



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

OS BENEFÍCIOS DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO
SISTEMA FOTOVOLTAICO NO ESTACIONAMENTO DO CENTRO DE
TECNOLOGIA DA UFRJ

Renato da Silva Benevenuto

Projeto de Graduação apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da
Escola Politécnica, Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como
parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof^o. Eduardo Linhares Qualharini

RIO DE JANEIRO

Setembro de 2016

OS BENEFÍCIOS DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO SISTEMA
FOTOVOLTAICO NO ESTACIONAMENTO DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA
UFRJ

Renato da Silva Benevenuto

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

Prof. Eduardo Linhares Qualharini (orientador).

Prof. Leandro Torres Di Gregório – DS.c

Prof. Osvaldo Ribeiro da Cruz Filho – DS.c

RIO DE JANEIRO

Setembro de 2016

Benevenuto, Renato da Silva.

Os Benefícios da Geração de Energia Elétrica
Através do Sistema Fotovoltaico no Estacionamento
Fotovoltaico do Centro de Tecnologia da UFRJ /
Renato da Silva Benevenuto – Rio de Janeiro: UFRJ /
Escola Politécnica, 2016.

XII, 48 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Eduardo Linhares Qualharini

Projeto de graduação – UFRJ/ Escola Politécnica /
Curso de Engenharia Civil, 2016.

Referências bibliográficas: p. 49-51.

1. Introdução 2. Contextualização 3.
Exemplificação 4. Considerações Finais

I. Eduardo Linhares Qualharini. II. Universidade
Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso
de Engenharia Civil. III. Os Benefícios da Geração de
Energia Elétrica Através do Sistema Fotovoltaico no
Estacionamento Fotovoltaico do Centro de Tecnologia
da UFRJ

Dedicatória

Aos meus avós, Antônio e Jacyra, que viveram para me ver entrar na faculdade, mas infelizmente não para me ver formado.

Agradecimentos

A Deus, por ter criado as ciências exatas que nos permitiram estar aqui hoje.

Aos meus pais, Renato e Denise, por investirem na minha educação para que eu possa ter uma oportunidade na sociedade.

A Mariana, que é a pessoa que mais sonha e anseia pela minha formatura e em quem eu me espelho para continuar a seguir em frente.

Ao Marlon Max, do Fundo Verde, que me ajudou a ter acesso ao material necessário para este trabalho.

Ao professor Eduardo Linhares Qualharini, por ter-me propiciado a oportunidade de estagiar junto a ele, me orientar com este trabalho e ter se mostrado um professor dos mais humanos desta universidade.

Resumo

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Os Benefícios da Geração de Energia Elétrica Através do Sistema Fotovoltaico no Estacionamento Fotovoltaico do Centro de Tecnologia da UFRJ

Renato da Silva Benevenuto

Setembro/2016

Orientador: Eduardo Linhares Qualharini

Curso: Engenharia Civil

Dentre as fontes alternativas de geração de energia elétrica, destaca-se o uso da energia fotovoltaica, que motivou o desenvolvimento deste trabalho. A pesquisa teve como base a implantação de um estacionamento com placas solares (fotovoltaicas) que fornecem suporte energético a ao Centro de Tecnologia, no campus da Ilha do Fundão

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos, Energia Solar, Geração de Energia.

Abstract

Abstract of Monograph present to Poli/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for degree of Civil Engineer.

The Benefits from the Generation of Electric Energy through the Photovoltaic System in the Parking Lot of the Centre of Technology of UFRJ

Renato da Silva Benevenuto

September/2016

Advisor: Eduardo Linhares Qualharini

Course: Civil Engineering

Among the alternative sources of power generation, there is the use of photovoltaics, which motivated the development of this work. The research was based on the implementation of a parking lot with solar panels (photovoltaic) that provide energy support to the Technology Center on the Campus of Ilha do Fundão.

Keywords: Photovoltaics, Solar Energy, Power Generation.

Sumário

1	Introdução	
1.1	Proposta de Tema.....	2
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivo	3
1.4	Procedimentos metodológicos	3
1.5	Estruturação do Trabalho.....	4
2	Contextualização	
2.1	O Efeito Fotovoltaico	5
2.2	Um pouco da história de uso e crescimento deste sistema	6
2.3	Panorama e situação atual.....	8
2.3.1	O Potencial Fotovoltaico Brasileiro	8
2.3.2	Geração Distribuída no Brasil.....	12
2.3.3	Perdas do Sistema Convencional.....	13
2.4	Legislações e Incentivos Governamentais	15
2.4.1	Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL.....	15
2.4.2	Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL.....	17
2.4.3	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD).....	19
2.5	Processo de aquisição de um sistema fotovoltaico	20
2.6	As modalidades de um sistema fotovoltaico	23
2.6.1	Sistemas Isolados (<i>Off-Grid</i>)	23
2.6.2	Sistemas Conectados à rede (<i>Grid-tie</i>).....	23
2.7	Os Equipamentos de um Sistema Fotovoltaico.....	24
2.7.1	Painéis solares	24
2.7.2	Controladores de carga	26
2.7.3	Inversores.....	27

2.7.4	Baterias	28
3	Exemplificação	
3.1	O Fundo Verde.....	29
3.2	Potencial da Ilha do Fundão.....	30
3.3	Diagnóstico atual da situação energética da UFRJ.....	32
3.4	Iniciativas do Fundo Verde.....	38
3.5	O Estacionamento Fotovoltaico	40
3.6	Resultados Obtidos da Inauguração ao Final de Agosto de 2016	42
4	Considerações Finais	
4.1	Quanto aos resultados	48
4.2	Sugestões de trabalhos futuros.....	48

Lista de ilustrações

Figura 1 - Junção P-N em Placa Fotovoltaica	6
Figura 2 - Mapa de Irradiância Direta Normal do Brasil	11
Figura 3 - Mapa de Irradiância Direta Normal da Alemanha	12
Figura 4 - Exemplo de Perdas do Sistema Convencional	15
Figura 5 - Gráfico de Compensação de Energia	16
Figura 6 - Etapas da Aquisição de um Sistema Fotovoltaico	22
Figura 7 - Exemplo de Benefício para uma família de classe média 3 quartos	23
Figura 8 - Sistema <i>Off-Grid</i> Figura 9 - Sistema <i>Grid-Tie</i>	24
Figura 10 - Painel Solar Monocristalino	25
Figura 11 - Painel Solar Policristalino	25
Figura 12 - Painel de Filme Fino	26
Figura 13 - Controlador de Carga	27
Figura 14 - Inversor	27
Figura 15 - Bateria	28
Figura 16 - Histórico do Fundo Verde	30
Figura 17 - Classificação das coberturas das edificações da Cidade Universitária da UFRJ quanto à possibilidade de instalação de módulos fotovoltaicos	31
Figura 18 - Características Técnicas do Estacionamento Fotovoltaico da UFRJ	41
Figura 19 - Vista aérea do sistema fotovoltaico no LNDC	42

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Capacidade Solar Fotovoltaica Global e Adições Anuais, 2005-2015	7
Gráfico 2 - Capacidade Solar Fotovoltaica Global por País/Região, 2005-2015	8
Gráfico 3 - Fontes de Geração de Energia no Brasil	9
Gráfico 4 - Queda dos preços da energia solar	10
Gráfico 5 - Geração Distribuída no Brasil por Fontes	13
Gráfico 6 - Consumo médio de energia elétrica (kWh/mês) nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ na Ilha do Fundão	34
Gráfico 7 - Custo médio de energia elétrica (R\$/mês) nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ na Ilha do Fundão	35
Gráfico 8 - Consumo total de energia elétrica (kWh) nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ	36
Gráfico 9 - Custo total da energia elétrica (R\$) nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ fonte: informativo de energia do Fundo Verde	36
Gráfico 10 - Demanda média mensal registrada (kW) e contratada (kW) nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ da Ilha do Fundão	37
Gráfico 11 - Ultrapassagem média mensal da demanda contratada nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ	38
Gráfico 12 - Curva de Geração FV do dia 13 de Fevereiro de 2016	43
Gráfico 13 - Curva de Geração FV do dia 22 de Junho de 2016	44
Gráfico 14 - Médias de energia por dia a cada mês	45
Gráfico 15 - Quantidades totais de energia gerada a cada mês	47

Lista de abreviaturas e siglas

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

CCMN Centro de Ciência da Matemática e da Natureza

CT Centro de Tecnologia

DNI (Irradiância Direta Normal, do inglês, *Direct Normal Irradiance*)

EPE Empresa de Pesquisa Energética

EVTE Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica

FGTS Fundo de Garantia por Tempo de Serviço

GIZ *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*

GWP Gigawatt pico

HU Hospital Universitário

ICMS Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

kWh Kilowatt-hora

LNDC Laboratório de Ensaios Não Destrutivos, Corrosão e Soldagem

MME Ministério das Minas e Energia

MWh Megawatt-hora

ProGD Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica

PU Prefeitura Universitária

REN21, *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*

RN Resolução Normativa

UFRJ Universidade Federal do Rio de Janeiro

1 Introdução

Desde os tempos da revolução industrial, o ser humano tem buscado formas de energia que possam facilitar a sua vida. Houve a fase do vapor, e anos mais tarde, a de combustíveis fósseis. Estes, por serem bens encontrados por toda a Terra e com uma abundância de derivados, ganhou uma importância fundamental para movimentar as economias do mundo, levando a um consumo excessivo. Há indícios de que a queima de combustíveis fósseis para geração de energia seja maléfica para a manutenção da vida na Terra a longo prazo e pode ter séria influência nas mudanças climáticas constantes no mundo. Aliando isto ao fato de que já há uma preocupação com o possível fim das reservas de petróleo do planeta em anos vindouros, há uma preocupação cada vez maior por parte de diversas potências mundiais a pesquisar e implantar formas de energia alternativas às de combustíveis fósseis.

As formas de energia que suprem a demanda nacional em larga escala são basicamente compostas por usinas hidrelétricas, eólicas, térmicas e nucleares. No entanto, esse sistema está sobrecarregado e existem alguns fatores naturais e sociais que impedem a construção de novas usinas (URBANETZ, 2010).

No Brasil, existe uma tendência em função da nossa geografia em utilizar energia advinda de usinas hidrelétricas. É um sistema de energia limpa e renovável, mas também tem suas desvantagens. Em épocas de secas como a que vivemos ultimamente (e que estamos sujeitos no futuro), os reservatórios das hidrelétricas usados para a geração de energia estiveram em níveis muito baixos e prejudicaram a geração de energia. Paralelamente, o crescimento da população leva o país a precisar de mais usinas para suprir a demanda, e construir novas hidrelétricas é considerado um projeto envolto em muita polêmica, o que coloca em dúvida se pode ser viável como nossa única principal fonte de energia.

Com objetivo de buscar possíveis soluções para os problemas energéticos, o Fundo Verde da UFRJ se propôs a instalar o Estacionamento Fotovoltaico da UFRJ, que pretende utilizar a energia da

radiação solar como a matéria prima dentre as possíveis formas de energias renováveis.

1.1 Proposta de Tema

Este projeto de pesquisa delimita-se em agregar informações acerca da geração de energia fotovoltaica do estacionamento da UFRJ (custo, energia gerada, expectativa, etc) e avaliar os benefícios para a universidade e para a aplicação de microgeração residencial.

Este trabalho se propõe a fazer um estudo de caso do desempenho do Estacionamento FV e analisar os resultados e perspectivas que a energia fotovoltaica tem com base nos resultados de geração de energia obtidos, além de demonstrar as quantidades geradas do período de agosto de 2015 a agosto de 2016.

O sistema fotovoltaico a ser avaliado neste trabalho está instalado no estacionamento anexo ao Centro de Tecnologia da UFRJ, desenvolvido pelo Fundo Verde em parceria com a GIZ e tecnologia da Kyocera. Este escritório tem o propósito de elaborar projetos de caráter sustentável tendo como princípio incentivar programas e implementar o uso de tecnologias que reduzam o impacto ambiental e promovam o desenvolvimento sustentável. Este sistema é composto de 414 módulos fotovoltaicos Kyocera KD-210GX-LPU, 6 inversores KACO Powador 20.0 TL3 com uma potência de 18 kVA cada e terá uma área de 683,10 m² aproximadamente, com módulos de 250 Watts em STC ¹ cada, totalizando uma potência de pico de 99,0 kWp, através de um inversor de 2,0 kW.

¹ Valores elétricos sob condições padrão de teste (*standard test conditions* - STC) = radiação de 1000 W/m², massa de ar AM 1,5 e temperatura de célula de 25°C. (fonte Kyocera solar do brasil)

1.2 Justificativa

Tendo em vista o cenário vislumbrado em que o país investe mais em energias renováveis, é importante observar o desempenho de projetos como este a fim analisar seus resultados, se estão dentro do esperado e se é um experimento viável a ponte de impulsionar a matriz energética brasileira ainda mais rumo as fontes de energia sustentáveis, sendo, neste caso, a energia fotovoltaica.

1.3 Objetivo

Analisar o quanto a microgeração de energia pode contribuir ao consumidor e avaliar se a mesma pode ser vantajosa através do exemplo do Estacionamento Solar da UFRJ, analisado no período de agosto de 2015 a agosto de 2016. Para tal, será contextualizado o cenário que envolve a criação e propósito do sistema solar implantado.

1.4 Procedimentos metodológicos

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica do contexto no qual está inserido o Brasil no panorama atual da energia fotovoltaica. Isso inclui um estudo de como o efeito fotovoltaico ocorre, dados referentes a nossa matriz energética, seus problemas, a situação da energia fotovoltaica em outros países do mundo recentemente, legislações brasileiras atuais que contemplam a geração distribuída, e um detalhamento de todo equipamento que opera em um sistema fotovoltaico.

Em seguida foi feito o estudo de caso em si, com uma pesquisa sobre o Fundo Verde da UFRJ, o potencial de geração de energia da Ilha do Fundão, um diagnóstico da situação energética da UFRJ e as propostas do Fundo Verde em melhorar esta situação com o Estacionamento Solar da UFRJ. Posteriormente foi feita uma caracterização do sistema fotovoltaico, demonstrando quais os materiais e equipamentos utilizados e a forma que estão dispostos, tais como inversor de frequência e módulos solares.

Em seguida foi feita a coleta de dados de geração de energia elétrica. Estes foram agregados e retirados do site: https://www.powador.net/ssp/anlage/anlageninfo_portlet.php?IDAnlage=1022046 com análise do banco de dados da geração. Serão analisados dados referentes à quantidade de energia gerada pelo sistema. Estes dados serão obtidos através de

medições. Para isso será necessário à utilização de ferramentas computacionais e equipamentos eletrônicos que captam a potência gerada a cada quinze minutos. A quantidade de energia gerada nos dias de operação será analisada para o período de agosto de 2015 a agosto de 2016 com gráficos e curvas para auxiliar seu entendimento e eficiência.

