

ANÁLISE COMPARATIVA DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO E UM SISTEMA HÍBRIDO (EÓLICO-FOTOVOLTAICO) ON GRID PARA ILUMINAÇÃO PREDIAL

Larissa Mattos Oliveira¹

Antônia Ferreira dos Santos Cruz²

Resumo

A necessidade da utilização de fontes renováveis para assegurar uma maior diversidade e sustentabilidade da matriz energética se torna essencial no cenário brasileiro atual. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa da viabilidade técnica e econômica entre um sistema fotovoltaico e um sistema híbrido (eólico-fotovoltaico) conectado à rede, para suprir a demanda de iluminação de um edifício residencial, situado no bairro da Pituba, Salvador- BA, complementando assim o abastecimento da área comum da edificação. Para a concepção do projeto foi observado a condição de vento e incidência solar do local. Foi realizado o dimensionamento dos sistemas, assim como seus respectivos orçamentos. Para o estudo de viabilidade foi realizada uma análise financeira com o método VPL, assim como a TIR e o tempo de retorno. De acordo com esses métodos o sistema que se apresentou mais viável foi o fotovoltaico considerando as condições do edifício em análise.

Palavras-chaves: Fotovoltaica; Híbrido; Eólica; Viabilidade; Conexão à Rede.

Abstract

The need of renewable sources to assure a bigger diversity and sustainability in the energy matrix became essential in Brazilian current scenario. Therefore, this essay has the purpose of making a comparative analysis of technical and economic feasibility between photovoltaic system and a hybrid system (wind-photovoltaic) connected to the power grid, to supply the lighting demand of a residential building, located in the neighborhood of Pituba, Salvador-BA, supplementing the building common area power source. For the project's design the wind condition and sun incidence was observed. It was made the system dimensioning, as well as its budget. For the feasible studies an economic analysis was made with VPL method, likewise the TIR and the payback period. According to these methods the most feasible system was the photovoltaic system considering the conditions of building in analysis.

Keyword: Photovoltaics; Wind; Hybrid; Viability; Network connection.

1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário em que o uso de recursos energéticos e de energia elétrica se apresenta prejudiciais ao bem estar em longo prazo do ser humano e da natureza, a utilização da energia elétrica de forma sustentável se torna mais necessária e vem sendo adotada por vários países como, por exemplo, a China. Nota-se como um fator importante os estímulos à geração distribuída, onde podem contribuir na redução do carregamento das redes de distribuição, redução de impacto ambiental, além de diversificar a matriz energética brasileira, contribuindo para um desenvolvimento mais sustentável. Entre essas fontes alternativas destaca-se a energia solar e a eólica (ANEEL, 2014).

¹ Aluna do curso de engenharia elétrica. E-mail: larissamattosoliveira@gmail.com

² Docente da Universidade Salvador – UNIFACS. E-mail: antonia.cruz@pro.unifacs.br

Segundo a EPE a potência instalada para geração eólica atingiu 4.903 MW em 2014, o que proporcionou um acréscimo de 85,6% na geração de eletricidade a partir dessa fonte em relação ao ano anterior, no primeiro semestre de 2015 chegou a 6.183 MW. No que diz respeito à energia solar em 2014 o Brasil contava com 15MW de potência instalada subindo para 32 MW em 2015, é o que afirma o relatório emitido pelo ministério de minas e energia. A oferta hídrica obteve um decréscimo de 5,6% em 2015, devido às condições hídricas desfavoráveis, resultando em um acréscimo de 2,9% do consumo final de eletricidade suprido a partir da expansão da geração térmica. A partir desses dados é possível observar a necessidade de mais investimentos em energias renováveis considerando o potencial energético do Brasil para essas fontes.

A instalação de geração distribuída de pequeno porte foi facilitada devido a aprovação de regras pela regulação 482/2012 da ANEEL. Em 1º de março de 2016 ficou permitido o uso de qualquer fonte renovável para a micro e minigeração distribuída que incluem a microgeração de até 75 kW e a minigeração de 75kW a 5MW (sendo 3MW para fonte hídrica), conseqüentemente as placas fotovoltaicas e os aerogeradores compactos vem se inserindo no mercado como fonte geradora complementar para residências e edifícios no Brasil.

Buscando sustentabilidade, valorização e redução na conta de energia, muitos consumidores industriais, comerciais e residenciais vem procurando se beneficiar com a utilização dessas fontes. Segundo o ministério de minas e energia, a geração distribuída no Brasil registrou em 2015, 1.307 novas adesões de consumidores totalizando 1.731 conexões, sendo a fonte solar a mais utilizada pelos consumidores com 1.675 conexões, seguidamente a eólica com 33 instalações e 13 instalações híbrida (eólica-solar).

A partir desse cenário, o presente artigo tem por objetivo realizar uma análise comparativa de viabilidade técnica e econômica entre um sistema fotovoltaico e um sistema híbrido (fotovoltaico-eólico) conectado à rede para suprir a demanda da iluminação de um edifício residencial, a fim de escolher o sistema mais adequado para o estudo de caso proposto.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Cenário Energético Global

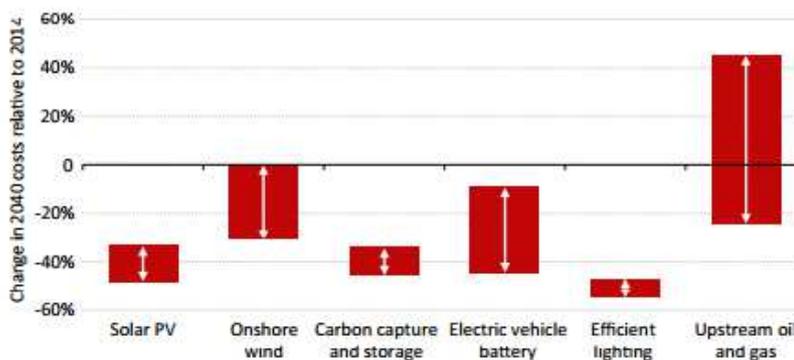
Segundo a *International Energy Agency* (IEA) a instalação de tecnologias de geração à base de energias renováveis atingiu um Recorde em 2014, ajudado pela contínua diminuição dos custos de tecnologia, a capacidade eólica no mundo aumentou 45GW, o país que maior

contribuiu foi a China adicionando 20 GW, ainda segundo as previsões do IEA a energia eólica pode ser responsável por mais de 18% de energia elétrica global até 2050. No que diz respeito à fotovoltaica obteve um crescimento inferior à eólica, aumentando cerca de 40 GW.

