eficiência Energética.....	25
2.11	Conservação de energia.....	26
2.12	Indicadores de eficiência energética.....	27
3	METODOLOGIA.....	28
3.1	Formulação do Problema.....	29
3.2	Definição do problema	29
4	ESTUDO DE CASO	30
4.1	O município.....	30
4.2	Análise do Perfil de Consumo de Energia Elétrica Através das Faturas de Energia.....	33
4.2.1	Introdução.....	33
4.2.2	Características das edificações	33
4.2.3	Perfil de Consumo de Energia Elétrica.....	34
4.3	Síntese dos Valores Monetários	36
5	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	38
5.1	Introdução.....	38
5.2	Eficiência na iluminação.....	38
5.2.1	Prédio Administrativo Municipal	39
5.2.2	Ambulatório.....	39
5.2.3	Biblioteca.....	40
5.2.4	Creche e EMEI Maria Veni Lottermann	41
5.2.5	Escola Municipal Érico Verissimo	42
5.2.6	Escola Municipal Alberto Pasqualini	42
5.2.7	Estratégia Saúde da Família (ESF01).....	43
5.2.8	Parque de máquinas	44
5.2.9	Secretária De Saúde.....	45
5.2.10	Iluminação pública	45
6	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	48

6.1	Recursos solares em Manoel Viana	48
6.2	Estimativa do Potencial Fotovoltaico.....	50
6.3	Equações Utilizadas	50
6.4	Caso base	54
6.5	Caso eficiente	57
6.6	Eficiência Energética.....	59
6.6.1	Comparativo	60
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um insumo essencial, sem a qual não pode haver uma qualidade de vida razoável nem o crescimento econômico sustentável. A forma na qual uma sociedade supre suas necessidades de energia tem influência direta no meio ambiente e nas condições de vida, não só nesta geração, mas também nas gerações futuras (TOLLER, 2015).

O Brasil conta com uma matriz elétrica predominante renovável, as fontes renováveis representam 80,4% da oferta interna, com destaque para a geração hidráulica que responde a 65,2% da oferta interna (BEN, 2018). Por essa razão, a geração de energia elétrica brasileira é em grande parte centralizada, caracterizada por grandes usinas instaladas distante dos centros de consumo, como no caso das usinas hidrelétricas, que precisam ser construídas onde há potencial hidrelétrico disponível. O sistema centralizado é vantajoso nos critérios de planejamento da expansão e operação do sistema e nos ganhos de economia de escala. Por outro lado, tem grande impacto socioambiental causado por inundações de áreas para locação de usinas hidrelétricas, degradações da fauna e flora locais e a emissão de gases poluentes que ocorrem durante a operação de usinas termoeletricas.

Analisando o consumo de eletricidade, o setor industrial é o principal consumidor, seguido dos setores residencial, comercial e público. Os setores residencial, comercial e público quando combinados formam o setor dominado pelas edificações e ultrapassam em consumo o setor industrial, chegando a 51,1% do consumo total. Buscar formas para reduzir o consumo de eletricidade nas edificações implica em reduzir a demanda e o consumo como um todo.

A inserção de fontes renováveis na matriz energética tem aumentado nas últimas décadas, e esse aumento tem sido facilitado pela geração distribuída. Esse conceito de geração tem como princípio a geração de energia próxima do centro de consumo, o que beneficia o Sistema Interligado Nacional – SIN, diminuindo perdas na transmissão e distribuição.

Existem várias alternativas, de fontes renováveis, disponíveis para serem aplicadas na geração distribuída. A alternativa eólica já está afirmada no mundo inteiro e o custo da energia produzida é compatível com a geração tradicional; entretanto mostra elevados investimentos iniciais na ordem de mais de um milhão de dólares por megawatt e alto custo de operação (SALVATORE, 2013). A biomassa é a alternativa que aproveita os resíduos provenientes das lavouras e pode utilizar geradores a vapor em simbiose com pequenas centrais térmicas a gás metano, que pode ser produzido, por exemplo, em fazendas de criação de porcos; por outro lado

adota como processo de combustão, cujo efeito secundário é o aquecimento do ar e a emissão de gases de efeito estufa (SALVATORE, 2013). A terceira alternativa, a fotovoltaica, já está na fase de maturidade, aproximando-se da paridade econômica com a energia disponibilizada pela rede em muitas regiões e países do mundo (RÜTHER e ZILLES, 2011; MITSCHER e RÜTHER, 2012; BRIANO *et al.*, 2015).

No campo das políticas voltadas à eficiência energética, vale ressaltar que o Brasil vem introduzindo, ao longo dos anos, diversos mecanismos e ações com impacto sobre a eficiência energética, destacando o Módulo 3 do Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Em 2012, foi criada a Resolução Normativa da Aneel nº482/2012, que dá suporte para a micro e mini geração distribuída, bem como estabelece o sistema de compensação de energia, beneficiando os clientes através da redução da conta perante as concessionárias de energia.

1.1 Organização do trabalho

O trabalho se estrutura em 7 capítulos. No capítulo 1, é realizada uma breve introdução contextualizando o tema e explicitando os objetivos gerais e específicos do trabalho, no capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica sobre o assunto, no capítulo 3 é explicada a metodologia que é utilizada no trabalho. No capítulo 4 é realizado um estudo de caso, com levantamento do perfil de consumo dos prédios públicos de Manoel Viana, no 5 são propostos novos sistemas de iluminação, seguindo os parâmetros de eficiência energética. E, por fim, no capítulo 6 é descrito os passos para o dimensionar a geração distribuída solar fotovoltaica, contendo os resultados do estudo de caso e da eficiência energética aplicada à essa geração.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é o de prospectar propostas para promover o desenvolvimento sustentável de entidades públicas, como no caso de prefeituras municipais, através do gerenciamento do uso da energia nas edificações públicas e na iluminação pública.

1.3 Objetivos específicos

- Prospecção do perfil de uso da energia elétrica nas edificações e na iluminação pública;
- Avaliar o potencial de geração renovável descentralizada passível de ser implantado para suprir os requisitos energéticos atuais;
- Avaliar ações de eficiência energética e de combate ao desperdício de energia nas edificações e na iluminação pública;
- Reavaliar o potencial de geração renovável descentralizada requerido após a implantação das medidas de eficiência energética;
- Proceder análise e síntese dos cenários energéticos, do ponto de vista técnico e econômico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Geração Distribuída

Na literatura, o conceito de geração distribuída, ainda não está sedimentado, pois os diversos defendem diferentes definições em função de parâmetros técnicos, como por exemplo, níveis de tensão, capacidade de geração, suprimento de serviços encilares, tecnologia, entre outros.

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética, a geração distribuída é uma expressão utilizada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima dos consumidores, independente da potência, tecnologia e fonte de energia.

A geração distribuída, no Brasil, foi oficializada através do Decreto nº 5.163, de 30 de Julho de 2004, publicado pela ANEEL, definida como:

“Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I – Hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

II - Termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004.

Parágrafo único. “Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput.”

O PRODIST define a geração distribuída como, centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachadas – ou não – pelo ONS (ANEEL, 2012a).

A geração descentralizada ocupa diversas fontes e tecnologias, podendo ser tanto renováveis como não renováveis, exemplo disso tem-se: solar fotovoltaica, eólica, biomassa, microturbinas e moto geradores a gás natural, cogeração a gás natural e motores a diesel.

Através da resolução nº 482/201226 a ANEEL, a fim de reduzir as barreiras para a penetração da geração distribuída de pequeno porte, estabelece regras, que incluem a microgeração, com até 100 kW de potência, e a mini geração, de 100 kW a 1 MW, e também, cria o sistema de compensação de energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. As condições do regulamento são válidas para geradores que utilizem fontes incentivadas de energia: hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada (ANEEL, 2012b).

2.1 Geração distribuída em edificações

Uma forma de geração distribuída que está crescendo, principalmente nos países europeus, Estados Unidos e Japão, é a geração distribuída de pequeno porte em edificações, realizada principalmente por sistemas fotovoltaicos. Estes sistemas costumam ser instalados nos telhados das edificações, mas em alguns casos podem ser instalados nas janelas e fachadas, chegando até a fazer parte do envelope do edifício (LIMA, 2012).

Além de sistemas fotovoltaicos, a geração de energia pode ser feita através de turbinas eólicas, grupos moto gerador, microturbinas e células de combustível.

O intuito é fazer com que os prédios não só se tornem autoprodutores de energia, mas que visem à eficiência energética, tornando-os menos dependentes da concessionária de energia. A diminuição do valor da fatura de energia e o aumento da qualidade da energia fornecida, no caso dos prédios públicos, refletem diretamente na divisão da verba pública que pode ser destinada para outros setores, como: saúde, segurança e educação.

2.2 Energia Solar Fotovoltaica

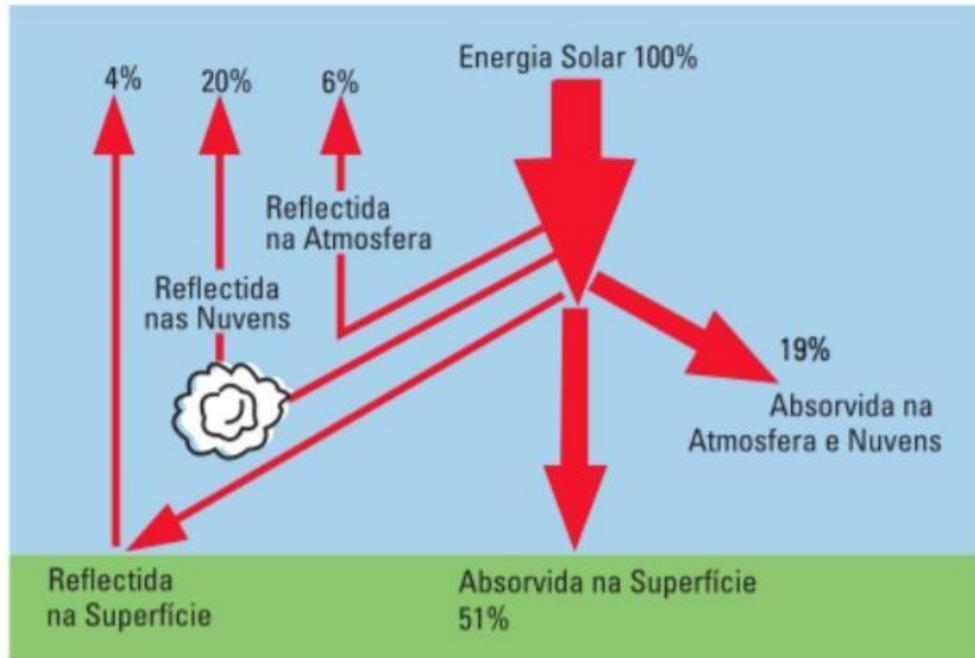
A Terra recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, o que correspondente à 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período (CRESESB, 2004). Assim, o potencial de energia solar que a Terra recebe em 12 minutos equivale ao consumo anual mundial de energia (RÜTHER, 2004).

É uma energia que não precisa ser extraída, refinada e transportada para o local de geração, reduzindo gastos com o sistema de transmissão e distribuição. Além disso, é benéfica para o meio ambiente e para sociedade local, pois não emite ruídos, nem gases poluentes e permiti o desenvolvimento social e econômico da região onde está sendo aproveitada a energia.

A energia solar pode ser aproveitada de diversas formas. Pode ser utilizada passivamente, como na utilização da iluminação natural e do calor gerado pelo Sol para tornar-se uma edificação mais agradável; ou ativa, utilizando a radiação solar para a geração de calor, através da energia solar térmica de baixa e média temperatura, ou para a geração de eletricidade, através da energia solar térmica de alta temperatura e da energia solar fotovoltaica (ECCARD, 2016).

Através da reflexão, absorção (ozônio, vapor de água, oxigênio, dióxido de carbono) e dispersão (partículas de pó, poluição), a atmosfera reduz a irradiação solar a uma pequena parte. O valor máximo aproximado que chega à terra é de 1.000 W/m^2 ao meio-dia, em boas condições climáticas (GREENPRO, 2004).

Figura 1- Distribuição da Radiação Solar.



Fonte: GREENPRO, 2004

Ao passar pela atmosfera, grande parte da energia solar se propaga em forma de luz, em raios infravermelhos e ultravioletas; captando-se essa luz, consegue-se transformá-la em energia elétrica ou energia térmica, sendo que essa conversão é determinada exatamente pelo tipo de equipamento que será usado para essa transformação (ECCARD, 2016).

Para captar a energia solar térmica, são utilizados painéis solares térmicos, que quando comparados aos sistemas de energia solar fotovoltaica, são sistemas mais simples e baratos, e basicamente esses painéis transferem o calor da radiação solar para as tubulações de água ou óleo que compõe os painéis. A energia solar fotovoltaica por sua vez, gera energia elétrica, e a captação da radiação solar é feita através de células fotovoltaicas. A transformação da radiação solar em energia elétrica é conhecida como efeito fotovoltaico.

Como o objetivo do trabalho é realizar o estudo da geração de energia elétrica em edificações, só será abordada a energia solar fotovoltaica.

23 O efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico foi observado pela primeira vez por um físico francês, Edmund Becquerel, em 1839, que descobriu que certos materiais produzem pequenas quantidades de corrente elétrica quando expostos à luz (ECCARD, 2016).

O efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra totalmente vazia (banda de condução), (CRESESB, 2008).

O material semicondutor mais utilizado é o silício, pois possui quatro elétrons na camada de valência, que ao se ligarem aos vizinhos formam uma rede cristalizada. Ao se introduzir ao silício átomos de boro e fósforo, forma-se a junção pn. Nessa junção, os elétrons livres do lado n passam ao lado p onde encontram os buracos que os capturam, fazendo com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, gerando uma carga negativa e uma redução de elétrons do lado n, que o torna eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico (ECCARD, 2016).

Se uma junção pn for exposta a fótons com energia maior que o *gap*, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de *Efeito Fotovoltaico*. Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas (CRESESB, 2008).