Por fim, foram feitas as considerações finais a respeito, com um modelo para como fazer a aquisição de um sistema residencial, e também sugestões de trabalhos futuros em cima desta temática.

Foram feitas algumas visitas ao escritório do Fundo Verde para conversar com um dos engenheiros responsáveis pela implantação e manutenção do sistema fotovoltaico, Marlon Max, que concedeu diversos documentos e acesso às páginas *online* para o acompanhamento da geração de energia. O principal era observar o quanto de energia era possível gerar com a exposição de cada dia em função de condições climáticas como temperatura, precipitação, estações do ano, e demais variáveis que poderiam interferir com o comportamento da curva de produção de energia.

1.5 Estruturação do Trabalho

O trabalho conta com quatro capítulos, sendo eles:

Introdução – apresentação da proposta, definição do tema, definição dos objetivos e motivação para o desenvolvimento do trabalho;

Contextualização – Fundamentação teórica sobre o efeito fotovoltaico, panorama e situação problema das fontes de energia, estudo das leis de incentivo para utilização da energia fotovoltaica no Brasil e modalidades e partes constituintes de um sistema fotovoltaico;

Exemplificação – Caracterização do fundo verde, dos seus objetivos, do estacionamento FV, suas expectativas de geração e apresentação dos valores obtidos de energia, em kWh, no período de agosto de 2015 a agosto de 2016.

Considerações finais – Uma avaliação da energia produzida comparado ao que era esperado, sugestões de trabalhos futuros dentro deste tema, e um modelo de aquisição de um sistema fotovoltaico de acordo com uma empresa do mercado.

2 Contextualização

2.1 O Efeito Fotovoltaico

Segundo (NASCIMENTO, 2004) as células fotovoltaicas são feitas de um material semicondutor, que tem características intermediárias entre um condutor e um isolante. O minério de silício tem aspecto de areia inicialmente, que é a areia de sílica. Após alguns métodos de tratamento, tem-se o silício de forma pura em cristais, que é mau condutor elétrico por não possuir elétrons livres. Para solucionar este problema é necessário realizar a dopagem do silício, acrescentando porcentagem de outros elementos ao mesmo. Ao se fazer a dopagem com Fósforo, elemento comum para este processo, obtém-se um material com elétrons livres, portadores de carga negativa (chamado silício tipo N).

Realizando a dopagem com Boro, outro elemento usual no processo, as características são opostas, pois há menos elétrons e mais materiais com cargas positivas livres (chamado silício tipo P).

Uma célula solar é composta de uma camada fina de silício tipo N e uma grossa de silício tipo P. Separadas, ambas são eletricamente neutras. Ao serem unidas, forma-se um campo elétrico na região P-N devido aos elétrons livres do silício tipo N, que ocupam os vazios existentes no silício tipo P. Quando há incidência luminosa sobre a célula fotovoltaica, os fótons se chocam com outros elétrons da estrutura do silício. Isso lhes transfere energia e os transforma em condutores. Devido ao campo elétrico gerado, os elétrons fluem da camada P para a camada N.

Ao se ligar a camada negativa à positiva com um condutor externo, surge um fluxo de elétrons (uma corrente), que se mantém enquanto houver luz sendo incidida. A intensidade da corrente varia conforme a intensidade da luz, na mesma proporção.

Como a célula fotovoltaica não é uma bateria, ela não armazenará a energia gerada, sendo responsável apenas por esta geração constante de energia que permanecerá enquanto houver luz solar. Este fenômeno é denominado “Efeito fotovoltaico”. A figura a seguir ilustra este fenômeno.

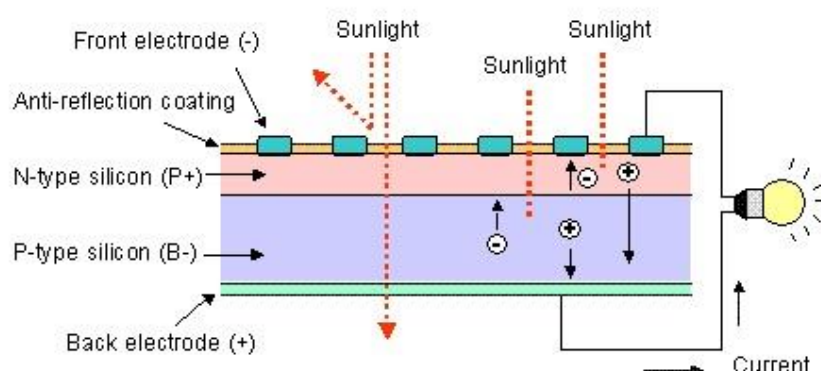


Figura 1 - Junção P-N em Placa Fotovoltaica

Fonte: <http://www.crescocorp.com/images/solarcell002.jpg>

2.2 Um pouco da história de uso e crescimento deste sistema

De acordo com (ANAIS DE CONCURSO SOLAR PADRE HIMALAYA, 2005) O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 por Edmond Becquerel ao estudar um eletrólito. Em 1876 Adams e Day construíram a primeira célula fotovoltaica usando Selênio e rendimento estimado de 1%. A partir dos anos 1950, o método de *Czochralski*² permitiu que fossem fabricados lingotes de Silício monocristalino com alto grau de pureza, e as técnicas de Junção P-N em semicondutores.

Os desenvolvimentos surgidos nas décadas de 50 e 60 foram impulsionados pelo setor de telecomunicações na busca de fontes de energia em localidades isoladas. A corrida espacial também contribuiu para desenvolvimentos, pois: a célula fotovoltaica sempre foi a maneira mais eficiente e prática para a obtenção de energia elétrica no espaço, tendo sido utilizada em diversos satélites. A crise do petróleo de 1973 também ajudou pois incentivou a pesquisa de formas alternativas de obtenção de energia. Nos dias atuais, o grande desafio é baixar o custo de fabricação das células fotovoltaicas sem perder eficiência.

²Segundo (Article World, 2016) Método criado pelo cientista Jan Czochralski, método de cultura de cristais em produção industrial de monocristais de diversos materiais cristalinos para obter elevada pureza e sem imperfeições.

De acordo com (REN21, 2016) os países que mais contribuem para o crescimento do sistema são China, Estados Unidos, Itália, Japão e Alemanha. Os investimentos começaram de forma mais expressiva a partir de 2010, com a Alemanha e em 2011 com a Itália, conforme os gráficos a seguir ilustram.

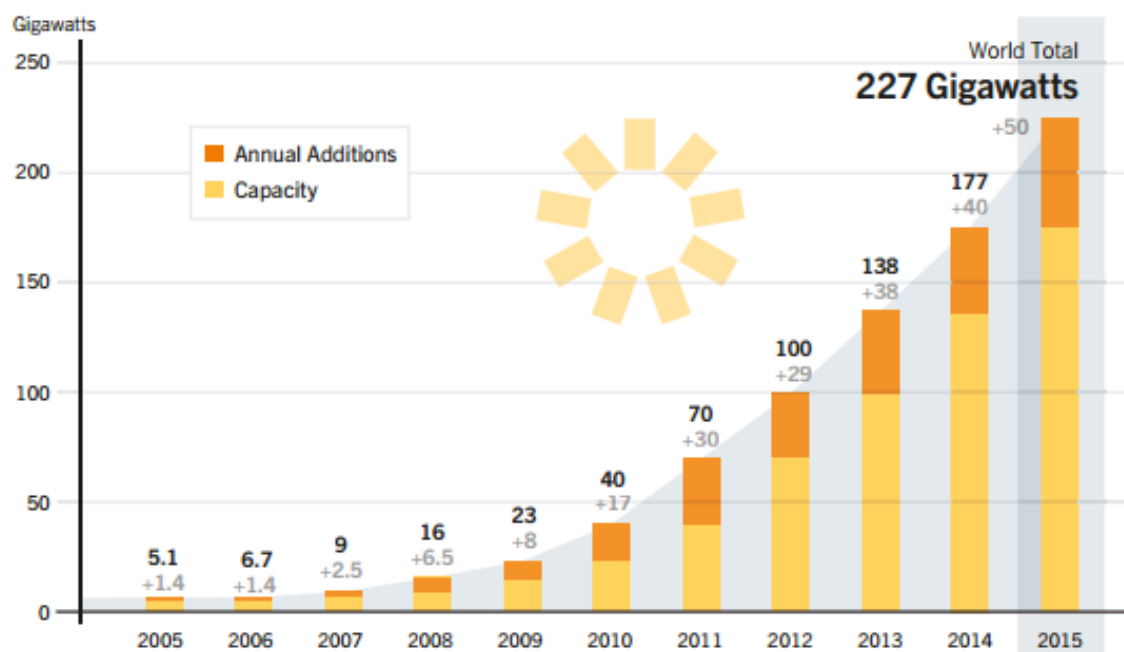


Gráfico 1 - Capacidade Solar Fotovoltaica Global e Adições Anuais, 2005-2015

Fonte: REN21 GSR 2016

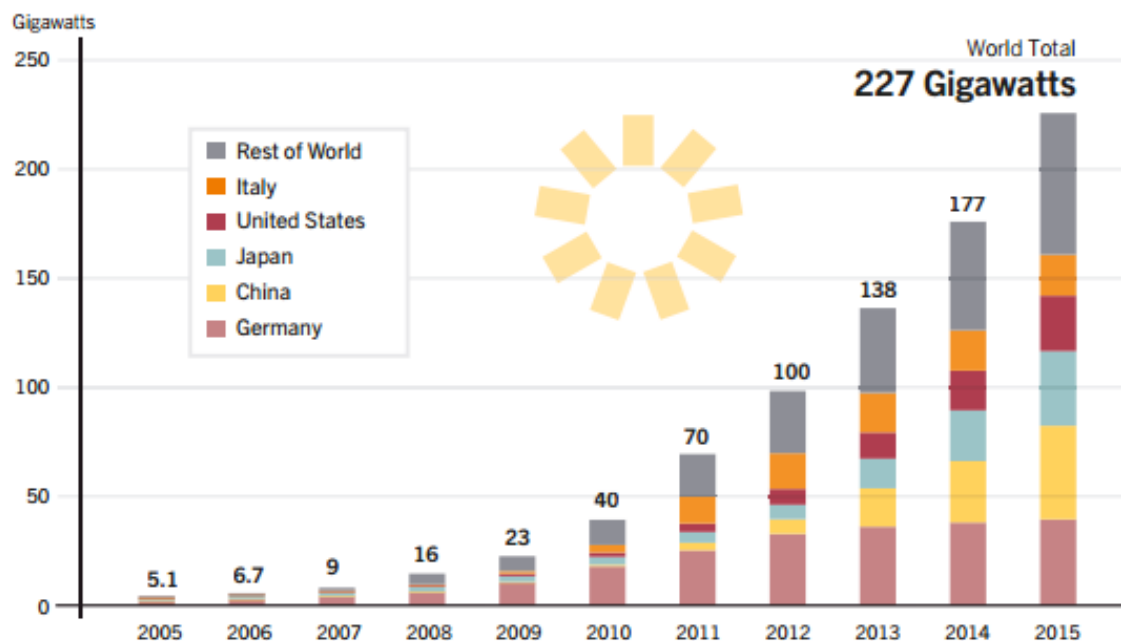


Gráfico 2 - Capacidade Solar Fotovoltaica Global por País/Região, 2005-2015

Fonte: REN21 GSR 2016

Os principais fatores que impulsionaram o crescimento da tecnologia foram a queda nos custos, novas aplicações, interesses de grandes investidores e apoio governamental. Os investimentos que a União Europeia aplicou no mercado de energia fotovoltaica eram suficientes para alimentar dez milhões de lares europeus, ou seja, 13,2 GWp de potência recém-instalada (responsável por 80% do crescimento mundial nesse período).

2.3 Panorama e situação atual

2.3.1 O Potencial Fotovoltaico Brasileiro

Como podemos ver nos dados a seguir, a energia solar corresponde atualmente a menos de 0,1% das nossas fontes de energia, com apenas 11 MW de capacidade instalada. As energias hídrica e fóssil representam 79,8% das nossas fontes geradoras, deixando nossa matriz pouco variada.

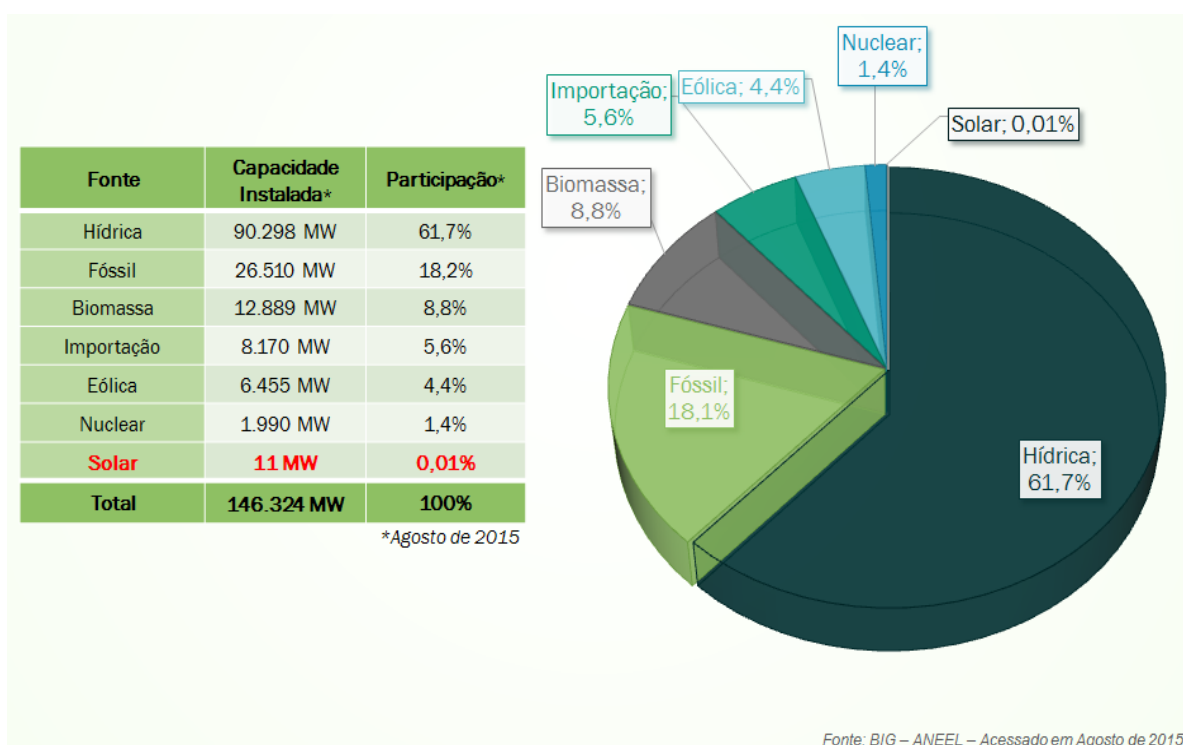


Gráfico 3 - Fontes de Geração de Energia no Brasil

Fonte: BIG - ANEEL

São muitas as razões pelas quais o Brasil tem a se beneficiar com uma matriz fotovoltaica mais presente. Dentre os motivos que tornam o investimento positivo, destaca-se a tendência decrescente dos preços de equipamentos solares no mercado nos últimos anos em função da popularização e difusão da tecnologia. O gráfico a seguir (NEMET, 2013) mostra a variação do preço (em dólares) por Megawatt-hora gerado em um sistema fotovoltaico ao longo dos anos, além de um comparativo com o indicativo da variação da cotação de combustíveis fósseis. Percebe-se que os combustíveis fósseis apresentam praticamente nenhuma alteração com o passar dos anos.