De acordo com o relatório da *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF) os investimentos em fontes renováveis como eólica e solar em 2015 foi 4% superior ao ano de 2014, mesmo com a queda do preço das energias fósseis como o petróleo, o gás e o carvão. O investimento em energia limpa ao redor do mundo atingiu um recorde de 329,3 bilhões de dólares em 2015 maior que o ano de 2014 que foram investidos 315,9 bilhões de dólares, a China permanece sendo líder mundial em investimentos de renováveis com 110,5 bilhões de dólares.

Esse cenário de maior competitividade das renováveis pode ser atribuído a um contexto de conscientização ambiental, onde há uma busca maior pela redução de dióxido de carbono (CO₂), associado ao potencial desse tipo de geração e a uma redução do custo da tecnologia. Pode se observar através da Figura 1 uma projeção de custos de tecnologia com projeção até 2040. Observa-se uma redução do custo dos módulos entre 30% e 50% e as turbinas eólicas também irão se beneficiar com a redução de custos entre 0% e 30%.

Figura 1 – Custo da energia por unidade 2014-2040



Fonte – World Energy Outlook (WEO, 2015)

2.2 Cenário Energético Global

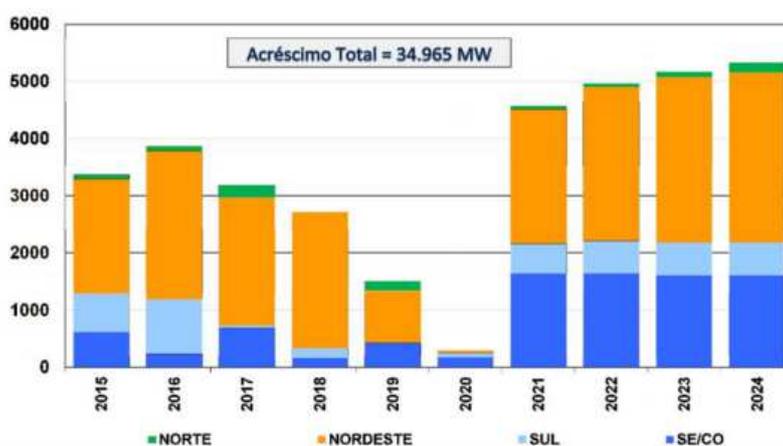
Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) a capacidade instalada das usinas eólicas do Brasil chegou a 6.183 MW no final do primeiro semestre de 2015, comparado ao mesmo período de 2014 que foi de 3.106 MW, a capacidade instalada quase dobrou, além disso, a geração nos seis primeiros meses de 2015 foi de 1.831 MW médios

diante de 856 MW médios no mesmo período de 2014. Em novembro de 2015 a potência instalada de geração solar alcançou 32 MW sendo 10,8 MW relacionados à geração distribuída.

De acordo com as projeções que constam o novo ciclo do Plano Decenal de Expansão de Energia com horizonte de 2024, a participação das fontes renováveis na capacidade instalada da geração elétrica do sistema interligado nacional, deverá se manter em torno de 84% em 2024. Destaca-se o expressivo crescimento da participação do parque eólico que deverá responder por 11,6% da capacidade instalada em 2024, refletindo a competitividade desta fonte. Dessa maneira, estima-se uma capacidade instalada de usinas eólicas de 24GW em 2024. No que diz respeito a fonte solar estima-se um alcance de 3500 MW, quando deverá atingir participação de cerca de 2% na capacidade instalada.

As fontes renováveis irão crescer em média 10% ao ano até 2024 como pode ser observado na Figura 2, o crescimento dessas fontes ocorre principalmente no Nordeste. Segundo a EPE este crescimento deve-se principalmente à geração eólica, fonte que tem apresentado maiores participações nos leilões desde 2009.

Figura 2 - Acréscimo de Potência Instalada de fontes renováveis por regiões



Fonte – EPE (PDE, 2024)

2.3 Energia Eólica

A energia eólica é proveniente do deslocamento das massas de ar, que por sua vez são causadas pela diferença de pressão ao longo da superfície terrestre em virtude da radiação solar recebida pela terra ser maior nas zonas equatoriais do que nas zonas polares, sendo assim pode-se afirmar que a energia eólica é uma forma de energia solar (CASTRO, 2005).

Grande parte do litoral brasileiro, como o Nordeste, apresenta velocidade de ventos propícias ao aproveitamento da energia eólica em larga escala, a disponibilidade dessa energia não é constante ao longo do ano, pois o recurso eólico sofre variações temporais em várias ordens de grandeza, em função das alterações climáticas, diferentes estações do ano, variações horárias que está relacionada com as brisas marítimas e terrestres (CRESEB).

A rugosidade da região também interfere na variação de velocidade do vento, em terrenos planos (baixa rugosidade) esta variação é muito menos significativa do que em terrenos irregulares (alta rugosidade), sendo as áreas urbanas classificadas nesta segunda categoria. Por isso, as máquinas eólicas são geralmente instaladas em torres elevadas, onde as velocidades são significativamente maiores do que na superfície.

A quantidade de energia eólica que um sistema consegue extrair numa área depende das características de desempenho do aerogerador, altura de operação, área varrida pela turbina e espaçamento horizontal desse sistema eólico. A velocidade do vento é diretamente proporcional com a altura em relação à superfície da Terra (CASTRO, 2005).

2.4 Caracterização do Sistema Eólico

Os sistemas eólicos são constituídos por vários componentes que devem trabalhar em conjunto a fim de se obter um melhor desempenho de geração, entre os principais componentes estão o Rotor, Gerador, Nacele e a Caixa multiplicadora.