24 Rastreamento e captação de energia

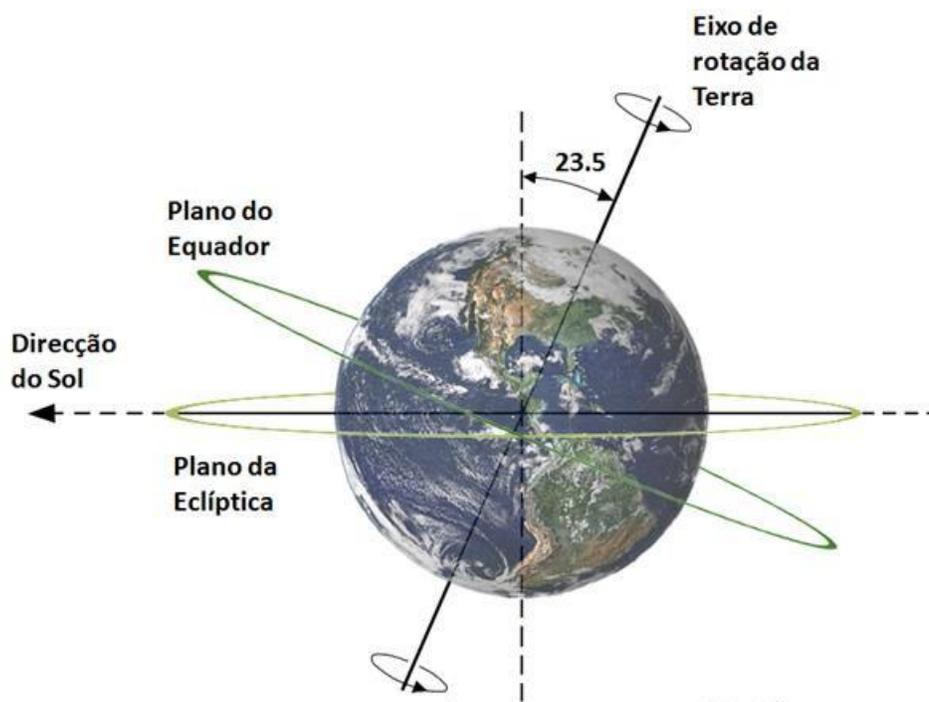
Para que o sistema de geração de energia solar seja eficiente, ou seja, para que a máxima potência dos painéis fotovoltaicos seja extraída, através da incidência solar nos mesmos, é necessário que o painel fotovoltaico acompanhe o sol. Alguns fatores devem ser considerados para que isso ocorra, como: a latitude local, a posição no tempo e as condições atmosféricas.

Esses fatores são devidos ao movimento de rotação e translação da Terra, fazendo com que cada dia do ano tenha um grau de intensidade de radiação diferente.

A duração solar do dia varia, em algumas regiões e períodos do ano de 0 (zero) a 24 (vinte e quatro) horas. Sendo que as variações mais intensas ocorrem nos polos e nos períodos de solstício (KUHN, 2013). O Brasil por se situar próximo à linha do Equador possui uma duração solar do dia sem grandes variações.

Além dos dados referenciados, ainda tem-se uma diferença de inclinação da Terra durante o ano, definida por uma linha entre o centro da Terra e o Sol, conforme Figura 2, a qual formará um ângulo entre essa linha e a linha do Plano Equatorial, chamada de Ângulo de Declinação (KUHN, 2013). O ângulo de declinação faz possível determinar a quantidade de horas de sol durante o dia, sendo os dias mais longos no solstício de verão, perto do dia 22 de Dezembro e os dias mais curtos ocorrem no solstício de inverno.

Figura 2- Ângulo de declinação.



Fonte: FERNANDES, 2016

Os rastreadores solares podem ser classificados quanto ao número de eixos rotativos, o tipo de estrutura, tipo de controle e da estratégia de rastreamento empregada.

Quanto ao número de eixos, classificam-se em: rastreador solar de um eixo, como o nome já diz, são sistemas que podem ser posicionados apenas em um eixo, podendo ser na horizontal, vertical ou inclinado. Quanto à direção podem ser: norte-sul ou leste-oeste. São sistemas menos complexos, de baixo custo e que em consequência disso são sistemas menos eficientes.

Já o rastreador solar de dois eixos é um sistema que possui um eixo que acompanha a trajetória diária do sol enquanto o outro ajusta a sua inclinação. São sistemas mais complexos quando comparados com o de um eixo, mas por outro lado apresentam uma maior eficiência.

A classificação quanto a estrutura é determinada pelo número de eixos rotativos, podendo ser: tipo pedestal, usado para painéis na posição vertical; estrutura *Roll-Tilt*, utilizada para rastreamento em dois eixos, possuem um eixo de rotação horizontal para seguir o movimento do sol e o ajuste da inclinação é efetuado por meio de dois eixos posicionados perpendicularmente no eixo de rotação.

A classificação quanto ao tipo de controle, classifica-os em: passivos, que não possuem nenhuma fonte externa (circuito eletrônico ou motor elétrico) para a movimentação dos painéis; microprocessados, operam através de um algoritmo que calcula a posição do sol ; eletro-ópticos, são baseados no uso de fotosensores para detectar a posição do sol, as informações obtidas pelo sensores são repassadas para o sistema de controle que aciona os motores e alinha a estrutura na direção do sol .

Quanto à estratégia de rastreamento, classificam-se em: rastreamento polar, onde a estrutura de fixação dos painéis fotovoltaicos é posicionado em um eixo inclinado e esse eixo realiza um movimento de rotação que orienta a estrutura a acompanhar a trajetória do sol durante o dia.

São vantajosos quando empregados em regiões com latitude próximas a linha do Equador; o azimutal, é um sistema que possui um eixo vertical que suporta a estrutura dos painéis, é orientado no sentido leste-oeste, enquanto que o ajuste da inclinação é no sentido norte-sul, apresentam um bom desempenho em regiões distantes da linha do Equador; os de eixo horizontal, orientam a estrutura no sentido leste-oeste e são instalados e ajustados com ângulo de inclinação 0° em relação ao solo, sem ajuste dessa inclinação.

Para decidir qual tipo de rastreador utilizar é necessário conhecer a carta solar da região que será projetada a usina de geração fotovoltaica. Conhecendo a latitude e longitude do local é

Tabela 1- Característica das diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos.

Tecnologia	Eficiência do Módulo		Energia Incorporada
Mono-Si	12% a 19%	-0,42 %/K a -0,56%/K	4200 MJ
Poli-Si	11% a 15%	-0,40% /K a -0,49%/K	3700 MJ
a-Si	4% a 8%	-0,19%/K a -0,20%/K	1202 MJ
a-Si/μ-Si	7% a 10%	-0,33%/K	587 MJ
Cdte	10% a 11%	-0,22%/k	1200 MJ
CIGS	7% a 12%	-0,36%k a -0,42%/K	1069 MJ

FONTE: LIMA, 2012

A característica β representa o coeficiente de temperatura de potência máxima dos painéis e significa o quanto se perde de eficiência para cada grau Kelvin acima das condições padrão de teste. No caso de países mais quentes, como o Brasil, essa característica é de suma importância para observar o comportamento dos módulos fotovoltaicos em altas temperaturas.

Em relação à fabricação dos painéis, torna-se importante ressaltar que, de acordo com Pinho & Galdino (2014), a produção dos módulos solares tem sofrido grande interferência governamental a partir de incentivos fiscais e ambientais. Com isso, o aumento da produção destes componentes tem reduzido os custos para a efetivação do sistema (ALMEIRA et al, 2016).

2.6 Sistemas fotovoltaicos

O sistema é composto pelos módulos fotovoltaicos, responsáveis pela conversão da luz do Sol em eletricidade, baterias, controladores de carga e inversores. Além disso, os sistemas fotovoltaicos podem ou não ter armazenamento de energia (ECCARD, 2016).

Pode ser classificado como sistema fotovoltaico isolado, aquele que não está conectado a rede de distribuição, e sistema fotovoltaico conectado a rede. Ambos podem operar com apenas a fonte fotovoltaica ou combinada com uma ou mais fontes de energia, chamados de sistema fotovoltaico híbrido.

2.7 Sistema fotovoltaico isolado

São sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica. Esse tipo de sistema pode ser individual ou em mini redes. No primeiro caso, a geração é exclusiva para atendimento de uma única unidade geradora, no segundo, por sua vez, a geração é partilhada entre um pequeno grupo de unidades consumidoras que estão localizadas próximas umas das outras (ECCARD, 2016).

2.8 Sistema fotovoltaico conectado à rede

São aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2013).

Esse sistema pode ser instalado de duas formas: integrado às edificações, os chamados SFIEs (sistemas fotovoltaicos integrados às edificações), ou de forma centralizada em usina fotovoltaica, as UFVs. Nos SFIEs, os painéis fotovoltaicos são instalados diretamente nas edificações, podendo ser aplicados em prédios já existentes. A vantagem é que toda a energia gerada é consumida no local, o que reduz os custos com as perdas de transmissão e distribuição. As UFVs, usinas fotovoltaicas, são instaladas distantes do ponto de consumo e podem atingir potência da ordem de MWp, podendo ser operadas por produtores independentes e sua conexão com a rede é feita, geralmente, em média tensão (ECCARD, 2016).

As SFIEs se enquadram na Resolução Normativa Aneel N°482/2012, como micro e minigeração, podem assim, usufruírem do sistema de compensação de energia.

2.9 Sistemas fotovoltaicos híbridos

Quando se associa o sistema fotovoltaico com outra fonte de energia é denominado de sistema híbrido. A vantagem desse sistema é que na privação do sol a geração de energia elétrica não é cessada. No entanto, é apontado como um sistema complexo, já que necessita integrar diversas formas de produção de energia elétrica, como motores à diesel ou gás, ou por geradores eólicos (ECCARD, 2016).

2.10 Eficiência Energética

O termo eficiência energética tem sido amplamente divulgado tanto na área acadêmica quanto no meio industrial. Ao tornar sistemas energéticos eficientes, busca-se eliminar desperdícios com a energia. Em outras palavras, define-se eficiência energética a relação de quanto de energia gerada está realmente sendo consumida e a quantidade de um bem produzido ou serviço realizado. Nesse processo ocorrem perdas, quanto maiores forem às perdas menor será a eficiência. Por exemplo, uma lâmpada converte energia elétrica em energia luminosa e térmica, a energia luminosa é a desejada, enquanto a energia térmica pode ser considerada como perda no processo de conversão.

Depois da crise do petróleo na década de 1970, ficou evidente que era necessário procurar soluções energéticas para diminuir a dependência dos combustíveis fósseis.

O governo federal brasileiro, por sua vez, propõe diretrizes através do Ministério de Minas e Energia, do Ministério da Educação, da Eletrobrás e outras instituições, objetivando prover a indústria e os diferentes setores do país com informações úteis e técnicas, com foco tanto teórico quanto prático (PÓVOA, 2014).

Entre diversas iniciativas, destacam-se, no Brasil, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que tem como objetivo promover o uso eficiente de energia elétrica. No setor elétrico, ainda existe o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, o PROCEL. Esse programa informa ao consumidor, através do Selo PROCEL, como mostrado na figura 4, o quanto esse equipamento é eficiente sendo representado, em escala, por letras. A escala varia de A, representando equipamentos mais eficientes à G, representando equipamentos menos eficientes. Além disso, o Selo fornece o consumo de energia em kWh por mês.

Figura 4- Selo PROCEL.



FONTE: PROCEL, 2016

2.11 Conservação de energia

Trata-se do consumo de energia evitado ao se adotar uma mudança tecnológica ou alteração no padrão do consumo (PÓVOA, 2014). Por exemplo, no sistema de iluminação pode-se conseguir praticamente o mesmo fluxo luminoso, com uma potência menor apenas mudando a tecnologia da lâmpada,

É importante que não se confunda o conceito de conservação de energia dentro dos estudos de eficiência energética com o conceito de conservação de energia no sentido físico teórico, pois aqui o importante é a redução efetiva do consumo final de energia (PÓVOA, 2014).

2.12 Indicadores de eficiência energética

A análise da eficiência energética se dá a partir de indicadores. Estes indicadores se dividem em:

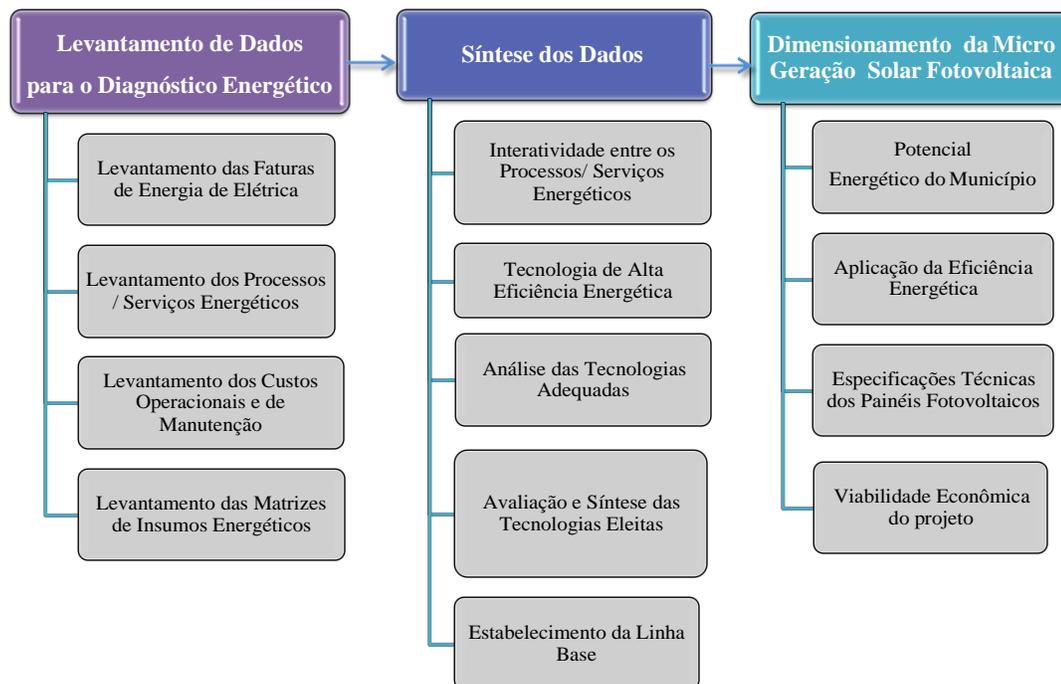
- Termodinâmicos: refere-se às análises de transformação de uma forma de energia em outra;
- Físico - Termodinâmico: avalia quanto de recursos energéticos são necessários para produzir determinado bem ou serviço, e para tal, a energia que entra no sistema é determinada em unidades termodinâmicas e a energia que sai em unidades físicas;
- Econômico – Termodinâmico: relaciona a energia que entra em unidades termodinâmicas com o produto mensurado a preço de mercado;
- Econômico: relaciona em valores monetários tanto a energia requerida como o produto.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho será desenvolvido um estudo de caso sobre o perfil de consumo de energia elétrica e as condições de eficiência energética de onze prédios públicos do município de Manoel Viana. A ação de eficiência se dará através da reforma do sistema de iluminação, tomando como base o levantamento de carga das edificações.