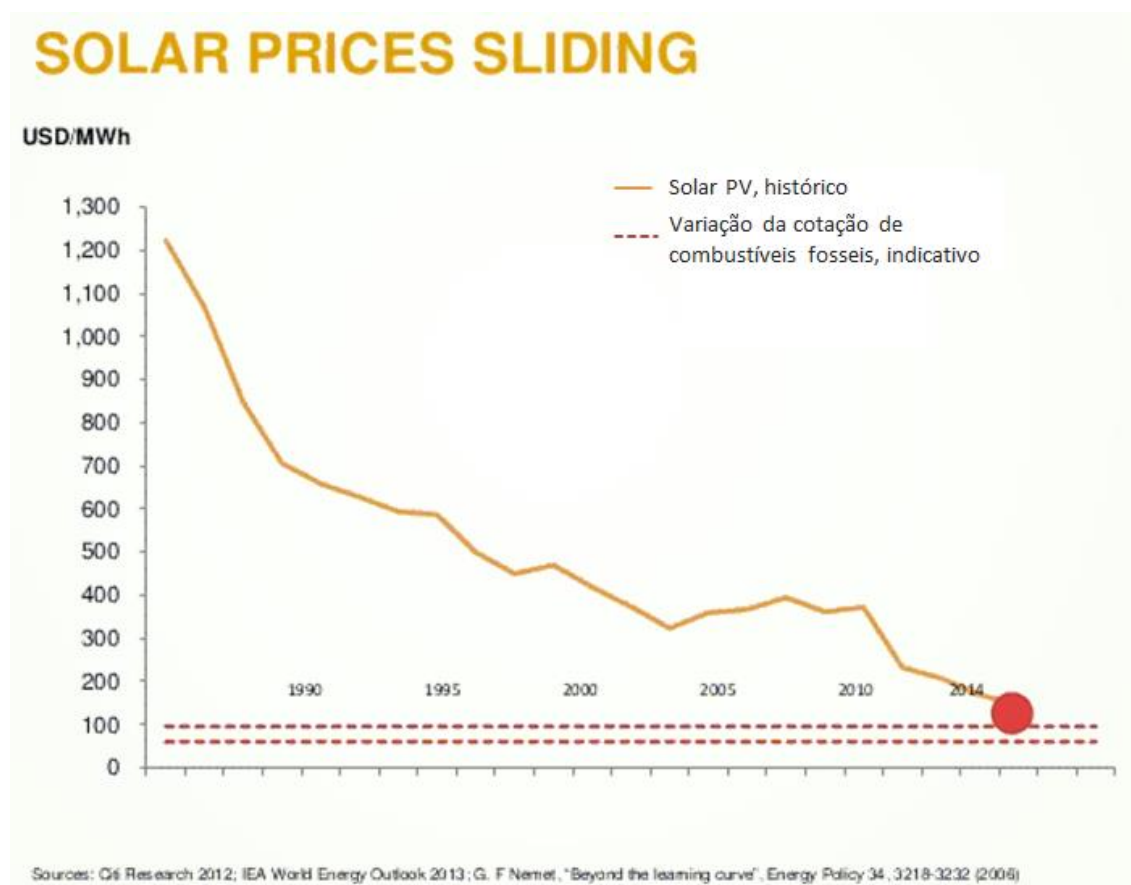


Gráfico 4 - Queda dos preços da energia solar

Fonte: Oil Research 2012; IEA World Energy Outlook 2013

Além do atrativo do preço, destaca-se também o potencial do Brasil como um todo de utilizar da melhor forma aquele que é o “combustível” necessário para uma eficiente geração de energia, o DNI³. Trata-se da radiação recebida diretamente do sol por unidade de área (W/m²). A DNI é medida em uma superfície perpendicular aos raios solares e é a única componente da radiação solar passível de ser concentrada. Em função disso, é a mais importante para a energia fotovoltaica. Quando o tempo está encoberto, o DNI tem valor 0.

Em função da posição privilegiada do Brasil no globo terrestre com baixos níveis de latitude, possuímos um alto índice de DNI comparado a países que já

³ Irradiância Direta Normal, do inglês, *Direct Normal Irradiance*

fazem uso desta tecnologia, podendo obter um maior potencial de geração de energia. No Brasil, incidem diariamente entre 4,5 kWh/m² e 6,3 KWh/m². Comparativamente, a região que recebe menos radiação no Brasil ainda recebe 40% a mais do que a região com maior radiação na Alemanha, como podemos ver nos mapas solares a seguir (Solargis, 2016).



Figura 2 - Mapa de Irradiância Direta Normal do Brasil

fonte: <http://solargis.info> Acessado em Agosto de 2016



Figura 3 - Mapa de Irradiância Direta Normal da Alemanha

fonte: <http://solargis.info> Acessado em Agosto de 2016

A posição geográfica da Alemanha, assim como de outros países da Europa, apesar de apresentar índices de radiação relativamente baixos, não impediu que a energia fotovoltaica fosse bastante implementada e difundida.

2.3.2 Geração Distribuída no Brasil

Segundo (VIEIRA e CASTRO, 2016) micro e minigeração distribuída consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada,

conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

A geração distribuída pode trazer diversos benefícios para a matriz energética brasileira. Dentre seus atrativos, estão o baixo impacto ambiental, a redução das cargas nas redes que alivia o nosso sistema centralizado, a minimização das perdas técnicas e não técnicas ligadas ao sistema centralizado, e um impulso na diversidade de matriz energética no Brasil.

Segundo dados da ANEEL, dentre as formas de geração distribuídas contempladas pela resolução da agência reguladora, aquela que tem maior uso e potencial de crescimento dentro do Brasil é a energia fotovoltaica, com 93,9% das conexões e 68% da produção de energia, conforme podemos ver no gráfico seguinte.

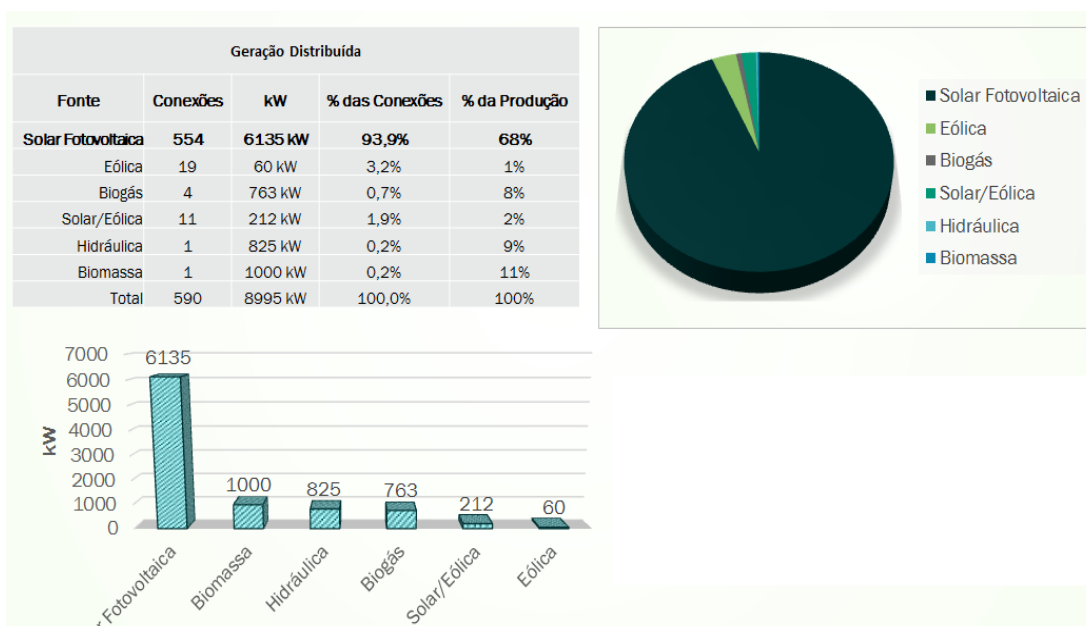


Gráfico 5 - Geração Distribuída no Brasil por Fontes

Fonte: Carlos Alberto - Fórum sobre Eficiência Energética e Geração Distribuída – ANEEL – 28 de maio de 2015

2.3.3 Perdas do Sistema Convencional

De acordo com (ANEEL, 2015) um problema endêmico enfrentado atualmente pelo nosso sistema centralizado de distribuição de energia diz respeito às perdas de energia do sistema. Após a geração da energia, as perdas ocorrem tanto na sua transmissão quanto na distribuição.

O sistema elétrico de potência é dividido em geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. As distribuidoras recebem a energia dos agentes supridores (transmissoras, geradores ou outras distribuidoras), entregando-a aos consumidores finais, sejam eles residenciais, comerciais, rurais, industriais ou pertencente às demais classes.

A energia medida pelas distribuidoras nas unidades consumidoras será sempre inferior à energia recebida dos agentes supridores. Essa diferença é denominada perda de energia e é segregada conforme sua origem:

Perdas na Rede Básica (ou Transmissão): são aquelas que ocorrem entre a geração de energia elétrica nas usinas até o limite dos sistemas de distribuição. São apuradas mensalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, conforme dados de medição de geração e a energia entregue às redes de distribuição. A diferença entre elas resulta no valor de Perdas na Rede Básica e seu custo é rateado em 50% para geração e 50% para o consumo.

Perdas na Rede de Distribuição: aquelas que ocorrem dentro do próprio sistema de distribuição e podem ser divididas em duas categorias, conforme sua causa:

- 1) Perdas Técnicas:** inerentes ao transporte da energia elétrica na rede, relacionadas à transformação de energia elétrica em energia térmica nos condutores (efeito joule), perdas nos núcleos dos transformadores, perdas dielétricas, etc. Podem ser entendidas como o consumo dos equipamentos responsáveis pela distribuição de energia.
- 2) Perdas Não Técnicas:** correspondem à diferença entre as perdas totais e as perdas técnicas, considerando, portanto, todas as demais perdas associadas à distribuição de energia elétrica, tais como furtos de energia, erros de medição, erros no processo de faturamento, unidades consumidoras sem equipamento de medição, etc. Esse tipo de perda está diretamente associado à gestão comercial da distribuidora. A imagem a seguir ilustra um exemplo de perda de energia.

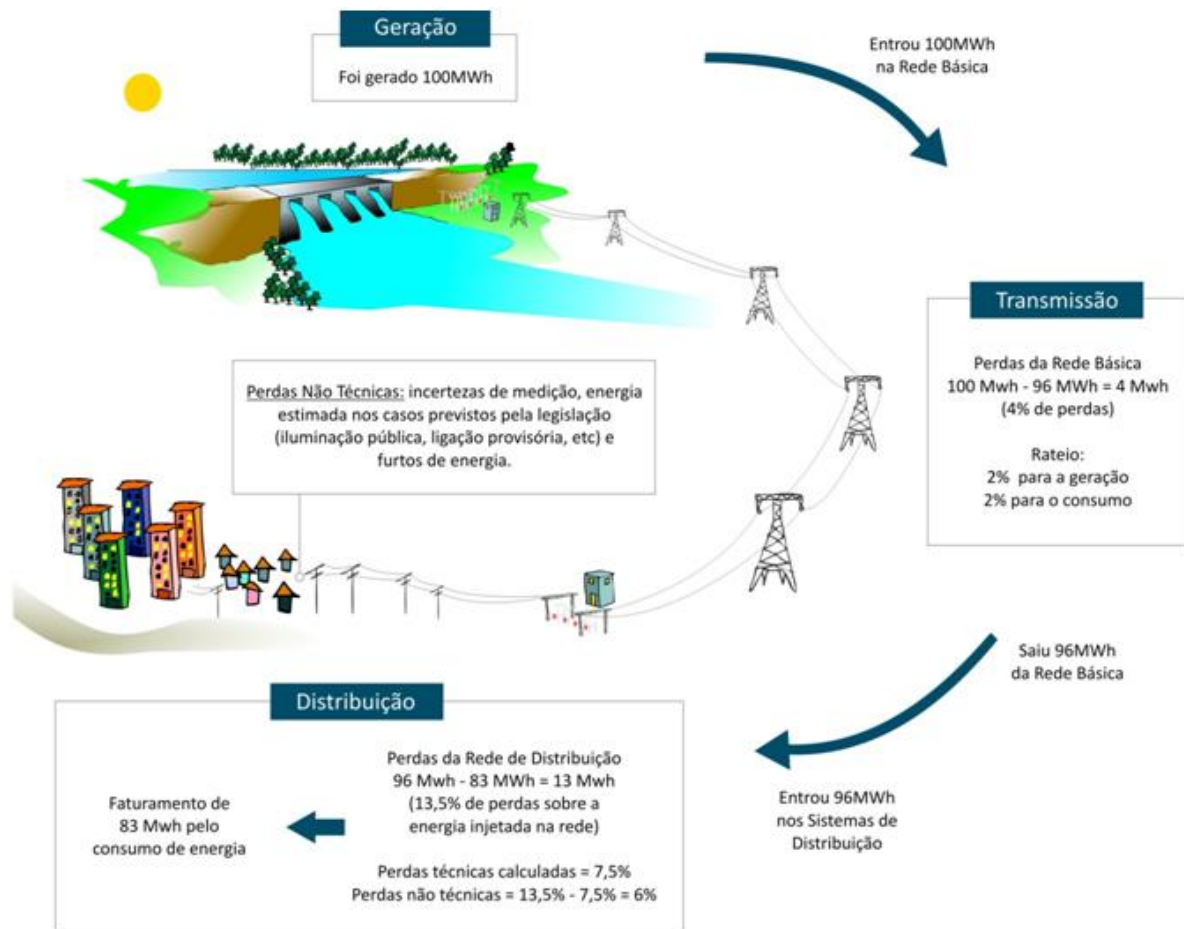


Figura 4 - Exemplo de Perdas do Sistema Convencional

Fonte: <http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801&idPerfil=4> Acessado em Agosto de 2016

2.4 Legislações e Incentivos Governamentais

2.4.1 Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL

Com objetivo de incentivar o uso da energia fotovoltaica no Brasil, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) elaborou a Resolução Normativa 482/2012 (ANEEL, 2012). Dentre os fatores mais importantes, está o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (também chamado *Net Metering*). É um sistema de incentivo às fontes renováveis que permite ao proprietário do gerador injetar na rede elétrica a energia que não é consumida na edificação onde o sistema está instalado. Quando isto ocorre, o consumidor recebe créditos pela energia entregue à rede, o qual será convertido em um desconto na conta de eletricidade nos meses seguintes. O gráfico a seguir exemplifica esse funcionamento.