O rotor é o principal componente do Aerogerador, tem a função de transformar a energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação, é nele que são fixadas as pás da turbina. As turbinas podem ser de eixo vertical e eixo horizontal, as de eixo horizontal geralmente possuem duas ou três pás. As turbinas de eixo vertical não necessitam de mecanismo de acompanhamento de variações de direção de vento, possuem torre de sustentação baixa o que dificulta o melhor aproveitamento de ventos com maiores velocidades. Os aerogeradores com turbinas de eixo vertical ainda são mais difíceis de serem encontrados, isso pode acontecer devido a perda em rentabilidade quando as condições de vento são boas. Sendo mais utilizada em pequenos projetos (DUTRA, 2008).

Segundo a teoria de Betz o maior aproveitamento da energia do vento que uma turbina pode alcançar é no máximo 59%, ou seja, o coeficiente de potência (cp) máximo do Aerogerador é de 0,59 em valores teóricos, se tratando de valores reais este coeficiente fica em torno de 0,3 e 0,4.

O gerador é responsável pela conversão da energia mecânica de rotação em energia elétrica, atualmente existem vários conjuntos motor-geradores no mercado entre eles geradores de corrente contínua, geradores síncronos, geradores assíncronos (BRITO, 2008). O gerador assíncrono é mais utilizado pelos fabricantes por permitir uma ligação mais flexível, diferente da ligação rígida do gerador síncrono que não se adapta bem a variação do vento (CASTRO, 2005).

A Nacele é o compartimento instalado no alto da torre e que abriga todo o mecanismo do gerador, o qual pode incluir: caixa multiplicadora, freios, engrenagem, mancais, controle eletrônico, sistema hidráulico. A torre tem como principal função sustentar o rotor e a Nacele na altura adequada ao funcionamento da turbina eólica, na microgeração tem altura entre 6 e 10 m, tem uma grande contribuição no custo inicial do sistema (SANTOS, 2006).

A caixa multiplicadora é necessária para adaptar as rotações que as pás transmitem ao eixo de baixa velocidade a rotações que o gerador precisa para funcionar.

2.5 Energia Solar

Segundo Ruther (2004), diariamente incide sobre a superfície da Terra mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta Terra, numericamente o Sol fornece para a Terra cerca de $1,5125 \times 10^{18}$ kWh de energia, isso explica o aproveitamento dessa fonte em diversas formas, como na conversão térmica, a arquitetura bioclimática, e a mais representativa a conversão fotovoltaica.

O efeito fotovoltaico pode ser observado em materiais semicondutores, eles se caracterizam por ter uma faixa de valência totalmente preenchidas por elétrons e a faixa de condução sem elétrons, entre essas duas faixas se encontra a faixa proibida ou hiato energético, nos semicondutores a largura média dessa faixa é de 1eV, diferente dos materiais isolantes que superam esse valor (PINHO, GANDINHO, 2014).

As placas fotovoltaicas são capazes de converter a luz do sol em energia elétrica de forma estática, silenciosa e não poluente essas placas são compostas por células que são o menor dispositivo fotovoltaico existente, uma única célula produz pouca eletricidade, devido a isso se torna necessário o arranjo de várias células (VILLALVA, GAZOLI, 2012).

2.6 Caracterização do sistema fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é o principal elemento desse sistema, é responsável pela conversão de energia solar em energia elétrica, sendo fabricado em maior escala por células de silício e pode ser constituídas de cristais monocristalinos que possuem eficiência de conversão entre 15 % e 18%, policristalinos, que possuem eficiência máxima de 12,5% ou de silício amorfo com eficiência de conversão de 5% a 7%, as mais utilizadas são as células constituídas de cristais monocristalinos (CRESEB, 2006).

O módulo é composto de células encapsuladas sobre uma estrutura rígida, o que permite uma proteção mecânica e uma proteção contra as intempéries. Cada célula é capaz de produzir uma tensão entre 0,5 e 0,8 Volts que vai depender do material da célula, esta tensão é usualmente baixa, em razão disso realiza-se o arranjo das células em série e / ou paralelo com o objetivo de se obter uma tensão em níveis práticos de utilização. O módulo fotovoltaico de silício cristalino tem em média garantia de rendimento mínimo de 25 anos, a degradação do módulo instalada em campo fica em torno de 0,5% e 1% por ano e sua potência de pico (Wp) mínima garantida é 90% da potência nominal para o período dos 10 a 12 primeiros anos de operação e 80% por um período de 20 a 25 anos. (PINHO, 2014) No mercado se encontra normalmente módulos fotovoltaicos de 36 células e 60 células, os módulos fotovoltaicos de 36 células em série, com tensão nominal de 12 V são mais utilizados para carregar baterias, e podem ser ligados em série para sistemas de 24V ou 48 V em corrente contínua, porém para outras aplicações se encontra com maior ocorrência módulos com tensões nominais entre 30V e 120V. Os módulos de 60 células se tornaram mais atrativos devido à redução de preço, e por trabalharem em níveis de tensão mais elevados são mais apropriados para sistemas conectados à rede. (PINHO, 2014)

Alguns fatores interferem na característica elétrica dos módulos, como a incidência de radiação solar e a temperatura das células, essa radiação incidente é diretamente proporcional a corrente elétrica gerada pelo módulo, que associada com a temperatura ambiente causa uma variação na temperatura das células que é inversamente proporcional com a tensão, ou seja, quando a um aumento de temperatura das células nota-se uma queda de tensão.

2.7 Inversor de Frequência

Como o sistema fotovoltaico e eólico geram tensão e corrente contínua se torna imprescindível a utilização do inversor nesses sistemas conectados à rede, também são conhecidos como “Grid-Tie”, sua utilização tem como objetivo injetar eletricidade na rede com frequência e tensões adequadas a rede convencional (HEINEMAN,2007).

Para a conexão em rede, normalmente os inversores que apresentam potências individuais de até 5 kW possuem saída monofásica, acima dessa potência normalmente os apresentam saída trifásica. Os inversores podem ser comutados pela rede (comutação natural) ou auto comutados (comutação forçada). Na comutação natural o sinal da rede é utilizado para sincronizar o inversor com a rede, já na comutação forçada há um circuito eletrônico no inversor que controla e sincroniza o sinal do inversor ao sinal da rede (PINHO; GALDINHO, 2014).