Baseado nas informações adquiridas se iniciará o estudo proposto, supondo a substituição do atual sistema de iluminação por lâmpadas de LED. Em seguida será mostrado um comparativo, bem como a viabilidade econômica, do dimensionamento da micro geração solar fotovoltaica sem eficiência energética e o dimensionamento aplicando a proposta de ação de eficiência.

Figura 5- Metodologia adotada.



3.1 Formulação do Problema

A crise econômica que o país está enfrentando tem motivado os brasileiros a economizarem em todos os setores, desde as compras do mês até na racionalização de energia. O aumento frequente das tarifas de energia não tem afetado apenas a população, mas também os órgãos públicos, que já lidam com as verbas reduzidas para saúde, educação e segurança. Assim, o aumento das contas de energia torna difícil manter o orçamento dentro do planejado.

Aplicar o conceito de geração distribuída em prédios públicos seria uma alternativa para além de reduzir custos com a energia, diminuir a ineficiência do fornecimento de energia, como problemas de oscilações frequentes na tensão, interrupções prolongadas e picos de energia constantes.

3.2 Definição do problema

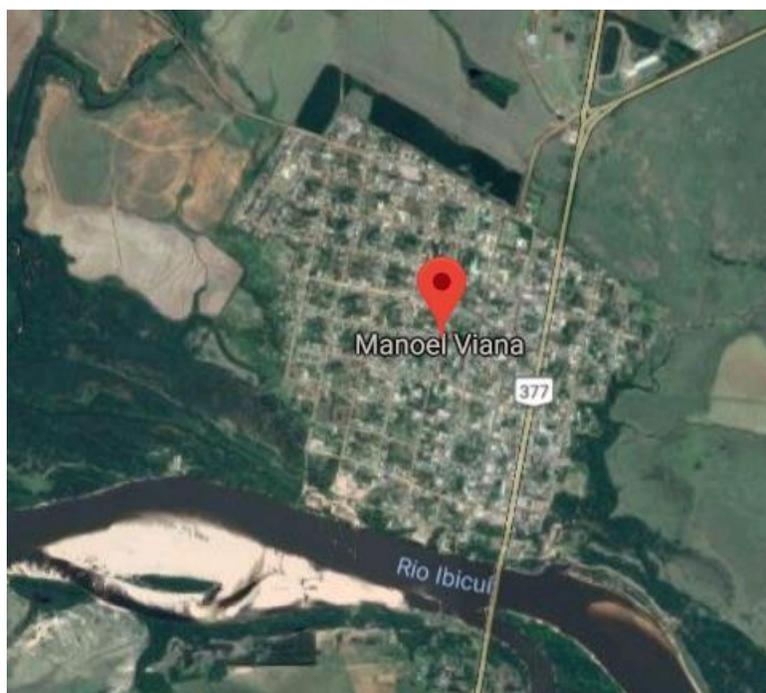
Neste trabalho, será discutido como aplicar os conceitos de geração distribuída e de eficiência energética. Parte-se da análise das faturas de energia de cada prédio público pertencente à Prefeitura de Manoel Viana, com o intuito de conhecer o perfil de consumo anual por prédio e obter o consumo total anual das edificações como um todo. Avaliam-se as ações de eficiência energética passíveis de serem aplicadas. Subsequentemente, será realizado o dimensionamento dos recursos energéticos que podem ser explorados para suprir, primeiramente a situação atual sem nenhuma medida de eficiência energética e a posteriori a nova conformação energética, considerando as medidas de economia de energia elétrica.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 O município

O município de Manoel Viana, fundado no ano de 1992, está localizado na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, a 465 quilômetros da capital. Abrange uma área de 1390.696 km² e, de acordo com o último Censo feito em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possui uma densidade demográfica de 5,09 hab/km² e cerca de 7 mil habitantes.

Figura 6- Localização via satélite do município de Manoel Viana.



Fonte: GoogleMaps

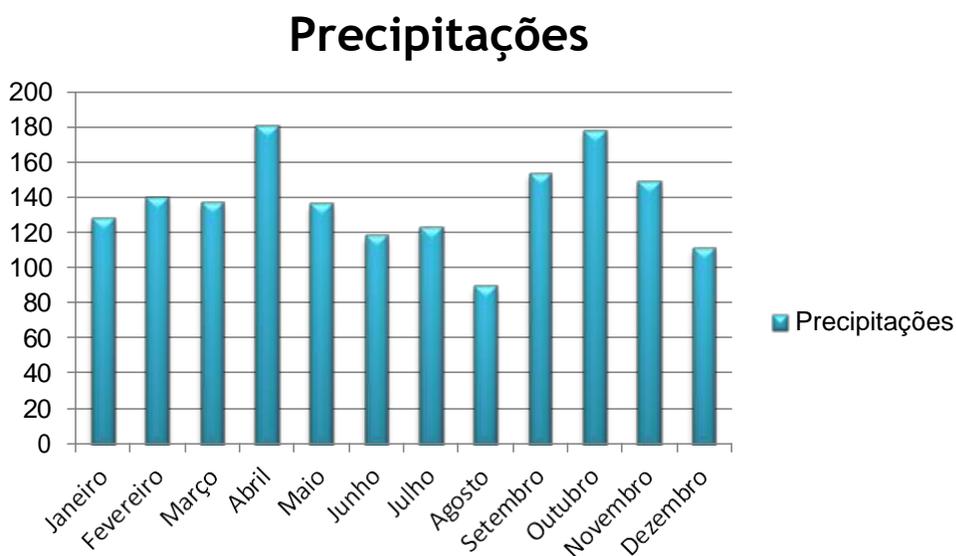
Possui um clima com uma pluviosidade com média mensal acima de 100 mm. Sendo Abril e Outubro os meses mais chuvosos, com precipitações de 181 mm e 178 mm, respectivamente. Enquanto o mês de Agosto é o mais seco, com 89 mm de precipitação. A temperatura média da cidade é de 21 °C, sendo Janeiro o mês mais quente com temperatura média máxima de 33°C e Julho o mais frio com temperatura média mínima de 11°C, como mostra a tabela 2 (CLIMA TEMPO, 2018).

Tabela 2- Climatologia do Município de Manoel Viana.

Meses do ano	Precipitações (mm)	Temperatura Mínima	Temperatura
	Média	Média (°C)	Máxima Média (°C)
Janeiro	128	22	33
Fevereiro	140	21	32
Março	137	20	31
Abril	181	17	26
Maió	136	13	20
Junho	118	12	19
Julho	123	11	18
Agosto	89	12	21
Setembro	154	13	22
Outubro	178	16	26
Novembro	149	17	29
Dezembro	111	20	31

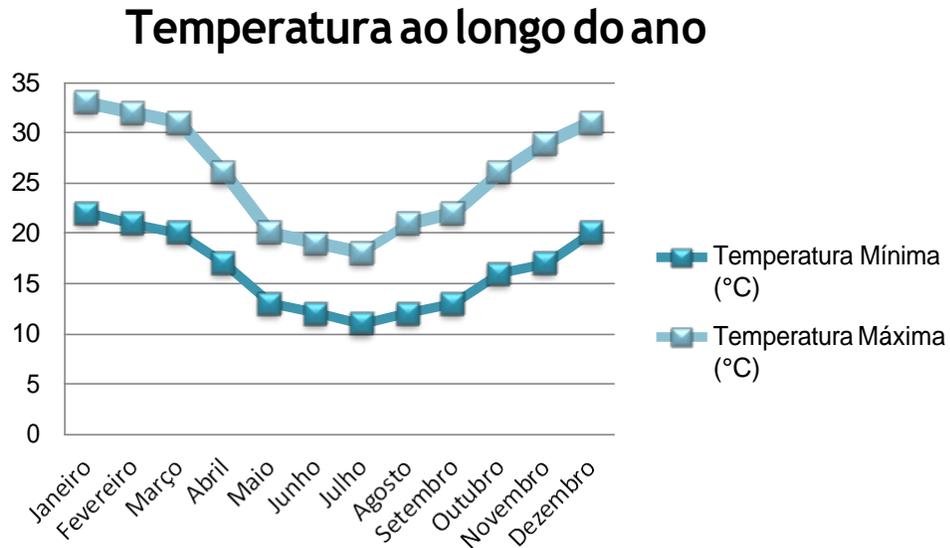
Fonte: CLIMATEMPO, 2018

Gráfico 1- Precipitações média anuais.



Fonte: CLIMATEMPO,2018

Gráfico 2- Temperaturas médias máximas e mínimas durante o ano.



Fonte: CLIMATEMPO, 2018

Geomorfologicamente o município se encontra em uma área de transição entre o Planalto das Missões e a Depressão do Ibicuí (ROBAINA et al., 2010). Apresenta características comuns aos municípios da fronteira oeste do Rio Grande do Sul, como vastas áreas de campo, solos frágeis (vulneráveis a processos erosivos acelerados) e uma grande área territorial, tendo como produto dessa variação uma diversificação de modelados de relevo. Apresenta altitudes que predominam entre 80 m e 180 m, em relação ao nível do mar. A menor cota altimétrica encontra-se ao nível de 60 m, junto à planície do Rio Ibicuí e a maior cota é de 240 m, tendo assim uma amplitude altimétrica de 180 m (SCOTTI et al, 2013).

4.2 Análise do Perfil de Consumo de Energia Elétrica Através das Faturas de Energia

4.2.1 Introdução

Foi obtido o conjunto de faturas de energia elétrica no período de Setembro de 2017 à Agosto de 2018, emitidas pela concessionária de energia RGE SUL, dos prédios públicos que a Prefeitura de Manoel Viana é responsável pelo pagamento. Através dessas faturas foi possível prospectar o perfil de consumo dos prédios, sintetizando os valores medidos de consumo em kWh mensal e anual total de todos os prédios, bem como o valor monetário faturado pela concessionária de energia elétrica.

Além da análise das faturas foi realizado o levantamento de carga dos prédios compreendidos no estudo, com o auxílio dos alunos da turma da disciplina de Eficiência Energética da Universidade Federal do Pampa. O levantamento de carga objetiva descrever o tipo de iluminação, refrigeração e equipamentos elétricos que possam ter dentro das edificações que justifiquem o consumo de energia elétrica.

Os itens a seguir apresentam as conclusões obtidas das análises da fatura e do levantamento de carga de cada prédio.

4.2.2 Características das edificações

O estudo abrange onze edificações públicas municipais, sendo elas: o prédio administrativo, onde se localiza a Administração da Prefeitura, com secretarias e gabinete do prefeito; a Secretaria de Saúde que é composta pelas seções de agendamento de exames, cartão SUS, fiscalização sanitária e endêmica e pelo departamento de assistência social ; o ambulatório e o ESF 01, responsáveis pelo atendimento básico de saúde, que conta com clínicos gerais, fonoaudiólogos, fisioterapeutas e quaisquer outros procedimentos que não necessitem de internação; as escolas municipais Érico Verissimo, Alberto Pasqualini e Veni Lottermann; a praia, composta por uma área de camping e quiosques para os frequentadores e o parque de máquinas que detêm todo o maquinário usado em obras e a frota de carro e caminhão para atender a cidade e o interior.

Além das edificações, será compreendida no estudo a iluminação pública, através dos dados obtidos pela concessionária de energia RGE SUL. A tabela 3 cita a localização dos prédios no município de Manoel Viana, o horário de expediente, e as características elétricas, como: o

tipo de instalação, a tensão nominal e o tipo de tarifação. Constatase que preponderam os períodos de trabalho da Administração nos horários matinais, mesmo nas escolas municipais. Isto vai explicar o baixo uso da energia elétrica nos prédios administrativos e educacionais, conforme análises que se seguem.

Tabela 3- Características das edificações públicas.