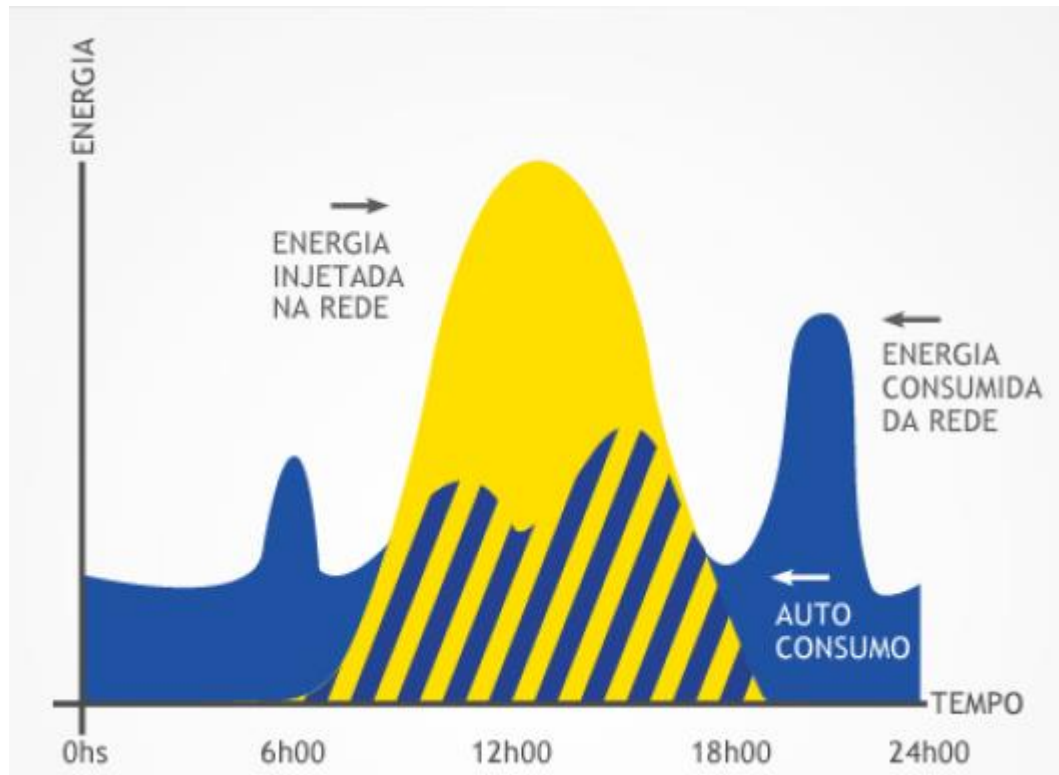


Figura 5 - Gráfico de Compensação de Energia

fonte: apresentação solarvolt energia fotovoltaica

Desta forma a ANEEL está incentivando a Microgeração Distribuída, que consiste em montar uma central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 100kW (as de maior potência são chamadas de Minigeração Distribuída) que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

A geração distribuída traz como vantagens o baixo impacto ambiental, redução da carga nas redes, minimização de perdas e diversidade na matriz energética. Esta lei é o pilar fundamental para que haja a construção do Estacionamento Fotovoltaico da UFRJ, que opera gerando 99 kWp.

Como resultado da validação desta resolução, observou-se que em 2015, o número acumulado de conexões chegou a 1.731, crescendo 308% na comparação com o de 2014, de apenas 424 instalações. A potência instalada atual é de 16,5 MW, sendo a fonte solar fotovoltaica (FV) responsável por mais de 96% dessas instalações, com 1.675 adesões e 13,3 MW de potência. A energia eólica e biomassa tiveram menores resultados. Em 18 de fevereiro de 2016, já havia 1.917 instalações de solar FV pelo país, das quais 77% encontravam-se no setor residencial e 14%, no setor comercial, todas conectadas em baixa tensão. (FERRAZ, 2016)

A geração distribuída bate de frente com a situação da geração centralizada de grande porte e mostra ter muito a contribuir para mitigar os problemas advindos do nosso sistema tradicional de geração centralizada de energia e reduzir os riscos de abastecimento que tivemos nos últimos anos.

2.4.2 Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL

Com objetivo de melhorar a resolução anterior e tornar o uso da tecnologia mais atraente, a RN 482/2012 foi revista e criou-se a Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL (ANEEL, 2015).

De acordo com (FERRAZ, 2016) uma das maiores mudanças nesta resolução normativa foi a redução nos prazos. O processo de registro do sistema solar pelas companhias de energia demorava aproximadamente 90 dias ou mais. A simplificação do processo reduziu esse número para 34 dias e passou a ter uma única etapa, eliminando o “vai e vem” de documentos.

O período para utilização dos créditos de energia para compensação também aumentou, passando de 36 para 60 meses. Essas alterações agilizam o processo e garantem o uso dos créditos a longo prazo.

Na antiga lei, os créditos de energia excedente somente podiam compensar energia em locais com o mesmo CPF ou CNPJ. Com a modernização da resolução, percentuais de créditos de energia podem ser transferidos para compensar em outras unidades consumidoras com CPF ou CNPJ diferentes, sendo necessário apenas comprovar o vínculo entre os integrantes. Esse vínculo pode ser

caracterizado pela reunião de consumidores por meio de consórcio ou cooperativas de pessoas físicas ou jurídicas. Assim, a transferência de créditos de energia para terceiros passa a ser permitida, como a vizinhos, parentes, cooperativas, empresas e outros.

Outra mudança refere-se à possibilidade de instalação de geração distribuída em empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios). Nessa configuração a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em percentuais definidos por eles próprios. Ainda que o sistema esteja instalado em um único medidor do condomínio, as quotas de crédito para compensação de energia são abatidas das contas dos participantes de forma independente, desde que a unidade de geração se situe na propriedade do condomínio. Nessa modalidade também é possível atender aos chamados “sem telhados” (condomínios de edifícios). Dessa forma, diversos interessados podem se unir e instalar uma micro ou minigeração distribuída e utilizar a energia gerada na redução das faturas individuais ou do próprio condomínio.

A maior novidade dessa resolução é possibilidade de se instalar o sistema fotovoltaico em locais remotos e distantes do ponto de consumo. O Autoconsumo remoto permite ganhos técnicos de possibilitar a instalação em local com maior irradiação e condições técnicas favoráveis para geração solar, o que amplia a oportunidade de uso da energia solar para diversos seguimentos. Essa modalidade permite a compensação dos créditos nas áreas urbanas dos “sem telhados” como prédios comerciais, escritórios, apartamentos, lojas em Shopping Centers, empresas de serviços e outros. Ocasionalmente esses empreendimentos estão em imóveis alugados e não possuem espaços para instalação fotovoltaica. Dessa forma a empresa pode usar um terreno próprio em outro local desde que na mesma área de concessão da companhia de energia elétrica para que seja feita a compensação dos créditos gerados no sistema remoto. Este novo modelo amplia a introdução da energia solar no mercado de grandes centros urbanos e mais consumidores podem gerar e usar a energia elétrica solar para abater os créditos em sua conta de luz.

Desde a sua revisão, a REN 482 introduziu novas modalidades de microgeração que permitem o desenvolvimento de novos modelos de negócios. É

nesse ponto que se encontram as maiores oportunidades de novos negócios e que deverão dar novo impulso à micro e mini geração distribuída. De acordo com cálculos da ANEEL, até 2024, graças às mudanças regulatórias, o Brasil deverá contar com 1.230.000 instalações de micro e mini geração distribuída, equivalentes a uma capacidade instalada de 4.500 MW, em vez de 112.000 instalações que totalizavam 504 MW, valor que teríamos caso permanecêssemos com o mesmo modelo. É um crescimento de 1000% no número de instalações.

2.4.3 Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD)

Conforme foi mostrado anteriormente, diversos fatores foram responsáveis para a introdução da energia fotovoltaica nos meios de geração brasileiros. Desde os investimentos de outros países para a disseminação da tecnologia, passando pelo aperfeiçoamento das leis que incentivam a prática, e obtendo resultados satisfatórios dentro dos projetos já feitos.

Por ocorrência destes fatores, o mercado começa a se abrir para empresas que desejam lucrar com energias fotovoltaicas focando não apenas em indústrias, mas também em residências. A facilidade da lei e a queda nos preços ajudaram na estabilização de empresas que fazem todo o intermédio entre o consumidor e a concessionária de energia local, além de fornecer o material, instalação e mão de obra necessária.

Além das facilidades comentadas até o momento, novos benefícios foram implementados recentemente como o lançamento do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), em 15 de Dezembro de 2015. Segundo o (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016), o governo prevê um potencial de investimentos de R\$ 100 bilhões nessas tecnologias e que até 2030, 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão ter energia gerada por elas mesmas, entre residência, comércios, indústrias e no setor agrícola, o que pode resultar em 23.500 MW de energia limpa e renovável, o equivalente à metade da geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Com isso, o Brasil pode evitar que sejam emitidos 29 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera. Neste programa, também foram feitos acordos com a Caixa Econômica Federal e com o Banco do Brasil para

abrir linhas de crédito que permitam que o cidadão possa fazer um financiamento do sistema fotovoltaico.

Um dos maiores atrativos para se instalar um sistema é a possibilidade de se usar até mesmo o FGTS para efetuar a aquisição. Ele é necessário, pois o custo de um sistema é bastante elevado, na faixa de preço de um carro 0Km (aproximadamente 27 mil reais para sustentar uma residência média), no entanto é um ativo muito vantajoso pela capacidade de “se pagar” a longo prazo em função da geração de energia, além de contribuir para o meio ambiente. Além disso, em alguns estados, existe até a isenção da cobrança do ICMS e de PIS/Cofins sobre a geração de energia fotovoltaica que tenha sido consumida da concessionária, mas compensada, e redução de 14% para 2% do imposto de importação incidente sobre bens de capital destinados à produção de equipamentos de geração solar fotovoltaica. Vantagens já bem além de um simples desconto na conta de luz.

2.5 Processo de aquisição de um sistema fotovoltaico

De acordo com informações de (ARCANJO e GUIMARÃES, 2016) da empresa Solarvolt, o primeiro passo para a aquisição é o pré-dimensionamento do sistema. Ele pode ser feito com base na energia consumida dada pela conta de energia elétrica, ou ficar em função do espaço disponível para a instalação. Assim, é possível saber o quanto será economizado em relação ao que é gasto com energia elétrica. Basicamente o consumidor só precisa escolher quanto espaço tem disponível, quanto dinheiro quer investir, e/ou quanto quer abater da conta de luz

O segundo passo é o design do projeto. Como cada construção é diferente, será projetado um sistema fotovoltaico feito sob encomenda. Uma visita é agendada no local para levantamento de dados para que o projeto obedeça tanto às normas como também às necessidades de energia. É elaborada toda a documentação para cadastro na concessionária de energia responsável. Todas as permissões e inspeções são a cargo da empresa.

A terceira etapa é a instalação de fato. Uma equipe qualificada visitará a localidade e tomar todas as precauções para realizar a instalação da forma adequada.

Na quarta etapa, a empresa se responsabilizará pelo registro do projeto na concessionária de energia, cuidando de toda a documentação necessária. Esta etapa do processo é a mais longa e burocrática e tem as seguintes etapas:

- 1) Solicitação à concessionária de energia o parecer de acesso e ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) de projeto.
- 2) Aguardo da aprovação do parecer de acesso, que deverá ser enviado em até 30 dias após o pedido.
- 3) Instalação e teste do micro ou minigerador.
- 4) Solicitação da vistoria para aprovar o ponto de conexão. Prazo de até 30 dias após o pedido formal.
- 5) Acompanhamento da vistoria.
- 6) Acompanhamento da emissão do Relatório de Vistoria que será recebido em até 15 dias após a vistoria. Caso solicitado no relatório adequações das instalações devem ser realizadas.
- 7) Acompanhamento da aprovação do ponto de conexão e instalação do novo medidor no prazo de até 7 dias após receber o Relatório da Vistoria.

Após a vistoria da conexão pela concessionária, o sistema já pode ser ativado, produzir energia limpa, economizar dinheiro e proteger o meio ambiente. A partir deste ponto a energia não consumida se torna crédito.

Com a instalação concluída, é possível também fazer um monitoramento do sistema de geração. A empresa disponibiliza um software com o qual é possível realizar medições da geração solar online, no computador ou smartphone. Eis a seguir um modelo ilustrado que mostra de forma simplificada o processo acima descrito.



Figura 6 - Etapas da Aquisição de um Sistema Fotovoltaico

Fonte: Apresentação Solarvolt Energia Fotovoltaica

As necessidades de energia variam dependendo principalmente da quantidade de pessoas em uma residência, bem como a classe social a que pertencem. Pare se ter uma ideia, as necessidades energéticas de uma família de classe média numa residência de 3 quartos estão em torno dos 350 kWh/mês, com um custo de R\$249,43⁴ reais. Dispondo de apenas 16 m² de área para a instalação de um sistema fotovoltaico (podendo ser um telhado), há um potencial de geração de 250 kWh/mês, diminuindo a conta em 100 kWh/mês e ocasionando uma redução de R\$71,27 na conta de energia (28,6% a menos). A imagem a seguir ilustra este exemplo.