2.8 Características do inversor para sistema eólico

A utilização do inversor de frequência torna possível o funcionamento do aerogerador à velocidade variável, o que implica no aumento de conversão de energia e redução da fadiga mecânica dos elementos mecânicos, permitindo que as variações bruscas de velocidade do vento sejam compensadas por uma variação de velocidade das partes rotóricas (SILVA, 2009).

Na conexão do aerogerador síncrono com o conjunto retificador/inversor a tensão produzida pelo gerador é retificada e corrente contínua resultando é invertida. O inversor permite que a frequência da energia elétrica fornecida pelo aerogerador seja constante e sincronizada com o sistema elétrico (CRESEB).

Se o gerador for assíncrono é necessário prover energia reativa para a excitação do gerador, que pode ser feita através da auto excitação utilizando capacitores, estes devem ser conectados antes do retificador.

2.9 Características do inversor para SFCR's

Os inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede possuem algumas características como desconexão e isolamento, que permite a proteção contra ilhamento, no qual as placas são desconectadas automaticamente da rede elétrica sempre que esta for desenergizada por motivo de falha ou de manutenção, evitando assim o comprometimento da

segurança da rede elétrica. Outra característica é o de rastreamento do ponto de máxima potência, permitindo ajustes a fim de manter os módulos fotovoltaicos perto do seu ponto de maior potência (PEREIRA; GONÇALVES, 2008).

Atualmente existe a possibilidade da utilização de micro inversores para serem utilizados em SFCRs de pequeno porte, que implica na utilização de uma unidade para cada módulo, permitindo uma operação independente de cada painel evitando o efeito dominó e conseguem obter um rendimento melhor. A utilização de inversor central é mais viável em sistemas com potência instalada na ordem de centenas de watts, nesse caso vários módulos são ligados a um inversor central (RUTHER,2004).

2.10 Medidor Bidirecional

O medidor bidirecional tem a capacidade de realizar a medição de energia (ativa ou reativa) em ambos os sentidos e de registrar a energia consumida e a energia gerada em um ponto de conexão. Dessa forma permitindo que seja contabilizada a diferença gerando uma fatura de crédito ou débito. Ele pode ser instalado entre o disjuntor do quadro de proteção do sistema e o ponto de conexão com a rede.

Para instalações em baixa tensão é permitida a utilização de dois medidores unidirecionais para a realização da medição bidirecional.

2.11 Sistema Conectado à Rede

De acordo com as regras estabelecidas pela ANEEL, resolução nº 482/2012, aos consumidores são permitidos a instalação de geradores de pequeno porte no sistema elétrico, estes sistemas são instalados de tal maneira que quando o gerador fornece mais energia do que a necessária para o atendimento da instalação consumidora, o excesso é injetado na rede elétrica. A instalação consumidora acumula um crédito energético que é válido por sessenta meses, podendo ser utilizado em outra unidade, por outro lado, quando o sistema gera menos energia do que a demandada pela instalação consumidora, o déficit é suprido pela rede elétrica.

Existem tributos aplicáveis à energia elétrica o ICMS, o PIS e o COFINS, sendo esses dois últimos, tributos federais, juntos são fixados em 9,25%. O ICMS é um tributo estadual que incide sobre toda energia consumida no mês, e a energia excedente, dessa forma reduzindo os créditos que o consumidor teria (ANEEL, 2014). Em 2015 o Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ através do ajuste SINIEF-2 revogou o convênio que orientava a

tributação da energia injetada a rede, permitindo assim que cada estado decidisse se adotava a isenção. Vários estados adotaram a isenção do ICMS, dentre eles o estado da Bahia.

No que diz respeito aos tributos PIS E COFINS, estes foram reduzidos à zero para geração distribuída, conforme a regulamentação da ANEEL pela lei 13169/2015, ART 8. A medida visa dar mais competitividade para as fontes renováveis. O benefício pode ser aplicado tanto para consumidores residenciais quanto para empresas.

3 O PROJETO

O estudo de caso baseia-se em uma análise comparativa de viabilidade técnica e econômica entre um sistema fotovoltaico e um sistema híbrido (eólico – fotovoltaico) em um edifício residencial localizado no bairro da Pituba. Este projeto pretende identificar o sistema mais viável para atender a demanda de iluminação desta edificação específica.

3.1 Caracterização da Edificação

O edifício em análise está localizado no bairro da Pituba, nas coordenadas de Latitude -13.0003172° e Longitude -38.4647988° conforme o google maps. Possui 13 andares e tem aproximadamente 45 metros de altura. É classificado como consumidor B3 comercial, trifásico com tarifa de R\$ 0,59445890. De acordo com medições realizadas através da ferramenta Google Earth Pro, o edifício possui uma área de aproximadamente 1745 m² dentre esses, 200 m² estão disponíveis para a instalação do sistema.

3.2 Metodologia Aplicada

A primeira etapa do estudo de caso baseou-se em pesquisas em livros, artigos, normas vigentes da Aneel e da concessionária local e outras fontes com foco no tema. Em sequência foi determinado o local e o efetivo levantamento de cargas referente a iluminação, além de uma coleta de informações sobre consumo de energia e tarifa vigente através da conta de energia assim como dados de irradiação e velocidade de vento do local, através de relatórios técnicos e outras fontes.

A etapa seguinte foi determinar a potência instalada referente à estrutura de iluminação a fim de se obter um dimensionamento adequado dos sistemas. Posteriormente foram realizadas cotações com fornecedores, considerando o regime Free On Board (FOB), onde os custos de

transporte e seguro são de responsabilidade do comprador. Por fim foi realizado o estudo de viabilidade utilizando três métodos econômicos como VPL, TIR e tempo de retorno para identificar o sistema com maior viabilidade e rentabilidade para as condições do edifício em análise.