Nome da Edificação	Endereço	Horário de Expediente	Tipo de Instalação	Tensão Nominal	Tipo de Tarifação
Administrativo	Rua Walter Jobim, nº 175	7:00 às 13:00 horas, segunda à sexta	Rede trifásica	220/ 127 V	Convencional B3
Ambulatório	Rua Walter Jobim, nº 197	24 horas	Rede monofásica	220 V	Convencional B3
Biblioteca	Rua Presidente Vargas, nº 462	8:00 às 12:00, segunda à sexta	Rede monofásica	220 V	Convencional B3
Creche / E.M.E.I Veni Lottermann	Rua Tirteu da Rocha Viana, nº 560	7:45 às 12:00 e das 13:15 às 17:30, segunda a sexta	Rede monofásica	220 V	Convencional B3
Estratégia Saúde Familiar (ESF 01)	Rua Homero Bairros, nº 440	7:00 às 12:00 e das 13:00 às 16:00, segunda a sexta	Rede trifásica	220/ 127 V	Convencional B3
E.M.E.F Érico Veríssimo	Rincão dos Pintos, nº 300	8:00 às 12:00, segunda à sexta	Rede monofásica	220 V	Convencional B3
E.M.E.I Alberto Pasqualini	Rua Rui Ramos, nº 1310, ap. 1	7:45 às 12:00 e das 13:15 às 17:30, segunda a sexta	Rede trifásica	220/ 127 V	Convencional B3
Praia	Rua Homero Bairros, nº 90		Rede trifásica	220/ 127 V	Convencional B3
Parque de Máquinas	Rua Walter Jobim nº 60	7:00 às 13:00 horas, segunda à sexta	Rede trifásica	220/ 127 V	Convencional B3
Secretaria de Saúde	Rua Walter Jobim, nº 197	7:00 às 13:00 horas, segunda à sexta	Rede monofásica	220 V	Convencional B3

4.2.3 Perfil de Consumo de Energia Elétrica

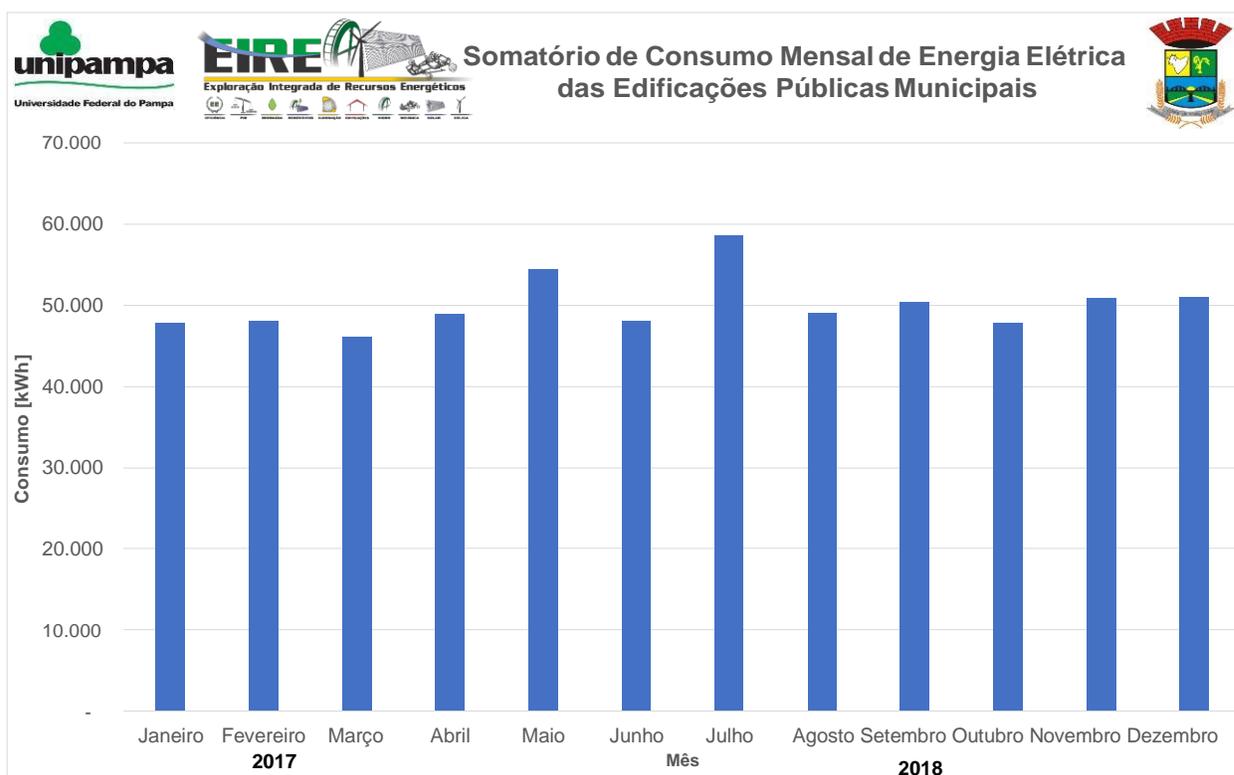
A tabela 4 e o gráfico 3 detalham mensalmente os valores de energia consumida pelas edificações em questão. Pela tabela podemos notar que a principal responsável pelo consumo de energia elétrica se dá pela iluminação pública representando 478.052 MWh dos 600.482 MWh consumido anualmente, isso se dá pelo período de tempo em funcionamento de 12 horas durante todo o ano e pelas potências mais elevadas das lâmpadas para se conseguir uma iluminação satisfatória nas ruas. Enquanto que a biblioteca representa apenas 919 MWh do total por se tratar apenas de dois cômodos com baixa potência de lâmpadas e funcionar apenas 4 horas diárias, ao longo de dia úteis, durante todo o ano.

Tabela 4- Consumo de energia elétrica mensal por edificação.

Edificação/ Ano-Mês	2018								2017				TOTAL
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
Administrativo	2.200	2.021	2.167	1.206	1.481	1.237	1.513	1.630	1.345	1.102	1.084	1.396	18.382
Secretaria Saúde	279	67	70	60	84	121	104	53	153	116	80	150	1.337
Ambulatório	440	444	447	329	373	406	626	648	335	343	284	364	5.039
Biblioteca	101	100	100	100	100	100	100	64	64	30	30	30	919
Creche	143	110	143	284	188	66	166	189	181	133	165	201	1.969
EM E Veríssimo	594	885	368	676	599	483	851	763	635	644	981	677	8.156
EM A Pasqualini	1.096	904	806	941	761	494	695	840	1.043	943	1.003	913	10.439
EMEI	457	382	531	746	795	615	850	748	880	521	591	466	7.582
ESF 1	2.047	1.459	1.281	2.215	4.691	4.846	4.826	2.520	2.954	2.343	3.758	3.948	36.888
Iluminação Pública	39.384	40.696	39.384	40.696	40.696	34.387	42.009	39.373	40.685	39.373	40.685	40.685	478.052
Parque de Máquinas	1.001	921	722	1.082	1.175	1.284	1.228	817	801	903	911	916	11.761
Praia	-	-	-	578	3.413	3.880	5.639	1.373	1.259	1.251	1.285	1.280	19.958
TOTAL	47.742	47.989	46.019	48.913	54.356	47.919	58.607	49.018	50.335	47.702	50.857	51.026	600.482

Ainda, se analisarmos o consumo total mensal, através do gráfico 3, notamos uma quase linearidade em torno dos 50.000 kWh de consumo mensal, apenas ultrapassando esse valor os meses de Maio e Julho, meses esses que representam um maior consumo devido a estação do ano, o inverno, onde é utilizado mais aquecedores e as horas de sol são reduzidas aumentando as horas de funcionamento da iluminação pública, a principal representante do consumo anual.

Gráfico 3- Somatório de consumo mensal de energia elétrica das edificações públicas municipais.



4.3 Síntese dos Valores Monetários

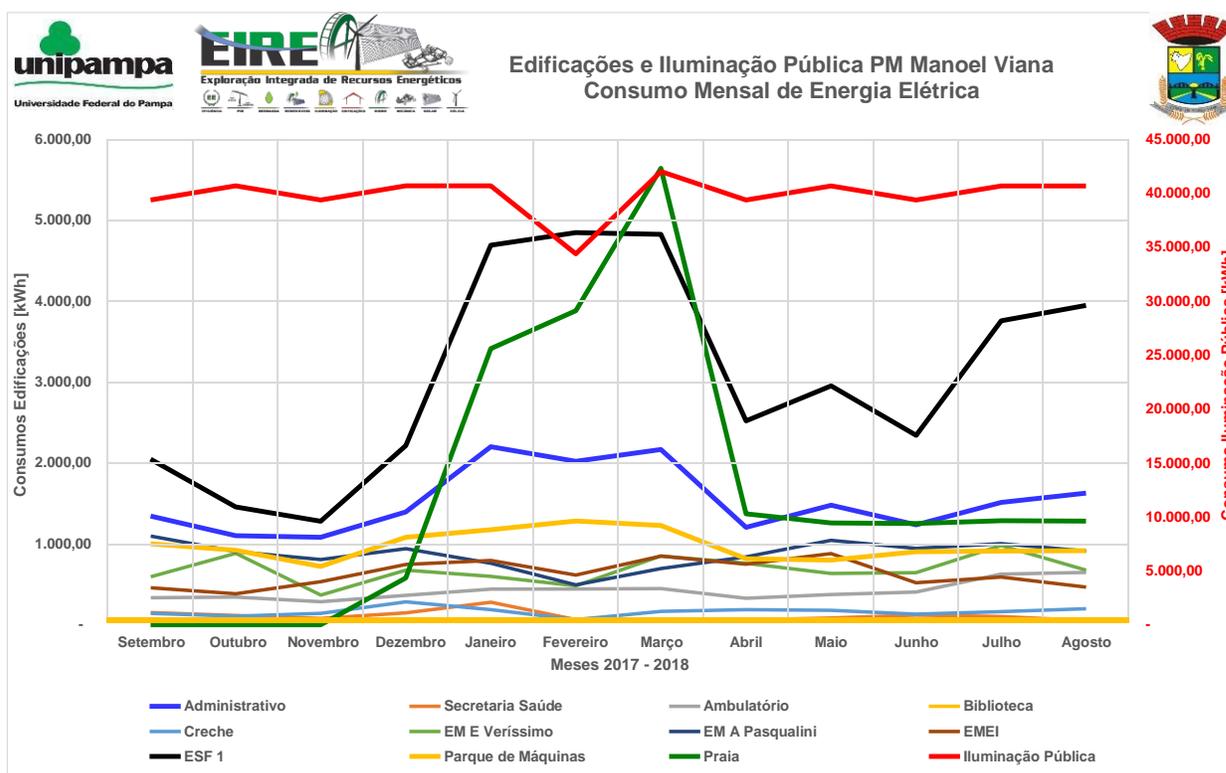
Todos os prédios públicos estudados se enquadram na tarifação convencional, sem diferenciação de custos em horários de ponta e fora ponta, nem pagamento de demanda contratada. O levantamento total das faturas incluindo a de iluminação pública nos confere valores de consumo anual de 600.482 kWh com um custo médio anual unitário de tarifa de R\$ 0,4469 /kWh, como mostrado na tabela 5, assim como o valor mais recente praticado pela concessionária que é de R\$ 0,5628 /kWh.

Tabela 5- Síntese dos valores monetários e físicos da fatura de energia elétrica.

Ano	Mês/Ano	FATURA [R\$]	CONSUMO [kWh]	Tarifa Unitária [R\$/kWh]
2017	Setembro	R\$ 20.614,83	46.656,00	R\$ 0,4418
	Outubro	R\$ 19.303,97	47.018,00	R\$ 0,4106
	Novembro	R\$ 19.707,69	44.783,00	R\$ 0,4401
	Dezembro	R\$ 22.318,96	49.228,00	R\$ 0,4534
2018	Janeiro	R\$ 26.330,14	55.337,00	R\$ 0,4758
	Fevereiro	R\$ 23.367,31	48.687,00	R\$ 0,4799
	Março	R\$ 27.369,86	59.048,00	R\$ 0,4635
	Abril	R\$ 6.487,99	48.282,00	R\$ 0,1344
	Maiο	R\$ 21.435,64	50.439,95	R\$ 0,4250
	Junho	R\$ 23.798,68	47.904,53	R\$ 0,4968
	Julho	R\$ 28.661,02	51.651,95	R\$ 0,5549
	Agosto	R\$ 28.955,01	51.446,95	R\$ 0,5628
TOTAL		R\$ 268.351,10	600.482	R\$ 0,4469

Através do gráfico 4, é possível observar a predominância da carga de iluminação pública, parametrizada pelo eixo à direita no gráfico. As edificações e locais mais evidentes em termos de consumo são: o prédio administrativo, a praia, a creche/ EMEI e o ESF 01 que possuem um consumo significativo mensal e que, por conseguinte no consumo total anual das edificações. O vale na linha de consumo da iluminação pública é justificado pelos meses da alta temporada da praia, pois a iluminação da praia se dá em parte pela iluminação pública, por isso é cobrado apenas uma vez na fatura de energia elétrica, causando essa diminuição no consumo final da iluminação pública.

Gráfico 4- Consumo mensal das edificações e iluminação pública.



5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

5.1 Introdução

Nesse capítulo será tratado o diagnóstico de eficiência energética para o sistema de iluminação para as edificações do Poder Público Municipal de Manoel Viana. Foi selecionado o serviço energético de iluminação pública e interna, pela representatividade da mesma nas diversas edificações e principalmente na Iluminação Pública.

5.2 Eficiência na iluminação

O levantamento de iluminação dos ambientes internos dos prédios públicos de Manoel Viana, realizado com o auxílio dos alunos da disciplina de Eficiência Energética, demonstraram a variedade de sistemas de iluminação dentro de um mesmo ambiente, onde se destacam as lâmpadas fluorescente compactas de 25, 32 e 45 W e os sistemas fluorescentes tubulares tipo T12/T8 de 40 W/ 32 W, com duas lâmpadas. Aos ambientes externos as edificações, iluminação pública e da Ponte General Osório o mesmo se notou em relação à variedade sistemas de iluminação, com lâmpada de vapor sódio, vapor de mercúrio e mista.

Algumas edificações, como a escola Alberto Pasqualini e o Posto de Estratégia Saúde Familiar (ESF 01), já possuem lâmpadas LED do tipo bulbo em alguns ambientes.

Não foram efetuadas medições fotométricas nos ambientes de trabalho, pois o horário de expediente é reduzindo com uma média de 6 (seis) horas diárias matinais. E a efetivação de uma proposta, mesmo que limitada, já dará um retorno substancial. Além disso, o deslocamento até o município dependia da frota de carros da Universidade Federal do Pampa, que está localizada na cidade de Alegrete, cidade vizinha do município de Manoel Viana, ficando limitado o deslocamento de ida e volta no período de tempo de quatro horas, impossibilitando as medições fotométricas nas edificações.

O sistema proposto para promover a eficiência energética e a substituição dos sistemas fluorescentes tubulares e compactas para luminárias tubulares de LED, do fabricante PHILIPS. Cada lâmpada dispõe de 18 W, com Temperatura de Cor 6500K, qual seja Branca Fria, Fluxo Luminoso de 1.850 lm, Temperatura de Cor de 6.500°, IRC 80, Vida Útil de 30.000h, podendo

operar com tensões de 90-240V. E ainda, se recomenda a substituição das luminárias existentes por luminárias para lâmpada de 18 W cada.

5.21 Prédio Administrativo Municipal

A carga da Administração corresponde a um período diário de 6 horas matinais de funcionamento, ao longo dos dias úteis, funcionando o ano inteiro. Propõe-se a substituição de 49 lâmpadas por luminárias LED de 18 e 30 W, conforme Tabela 6.