⁴ Valor da taxa CEMIG atualizado pelo autor em agosto/2016

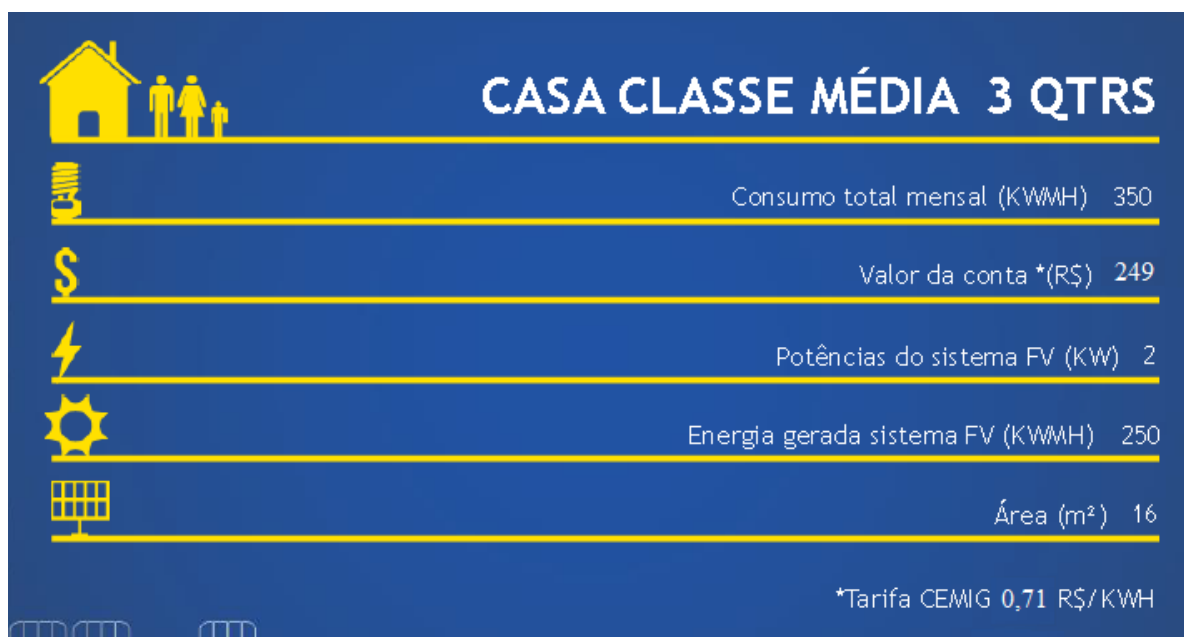


Figura 7 - Exemplo de Benefício para uma família de classe média 3 quartos

Fonte: Solarvolt (adaptado pelo autor)

2.6 As modalidades de um sistema fotovoltaico

O sistema de energia solar fotovoltaico gera energia elétrica proveniente da radiação solar. A microgeração é caracterizada por uma produção igual ou menor do que 100 kW (100kWp). A (Neosolar Energia, 2016) cita dois os tipos de sistemas fotovoltaicos mais comuns:

2.6.1 Sistemas Isolados (*Off-Grid*)

Utilizados em locais remotos ou onde o custo de se conectar a rede elétrica é muito alto. São muito comuns em casas de campo e demais instalações em locais ermos. Necessita de baterias e controladores de carga.

2.6.2 Sistemas Conectados à rede (*Grid-tie*)

Estes substituem ou complementam a energia disponível na rede elétrica. Funcionam somente com painéis solares e inversores, já que não precisam armazenar energia.



Figura 8 - Sistema Off-Grid

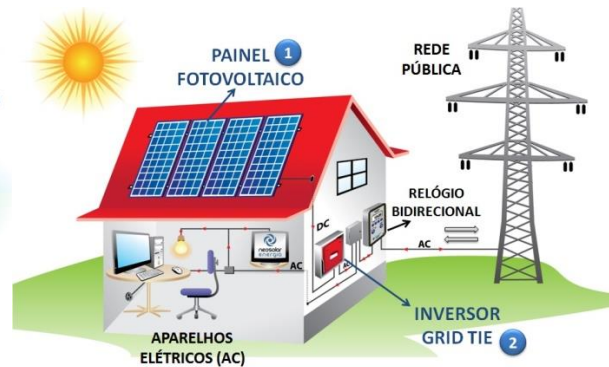


Figura 9 - Sistema Grid-Tie

Fonte: tupatec.com.br

2.7 Os Equipamentos de um Sistema Fotovoltaico

2.7.1 Painéis solares

Segundo a (Neosolar Energia, 2016) estes transformam a energia solar em eletricidade. É um conjunto formado de um ou mais painéis dimensionados de acordo com a quantidade de energia necessária a ser gerada. São responsáveis por gerar energia elétrica a partir da radiação do Sol. Eles são formados por um conjunto de células fotovoltaicas. Quando o Sol atinge a célula, os elétrons se movimentam, gerando uma corrente elétrica.

Existem inúmeras variações de painéis fotovoltaicos, mas para que se tenha uma ideia, um painel típico terá aproximadamente 1 m² e pesa pouco mais de 10 Kg, é feito de 36 células solares capazes de produzir cerca de 17V em corrente contínua e uma potência de até 140W. Os modelos geralmente variam de 5 até 300W de potência máxima, dependendo da intenção de uso e tecnologia empregada. Além disso, um sistema pode possuir muitos painéis fotovoltaicos e montados de diferentes formas. Dessa maneira, pode-se trabalhar tanto com as potências como as tensões de saída desejadas do sistema de energia solar.

2.7.1.1 Painel solar monocristalino

São eficientes e feitos de células monocristalinas de silício. O silício utilizado deve ter elevada pureza, o que envolve um complexo processo para fabricar os cristais únicos de cada célula. Têm eficiência de 14 a 21%.

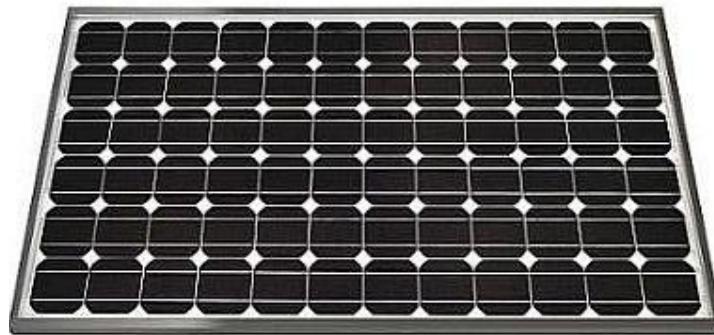


Figura 10 - Painel Solar Monocristalino

Fonte: <http://solar.allteck.com.br/index.php/produtos/paineis-fotovoltaicos/> Acessado em Agosto de 2016

2.7.1.2 Painel solar policristalino

São menos eficientes que os painéis monocristalinos. As células são formadas por diversos cristais, ao invés de apenas um, deixando a célula com aspecto de vidro quebrado. Têm eficiência de 13 a 16,5%. Foram introduzidos no mercado em 1981 e têm 25 anos de garantia, tal qual os monocristalinos.



Figura 11 - Painel Solar Policristalino

Fonte: <http://solar.allteck.com.br/index.php/produtos/paineis-fotovoltaicos/> Acessado em Agosto de 2016

2.7.1.3 Painel de Filme Fino

O material fotovoltaico é depositado diretamente sobre uma superfície, como metal ou vidro, para compor o painel. São mais baratos, mas menos eficientes. A área disponível pode ser uma restrição, já que a baixa eficiência pede uma área de módulo maior. São feitas de Silício amorfo (a-Si), Telureto de cádmio (CdTe), Cobre, índio e gálio seleneto (CIS / CIGS) ou outros materiais.



Figura 12 - Painel de Filme Fino

Fonte: <http://solar.allteck.com.br/index.php/produtos/paineis-fotovoltaicos/> Acessado em Agosto de 2016

2.7.2 Controladores de carga

Os controladores de carga ou carregadores ficam entre os painéis e as baterias e são utilizados para controlar a voltagem de entrada nelas, evitando sobrecargas ou descargas excessivas, otimizando e prolongando a sua vida útil. Os painéis solares produzem mais ou menos energia de acordo com a quantidade de luz solar e as baterias não suportam esta variação. Para resolver este problema e também para aperfeiçoar o carregamento das baterias, se utilizam os controladores de carga.



Figura 13 - Controlador de Carga

Fonte: <http://www.neosolar.com.br/loja> Acessado em Agosto de 2016

2.7.3 Inversores

São responsáveis por transformar os 12V de corrente contínua das baterias em 110 ou 220V de corrente alternada. Em sistemas conectados, também são utilizados para sincronizar com a rede elétrica.



Figura 14 - Inversor

Fonte: <http://www.neosolar.com.br/loja> Acessado em Agosto de 2016

2.7.4 Baterias

Servem para garantir o fornecimento de energia quando não houver sol (noite e dias nublados). São as baterias que determinam a autonomia de um sistema isolado. Sistemas conectados à rede não necessitam de baterias já que a falta de sol é compensada pela energia da rede.

As baterias adequadas para sistemas de energia renovável são as baterias estacionárias ou de ciclo profundo. Estas suportam grandes descargas que uma bateria comum não suportaria.

Raio-X da bateria FREEDOM®

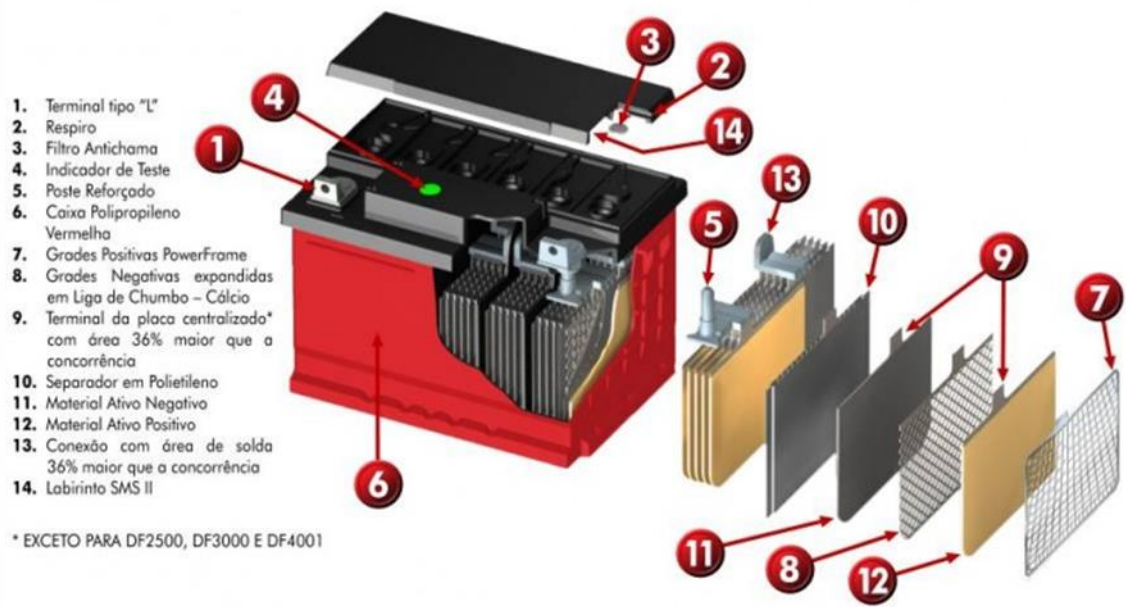


Figura 15 - Bateria

Fonte: <http://www.neosolar.com.br/loja> Acessado em Agosto de 2016

3 Exemplificação

3.1 O Fundo Verde

Segundo (FUNDO VERDE, 2016) O Fundo Verde de Desenvolvimento e Energia para a Cidade Universitária da UFRJ foi criado pelo Governo do Estado, através do Decreto nº 43.903 de 24 de Outubro de 2012. É uma iniciativa da Secretaria de Estado do Ambiente em parceria com a UFRJ e das Secretarias de Estado de Fazenda e de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços do Rio de Janeiro, além da Light Serviços de Eletricidade S.A.

Seus recursos anuais de R\$ 7 milhões são advindos de isenção sobre o ICMS que a UFRJ paga em sua conta de energia elétrica e são investidos em benefícios da própria universidade, financiando a elaboração e execução de projetos de infraestrutura sustentáveis em geração e racionalização do uso de energia, mobilidade urbana, uso da água e de resíduos da Cidade Universitária.

O Fundo Verde tem como objetivo fazer da Cidade Universitária um laboratório vivo de ideias de tecnologia verde, com condições para o desenvolvimento de pesquisas, cujos resultados serão aplicados em benefício da comunidade.

Conforme mostra o infográfico a seguir, o Fundo Verde iniciou suas maiores atividades em Março de 2014 e se manteve ativo ao longo de todo ano, com parcerias com o Instituto Pereira Passos da Prefeitura do Rio, grandes empresas, institutos, projetos e grandes concursos. Atualmente, há 5 projetos de mobilidade, 4 de energia e 3 de água implementados pela instituição.



Figura 16 - Histórico do Fundo Verde

Fonte: <http://www.fundoverde.ufrj.br/index.php/pt/o-fundo/sobre> Acessado em Agosto de 2016

3.2 Potencial da Ilha do Fundão

De acordo com (MAX, LIMA e LOUREIRO, 2016) a Ilha do Fundão possui diversos privilégios para a instalação deste projeto. Além de ser uma área federal voltada a pesquisas, fica no mesmo ambiente da sede do Fundo Verde, tornando fácil seu acesso e manutenção. Também conta com uma vasta área descampada e com incidência frequente de radiação solar, com poucas regiões sombreadas. A

seguir há um mapa que ilustra a adequação das coberturas da Ilha com suas devidas áreas.



Figura 17 - Classificação das coberturas das edificações da Cidade Universitária da UFRJ quanto à possibilidade de instalação de módulos fotovoltaicos

fonte: informativo energia fundo verde

Coberturas adequadas: grande área disponível para instalação de módulos fotovoltaicos, não possuem obstáculos e não são cobertas por vegetação.

Coberturas pouco adequadas: possuem área relativamente pequena para instalação de módulos fotovoltaicos, algumas coberturas são sinuosas e outras têm obstáculos.

Coberturas inadequadas: possuem uma área muito pequena para instalação de módulos fotovoltaicos, algumas parecem pertencer a edificações provisórias e a maioria está coberta por vegetação.

Este estudo indicou que a área total do campus da universidade é de aproximadamente 4.837.630 m² e que, considerando os níveis de radiação incidente no local (DNI), aproximadamente 0,30% de esta área, poderia gerar 1 MW de potência fotovoltaica. Baseado neste estudo selecionou-se o estacionamento anexo ao Laboratório de Ensaios Não Destrutivos Corrosão e Soldagem (LNDC) para a implantação de um sistema fotovoltaico.

Além disso, foi desenvolvido o projeto: Especificação de equipamentos e softwares buscando o atendimento das funcionalidades requeridas ao controle de carga das subestações do Centro de Tecnologia da UFRJ na Ilha do Fundão, tendo como resultado a elaboração do relatório: Monitoração das subestações de energia do Centro de Tecnologia da UFRJ.

Com base neste relatório será utilizada tecnologia de ponta para medição inteligente de energia elétrica nas subestações do Centro de Tecnologia da UFRJ, com finalidade de melhorar os processos de eficiência energética e ter respostas mais rápidas às operações de manutenção.

Espera-se assim, principalmente, reduzir o risco de desligamentos por sobrecarga e fatores naturais inerentes à Ilha do Fundão, que poderiam ocasionar problemas para a toda a rede de distribuição do Centro de Tecnologia.

3.3 Diagnóstico atual da situação energética da UFRJ

O estudo de (BELLIDO, MANZATTO, *et al.*, 2014) diz que um dos primeiros passos do Fundo Verde na linha de Energia é conhecer as condições atuais de consumo de energia elétrica das instalações da Cidade Universitária da UFRJ na Ilha do Fundão, com objetivo de elaborar uma Linha de Referência que possa servir para comparação dos resultados obtidos com ações futuras, e estabelecer a real demanda energética.

