



**Universidade Federal do Rio de Janeiro**  
**Escola Politécnica**  
**Programa de Engenharia Urbana**

Frederico Coutinho Guimarães Cotia

USO DE TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS E AEROGERADORES PARA  
GERAÇÃO DE ENERGIA NO MEIO URBANO

Rio de Janeiro

2015



**UFRJ**

Frederico Coutinho Guimarães Cotia

**USO DE TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS E AEROGERADORES PARA  
GERAÇÃO DE ENERGIA NO MEIO URBANO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

Rio de Janeiro

2015

Cotia, Frederico Coutinho Guimarães.

Uso de Tecnologias Fotovoltaicas e Aerogeradores para  
Geração de Energia no Meio Urbano / Frederico Coutinho  
Guimarães Cotia. – 2015.

89 f.: 40 il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) –  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica,  
Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2015.

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

1. Energia Elétrica. 2. Energia Renovável. 3. Eficiência  
Energética. 4. Energia Solar. 5. Energia Eólica. I. Pina Filho,  
Armando Carlos de. II. Universidade Federal do Rio de  
Janeiro. Escola Politécnica. III. Título.



**UFRJ**

**USO DE TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS E AEROGERADORES PARA  
GERAÇÃO DE ENERGIA NO MEIO URBANO**

Frederico Coutinho Guimarães Cotia

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

---

Presidente, Prof. Armando Carlos de Pina Filho, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ

---

Prof. Fernando Rodrigues Lima, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ

---

Prof.<sup>a</sup> Sylvia Meimaridou Rola, D.Sc., IVIG/COPPE

Rio de Janeiro

2015

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me sustentado durante todo o curso de mestrado, me dando graça, entendimento e condições de chegar até o fim .

Agradeço a minha esposa, que tanto me apoiou e ajudou, me dando força, sempre compreensiva e paciente. Devo muito a ela. Obrigado meu amor.

Agradeço a meus pais pelo incentivo que sempre me deram. Vocês foram de fundamental importância para que tudo isso acontecesse.

Agradeço a meus irmãos pelo apoio e dedicação.

Agradeço, também, ao meu orientador, professor Armando Carlos de Pina Filho, pelo apoio ao aceitar meu tema, e por me orientar nesse trabalho.

Aos meus amigos, e a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para elaboração desta dissertação.

## RESUMO

COTIA, Frederico Coutinho Guimarães. **Uso de Tecnologias Fotovoltaicas e Aeroogeradores para Geração de Energia no Meio Urbano**. Rio de Janeiro, 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

O Brasil vem passando por um momento hidrológico crítico. Do ponto de vista da eletricidade, o Brasil possui sua matriz energética baseada na hidrologia. Em momentos de escassez do recurso gerador (água) é necessário complementar a energia através de máquinas térmicas, grande parte delas movida a combustíveis derivados do petróleo, que, acredita-se, contribuem para o aquecimento do planeta. Outra forma de se complementar a oferta de energia no país e suprir a demanda crescente é através da utilização de fontes de geração local renováveis, como solar e eólica. Sendo assim, o trabalho objetiva apresentar as formas sustentáveis de geração de eletricidade com possibilidade de serem implantadas em locais onde há pouco espaço disponível e onde a demanda de eletricidade é uma das maiores do país. Os valores de instalação e manutenção devem ser competitivos com o preço da eletricidade cobrado pelas concessionárias locais e se possível, em algumas aplicações, ser mais viável economicamente, favorecendo a instalação da tecnologia solar ou eólica. O trabalho também apresenta um estudo de caso, feito em parceria com profissionais de mais duas diferentes áreas, com intuito de avaliar a viabilidade técnico-econômica da implantação desses sistemas na cidade do Rio de Janeiro. Conclui-se que é possível aplicar essas tecnologias no Brasil, inclusive como modo de suprir a oferta de energia no *grid*, e para que esse objetivo seja alcançado, incentivos governamentais são fundamentais.

Palavras-chave: energia elétrica, energia renovável, eficiência energética, energia solar, energia eólica.