Tabela 6- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Dispositivo Luminotécnico	Quantidade	Número Lâmpadas	Potência Unitária [W]	Potência Atual [W]	Quantidade	Potência Unitária[W]	Potência Proposta [W]
Lâmpada Fluorescente Compacta	33	1	40	1385	33	18	594
Lâmpada Fluorescente Tubular	15	2	40	1200	15	18	270
Lâmpada Incandescente	1	1	100	100	1	30	30
Somatório	49			2685	49		894

Esta ação de eficiência energética, além de melhorar o plano luminoso das dependências de trabalho, promoverá uma redução no consumo de 67%, segundo tabela 7.

Tabela 7- Os indicadores e a ação de eficiência energética.

Indicador	Atual	Nova	Redução		
Demanda [kW]	2,685	0,894	1,79	kW	67%
Energia [MWh]	4,25	1,42	2,84	MWh	67%

5.22 Ambulatório

A carga do Ambulatório corresponde a um período de funcionamento de 24 horas, funcionando o ano inteiro. Propõe-se a substituição de 43 lâmpadas por luminárias LED de 18, conforme Tabela 8.

Tabela 8- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Dispositivo Luminotécnico	Quantidade	Número Lâmpadas	Potência Unitária [W]	Potência Atual [W]	Quantidade	Potência Unitária[W]	Potência Proposta [W]
Lâmpada Fluorescente Compacta	33	1	25	825	33	18	594
Lâmpada Fluorescente Tubular	9	2	36	648	9	18	162
Lâmpada Incandescente	1	1	150	150	1	18	18
Somatório	43			1623	43		774

Esta ação de eficiência energética, além de melhorar o plano luminoso das dependências de trabalho, promoverá uma redução no consumo de 52%, como mostrado a tabela 9.

Tabela 9- Os indicadores e a ação de eficiência energética.

Indicador	Atual	Nova	Redução		
Demanda [kW]	1,623	0,774	0,85	kW	52%
Energia [MWh]	14,22	6,78	7,44	MWh	52%

5.2.3 Biblioteca

A carga da Biblioteca corresponde a um período de funcionamento de 4 horas diárias matinais, ao longo dos dias úteis, funcionando o ano inteiro. Propõe-se a substituição de 10 lâmpadas por luminárias LED de 18, conforme Tabela 10.

Tabela 10- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Dispositivo Luminotécnico	Quantidade	Número Lâmpadas	Potência Unitária [W]	Potência Atual [W]	Quantidade	Potência Unitária[W]	Potência Proposta [W]
Lâmpada Fluorescente Compacta	6	6	45	270	6	18	108
Lâmpada Fluorescente Tubular	3	2	36	216	3	18	54
Lâmpada Incandescente	1	1	160	160	1	18	18
Somatório	10			646	10		180

Esta ação de eficiência energética, conforme tabela 11, além de melhorar o plano luminoso das dependências de trabalho, promoverá uma redução no consumo de 72%.

Tabela 11- Os indicadores e a ação de eficiência energética.

Indicador	Atual	Nova	Redução		
Demanda [kW]	0,646	0,18	0,47	kW	72%
Energia [MWh]	1,02	0,29	0,74	MWh	72%

524 Creche e EMEI Maria Veni Lottermann

A carga da Creche e da EMEI Maria Veni Lottermann corresponde a um período de funcionamento de 8 horas diárias, ao longo dos dias úteis, funcionando de Fevereiro à Julho e de Agosto à Dezembro. Propõe-se a substituição de 69 lâmpadas por luminárias LED de 18, conforme Tabela 12.

Tabela 12- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Dispositivo Luminotécnico	Quantidade	Número Lâmpadas	Potência Unitária [W]	Potência Atual [W]	Quantidade	Potência Unitária[W]	Potência Proposta [W]
Lâmpada Fluorescente Compacta	68	68	32	2163	68	18	1224
Lâmpada Fluorescente Tubular	0	0	0	0	0	18	0
Lâmpada Incandescente	1	1	100	100	1	18	18
Somatório	69			2263	69		1242

Esta ação de eficiência energética, conforme tabela 13, além de melhorar o plano luminoso das dependências de trabalho, promoverá uma redução no consumo de 45%.

Tabela 13- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Indicador	Atual	Nova	Redução		
Demanda [kW]	2,263	1,242	1,02	kW	45%
Energia [MWh]	4,78	2,62	2,16	MWh	45%

525 Escola Municipal Érico Verissimo

A carga da Escola Municipal Érico Verissimo corresponde a um período de funcionamento de 6 horas diárias, ao longo dos dias úteis, funcionando de Fevereiro à Julho e de Agosto à Dezembro. Propõe-se a substituição de 63 lâmpadas por luminárias LED de 18 e 30 W, conforme Tabela 14.

Tabela 14- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Dispositivo Luminotécnico	Quantidade	Número Lâmpadas	Potência Unitária [W]	Potência Atual [W]	Quantidade	Potência Unitária[W]	Potência Proposta [W]
Lâmpada Fluorescente Compacta	57	1	40	1654	57	18	1026
Lâmpada Fluorescente Tubular	4	2	40	320	4	18	72
Lâmpada Vapor Sódio	2	2	85	340	2	30	60
Somatório	63			2314	63		1158

Esta ação de eficiência energética, segundo tabela 15, além de melhorar o plano luminoso das dependências de trabalho, promoverá uma redução no consumo de 50%.

Tabela 15- Os indicadores e a ação de eficiência energética.

Indicador	Atual	Nova	Redução		
Demanda [kW]	2,314	1158	1,16	kW	50%
Energia [MWh]	3,67	1,83	1,83	MWh	50%

526 Escola Municipal Alberto Pasqualini

A carga da Escola Municipal Érico Verissimo corresponde a um período de funcionamento de 8 horas diárias, ao longo dos dias úteis, funcionando de Fevereiro à Julho e de Agosto à Dezembro. Propõe-se a substituição de 120 lâmpadas por luminárias LED de 18 e 150 W, conforme Tabela 16.

Tabela 16- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Dispositivo Luminotécnico	Quantidade	Número Lâmpadas	Potência Unitária [W]	Potência Atual [W]	Quantidade	Potência Unitária[W]	Potência Proposta [W]
Lâmpada Fluorescente Compacta	108	1	42	4600	108	18	1944
Lâmpada Fluorescente Tubular	2	2	36	144	2	18	36
Lâmpada de Mercúrio	10	2	575	5750	10	150	1500
Somatório	120			10494	120		3480

Esta ação de eficiência energética, além de melhorar o plano luminoso das dependências de trabalho, promoverá uma redução no consumo de 59%., segundo tabela 17.

Tabela 17- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Indicador	Atual	Nova	Redução		
Demanda [kW]	10,494	3,48	7,01	kW	67%
Energia [MWh]	7,93	3,24	4,68	MWh	59%

5.2.7 Estratégia Saúde da Família (ESF01)

A carga do Ambulatório corresponde a um período de funcionamento de 8 horas, ao longo dos dias úteis, funcionando o ano inteiro. Propõe-se a substituição de 32 lâmpadas por luminárias LED de 18 e 30 W, conforme Tabela 18.

Tabela 18- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Dispositivo Luminotécnico	Quantidade	Número Lâmpadas	Potência Unitária [W]	Potência Atual [W]	Quantidade	Potência Unitária[W]	Potência Proposta [W]
Lâmpada Fluorescente Compacta	16	1	23	377	16	18	288
Lâmpada Fluorescente Tubular	14	2	32	1080	14	18	252
Lâmpada Vapor Sódio	2	2	85	340	2	30	60
Somatório	32			1797	32		600

Esta ação de eficiência energética, conforme tabela 19, além de melhorar o plano luminoso das dependências de trabalho, promoverá uma redução no consumo de 67%.

Tabela 19- Os indicadores e a ação de eficiência energética.

Indicador	Atual	Nova	Redução		
Demanda [kW]	1,797	0,6	1,2	kW	67%
Energia [MWh]	2,85	0,95	1,9	MWh	67%

5.2.8 Parque de máquinas

A carga do Parque de Máquinas corresponde a um período de funcionamento de 6 horas, ao longo dos dias úteis, funcionando o ano inteiro. Propõe-se a substituição de 7 lâmpadas por luminárias LED de 18 W, conforme Tabela 20.

Tabela 20- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Dispositivo Luminotécnico	Quantidade	Número Lâmpadas	Potência Unitária [W]	Potência Atual [W]	Quantidade	Potência Unitária[W]	Potência Proposta [W]
Lâmpada Fluorescente Compacta	6	6	42	252	6	18	108
Lâmpada Fluorescente Tubular	0	0	0	0	0	18	0
Lâmpada Incandescente	1	1	60	60	1	18	18
Somatório	7			312	7		126

Esta ação de eficiência energética, segundo tabela 21, além de melhorar o plano luminoso das dependências de trabalho, promoverá uma redução no consumo de 57%.

Tabela 21- Os indicadores e a ação de eficiência energética.

Indicador	Atual	Nova	Redução		
Demanda [kW]	0,312	0,126	0,19	kW	69%
Energia [MWh]	0,4	0,17	0,23	MWh	69%

529 Secretária De Saúde

A carga da Secretária de Saúde corresponde a um período de funcionamento de 6 horas, ao longo dos dias úteis, funcionando o ano inteiro. Propõe-se a substituição de 24 lâmpadas por luminárias LED de 18 e 30 W, conforme Tabela 22.

Tabela 22- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Dispositivo Luminotécnico	Quantidade	Número Lâmpadas	Potência Unitária [W]	Potência Atual [W]	Quantidade	Potência Unitária[W]	Potência Proposta [W]
Lâmpada Fluorescente Compacta	4	1	32	128	4	18	72
Lâmpada Fluorescente Tubular	20	1	32	1280	20	18	360
Lâmpada Incandescente	0	0	0	0	0	30	0
Somatório	24			1408	24		432

Esta ação de eficiência energética, além de melhorar o plano luminoso das dependências de trabalho, promoverá uma redução no consumo de 69%, conforme Tabela 23.

Tabela 23- Os indicadores e a ação de eficiência energética.

Indicador	Atual	Nova	Redução		
Demanda [kW]	1,408	0,432	0,98	kW	69%
Energia [MWh]	2,23	0,68	1,55	MWh	69%

52.10 Iluminação pública

Para a iluminação pública foi considerado um período de funcionamento de 12 horas, durante todo o ano. Propõe-se a substituição de 757 lâmpadas por luminárias LED de 60 e 119 W, conforme Tabela 24.

Tabela 24- Sistema existente e sistema proposto de iluminação.

Sistema Existente						Sistema Eficiente Proposto			
Tipo de Lâmpada	Quantidade de Lâmpada	Potência Unitário [Watt]	Fluxo Luminoso [Lumens]	Potência Unitária [kW]	Potência Instalada [kW]	Fabricante/Modelo	Potência Unitário [Watt]	Fluxo Luminoso [Lumens]	Potência Instalada [kW]
Vapor Sódio	195	85	6.000	0,085	16,58	ConexLed C LU-M60	60	6.369	11,7
Mista	527	160	3.600	0,16	84,32	ConexLed C LU-M60	60	6.369	31,62
Mista	1	250	5.600	0,25	0,25	ConexLed C LU-M60	60	6.369	0,06
Vapor de Mercúrio	34	278	12.700	0,278	9,45	ConexLed C LU-M120	120	15.554	4,05
TOTAL	757				110,6				47,43

Esta ação de eficiência energética promoverá uma redução no consumo de 67%, como mostrado na tabela 25.

Tabela 25- Os indicadores e a ação de eficiência energética.

Indicador	Atual	Nova	Redução		
Demanda [kW]	110,60	47,43	63,17	kW	57,1%
Energia [MWh]	478,05	208,86	269,19	MWh	56,3%

Contabilizando, serão 1.263 pontos a serem trocados por luminárias LED, entre iluminação interna e externa. Para se estimar o custo unitário e o investimento total, mostrado na tabela 26, com esse sistema proposto, foram obtidos três orçamentos, retirados de diferentes empresas através de seus sites de compra. Vale ressaltar que os valores sofrerão alterações, pois por serem edificações públicas a compra desse sistema de iluminação passará por licitação, escolhendo o melhor preço para a Prefeitura de Manoel Viana.

Tabela 26- Valores monetários do sistema proposto de iluminação.

Parâmetros Energéticos		TOTAL	Preço Unitário		
			Luminária	Lâmpada	Sub-Total
Luminária LED Tubular	Quantidade	459	R\$ 20,00	R\$ 25,00	R\$ 20.655,00
	Potência [W]	18			
Luminária LED Pontual	Quantidade	5	R\$ 642,61		R\$ 3.213,05
	Potência [W]				
	Quantidade	739	R\$ 653,34		R\$ 482.818,26
	Potência [W]	60			
	Quantidade	34	R\$ 923,48		R\$ 31.398,32
	Potência [W]	120			
	Quantidade	26	R\$ 1.103,71		R\$ 28.696,46
	Potência [W]	150			
Total Iluminação Pública		804	SUB-TOTAL		R\$ 566.781,09
TOTAL GLOBAL		1263	Despesas de Instalação		R\$ 85.017,16
			TOTAL		R\$ 651.798,25

A Tabela 27 sintetiza a proposta de eficiência energética no sistema de iluminação interna e externa das edificações, assim como a Iluminação Pública e Ponte General Osório. O levantamento do sistema de iluminação da Ponte General Osório foi realizado em paralelo pelo Professor José Wagner, sendo considerados apenas os resultados finais de demanda e energia atual e nova, para incorporar no resultado final deste trabalho e, por conseguinte na geração distribuída.

A tabela 27 evidencia a situação de demanda em kW e de energia em kWh atual e da nova proposta, mostrando assim quanto se reduz ao investir em luminárias LED. Ficando evidente que se consegue reduzir os valores atuais pela metade ao se aplicar essa tecnologia.

Fazendo a substituição de 1.263 pontos para luminárias LED, se estima uma economia de energia de 293,82 MWh e uma redução na demanda de 78,65 kW.

Tabela 27- Síntese dos parâmetros energéticos.