Com isto, o Fundo Verde implementou alguns programas de eficiência energética voltados ao uso racional de recursos e utilização de tecnologias mais eficientes conjuntamente com o uso de fontes renováveis de energia.

Há também um sistema de controle de consumo de energia elétrica em cada subestação de forma a se ter uma rede inteligente de monitoração do consumo de energia elétrica.

Para desenvolver um Projeto de Monitoramento e Controle de dados relativos à Energia da Cidade Universitária, a equipe técnica do Fundo Verde buscou informações de consumo de energia elétrica das unidades da Cidade Universitária da UFRJ.

De posse destas informações, foi possível levantar dados preliminares do custo total da energia, consumo total de energia, demanda e outros aspectos importantes para a análise do perfil energético da Cidade Universitária. Alguns conceitos estão aqui definidos para melhor entendimento:

Consumo de energia elétrica; quantidade de energia elétrica consumida em um intervalo de tempo, expresso em quilowatt-hora (kWh).

Demanda; potência elétrica ativa (ou reativa) solicitada ao sistema elétrico pela parcela de carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado.

Demanda contratada; demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

Demanda medida ou registrada; maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 (quinze) minutos durante o período de faturamento de uma instalação.

Demanda de ultrapassagem; parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada, expressa em quilowatts (kW).

Demanda faturável; valor da demanda de potência ativa, identificada de acordo com os critérios estabelecidos e considerada para fins de faturamento expressa em quilowatts (kW), com aplicação da respectiva tarifa. Vale destacar que a tarifa de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassar em mais de 5% o valor da Demanda Contratada.

Tarifa; preço da unidade de energia elétrica (R\$/MWh) e/ou da demanda de potência ativa (R\$/kW).

Tarifa binômia; estrutura tarifária de fornecimento constituída por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa (kWh) e à demanda faturável de alta tensão (kW).

Conforme apresentado na imagem a seguir, é possível observar o consumo médio (kWh/mês) das diversas unidades da Cidade Universitária da UFRJ, para o intervalo de maio/2013 a abril/2014.

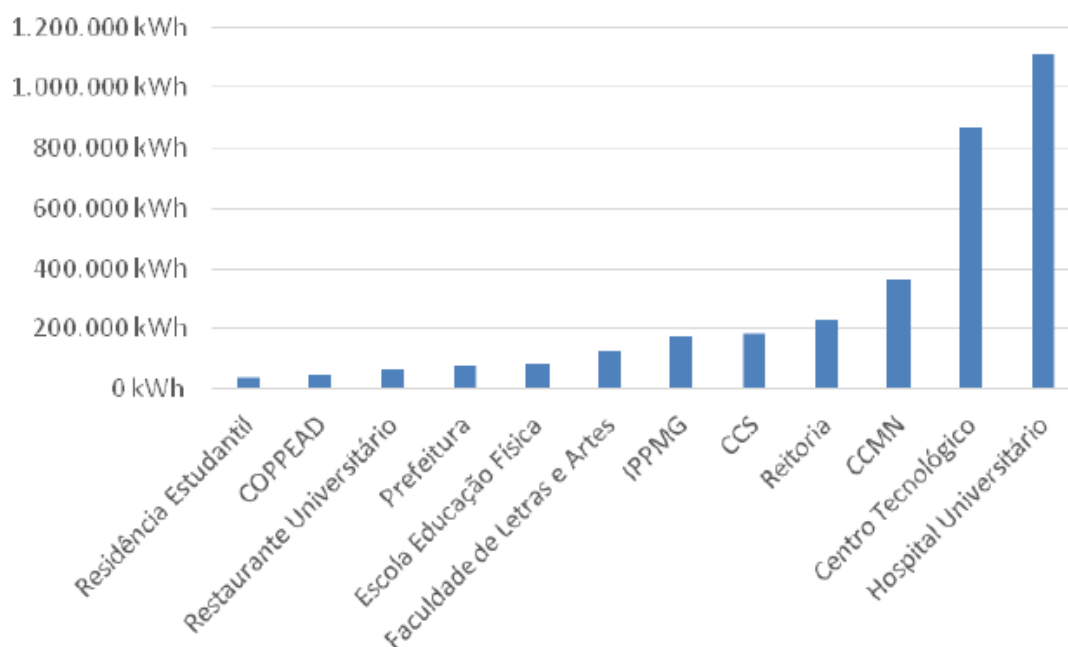


Gráfico 6 - Consumo médio de energia elétrica (kWh/mês) nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ na Ilha do Fundão

Fonte: informativo de energia do fundo verde

Por se tratar de uma instituição educacional federal, não incidem sobre a UFRJ as mesmas tarifas de energia que uma residência comum precisa pagar. Ainda assim, é importante saber o quanto este valor impacta nas contas da universidade.

Considerando a tarifa de R\$0,27/kWh, valor que foi adotado como padrão para as medições de energia da UFRJ à ocasião, o gráfico a seguir apresenta as mesmas instalações figuradas anteriormente com os respectivos custos de energia que demandaram no mesmo período.

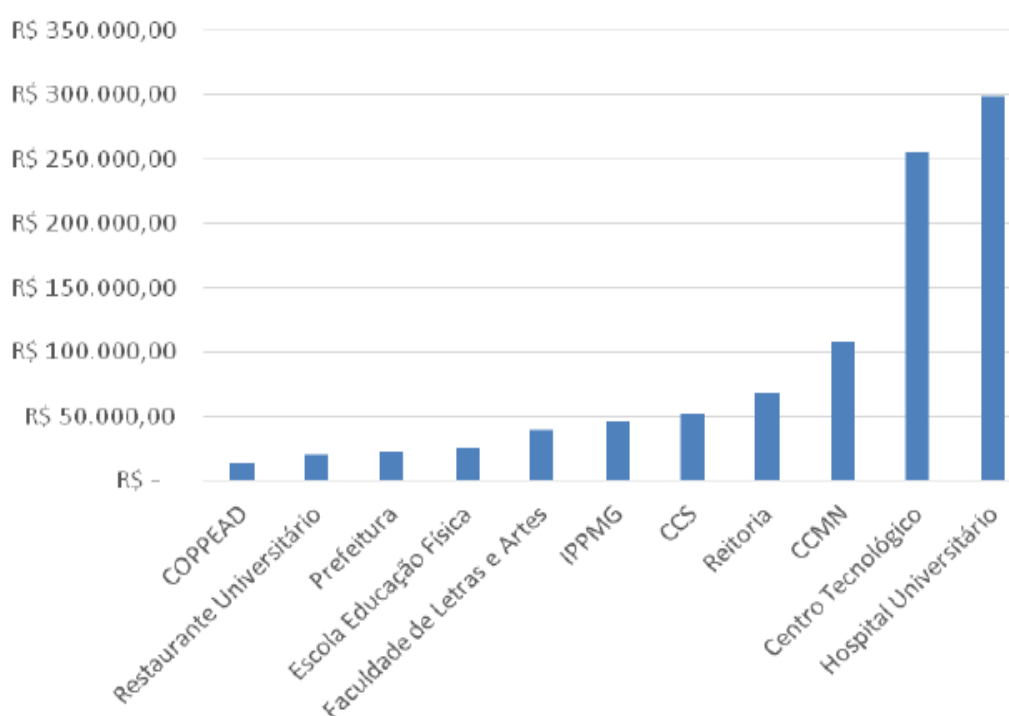


Gráfico 7 - Custo médio de energia elétrica (R\$/mês) nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ na Ilha do Fundão

Fonte: informativo de energia do fundo verde

É possível verificar que as três unidades com maior consumo e custo médio de energia elétrica são: o Hospital Universitário (HU), o Centro Tecnológico (CT) e o

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza (CCMN). Destaque para o fato de que a tarifa da UFRJ é binomial.

Nas imagens que seguem é possível observar o valor total do consumo (kWh) e custo (R\$) das diversas unidades da Cidade Universitária da UFRJ, para o período de maio/2013 a abril/2014 (Custo da energia de R\$0,27/kWh).

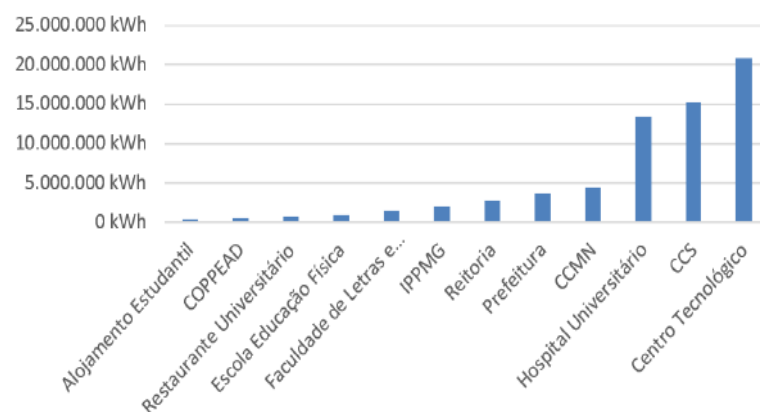


Gráfico 8 - Consumo total de energia elétrica (kWh) nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ

Fonte: informativo de energia do Fundo Verde

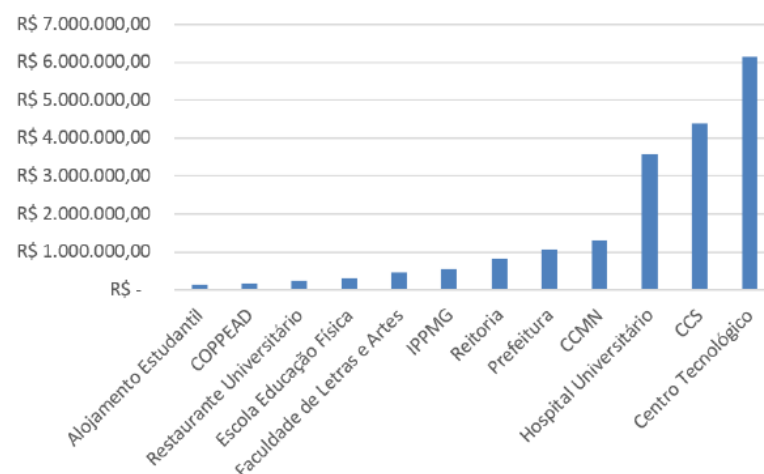


Gráfico 9 - Custo total da energia elétrica (R\$) nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ fonte: informativo de energia do Fundo Verde

Fonte: informativo de energia do Fundo Verde

Considerando o consumo e o custo de energia elétrica no campus, as três unidades com maior consumo total e custo total de energia elétrica são: o Centro Tecnológico (CT), o Centro de Ciência da Saúde (CCS) e o Hospital Universitário (HU).

Com a figura a seguir, nota-se que para período maio/2013 a abril/2014, as demandas médias mensais registradas (kW), em várias unidades, ultrapassam a demanda contratada (kW), o que deixa o preço da energia mais alto.

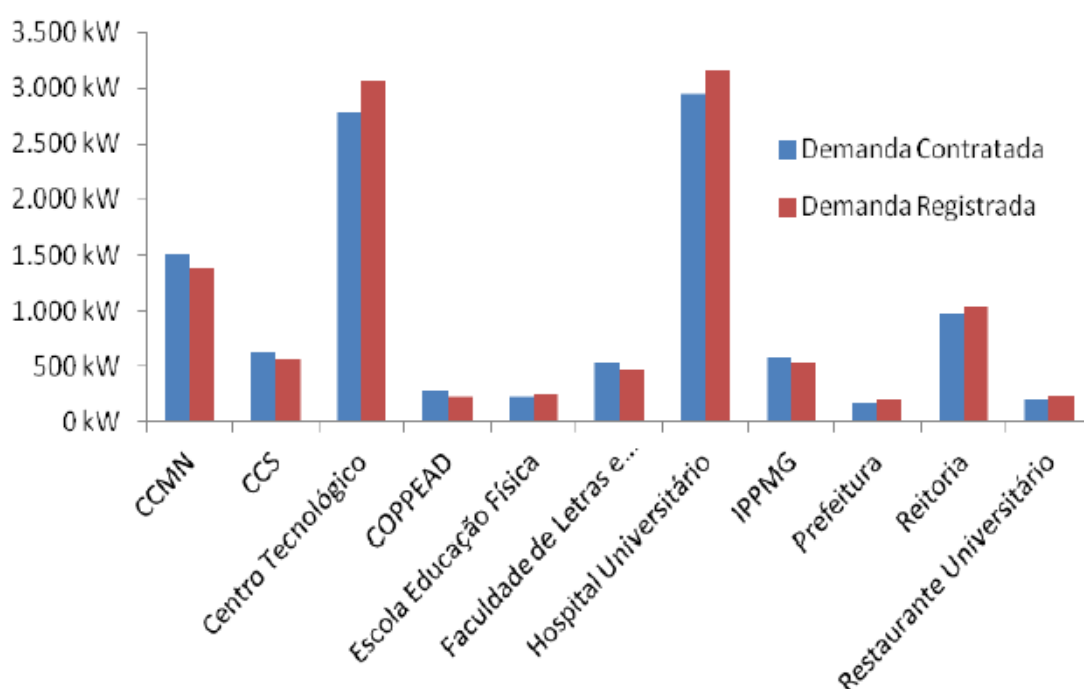


Gráfico 10 - Demanda média mensal registrada (kW) e contratada (kW) nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ da Ilha do Fundão

Fonte: informativo de energia do Fundo Verde

A seguir, vê-se o percentual de ultrapassagem média mensal das diversas unidades da Cidade Universitária para o intervalo de maio/2013 a abril/2014. As duas unidades que pagam a tarifa de ultrapassagem são a Prefeitura da Cidade Universitária (PU) e o Restaurante Universitário, pois esta ultrapassagem supera 10% da demanda contratada.

Valores negativos no gráfico indicam que o valor médio mensal da demanda registrada é menor que a demanda contratada, o que poderia significar que esta

demanda contratada poderia ser diminuída a fim de reduzir as contas com energia elétrica.