3.3 Potência instalada

Para o cálculo de potência instalada foi desconsiderada as iluminações da escada de emergência por ser uma carga com baixo grau de utilização, sendo utilizada eventualmente em situação de emergência. A potência instalada consiste no somatório de todas as potências nominais das lâmpadas instaladas, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Potência instalada coletada em campo

TIPOS DE LÂMPADAS	QUANTIDADE	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA
LED	76	6	456
FLUORESCENTE	78	15	1170
FLUORESCENTE	14	20	280
FLUORESCENTE (TUBULAR)	2	40	80
FLUORESCENTE	25	22	550
VAPOR DE SÓDIO	2	400	800
VAPOR DE SÓDIO	6	200	1200
TOTAL(W)	203	703	4356

Fonte: Elaboração Própria

3.4 Demanda

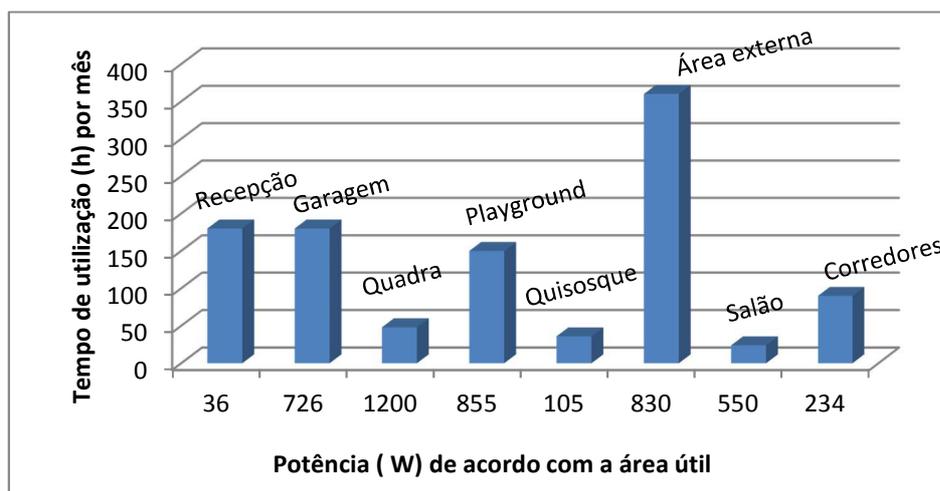
Como definição clássica que atribui a utilização efetiva das cargas em um período de tempo como potência demandada, a norma SM04. 14-01.003/2014 da Coelba determina um fator de demanda de 0,68 para cargas de iluminação com potência instalada entre 4 kW e 5kW, que está de acordo a referenciada no estudo, 4,356 kW, conforme Tabela 1. O cálculo da demanda pode ser expresso pelo produto da potência instalada e o fator de demanda resultando em uma demanda de 2.963 kW.

3.5 Energia Total Consumida

A energia total consumida é dada pelo produto da demanda e o tempo de utilização. Sabe-se que em um edifício as áreas comuns não são utilizadas com a mesma frequência de horas nem dias. Portanto foi necessário identificar através do responsável do edifício, a

quantidade de horas dentro de um mês que cada área comum é utilizada e conforme informações obtidas pode-se apresentar o consumo médio de cada ambiente analisado de acordo indicado no Gráfico1.

Gráfico 1 – Utilização (horas) dos equipamentos de acordo com a área útil do edifício



Fonte – Elaboração Própria

A partir desses dados, foi calculada a média ponderada do tempo (horas), tendo como resultado 160 h/mês.

4 PROPOSTA 1

Esta proposta consiste na utilização de placas fotovoltaicas para suprir a demanda de iluminação do edifício em estudo. Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, é necessário conhecer a radiação incidente na área desejada. Para obter essa informação, foi utilizado o banco de dados do programa SunData, disponível no site do Cresesb - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. Através das coordenadas geográficas do local conhecidas por latitude e longitude, o programa fornece dados de irradiação solar diária média do ponto procurado. O Edifício possui valores médios mensais de irradiação solar apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Irradiação Solar média diária local no plano horizontal

Irradiação Solar Diária Média Mensal (KWh/m ² .dia)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
6,5	6,33	5,5	4,25	3,97	3,53	4,03	5,14	5,06	5,67	5,06	6,75	5,27

Fonte: Adaptado Cresesb – Cepel, 2016.

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico foram realizadas pesquisas de mercado levando em consideração características físicas e elétricas dos módulos, assim como sua eficiência e valor econômico. A placa fotovoltaica selecionada foi do fabricante Sunedison 270W modelo SE-F270Cz-3Y. Placa de silício monocristalino cujas especificações estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Especificação Painel fotovoltaico SunEdosn 270w

Dados Elétricos	Painel Solar Fotovoltaico SunEdison (270W)
Máxima potência (wp)	270
Tensão nominal(V)	31,1
Corrente nominal (A)	8,68
Corrente de curto circuito (A)	9,03
Tensão de circuito aberto (V)	37,8
Eficiência do módulo (%)	16,45
Área (m ²)	1,64

Fonte: SunEdison (Adaptado)

Com o conhecimento da área e da eficiência do módulo que será utilizado no projeto, pode-se determinar a quantidade de energia produzida pelo sistema com um módulo através do produto da irradiação diária, energia produzida pelo sistema e a eficiência de conversão do painel resultando em uma energia produzida de 43,25 kWh/mês.

Dividindo o valor da energia necessária para suprir a demanda de iluminação do prédio em estudo pelo valor da energia produzida com um painel, define-se que serão necessários 11 painéis para o sistema. A área que deve estar disponível para a instalação dos painéis é dada pelo produto da área da placa pela quantidade de painéis a ser utilizado, sendo assim será necessário uma área disponível de 18,04 m².

4.1 Dimensionamento dos inversores

O inversor escolhido foi da marca Fronius Galvo, modelo 2.5-1 light 0.3.502.013. É um inversor otimizado para o autoconsumo, possuindo um relé integrado de gestão de energia. A especificação se encontra na Tabela 4.

Tabela 4 – Especificação do inversor Foniuss Galvo

Potência máxima de entrada: 2650 w
Voltagem máxima de entrada: 550 Vcc
Faixa de voltagem do MPP(165Vcc-440Vcc)
Potência nominal de saída: 2500 W
Corrente máxima de entrada: 16,6A
Corrente máxima de saída: 12,1 A

Fonte: Adaptado do manual do fabricante

O fator de dimensionamento dos inversores (FDI) é a relação entre a potência c.a do inversor, e a potência de pico dos módulos fotovoltaicos. O FDI recomendado pelos fabricantes situa-se na faixa de 0,75 a 0,85, tendo como limite superior de 1,05(PINHO, GALDINHO, 2014). O FDI do sistema apresentado é de 0,84 dentro da faixa estabelecida.