Parâmetros Energéticos		Administrativo	Secretaria Saúde	Ambulatório	Biblioteca	Creche	EM E Veríssimo	EM A Pasqualini	EMEI	ESF I	Iluminação Pública	Ponte	Parque de Máquinas	Praia	TOTAL
Demanda	Atual [kW]	2,69	1,41	1,62	0,65	2,28	2,31	10,49	2,26	1,80	110,60	2,21	0,31		138,61
	Nova [kW]	0,89	0,43	0,77	0,18	1,24	1,16	3,48	1,24	0,60	42,63	2,41	0,13		55,17
Energia	Atual [kWh]	4,25	2,23	14,22	1,02	4,78	3,67	7,93	4,78	2,85	478,05	9,68	0,40		533,86
	Nova[kWh]	1,42	0,68	6,78	0,29	2,62	1,83	3,22	2,62	0,95	208,86	10,57	0,17		240,04
Redução da Demanda [kW]		1,79	0,98	0,85	0,47	1,02	1,16	7,01	1,02	1,20	63,17	-	0,20	0,19	78,65
Energia Economizada [MWh]		2,84	1,55	7,44	0,74	2,16	1,83	4,68	2,16	1,90	269,19	-	0,89	0,23	293,82

Vale ressaltar que alguns ambientes não foram diagnosticados, em decorrência que o responsável pela chave não se encontrava no lugar no momento do levantamento. Estes pontos foram estimados com a ajuda do responsável designado pela Prefeitura Municipal de Manoel Viana à acompanhar o levantamento de carga.

Em síntese, a Tabela 28, fornece os valores de demanda e energia, atual e proposta total das edificações, destacando também a energia economizada e a redução da demanda. Seguindo os dados dessa tabela, relacionando a tarifa média unitária anual de R\$ 446,9 /MWh obtida através das faturas de energia elétrica, se conseguiu evitar um investimento de R\$ 131.301,50 reais em consumo anual de energia elétrica.

Tabela 28- Investimento evitado e a redução de demanda.

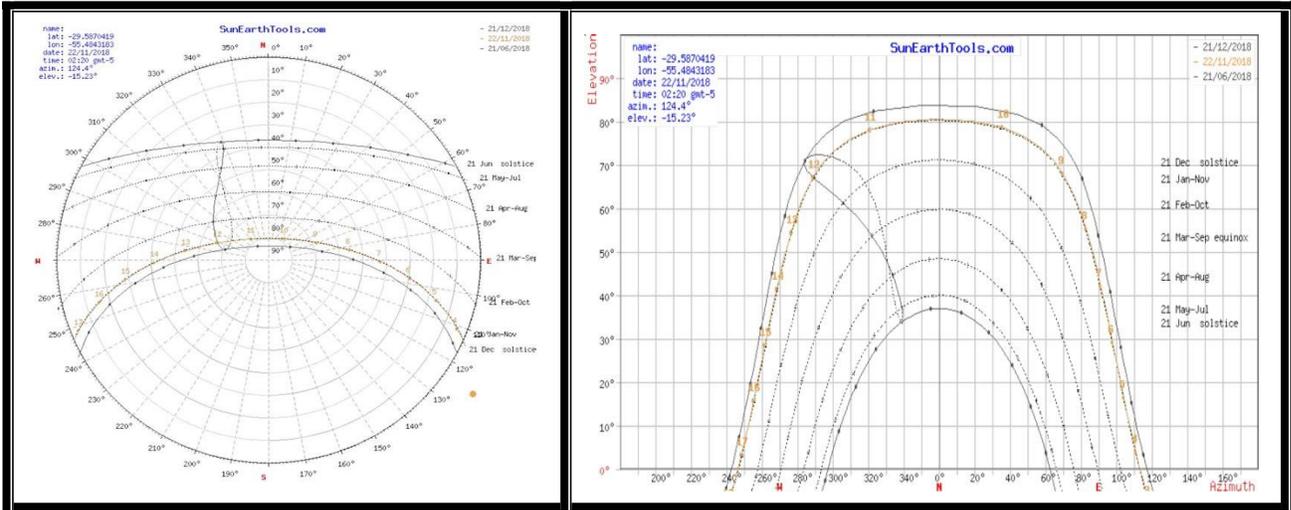
Parâmetros Energéticos		TOTAL		
Demanda	Atual [kW]	137,61		
	Nova [kW]	59,97		
Energia	Atual [kWh]	533,86		
	Nova[kWh]	240,05	Redução %	Investimento Evitado
Redução da Demanda [kW]	78,64	57%		
Energia Economizada [MWh]		293,81	55%	131.301,50

6 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

6.1 Recursos solares em Manoel Viana

O município de Manoel Viana está situado a uma latitude de 29° 35' 7" Sul e longitude de 55° 29' 13" Oeste. Através do software SunEarth foi possível obter a carta solar do município, figura 7. A carta solar evidencia a radiação solar e destacam os solstícios de verão e inverno no local, aspectos importantes para determinar a orientação dos painéis fotovoltaicos que se pretende instalar.

Figura 7- Carta Solar de Manoel Viana.



Fonte; SunEarthTools

A orientação padrão de painéis solares no Sul é no sentido Norte. Sabendo-se que o Norte magnético é diferente do Norte verdadeiro, uma vez que o Norte Magnético varia a posição ao longo do tempo. A diferença entre o Norte Verdadeiro e o Norte Magnético é chamada de declinação magnética, essa declinação depende da data, da latitude e longitude. Para conhecer essa declinação foi usado o aplicativo ASTRO do observatório nacional, que segundo esse aplicativo em Manoel Viana, no dia 22 de Novembro as 00 hora e 30 minutos a declinação era de -38° . O sinal de negativo indica que o Norte Verdadeiro está à direita do Norte magnético.

Com o intuito de oportunizar uma ferramenta de apoio para estimar sistemas fotovoltaicos, a CRESESB disponibiliza o programa SunData, que tem como dados base a 2ª edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar, objetiva calcular a irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional. As informações solarimétricas de Manoel Viana estão dispostas na tabela 29.

Tabela 29- Informações solarimétrica de Manoel Viana.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Plano Horizontal	0° N	6,82	6,12	5,24	4,03	2,99	2,48	2,74	3,52	4,07	5,26	6,43	7,01	4,73	4,53
Ângulo igual a latitude	30° N	6,01	5,85	5,57	4,89	4,05	3,53	3,83	4,45	4,48	5,18	5,79	6,05	4,97	2,52
Maior média anual	23° N	6,30	6,01	5,60	4,77	3,88	3,35	3,64	4,31	4,46	5,29	6,04	6,37	5,00	3,03
Maior mínimo mensal	50° N	4,91	5,04	5,17	4,90	4,29	3,83	4,12	4,57	4,27	4,58	4,80	4,86	4,61	1,34

6.2 Estimativa do Potencial Fotovoltaico

Com os dados sintetizados da tabela 12, através da análise das faturas de energia elétrica, constatou-se que no período de doze meses o consumo de energia elétrica total de todos os prédios públicos chegou a 600.482 kWh, com um consumo médio de 50.348 kWh médios.

Como o objetivo é compensar o consumo de energia elétrica através da geração distribuída utilizando fonte renovável, no caso sistema solar fotovoltaico, utilizaram-se dois cenários, o primeiro cenário é a prospecção da redução da fatura de energia elétrica com base em sistemas fotovoltaicos sem aferir a eficiência energética, denominado caso base, e o segundo cenário se prospectou a redução da fatura de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos aplicando os conceitos de eficiência energética.

Para tal, foram utilizados os dados climatológicos de Alegrete, uma vez que o município de Manoel Viana não dispõe de informações específicas. A Tabela 30 mostra os dados do INMET e o recente levantamento publicado pela UERGS: ATLAS SOLAR DO RGS – 2018, que foi adotado no presente trabalho.

Tabela 30- Dados climatológicos para Alegrete.

Dados climatológicos para Alegrete (1961-1990)													
Dados climatológicos para Alegrete (1961-1990)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima absoluta (°C)	39,6	39,3	38,7	35,1	33,8	30,6	31,3	34,2	34,2	36,2	38,4	39,8	39,8
Temperatura máxima média (°C)	31,3	30,8	28,7	25,4	22,2	19,7	19,7	20,8	22,6	25,1	28	30,6	25,4
Temperatura média (°C)	24,7	24,4	22,3	18,7	15,8	13,7	13,7	14,6	16,5	18,5	21,5	24	19,1
Temperatura mínima média (°C)	19,1	19	17,3	13,7	11	9	9,1	10	11,6	13,5	15,5	17,5	13,8
Temperatura mínima absoluta (°C)	9,2	9,2	6,2	2,5	0,2	-4,1	-3,8	-2,5	0,2	2,1	4,6	7	-4,1
Precipitação (mm)	135	137,9	160,4	125,5	130,9	93,9	115,2	90,8	130,2	158,4	87,9	126,1	1 492,2
Dias com precipitação (≥ 1 mm)	9	6	7	6	6	6	9	8	8	8	6	7	86
Umidade relativa (%)	68,6	71,8	75,3	77,1	79,6	80,6	79,7	75,8	73,7	71	67,2	65,1	73,8
Horas de sol Alegrete	273,4	247,1	232,8	207,5	196,3	155,1	164,7	185,2	186,6	239,9	276,1	296,4	2 661,1
ATLAS SOLAR DO RGS - 2018 - UERGS													
	Janeiro	Fevereir	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setemb	Outubro	Novemb	Dezemb	Dez-Fev
Horas de Sol Médio Diário Por Mês ALEGRETE	7,03	6,16	5,56	4,41	3,15	2,58	2,82	3,51	4,48	5,73	6,86	7,33	6,84
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) ^{[10] [9] [12] [13] [14] [8] [19] [11] [16]}													
Horas de Sol Médio Diário Por Mês	8,82	8,83	7,51	6,92	6,33	5,17	5,31	5,97	6,22	7,74	9,20	9,56	7,30
Dias do Mês	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30,42

Fonte: INMET e UERGS

6.3 Equações Utilizadas

Com a obtenção dos dados referentes à insolação, inclinação, orientação das placas e as especificações técnicas do módulo fotovoltaico escolhido, pode-se dimensionar o potencial da geração distribuída. Neste trabalho os resultados foram obtidos através de equações matemáticas, descritas a seguir, e organizados em planilhas do Excel mostrados nos itens subsequentes.

Para determinar a energia solar útil produzida no mês, com base nos dados climatológicos, utiliza-se a seguinte equação:

Onde: E é a energia solar útil produzida no mês; A é a área do módulo solar utilizado; n é o número de módulos; I é a insolação do local e D é a quantidade de dias do mês.

Depois de calculado a energia solar útil produzida no mês também se pode calcular o quanto de energia solar irá ser convertida pela placa, utilizando a equação 2:

(2)

Onde: E_c é a energia solar convertida pela placa; η é a eficiência do módulo.

As equações que se segue foram retiradas da Apostila de Instalação de Sistemas Fotovoltaicos: Módulo 1 (ROSA; SANTOS, 2016) .

Para determinar a energia elétrica produzida diariamente por um módulo utilizam-se as duas equações a seguir, sendo uma equivalente à outra:

(3)

Onde: E_d é a energia produzida diariamente por um módulo; A é a área do módulo solar utilizado; η é a eficiência do módulo; I é a insolação do local.

Ou ainda,

(4)

Onde: E é a energia produzida diariamente por um módulo; P é a potência do módulo; I é a insolação do local.

E através da equação 5, calcula-se a potência total instalada no sistema.

(5)

Onde: P_{total} é a potência total a ser instalada; n é o número de módulos utilizados; $P_{módulo}$ é a potência de um módulo.

A potência gerada pela placa fotovoltaica é especificada pelo fabricante, para uma temperatura de operação de 25°C, exposta a uma irradiação de 1000 W/m². Mas para dimensionar de forma adequada o sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica, se faz necessário considerar as variações de temperatura no local que as placas serão instaladas. Essa variação de temperatura impacta no rendimento dos módulos fotovoltaicos e por esse motivo deve-se considerar que a placa fotovoltaica opera em média 20°C acima da temperatura ambiente, como considerado na equação 6.

()

(6)

Onde T é a temperatura do ambiente do local de instalação.

Por fim, para concretizar a proposta de geração distribuída é realizado um estudo de viabilidade econômica, representando as taxas de retorno do projeto. Para tanto, os principais indicadores econômicos utilizados nessa análise são o *Payback*; o VPL (Valor Presente Líquido) e a TIR (Taxa Interna de Retorno).

O *Payback* indica o período de tempo necessário para que o valor investido no projeto retorne, considerando apenas o valor onde o lucro líquido iguala o valor aplicado no investimento analisado.

$$\text{Payback} = n, \text{ tal que } \sum_{t=0}^n \frac{R_t - C_t}{(1+i)^t} = I_0 \quad (7)$$

Onde: n é Número de anos; I₀ é o Investimento Inicial; R a Receita (valor anual); C os Custos (manutenção); i representando a taxa de juros a ser considerada e R_t é o fluxo de Caixa do ano referência (R_n);

O Valor Presente Líquido é o mais utilizado nos projetos de viabilidade de projetos. Esse indicador consiste em trazer para data zero todos os fluxos de caixa do projeto e soma-los ao valor do investimento inicial usando como taxa de desconto a taxa mínima de atratividade (TMA) da empresa ou projeto.

$$\sum_{t=0}^n \frac{R_t - C_t}{(1+i)^t} - I_0 = 0 \quad (8)$$

Onde: n é Número de anos; I₀ é o Investimento Inicial; R a Receita (valor anual); C os Custos (manutenção); i representando a taxa de juros a ser considerada e R_t é o fluxo de Caixa do ano referência (R_n - C_n);

E a TIR, é uma medida relativa, dada em percentual e demonstra qual o rendimento do projeto, considerando a periodicidade dos fluxos de caixa do projeto. Essa taxa pode ser calculada ao se igualar a zero à equação do VPL, como mostrado na equação 9.

$$\sum_{t=0}^n \frac{R_t - C_t}{(1+i)^t} - I_0 = 0 \quad (9)$$

Onde: o fluxo de Caixa do ano referência (R_n - C_n) e n é o Número de anos;

6.4 Caso base

O caso base toma como referência os valores retirados das faturas de energia elétrica das edificações. Segundo a tabela 5, o consumo anual total das edificações é de 600.482 kWh, considerando uma tarifa unitária de R\$ 562,81 /MWh do último mês apurado de fatura.

Para o dimensionamento da micro geração fotovoltaica utiliza-se o módulo fotovoltaico do fabricante Canadian Solar com potência de placa de 330 Wpico, considerando que opere a temperatura de 25° C e esteja exposta a uma irradiação de 1000 W/m². As dimensões da placa correspondem a 1,96 m de comprimento e 0,992 m de largura.