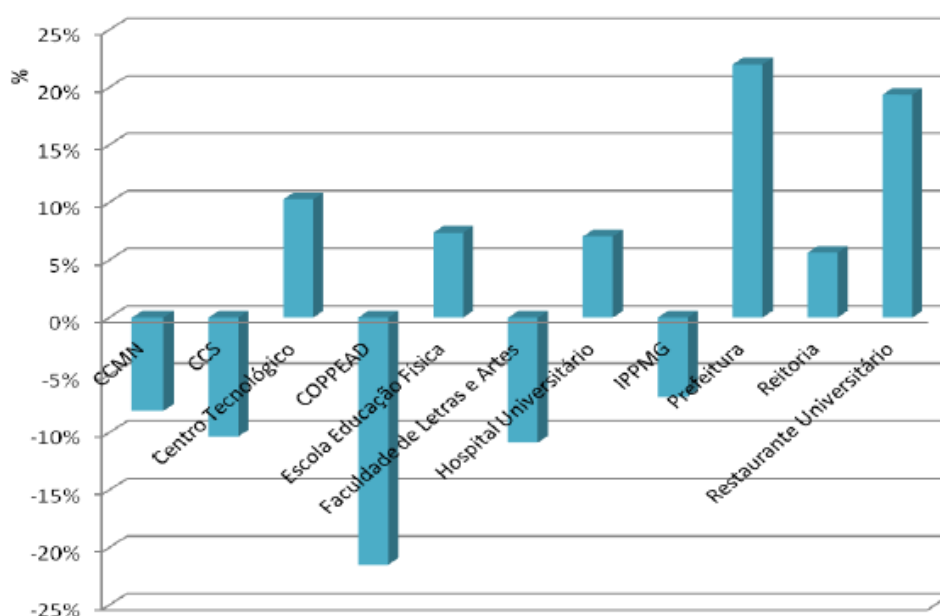


Gráfico 11 - Ultrapassagem média mensal da demanda contratada nas unidades da Cidade Universitária da UFRJ

Fonte: informativo de energia do fundo verde

De forma geral, as três unidades da Cidade Universitária que apresentam o maior consumo total e custo total de energia elétrica são o Centro Tecnológico, o CCS e o Hospital Universitário. Considerando que o Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro possui o maior consumo e custo total, esta unidade é prioritária para a implementação de projetos de eficiência energética.

3.4 Iniciativas do Fundo Verde

Para realizar um primeiro diagnóstico, ou seja, conhecer e identificar as necessidades e possíveis soluções em energia na cidade universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, as seguintes iniciativas foram providenciadas: (BELLIDO, MANZATTO, *et al.*, 2014)

Foram elaborados dois projetos de consultoria técnica com a parceira Agência de cooperação Alemã, a GIZ:

- 1) Estudo de viabilidade técnica econômica (EVTE) para instalação de sistemas solares fotovoltaicos nos telhados em prédios da Cidade Universitária da UFRJ.
- 2) Identificação de oportunidades de redução de consumo de energia elétrica a fim de aprimorar o desempenho energético do prédio do Centro de Tecnologia, bloco A, da Cidade Universitária da UFRJ.

Estes dois estudos incluem também a elaboração de Termos de Referência que servem como base para o desenvolvimento de Editais de Licitação para compra de equipamentos e contratação de serviços.

- 3) Elaboração do Termo de Referência e Edital de Licitação visando levantar os requisitos funcionais e técnicos necessários para serviços, equipamentos e softwares buscando o atendimento das funcionalidades requeridas ao controle de carga das subestações do Centro de Tecnologia da UFRJ na Ilha do Fundão, a fim de implantar uma microrrede inteligente.
- 4) Licitação e contratação, de empresa de engenharia especializada (Kyocera Solar do Brasil Ltda.) a fim de executar os serviços de instalação de um sistema solar fotovoltaico tipo cobertura de estacionamento (*Carport*), localizado no estacionamento anexo ao Laboratório de Geotecnia do PEC/COPPE/UFRJ do Centro de Tecnologia da Cidade Universitária da UFRJ, numa latitude $-22,863^{\circ}$ e longitude $-43,227^{\circ}$. O sistema solar fotovoltaico converte a radiação solar em energia elétrica através de painel fotovoltaico. Sistema este composto de 414 módulos fotovoltaicos, 6 inversores com uma potência de 18 kVA cada e terá uma área de 683,10 m² aproximadamente, gerando uma potência de até 100 kWp/ano. Além disso, há a realização de serviços de treinamento das equipes de operação e manutenção (O&M), serviços de operação assistida e organização dos serviços de comissionamento.

3.5 O Estacionamento Fotovoltaico

De acordo com (BELLIDO, MANZATTO, *et al.*, 2014) a partir da meta estabelecida pelo Fundo Verde, em 18 de Agosto de 2015, foi inaugurado o seu primeiro projeto estrutural para a geração de energia, o Sistema Fotovoltaico de microgeração distribuída no estacionamento que há anexo ao Centro de Tecnologia, permitindo não só a geração de energia fotovoltaica, como também sombreamento aos veículos estacionados no local. Este projeto é mais comumente conhecido como Estacionamento Solar da UFRJ.

Toda execução contou com uma parceria COPPE com a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável GIZ, e tem como próximo passo o treinamento para os funcionários da universidade, com a finalidade de capacitá-los em operar e realizar a manutenção do sistema.

Com custo de R\$1.6 milhões, o sistema fotovoltaico abrange uma área de 683,1 m². É um projeto de microgeração distribuída, conforme definição da RN ANEEL 482/2012⁵, com potência de 99 kW, cuja geração é de aproximadamente 138,7 MWh/ano, o que equivale ao consumo médio de 70 residências no Brasil⁶. O custo deste sistema foi de R\$ 1.600.000,00, podendo gerar uma economia de, aproximadamente, R\$ 63.000,00/ano ao LNDC

O Sistema Fotovoltaico foi inaugurado no dia 10 de agosto de 2015 no estacionamento anexo ao LNDC. Ele abrange 414 módulos de Silício Policristalino e 6 inversores colocados numa estrutura de alumínio própria para estacionamento solar com inclinação de 10° e desvio de azimuth de NV de 46°. Além de gerar energia, este sistema é capaz de providenciar sombra para aproximadamente 60 veículos. No quadro a seguir, são mostradas as características técnicas do sistema fotovoltaico.

⁵ A RN 687/2015 ainda não havia sido implementada à altura

⁶ Considerando uma média de consumo de 167KWh/mês, calculado pela Empresa de Pesquisa Energética, em dezembro de 2014.

Características	Valor
Módulos (unidades)	414
Potência da Usina Fotovoltaica (kW)	99
Área total (m ²)	683,1
Inversores (unidades)	6
Custo (R\$)	1.600.000
Custo Específico (R\$/kW)	16.160
Geração energia (MWh/ano)	138.7
Economia gerada (R\$/ano)	63.000

Figura 18 - Características Técnicas do Estacionamento Fotovoltaico da UFRJ

fonte: Fonte: Proposta Técnica Kyocera 166-2014

Para se ter uma ideia, o estacionamento solar na UFRJ ultrapassou um outro em Niterói de 175 módulos solares, 42,9 kW de potência instalada, 260 m² de área de módulos e geração estimada de 60.000 kWh/ano. (Prátil, 2014)

Este sistema possui os seguintes equipamentos de monitoramento (MAX, LIMA e LOUREIRO, 2016):

Estação de dados elétricos: com o objetivo de medir a qualidade da energia elétrica (tensão, corrente, potência, energia, frequência e distorção harmônica⁷).

Estação meteorológica: tem objetivo de medir os parâmetros ambientais nos módulos fotovoltaicos (radiação solar, velocidade do vento, temperatura ambiente e temperatura dos módulos).

A Figura seguinte mostra uma vista aérea do sistema fotovoltaico

⁷ Segundo (Eaton, 2016) Presença de harmônicas que mudam a forma de onda da tensão CA de uma simples forma senoidal a uma forma complexa. A distorção harmônica pode ser gerada por uma carga e realimentada para a linha CA da Concessionária, causando problemas de energia a outros equipamentos no mesmo circuito. Fonte <http://powerquality.eaton.com/Brasil/Support/Documentation/BR-glossary.asp>



Figura 19 - Vista aérea do sistema fotovoltaico no LNDC

Fonte: informativo de energia do fundo verde

3.6 Resultados Obtidos da Inauguração ao Final de Agosto de 2016

Para efeito do cálculo de economia de energia gerada pelo sistema fotovoltaico, foi adotada uma tarifa padrão de 0,1946 EUR/kWh⁸. Como em 2014 e 2015 o país sofreu diversas alterações na sua tarifa básica de energia em funções de crise financeira, de despesas por uso de termelétricas pela crise hídrica etc, as oscilações no valor real da tarifa podem destoar consideravelmente da realidade, mas ainda apresentam alguns resultados sólidos e aplicáveis nos exemplos que seguirão.

⁸ Valor de tarifa adotada como padrão na ocasião do acordo com a GIZ e usado como referência de economia de energia no site do banco de dados do estacionamento fv www.powador.net

Os dados seguintes foram obtidos para fins de estudo pelo Fundo Verde pelo acesso ao banco de dados da geração de energia do estacionamento. Serão analisadas a seguir duas curvas de geração diárias de uma amostra de um ano de operação do sistema (de 14 de Agosto de 2015 a 31 de Agosto de 2016).

O gráfico a seguir nos mostra um exemplo de curva ótima de desempenho da geração de um dia de verão (13 de Fevereiro de 2016). O período de geração se dá a partir das 6:45 e termina as 19:45 (13 horas de geração), com potência crescente até as 13:00 com 78,55 kW, e decrescente até atingir o patamar nulo. A potência é aferida com intervalos de 15 minutos e o valor máximo que poderia se chegar limitado pela capacidade dos módulos da Kyocera é de 99 kWp.

Nota-se que é uma curva muito bem definida com comportamento próximo dos modelos ideais (conforme visto no modelo da figura 5), por se tratar de um dia ensolarado, com alguns poucos pontos que fogem ao esperado (em função de passagem de nuvem ocasionando sombreamento, possivelmente). Neste dia houve uma geração de 576,88 kWh, que corresponde à área do gráfico abaixo da curva.

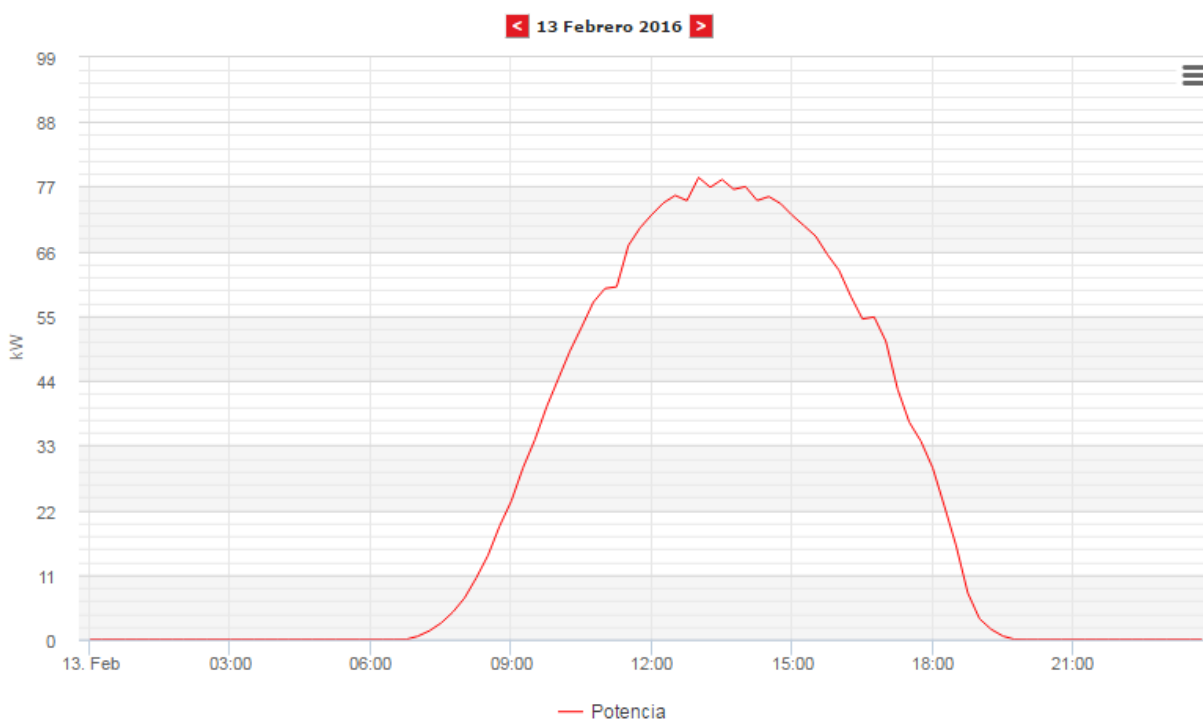


Gráfico 12 - Curva de Geração FV do dia 13 de Fevereiro de 2016

Fonte: <https://www.powador.net>

No gráfico seguinte podemos ver uma curva semelhante de um dia de inverno (22 de junho de 2016). A geração se deu entre 08:00 e 18:30 (10 horas e meia de geração), com pico de 59,50 kW as 13:15. A produção do dia foi de 366,72 kWh. As curvas possuem taxas de crescimento e decrescimento semelhantes, chegando 0,35 kW/minuto nos intervalos de maior variação pontual de produção de energia. Houve 23,8% mais tempo de captação de luz no verão do que no inverno, sendo ambos os dias houve predomínio expressivo de sol. Em função da posição do Rio de Janeiro no globo, tivemos esta diferença de exposição à luz.

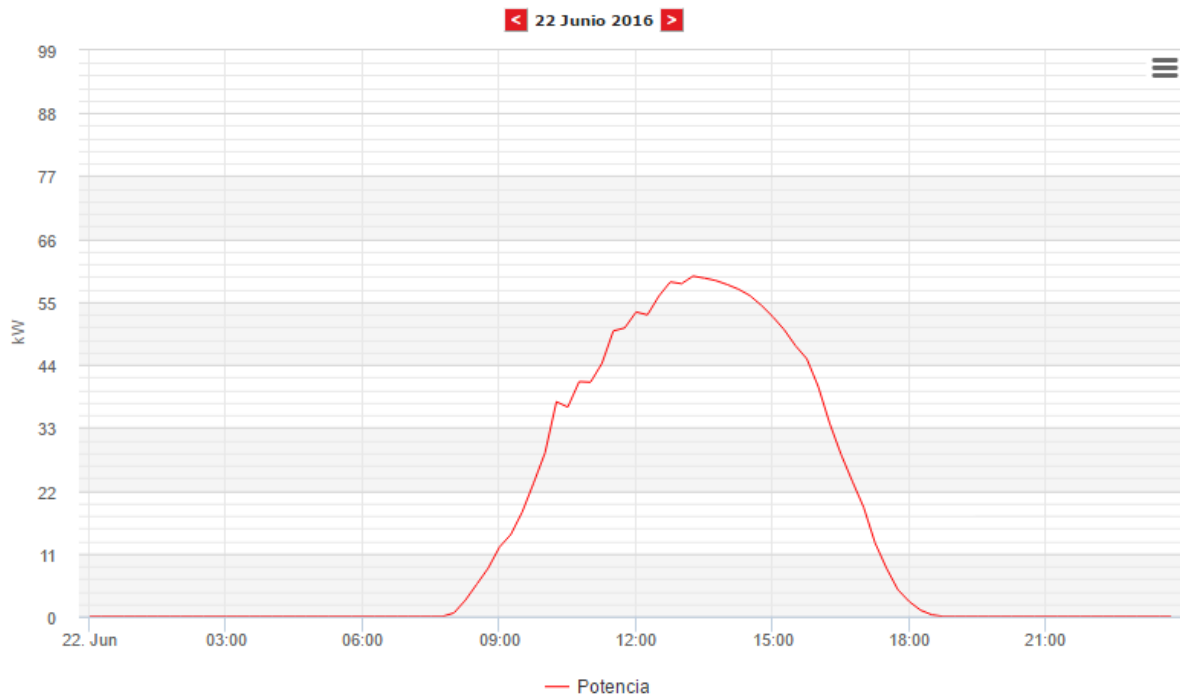


Gráfico 13 - Curva de Geração FV do dia 22 de Junho de 2016

Fonte: <https://www.powador.net>

Podemos notar uma clara diferença de geração do verão para o inverno. Nas curvas em questão, a geração do verão é 57,3% maior e a potência máxima atingida no vértice da curva está 32,0% acima do inverno. Assim, a fim de se obter um valor médio confiável da energia gerada por dia, deve ser feita uma análise para meses de maior incidência solar, e outra para os de menor incidência.