4.2 Arranjo dos painéis solares

A tensão de entrada do inversor é a soma das tensões dos módulos associados em série. (PINHO, GALDINHO, 2014). Dessa forma obedecendo que o produto do número de módulos em série e a tensão de saída devem ser menor que a tensão máxima c.c admitida pela entrada do inversor, serão conectados 11 painéis em série.

4.3 Composição orçamentária da placa fotovoltaica

Para a realização da composição orçamentária foram considerados no mínimo três orçamentos, com desvio padrão máximo de 30%. A Tabela 5 apresenta a média de preços dos componentes do sistema.

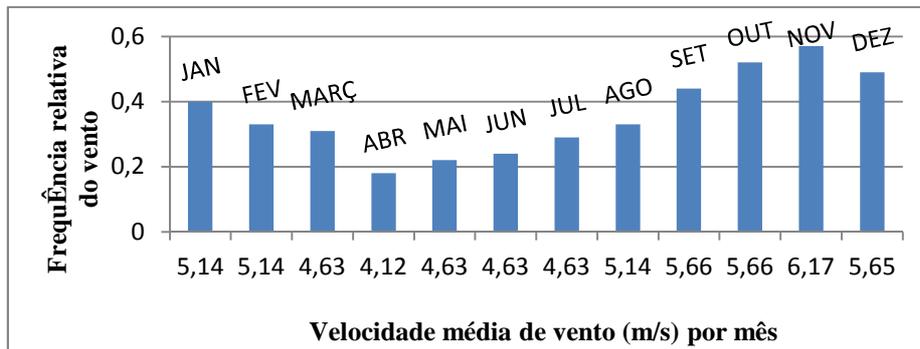
Tabela 5: Preço dos componentes básicos.
Fonte: Elaboração própria

Componente	Quantidade	Preço (R\$)	Total
Placa fotovoltaica	11	1.000	11.000
Medidor Bidirecional	1	360	360
Outros gastos	15% (Placa fotovoltaica)		1.650
Inversor	1	8.000	8.000
Preço aproximado do projeto: R\$ 21.010			21.010

5 PROPOSTA 2

Essa proposta consiste na utilização de um sistema híbrido (eólico-fotovoltaico) para suprir a demanda de iluminação do edifício. Nesse estudo de caso será utilizado dados da estação meteorológica mais próxima localizada no Aeroporto de salvador. O Gráfico 2 apresenta os dados de velocidade média de vento.

Gráfico 2 - Valores médios de velocidade do vento por mês



Fonte: Elaboração própria

Para o dimensionamento do sistema, foi escolhido o aerogerador whisper 200 do fabricante Southwest Windpower com torre de sustentação de 6 m, devido ao seu custo-benefício, além de ser ideal para áreas urbanas devido ao seu baixo ruído. As especificações técnicas se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 - Especificação técnica do aerogerador Whisper 200

Dados Elétricos – Whisper 200	
Diâmetro do rotor	2.7 m
Peso	39.46 kg
Vento para início de geração:	3,1 m/s
Tensão	12,24,36,48 Vcc
Potência nominal	1 KW
Vento nominal	11.6 m/s
Hélices	Carbono reforçado
Área varrida pelas pás	5,73m ²
Vento limite	55 m/s

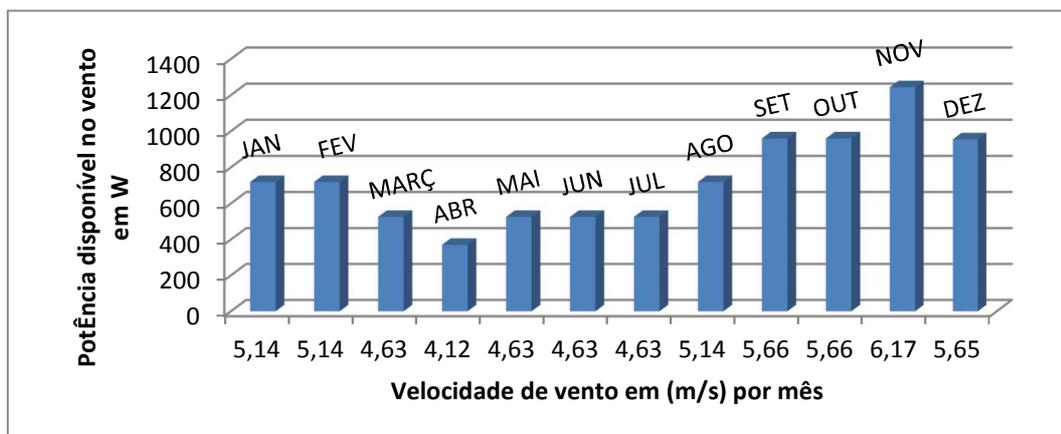
Fonte: Adaptado do manual do fabricante (Southwest Windpower)

A potência disponível no local para uma velocidade de vento se encontra no Gráfico 3, e é dada pela Equação [1]:

$$P = \frac{1}{2} \rho * A * V^3 \quad [1]$$

No qual: **P** é a potência mecânica retirada do movimento do ar (W), **ρ** é a densidade do ar do local (Kg/m³), considerar **ρ** = 1,8478 Kg/m³ segundo dados de densidade da cresesb . **A** é área varrida pelas pás (m²) e **V** é a velocidade do vento (m/s).