Tomando como base os dados climatológicos de Alegrete e utilizando as equações descritas no item 6.3, com uma eficiência global dos módulos fotovoltaicos de 13%, conclui-se que 1356 placas solares, ocupando uma área de 3.296 m², com potência de 448 kW, produzindo 619;263,69, superando em 3,1% o consumo de 600.482 kWh/ ano das edificações, como mostram as tabela 31 e 32.

Tabela 31- Especificações da micro geração fotovoltaica.

Potência de Pico Requerida	448	kWp
Fabricante e Modelo da Placa	Canadian Solar	MAXPOWER 330
Potência de Placa	330	Wpico
Quantidade de Placas a Instalar	1356	Placas
Comprimento da Placa	1,96	m
Largura da Placa	0,992	m
Área da Placa	1,94	m ²
Área Total Requerida pelo Sistema	3.295,62	m ²
Eficiência Global do Arranjo	13%	
Índice Solarimétrico Local	4,22	kWh/dia/m ²
Horas Médias de Insolação	4,97	horas
Energia requerida por Dia	1.645,16	kWh/dia
Energia Requerida pela Instalação Elétrica	600.482,38	kWh/ano
Energia Produzida Ano	619.263,69	kWh/ano
Tarifa Energia Elétrica Atual	R\$ 562,81	R\$/MWh
Faturamento Anual	R\$ 348.529,63	R\$/ano
Preço Médio do kWpico	R\$ 3.800,00	R\$/kWp
Investimento Total	R\$ 1.700.897,49	R\$

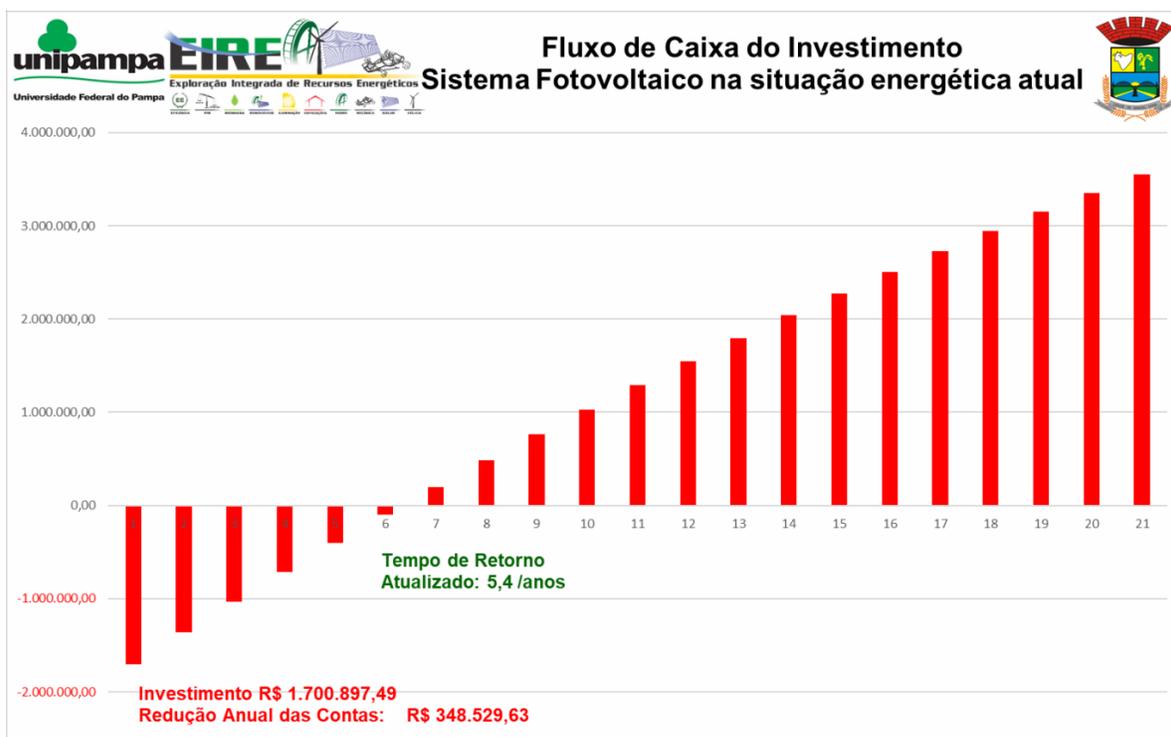
Tabela 32- Relação de energia produzida com os dados climatológicos.

ANO	Dias do Mês	Energia Solar Útil [kWh/dia/m²] = HPS [h]	Energia Solar Útil [kWh/mês]	Energia Solar Convertida [kWh/mês]	Faturamento Evitado por Mês
Jan	31	7,03	574.650,60	74.505,94	41.932,91
Fev	28	6,16	455.103,37	59.006,12	33.209,41
Mar	31	5,56	454.541,26	58.933,24	33.168,39
Abr	30	4,41	348.802,33	45.223,73	25.452,50
Mai	31	3,15	257.079,39	33.331,46	18.759,38
Jun	30	2,58	203.771,14	26.419,81	14.869,41
Jul	31	2,82	230.553,37	29.892,24	16.823,74
Ago	31	3,51	287.152,75	37.230,60	20.953,86
Set	30	4,48	354.709,23	45.989,59	25.883,54
Out	31	5,73	468.644,95	60.761,84	34.197,55
Nov	30	6,86	542.361,76	70.319,55	39.576,75
Dez	31	7,33	598.897,01	77.649,59	43.702,19
Síntese	30,42	4,97	59,63	619.263,69	348.529,63

Para tal, o projeto necessitará de um investimento inicial de R\$ 1.700.897,00, considerando, dados de mercado regional o custo para este patamar de potência assinala que gerar cada kWpico deve-se investir R\$ 3.800, 00.

Segundo o gráfico 5, considerando 5% o valor de correção de tarifa de energia elétrica e uma taxa de desconto de 8%, o projeto da micro geração fotovoltaico dará um retorno de Valor Presente Líquido de R\$ 3.553.497,15, com uma Taxa Interna de Retorno do Investimento de 25,95%. Comprovando que a realização do projeto é viável e o tempo de retorno do investimento inicial, o *Payback*, é de 5,40 anos precisamente.

Gráfico 5- Fluxo de caixa do caso base.



6.5 Caso eficiente

A proposta de eficiência no sistema de iluminação interna e externa no total retornou uma economia de energia de 293,81 MWh e uma demanda de 78,64 kW. Subtraindo a energia economizada do consumo total das faturas de 600.482 kWh, chegou-se ao valor de 240,05 MWh, tornando assim a nova energia a ser suprida pelos painéis fotovoltaicos necessária para o consumo das cargas.

Utilizando os mesmos dados climatológicos, as especificações do módulo fotovoltaico e as mesmas equações do item 6.3 do caso base, citados nas tabelas 33 e 34, conclui-se que para gerar 255.005,32 kWh por ano a potência de pico requerida será de 179 kWp, necessitando de 542 placas, menos da metade do valor do caso anterior, e ocupará uma área de 1.317 m².

Tabela 33- Especificação da micro geração fotovoltaica.

Potência de Pico Requerida	179	kWp
Fabricante e Modelo da Placa	Canadian Solar	MAXPOWER 330
Potência de Placa	330	Wpico
Quantidade de Placas a Instalar	542	Placas
Comprimento da Placa	1,96	m
Largura da Placa	0,992	m
Área da Placa	1,94	m ²
Área Total Requerida pelo Sistema	1.317,28	m ²
Eficiência Global do Arranjo	13%	
Índice Solarimétrico Local	4,22	kWh/dia/m ²
Horas Médias de Insolação	4,97	horas
Energia requerida por Dia	657,67	kWh/dia
Energia Requerida pela Instalação Elétrica	240.050,74	kWh/ano
Energia Produzida Ano	247.522,80	kWh/ano
Tarifa Energia Elétrica Atual	R\$ 562,81	R\$/MWh
Faturamento Anual	R\$ 139.309,04	R\$/ano
Preço Médio do kWpico	R\$ 3.800,00	R\$/kWp
Investimento Total	R\$ 679.956,17	R\$

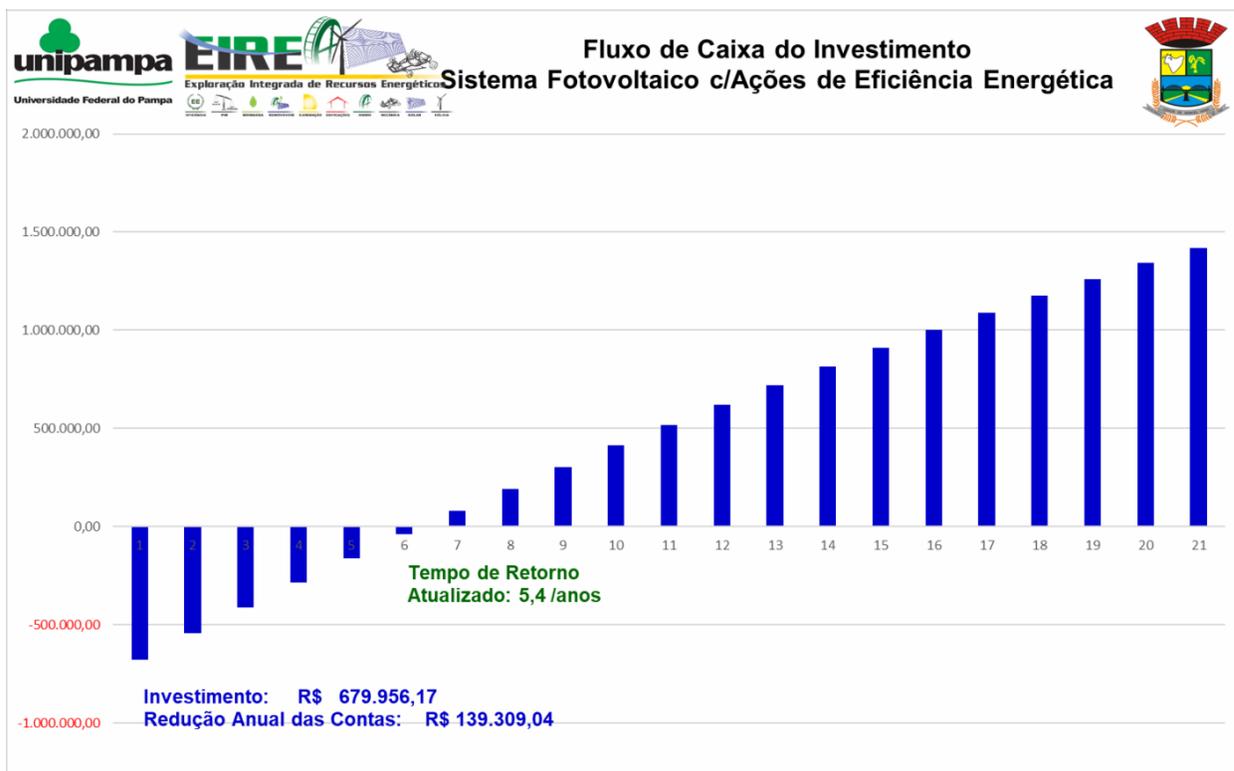
Tabela 34- Relação de energia produzida com os dados climatológicos.

Meses	Dias do Mês	Energia Solar Útil [kWh/dia/m ²]	Energia Solar Útil [kWh/mês]	Energia Solar Convertida [kWh/mês]	Faturamento Evitado por Mês
Jan	31	7,03	229.690,73	29.780	R\$ 16.760,79
Fev	28	6,16	181.907,10	23.585	R\$ 13.273,97
Mar	31	5,56	181.682,42	23.556	R\$ 13.257,57
Abr	30	4,41	139.418,04	18.076	R\$ 10.173,49
Mai	31	3,15	102.755,92	13.323	R\$ 7.498,22
Jun	30	2,58	81.448,35	10.560	R\$ 5.943,38
Jul	31	2,82	92.153,34	11.948	R\$ 6.724,53
Ago	31	3,51	114.776,39	14.881	R\$ 8.375,36
Set	30	4,48	141.779,06	18.382	R\$ 10.345,78
Out	31	5,73	187.319,74	24.287	R\$ 13.668,93
Nov	30	6,86	216.784,71	28.107	R\$ 15.819,03
Dez	31	7,33	239.382,14	31.037	R\$ 17.467,99
Síntese	30,42	4,97	1.909.097,93	247.522,80	R\$ 139.309,04

Para tal, o projeto necessitará de um investimento inicial de R\$ 679.956,17, considerando, dados de mercado regional o custo para este patamar de potência assinala que gerar cada kWpico deve-se investir R\$ 3.800, 00.

Segundo o gráfico 6, considerando 5% o valor de correção de tarifa de energia elétrica e uma taxa de desconto de 8% , o projeto da micro geração fotovoltaico dará um retorno de Valor Presente Líquido de R\$ 1.420.251,72, com uma Taxa Interna de Retorno do Investimento de 25,96%. Comprovando que a realização do projeto é viável e o tempo de retorno do investimento inicial, o *Payback*, é de 5,40 anos precisamente.

Gráfico 6- Fluxo de caixa do investimento com sistema fotovoltaico com ações de eficiência energética.