Ao se tomar o somatório da energia gerada a cada mês e se dividir pela quantidade de dias em que houve produção no mesmo mês, temos a estimativa da quantidade de energia gerada por dia. Ao se fazer isto para todos os meses, foi gerado o gráfico seguinte, no qual podemos observar a sensível diferença dos meses de maior geração (mais quentes) para os de menor geração (mais frios).

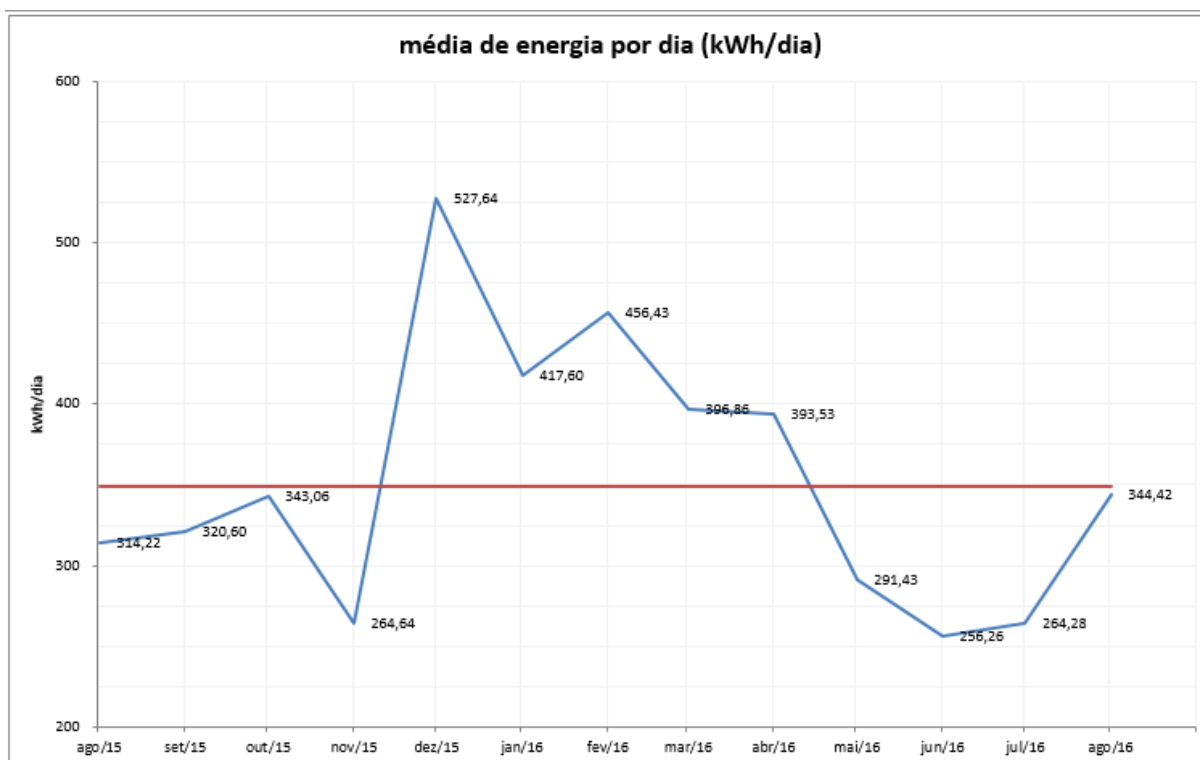


Gráfico 14 - Médias de energia por dia a cada mês

Fonte: Autor

Ao se fazer a média do kWh/dia gerado dos meses de Dezembro/2015 a Abril/2016, o resultado foi de 438,41 kWh/dia em média, valor 46,20% maior do que a média dos demais meses (299,86 kWh/dia). O Desvio padrão dos dias mais quentes ficou com 55,82 kWh/dia do valor médio dos meses, e dos mais frios 35,79 kWh/dia do valor médio desses meses. A reta que divide o gráfico em dois representa o total de energia gerada nestes dias dividido pelo total de dias em que o sistema esteve ativo. Dessa forma é razoável analisar os dois conjuntos de forma independente, já que uma média geral não faz jus ao resultado individual.

Para se ter uma ideia, segundo dados do Instituto Federal do Meio Ambiente da Alemanha (Abril de 2008), uma geração de 10.473 kWh/mês (valor médio total gerado) evita que sejam lançados na atmosfera 6.241,9 kg de CO₂ das termelétricas para se produzir esta mesma energia.

Ao se instalar o estacionamento, a meta do Fundo Verde era gerar 138.000 kWh/ano, e em 352 dias de funcionamento foram produzidos 122.878 kWh, valor 10,9% menor. Se utilizarmos o valor total médio e o considerarmos para 365 dias, seriam 127.418 kWh, valor 7,7% menor que a meta, bem próximo do esperado.

No gráfico de barras a seguir vemos o total de energia gerada por mês com o sistema. Há uma anomalia em alguns meses que faz com que a geração de alguns meses não seja a esperada. Em Agosto de 2015, houve geração apenas do dia 14, quando o sistema foi ligado para a primeira captação e geração, ao dia 21 (8 dias) e de 25 a 31 de Agosto (7 dias), totalizando apenas 15 dias de geração no primeiro mês de funcionamento. A reta vermelha corresponde à média de 9.600 kWh.

O sistema também não se encontrava ligado do dia 20 de Novembro a 16 de Dezembro, totalizando 27 dias corridos, praticamente um mês inteiro. Também não houve funcionamento do sistema nos dias 24 e 25 de Fevereiro, embora isso seja imperceptível no gráfico.

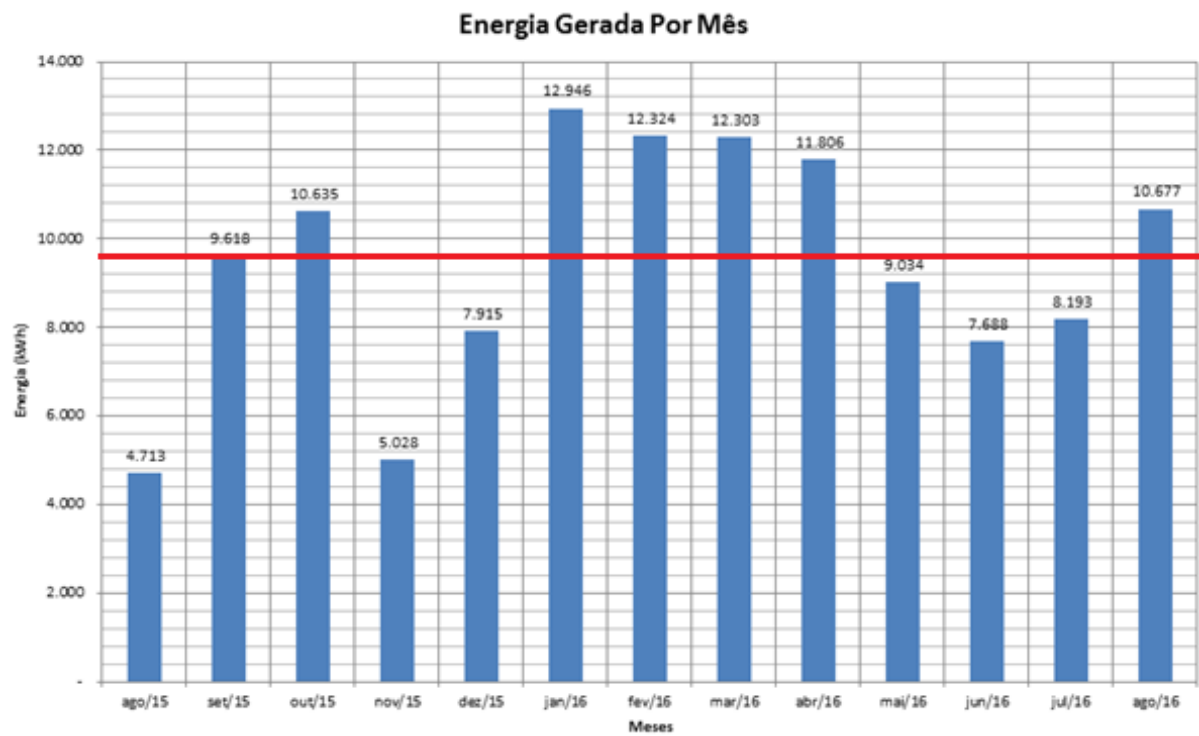


Gráfico 15 - Quantidades totais de energia gerada a cada mês

Fonte: Autor

4 Considerações Finais

4.1 Quanto aos resultados

No período analisado de 14 de Agosto de 2015 a 31 de Agosto de 2016, houve 352 dias de geração, 29 dias e menos do que deveria (foram 384 dias corridos, dos quais 32 sem funcionar). Nesse período foram gerados 122.878 kWh de energia. Se considerarmos os 352 dias de funcionamento do sistema, temos uma produção média de 349,09 kWh/dia.

Como foram 352 dias de funcionamento neste intervalo, há uma média de 349,09 kWh de energia por dia, ou 10.473 kWh por mês. Como são 653 m² de área de módulo, há uma geração de 0,53 kWh/m² de módulo por dia, em média (ou 0,88 kWh por módulo, dado que cada um tem 1,64 m²). Levando-se em consideração a tarifa de 0,1946 EUR/kWh, foi possível economizar em média 2.038,04 euros por mês (aproximadamente 7.500 reais por mês na atual cotação).

Pode parecer um valor irrisório se comparado a quantidade de energia que o Campus da UFRJ consome, no entanto, como a planta solar é experimental e destinada apenas ao uso do LNDC, são valores mais do que suficientes para as necessidades de energia do mesmo. Basta analisar que a média diária foi de 349kWh, energia suficiente para uma grande residência por um mês inteiro.

4.2 Sugestões de trabalhos futuros

Em função do caráter mutável da situação econômica brasileira e do suprimento do fornecimento de energia do país sofrer diversas oscilações, seria interessante observar em trabalhos futuros se a malha fotovoltaica do país e do resto do mundo aumentou e se o estacionamento fotovoltaico da UFRJ continuará a operar com sucesso. O sistema fotovoltaico brasileiro ainda é muito incipiente mas pode crescer muito devido à característica do Brasil de investir prioritariamente na energia renovável.

Além disso, é importante estudar a confiabilidade e desempenho elétrico deste tipo de sistema gerador, bem como outras unidades da UFRJ que seriam candidatas a receber um sistema fotovoltaico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLIDO, M. H. et al. **Informativo: Energia**. Fundo Verde UFRJ. Rio de Janeiro. 2014.

FUNDO VERDE. Fundo Verde. **Fundo Verde**, 2016. Disponível em: <www.fundoverde.ufrj.br>. Acesso em: 2016.

MAX, M.; LIMA, E.; LOUREIRO, R. **Informativo Energia**. Fundo Verde UFRJ. Rio de Janeiro. 2016.

NASCIMENTO, C. A. D. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. UFLA. Lavras. 2004.

NEMET, G. F. **Beyond the Learning Curve**. IEA World Energy Outlook. [S.l.]: [s.n.]. 2013.

PEREIRA, Ê. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

REN21. **Renewables 2016 Global Status Report**. [S.l.]: [s.n.]. 2016.

URBANETZ, J. J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados A Redes de Distribuição Urbanas**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012**. [S.l.]: [s.n.]. 2012

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687/2015**. [S.l.]: [s.n.]. 2015

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Ministério de Minas e Energia. **Ministério de Minas e Energia**, 2016. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMkWWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030>. Acesso em: 18 Agosto 2016

SENADO, A. Senado. **Senado**, Abril 2016. Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2016/02/24/saque-do-fgts-para-gerar-energia-em-casa-e-aprovado-pela-comissao-de-infraestrutura>>. Acesso em: 14 Agosto 2016.

VIEIRA, D.; CASTRO, M. A. L. **Caderno Temático ANEEL - Micro e Mini Geração Distribuída**. ANEEL. [S.l.]: ANEEL. 2016

INDICAÇÕES ELETRÔNICAS

ANEEL. Perdas de Energia. **ANEEL**, 2015. Disponível em:
<<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801&idPerfil=4>>. Acesso em: Agosto 2016

ARCANJO, A.; GUIMARÃES, G. Solarvolt. **Solarvolt**, 2016. Disponível em:
<www.solarvoltenergia.com.br>. Acesso em: 16 Agosto 2016

ARTICLE World. **Article World**, 2016. Disponível em:
<http://www.articleworld.org/index.php/Czochralski_process>. Acesso em: Agosto 2016

ANAIS DE CONCURSO SOLAR PADRE HIMALAYA. Conversão Fotovoltaica da Energia Solar. **Ciencia Viva**, Lisboa, 2005. Disponível em:
<<http://www.cienciaviva.pt/rede/energia/himalaya2005/home/indice.asp>>. Acesso em: Agosto 2016

EATON , 2016. Disponível em:
<<http://powerquality.eaton.com/Brasil/Support/Documentation/BR-glossary.asp>>. Acesso em: Agosto 2016

FERRAZ, C. O inexorável avanço da microgeração distribuída – Impactos da nova regulação. **Infopetro**, 2016. Disponível em:
<<https://infopetro.wordpress.com/2016/03/07/o-inexoravel-avanco-da-microgeracao-distribuida-impactos-da-nova-regulacao/>>. Acesso em: Agosto 2016

NEOSOLAR Energia, 2016. Disponível em:
<<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: Agosto 2016

PRÁTIL , 2014. Disponível em:
<<http://www.pratil.com.br/site/projetos/Estacionamento-Solar-60>>. Acesso em: Agosto 2016

SOLARGIS , 2016. Disponível em: <<http://solargis.info>>. Acesso em: Agosto 2016