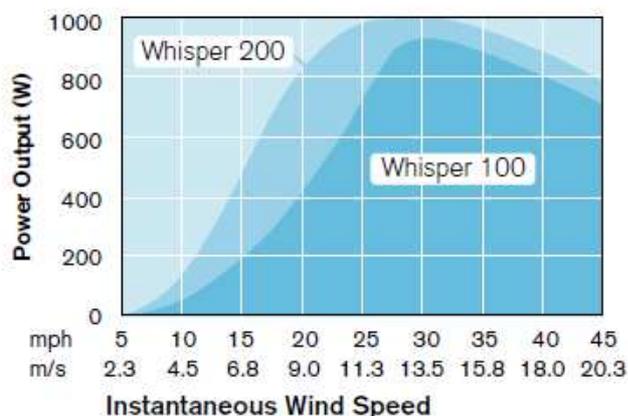
Gráfico 3 - Potência disponível do vento em função da velocidade vento



Fonte: Elaboração própria

O coeficiente de potência pode ser calculado pela divisão da potência elétrica fornecida aos terminais do aerogerador e a potência disponível no vento. Para identificação da Potência disponível no veio da turbina é importante obter a curva de potência do aerogerador, que pode ser observada através da Figura 10.

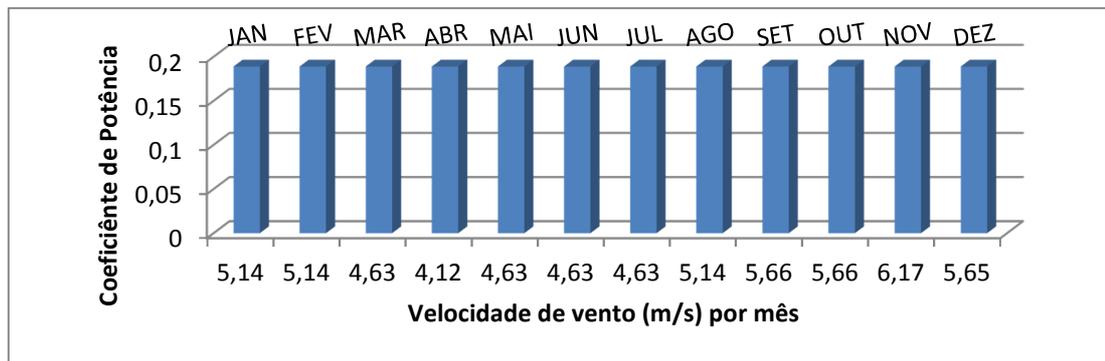
Figura 10 - Curva de potência do aerogerador Whisper 200



Fonte: fabricante

A partir dessa informação o gráfico de distribuição de coeficiente de potência pode ser obtido através do Gráfico 4. Nota-se que o coeficiente de potência ficou em torno de 0,18, em aerogeradores de pequeno porte mais eficientes esse valor chega entre 0,3 e 0,4. Em razão disso o custo se torna mais elevado, sua implantação se torna mais viável em locais que apresentam velocidades constantes acima de 6m/s.

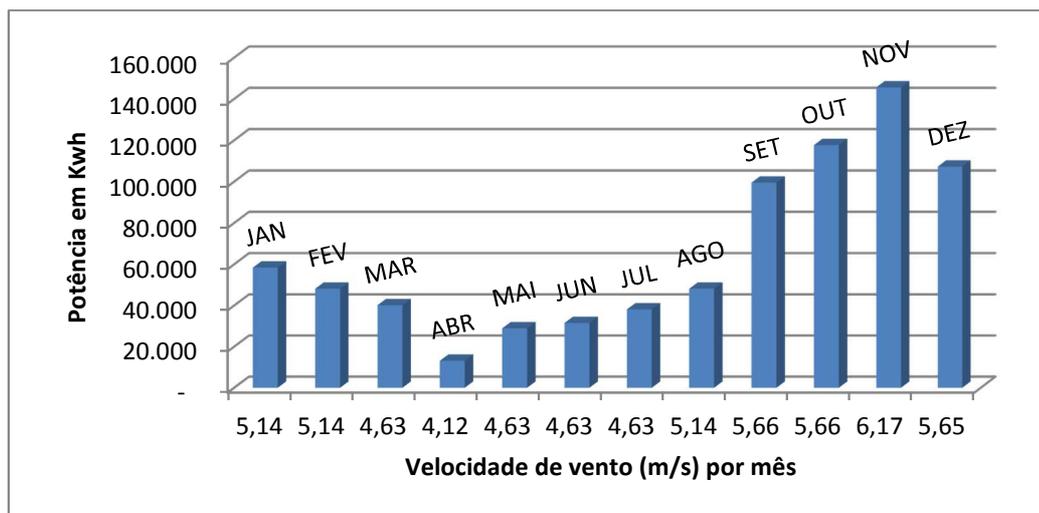
Gráfico 4 - Coeficiente de Potência em função da velocidade



Fonte: Elaboração própria

A energia produzida pelo aerogerador é calculada pelo produto da potência mecânica e a quantidade de disponibilidade de vento em horas/mês. O Gráfico 5 apresenta a energia produzida pelo aerogerador por mês.

Gráfico 5 - Potência gerada em kWh/mês



Fonte: Elaboração própria

A produção anual do aerogerador nessas condições de velocidade de vento é de 777,38 kWh, para suprir o consumo anual de 5.687,04 kWh será necessário além do aerogerador, 9 painéis fotovoltaicos da Sunedson 270 Wp, onde serão conectados em série. Para a conexão a rede foi escolhido o inversor da Fronius IG 3000 com potência máxima de entrada de 3000 W e potência nominal de saída de 2700 W, com faixa de voltagem de entrada entre 150 - 450 Vcc. Será necessário apenas um inversor para a conexão à rede. O FDI do sistema é de 0,87 dentro da faixa ideal estabelecida.

5.1 Composição orçamentária do Aerogerador

Para a realização da composição orçamentária foram considerados no mínimo três orçamentos, com desvio padrão máximo de 30%. A Tabela 9 apresenta a média de preços dos componentes do sistema.

Tabela 9 - Preço dos componentes básicos.