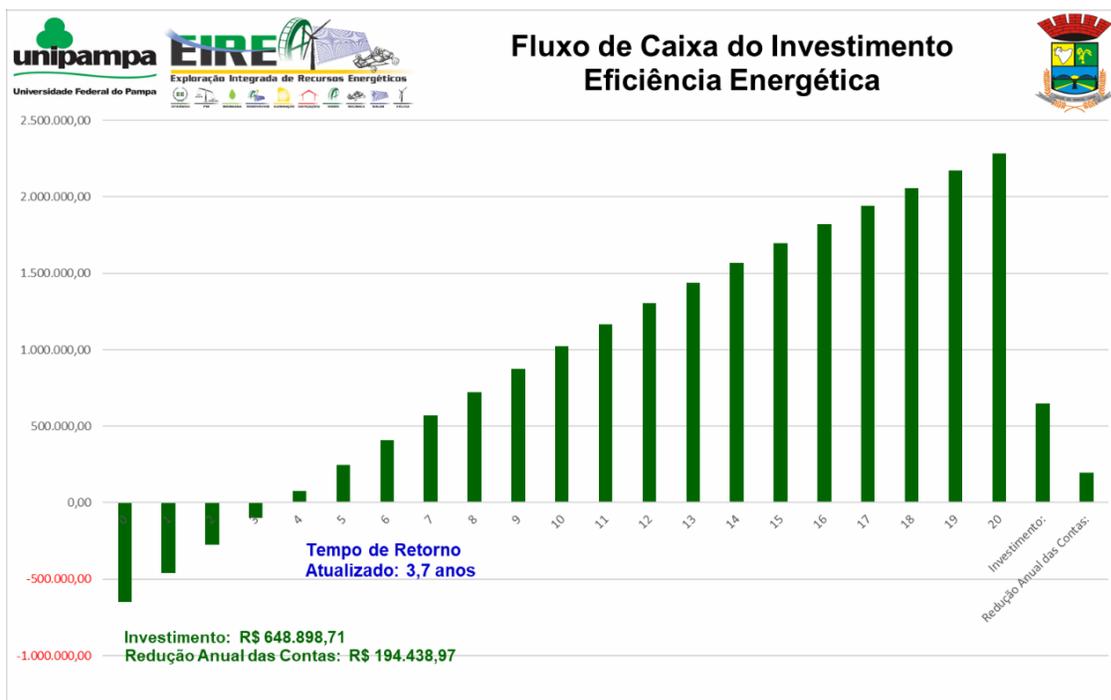


6.6 Eficiência Energética

Caso considerarmos apenas a troca de tecnologia mais eficiente na iluminação das edificações e na iluminação pública sem a instalação de uma micro usina de geração fotovoltaica, o investimento inicial deverá ser de R\$ 648.898,71.

Considerando uma taxa de desconto de 8% e a correção da tarifa de energia em torno de 5%, retornará um Valor Presente Líquido de R\$ 4.533.826,44. Com uma Taxa de Retorno do Investimento (TIR) de 35,54%. Com um *Payback*, o tempo de retorno do investimento, de 3,78 anos como mostra o gráfico 7.

Gráfico 7- Fluxo de caixa do investimento da eficiência energética.



6.6.1 Comparativo

Como demonstrado no item anterior, através dos indicadores econômicos o retorno em anos do investimento inicial para geração distribuída fotovoltaica no caso base e no caso eficiente, são praticamente iguais, enquanto que se apenas se aplicar os parâmetros energéticos o retorno do investimento é reduzido pela metade.

Através da tabela 35, se comprova que as ações de eficiência energética são importante aliadas para evitar um investimento maior em micro geração distribuída. Nos casos base e eficiente, o tempo de retorno não se modificou, mas o custo inicial reduziu mais da metade.

Tabela 35- Caracterização dos casos.

Caracterização Elétrica	Sistema Atual	Sistema Eficiente	Indicadores de Performance
Potência de Pico Requerida [kWp]	448	179	60%
Energia Requerida [kWh]	600.482,38	240.050,74	60%
Energia Gerada [kWh]	619.263,69	247.522,80	60%
Área Total Requerida pelo Sistema [m ²]	3.295,62	1.317,28	60%
Investimento - I	R\$ 1.700.897,49	R\$ 679.956,17	60%
Tempo de Retorno Atualizado - TRA [Anos]	5,40	5,40	
Valor Presente Líquido - VPL	R\$ 3.553.497,15	R\$ 1.420.251,72	
Taxa Interna de Retorno - TIR	25,95%	25,95%	

Na tabela 36 e no gráfico 8, é avaliado o impacto que a eficiência energética representa em investimento com a geração solar fotovoltaica.

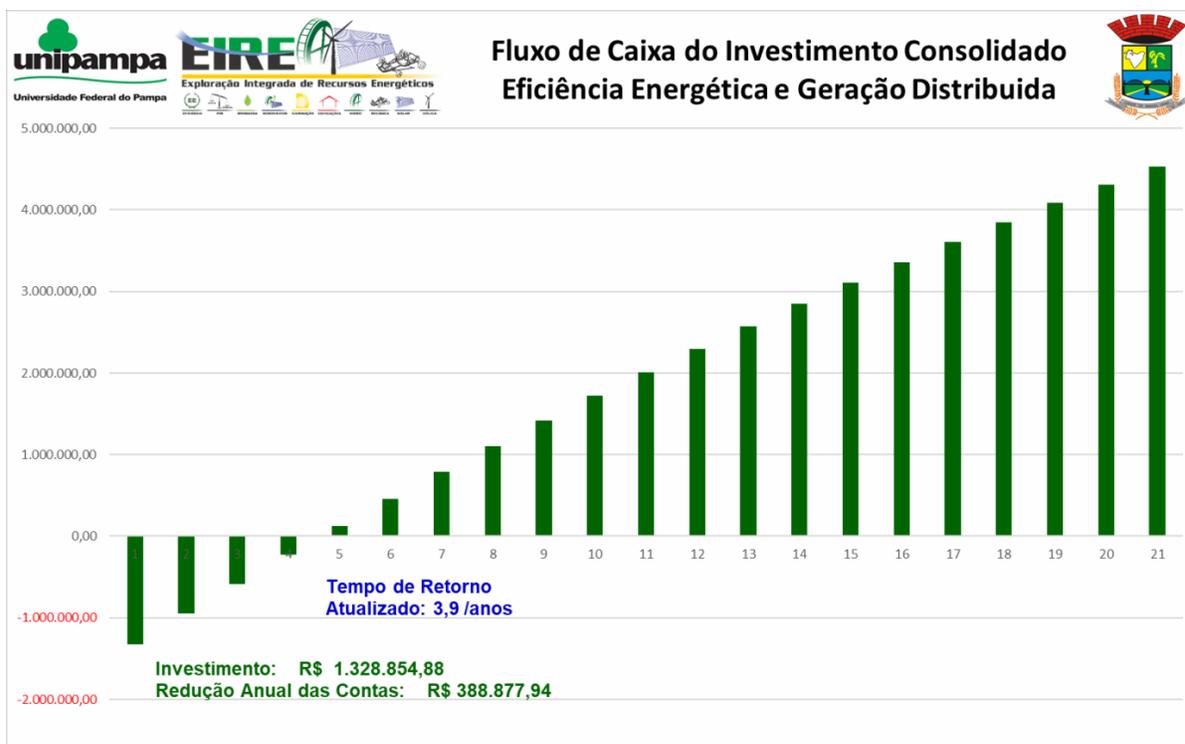
Observa-se que as ações energéticas nos serviços energéticos de iluminação, tanto interna como externa na iluminação pública economizam 345,48 MWh em energia e 89,85 kW em demanda, sendo necessário o investimento de R\$ 648.898,71 em luminárias de LED. Considerando uma taxa de desconto de 8% e uma correção de tarifa de energia elétrica de 5%, o projeto retorna um Valor Presente Líquido de R\$ 4.533.826,44, com uma taxa interna de retorno de 34,57 % e um tempo de retorno anualizado de 3,78 anos. Quando as ações energéticas se somam a geração solar fotovoltaica, a eficiência energética consegue evitar um investimento nessa geração de R\$ 1.020.941,33, reduzindo, assim, em 21,9% os custos iniciais com a geração solar fotovoltaica.

Tabela 36- Comparativo entre a eficiência energética e a geração PV.

Redução da Demanda [kW]	89,85
Energia Economizada [MWh]	345,48
Investimento - I	R\$ 648.898,71
Economia de Energia	R\$ 194.438,97
Tempo de Retorno Atualizado - TRA [Anos]	3,78
Valor Presente Líquido - VPL	R\$ 4.533.826,44
Taxa Interna de Retorno - TIR	35,54%
Investimento Evitado na Geração PV pela EE	R\$ 1.020.941,33
Benefício Anual da Energia Economizada	R\$ 194.438,97
Preço Unitário da Energia Faturada [R\$/MWh]	R\$ 562,81
Redução no Investimento Geração PV/PV+EE	21,9%
Investimento Total Requerido (EE + GD)	R\$ 1.328.854,88
Investimento Evitado pela EE na GD	R\$ 372.042,62

O gráfico 8, representa o fluxo de caixa do investimento consolidado, tendo como investimento total de R\$ 1.328.89854,88, uma correção de tarifa energia elétrica de 5 %, taxa de desconto de 8 %, Valor Presente Líquido retornado R\$ 4.533.826,44 como uma taxa interna de retorno de 35, 45% o tempo atualizado de retorno de investimento é de 3,8 anos.

Gráfico 8- Fluxo de caixa do investimento consolidado eficiência energética e geração distribuída.



7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou três situações de projetos, o caso base, que faz um estudo do potencial fotovoltaico, sobre a prospecção das cargas atuais das edificações; o caso eficiente, que através do sistema proposto de iluminação utilizando parâmetros eficientes se conseguiu reduzir o consumo de energia anual estimando-se novamente o potencial fotovoltaico e o de eficiência energética, evitando valores de demanda e energia elétrica apenas com a troca do sistema atual de iluminação para sistema de iluminação com tecnologia LED.

Em ambos os casos que se estimou o potencial fotovoltaico, os projetos se mostraram viáveis, com um tempo de retorno do investimento inicial em torno de 5 anos. A diferença entre os projetos se mostra através do valor do investimento inicial, de R\$ 1.700.897,00 para o caso base e de R\$ 679.956,17 para o caso eficiente, pela a potência de pico requerida, de 448 kW para 179 kW no caso eficiente, e conseqüentemente no número de placas fotovoltaicas e da área total necessária para a instalação dos módulos fotovoltaicos.

Outro estudo realizado foi na viabilidade econômica da eficiência energética, mostrando-se viável, com um tempo de retorno de 3,7 anos para um investimento inicial de R\$ 648.898,71. Ainda quando relacionado com a geração de energia solar fotovoltaica conseguiu-se evitar um investimento para tal geração no valor de R\$ 372.042,62, qual seja 21,2%. Tendo um custo evitado de R\$ 131.300,70 ao preço de R\$ 562,81 /MWh a tarifa unitária da energia faturada.

Todos os sistemas se mostraram viáveis economicamente, entretanto ficou evidente a importância da eficiência energética para se reduzir custo com energia elétrica, mesmo que somente realizado no sistema de iluminação, o retorno do investimento se mostrou bastante atrativo e quando somado a geração solar fotovoltaica se obteve uma redução de 21,2% para o investimento inicial para essa geração.

Para trabalhos futuros se propõe a efetivação do sistema proposto pelo estudo de eficiência energética e verificar os valores de consumo energético com relação aos valores estimados por esse trabalho.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Eliane; ROSA, Anna C; DIAS, Fernanda C. L. S.; BRAZ, Kathlen T. M. ; LANA, Luana T. C. ; SANTO, Olívia C. do E.; SACRAMENTO, Thays C. B.. “Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica”. Engenharia Bioenergética, FEA-Fumec, 2016.

ANEEL, Módulo 3 (PRODIST), “Acesso ao Sistema de Distribuição, Brasil”, 2008. Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/modulo3_revisao_5.pdf>. Acessado em: 15 de Setembro de 2018.

_____. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 1. Resolução Normativa nº 517/2012. 14/12/2012a. Disponível em :<<http://www.aneel.gov.br/modulo-1>>. Acessado em: 15 de Setembro de 2018

BRASIL. Decreto nº 5.163, de 30 de Julho de 2004, 2004.

TOLLER, B.B. “Impacto Técnico e Econômico do Uso de Microturbinas para Geração de Energia Elétrica em Aterros Sanitários Sobre os Sistemas de distribuição”. Tese de Dissertação de Mestrado. PPGEE/Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

LIMA, B. W. F.” Geração Distribuída Aplicada à Edificações: Edifícios de Energia Zero e o caso do Laboratório de Ensino da FEC-Unicamp”. Tese de Dissertação de Mestrado. UNICAMP, Campinas, 2012.

ECCARD, C.O. “Suprimento Solar para Prédios Públicos em Santo Antônio de Pádua”. Tese de Conclusão de Curso. UFRJ/ Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2016.

CLIMATEMPO. Disponível em:

< <https://www.climatepo.com.br/climatologia/4431/manoelviana-rs>>. Acessado em: 15 de Outubro de 2018.

CRESESB. Potencial Energético Solar - Sun Data, 2011a. Disponível em:
<<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php>>. Acesso em: 4 setembro de 2018.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R., BAZZAN, T., RECKZIEGEL, E. W., DE NARDIN, D.;
VERDUM, R. “Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande
do Sul, Brasil: Proposta de Classificação”. Revista Brasileira de Geomorfologia. v.11 n.2, 2010.
p. 11 – 23.

GREENPRO. “Energia Fotovoltaica – Manual Sobre Tecnologias, Projeto e Instalações”. União
Europeia: ALTENER, 2004.

GIL, Antônio C.. “Como elaborar projetos de pesquisa”. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MAGALHÃES, M. V. “Estudo De Utilização Da Energia Eólica Como Fonte Geradora De
Energia No Brasil”. Tese de Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina,
Florianópolis, 2009.

PÓVOA, M. C. B. L. “Fatores De Influência Na Eficiência Energética”. Monografia de Mestrado.
Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

ROSA, P.; SANTOS, E. “Apostila de Instalação de Sistemas Fotovoltaicos: Módulo 1”.
[S.l.]: ECODOT, 2016. 66, 67, 69, 70.

SALVATORE, J. “World Energy Perspective. Cost of Energy Technologies”. In: COUNCIL, W.
E., 22nd World Energy Congress, 2013, Daegu, Korea.

KUHN, R. L. “Rastreamento Diário E Anual Dos Níveis Máximos De Radiação Solar Para
Otimização Da Produção Fotovoltaica”. Tese de Conclusão de Curso. UNIPAMPA, Alegrete,
2013.

RUTHER, R. “Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil”. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

_____. “Edifícios solares fotovoltaicos”. UFSC / LABSOLAR, 2004. Disponível em: <<http://www.fotovoltaica.ufsc.br/conteudo/paginas/6/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acessado em: 3 de Outubro de 2018.

RÜTHER, R.; ZILLES, R. “Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil”. Energy Policy, v. 39, n. 3, p. 1027-1030, 2011.

YIN. R. K.” Estudo de caso: planejamento e métodos”. 3 ed., Porto Alegre: Bookman, 2005