## ABSTRACT

COTIA, Frederico Coutinho Guimarães. **Use of Photovoltaic Technologies and Wind Turbines for Power Generation in Urban Environment.** Rio de Janeiro, 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Brazil is currently undergoing a critical period concerning hydrolic energy availability. From the point of view of electricity, Brazil has its energy matrix based on hydrology. In times of scarcity of the resource generator (water) it is necessary to supplement the energy offer by the use of thermal energy, which relies basically on combustion of petroleum-based fuels, which are found to contribute global warming. Another way to supplement energy offer in Brazil and meeting the increasing demand could be through the use of on-site electricity generation from renewable sources, like solar and wind generation. Thus, this work aims to present sustainable forms of electricity generation which could be deployed in places where there is little space available and where there is a large electricity demand. Installation and maintenance costs must be competitive considering the price of electricity charged by local utilities and if possible, in some applications, they should be more economically viable, favoring the use of these technologies. This work also presents a case study, which was conducted in partnership with colleagues of two different backgrounds, in order to assess the technical and economic feasibility of the implementation of these systems in the city of Rio de Janeiro. Our conclusion is that it is possible to apply these technologies in Brazil, also as an opportunity to supply the power supply in the grid, and for this objective to be achieved, government incentives are considered very important.

Keywords: electricity, renewable energy, energy efficiency, solar energy, wind energy.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Matriz energética mundial .....	16
1.2 Matriz energética brasileira .....	16
1.3 Vantagens da geração local de energia em comparação com as soluções tradicionais .....	19
1.4 Objetivos gerais e específicos.....	20
1.5 Metodologia utilizada.....	20
1.6 Estrutura da dissertação .....	21
<b>2 GERAÇÃO LOCAL DE ENERGIA NAS GRANDES METRÓPOLES .....</b>	<b>22</b>
2.1 Configuração dos sistemas de geração local .....	23
2.1.1 <i>Sistemas autônomos</i> .....	23
2.1.2 <i>Sistemas conectados à rede</i> .....	24
2.1.3 <i>Sistemas híbridos</i> .....	25
2.1.4 <i>Seleção do sistema ideal</i> .....	26
2.2 Gestão de sistemas de geração.....	27
2.2.1 <i>Gestão da geração</i> .....	27
2.2.2 <i>Gestão do consumo</i> .....	27
2.2.3 <i>Gestão integrada</i> .....	28
2.3 Configurações básicas para o acoplamento em potência .....	28
2.3.1 <i>Controle dinâmico</i> .....	29
2.3.2 <i>Estratégia de operação</i> .....	30
2.4 Sistema de armazenamento de energia.....	30
2.4.1 <i>Sistemas eletroquímicos</i> .....	31
2.4.2 <i>Sistemas eletromecânicos</i> .....	31
2.4.3 <i>Sistemas de armazenamento de energia através da água</i> .....	32
2.5 Variáveis de projeto para sistemas de geração local .....	33
2.5.1 <i>Carga de pico</i> .....	33
2.5.2 <i>Carga média</i> .....	33
2.5.3 <i>Distribuição anual e diária da carga</i> .....	34
2.5.4 <i>Qualidade do serviço</i> .....	34

2.5.5 Perfil de consumo das residências brasileiras .....	34
2.6 Regras para geração de energia nas unidades consumidoras .....	37
2.6.1 Sistema de medição .....	39
2.6.2 Vantagens da geração local .....	39
<b>3 GERAÇÃO SOLAR.....</b>	<b>40</b>
3.1 Princípio de funcionamento das células fotovoltaicas.....	41
3.1.1 Tecnologias fotovoltaicas.....	42
3.1.2 Reguladores / controladores de carga .....	43
3.1.3 Inversor / conversor CC-CA.....	42
3.1.4 Seguidor de ponto de máxima potência - MPPT.....	44
3.2 Configuração dos sistemas fotovoltaicos .....	45
3.2.1 Sistema conectado à rede (On-Grid).....	45
3.2.2 Sistema autônomo (Off-Grid).....	47
<b>4 GERAÇÃO EÓLICA.....</b>	<b>49</b>
4.1 Energia eólica nas regiões brasileiras.....	51
4.2 Características dos aerogeradores.....	51
4.2.1 Aerogeradores de eixo horizontal .....	52
4.2.2 Aerogeradores de eixo vertical .....	53
4.2.3 Aerogeradores no meio urbano: modelo residencial.....	54
4.2.4 Aerogeradores montados sobre a cobertura do edifício.....	54
4.2.5 Aerogeradores integrados no edifício desde a construção .....	55
4.3 Sistema híbrido: eólico-diesel .....	56
4.4 Configurações básicas de sistemas com aerogeradores de pequeno porte .....	56
4.4.1 Sistemas isolados com acumulação de energia elétrica .....	57
<b>5 ESPECIFICAÇÃO DOS SISTEMAS E ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>60</b>
5.1 Parâmetros para escolha da tecnologia eólica .....	63
5.2 Parâmetros para escolha da tecnologia solar .....	66
5.3 Estudo de caso .....	67
5.3.1 Contextualização para a escolha do estudo de caso.....	67