Componente	Quantidade	Preço	Total
Aerogerador Whisper 200 (com torre)	1	5.900	5.900
Placa fotovoltaica	9	1.000	9.000
Inversor Fronius IG 3000	1	9.000	9.000
Medidor Bidirecional	1	360	360
Outros gastos	14% (Placa+Aerogerador)		2.100
Preço aproximado do projeto			26.360,00

Fonte: Elaboração própria

5.2 Estudos de viabilidade Econômica

Para o cálculo de viabilidade econômica foram utilizadas três técnicas de análise de investimento: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e o tempo de retorno. O VPL considera o impacto das adversidades futuras no valor presente, levando em consideração o fluxo de caixa ao longo da vida útil do projeto. Logo, para $VPL < 0$ o investimento é inviável, $VPL = 0$ o investimento é indiferente e $VPL > 0$ o investimento é viável economicamente (RÊGO, 2010). Através do fluxo de caixa do VPL é possível identificar o momento em que o investimento é saldado. O VPL é calculado conforme a Equação [2].

$$Vpl = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+k)^t} \quad [2]$$

No qual: I é o Investimento Inicial, FCt o Fluxo de caixa durante o período t , k a Taxa de desconto, t é o Período de Investimento. O cálculo da taxa interna de retorno (TIR) também é uma técnica de análise de viabilidade, essa taxa anula o valor de VPL. Se o TIR for maior que o TMA, o projeto é rentável. Diante disso foi considerado um período de análise de 20 anos, tempo de vida útil do projeto. Foi considerada uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 10% ao ano.

Foi considerada a degradação da potência dos módulos fotovoltaicos de 0,6% ao ano, e do aerogerador de 5% ao ano, uma taxa de manutenção do inversor de 7% ao ano além de uma TMA de 10%. Foi considerada a vida útil do projeto de 20 anos.

6 RESULTADOS

O sistema fotovoltaico se mostrou mais viável que o sistema híbrido, como se pode observar através da Tabela 10.

Tabela 10 - Resultado da comparação dos

	Sistema Fotovoltaico		Sistema Eólico	
Investimento	-R\$	21.010,00	-R\$	26.360,00
FC (cada ano)	R\$	2.729,35	R\$	2.671,35
TMA		10%		10%
VPL	R\$	2.226,53	-R\$	3.671,26
TR		8		10
TIR		12%		8%

Fonte: Elaboração

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No atual panorama mundial de conscientização e desenvolvimento sustentável, a implementação de um sistema renovável para complementar o abastecimento de energia de um determinado local, vem confirmando ser uma alternativa viável, que contribui positivamente para o sistema elétrico, para o meio ambiente e para o próprio consumidor. É notória através do presente artigo que a adoção da energia eólica e solar tem sido amplamente buscada a nível mundial como forma de conservar os recursos naturais, reduzir impactos ambientais e reduzir a emissão de dióxido de carbono (CO₂).

Na geração distribuída as placas fotovoltaicas ainda são mais utilizadas do que os aerogeradores de pequeno porte, podendo ser atribuído à questão do seu menor custo aliado a menor complexibilidade de instalação.

Pode ser observado através da Tabela 10, que o sistema fotovoltaico obteve um valor de VPL positivo com TIR acima da TMA, e um tempo de retorno menor que o sistema híbrido. O sistema híbrido obteve seu valor de VPL negativo, e o valor de TIR inferior ao TMA. Portanto o sistema fotovoltaico se apresentou mais viável economicamente que o sistema híbrido. Vale ressaltar que os aerogeradores possuem estruturas mais complexas, conseqüentemente seu custo é mais elevado, porém para locais com velocidades de vento mais constantes, acima de 6m/s, o projeto pode se torna mais atrativo economicamente.

Como sugestão de próximas pesquisas, seria proveitosa a verificação da valorização do edifício com a implantação desses sistemas, na venda ou aluguel, além do custo que seria acrescido para cada condômino.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Energia Solar**. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acessado em: 2 fev. 2016.

ANEEL. **Nota Técnica nº 0129/2012-SRD/ANEEL**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Nota_Tecnica_0129_SRD.pdf>. Acessado em: 14 de Abril de 2016.

ANEEL. **Regulação Normativa nº 482**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acessado em: 3 fev. 2016

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>>. Acessado em: 3 fev. 2016.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE (BNEF). *New Energy Outlook*, 2015.

CALLAIL; BERNARDON.D; ABAIDE.A. **Impacto da microgeração e da tarifa branca nos sistemas de baixa tensão**. Edição 99. 2014.

CÂMERA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE), 2015.

CASTRO, R. M.G. *Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução a Energia Eólica*. 2015.

COELBA – Companhia de Eletricidade do estado da Bahia. Norma SM04. 14-01.003. **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária a Edificações de Uso Coletivo**. CRESEB, Estado da Bahia. **Atlas do Potencial Eólico**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_e. Acessado em: 20 fev. 2016.

CRESEB, **Energia Solar Princípio e Aplicações**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf. Acessado em: 04 abr. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Anual 2015**. Acessado em: fev. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**, 2012. Disponível em:
http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf. Acessado em: 05 abr. 2016.

HEINEMAN, J.T. **Estudo da Viabilidade para Implantação de um Sistema Híbrido-Eólico-Fotovoltaico de Baixa Potência com Conexão a Rede Elétrica**. Monografia de graduação. Universidade federal do Rio de Janeiro. 2007.

IEA. **World Energy Outlook 2015**. Disponível em
http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2015/WEO2015_Chapt. Acessado em: 15 fev. 2016.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Monografia de pós- graduação. Universidade Federal de Lavras. 2004.

MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**.
<http://www.epe.gov.br/PDEE/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>. Acessado em: 20 fev. 2016.

MME. **Energia Solar no Brasil e no Mundo**. Disponível em
<[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143612/24+-+Energia+Solar+2014+-+Brasil+e+Mundo+\(PDF\)](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143612/24+-+Energia+Solar+2014+-+Brasil+e+Mundo+(PDF))>. Acessado em: 5 fev. 2016.

PEREIRA, O.L.S; GONÇALVES, F.F. Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: Estudo de Caso do Sistema de Tubarão. Revista brasileira de energia, v. 14, 2008.

PINHO, J.T; GALDINO, M.A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. 2014. RÊGO, RICARDO; PAULO, GORET; SPRITZER, ILDA; ZOTES, LUIS. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. 3 ed. Editora FGV, 2010. (Gerenciamento de Projetos).

RUTHER, R. **Edifício solares fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Integrada á Rede Elétrica Pública no Brasil**. Editora UFSC/LABSOLAR, 2004.

SOUZA, E.D. **Estudos das tecnologias de monitoramento de painéis em usinas fotovoltaicas através de redes de sensores sem fio**. 2013. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.