5.4 Características dos containers.....	69
5.5 Simulação da eficiência dos containers .....	69
5.5.1 <i>Simulação do caso 1</i> .....	70
5.5.2 <i>Simulação do caso 2</i> .....	71
5.5.3 <i>Simulação do caso 3</i> .....	72
5.5.4 <i>Comparação entre os três casos</i> .....	73
5.6 Suprimento solar para o empreendimento .....	74
5.6.1 <i>Escolha do sistema de aproveitamento solar</i> .....	75
5.7 Simulação no Retscreen.....	75
5.7.1 <i>Simulação para um sistema eólico</i> .....	78
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>84</b>
<b>ANEXO A - ILUSTRAÇÕES ADICIONAIS PARA FUNDAMENTAÇÃO</b> .....	<b>88</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparação entre a matriz de geração de eletricidade no mundo entre os anos de 1980 e 2010 .....	16
Figura 2: Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil.....	17
Figura 3: Arco Metropolitano do Rio de Janeiro.....	23
Figura 4: Sistema híbrido .....	26
Figura 5: Sistema eletroquímico de armazenamento de energia .....	31
Figura 6: Sistema eletromecânico de armazenamento de energia.....	32
Figura 7: Sistema de armazenamento de energia através da água.....	32
Figura 8: Curva de carga diária com e sem o horário de verão. ....	33
Figura 9: Produção mundial de células fotovoltaica .....	41
Figura 10: Diferença de onda entre senóide pura e senóide modificada.....	44
Figura 11: Eficiência típica dos inversores .....	45
Figura 12: Arranjo fotovoltaico interligado a rede de eletricidade .....	46
Figura 13: Arranjo fotovoltaico com seguidor do ponto de máxima potencia.....	46
Figura 14: Sistema fotovoltaico ligado diretamente a cargas cc .....	47
Figura 15: Sistema fotovoltaico ligado diretamente a cargas cc, com armazenamento e controlador de carga .....	48
Figura 16: Anemômetro e cata-vento .....	50
Figura 17: Aerogerador de eixo horizontal.....	52
Figure 18: Aerogerador de eixo vertical.....	53
Figura 19: Pearl River Tower, aproveitamento eólico .....	56
Figura 20: Configuração típica para aerogeradores de pequeno porte conectados à rede.....	57
Figura 21: Sistema isolado com acumulação de energia elétrica. ....	58
Figura 22: Fluxograma de tomada de decisão para aproveitamento renovável solar e eólico. 61	
Figura 23: Parâmetros do aerogerador VPF18 de 50 KW .....	64
Figura 24: Atlas eólico do Estado do Rio de Janeiro .....	65
Figura 25: Atlas eólico do Estado do Rio de Janeiro, estações do ano .....	66
Figura 26: Bloco de residências construídas a partir de containers.....	68
Figura 27: Planta baixa de cada container .....	69
Figura 28: Configuração dos containers - caso 1 .....	70

Figura 29: Configuração dos containers - caso 2 .....	71
Figura 30: Configuração dos containers - caso 3 .....	72
Figura 31: Consumo anual por setor .....	73
Figura 32: Dados iniciais para simulação.....	76
Figura 33: Montante de eletricidade exportada para rede .....	76
Figura 34: Dados dos equipamentos utilizados no sistema .....	77
Figura 35: <i>Payback</i> do sistema.....	77
Figura 36: Gráfico do fluxo de caixa cumulativo.....	78
Figura 37: Gráfico de insolação diária .....	79
Figura 38: Montante de eletricidade exportada para rede (sistema eólico).....	80
Figura 39: <i>Payback</i> do sistema eólico .....	81
Figura 40: Gráfico do fluxo de caixa cumulativo (sistema eólico) .....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação dos níveis dos reservatórios brasileiros .....	18
Tabela 2: Consumo dos chuveiros elétricos .....	35
Tabela 3: Consumo dos aparelhos de ar condicionado.....	36
Tabela 4: Consumo dos aparelhos de refrigeração para alimentos .....	36
Tabela 5: Dados de painéis solares.....	43
Tabela 6: Consumo de energia elétrica para o caso 1.....	70
Tabela 7: Consumo de energia elétrica para o caso 2.....	71
Tabela 8: Consumo de energia elétrica para o caso 3.....	72
Tabela 9: Consumo de energia elétrica anual nos três casos .....	73
Tabela 10: Dados técnicos do painel solar CS6P-250P.....	75

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

A – Amper  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
AEEE – Anuário Estatístico de Energia Elétrica  
BEN – Balanço Energético Nacional  
CA – Corrente Alternada  
CC – Corrente Contínua  
CEPEL – Centro de Pesquisa da Eletrobrás  
cm – Centímetro  
CPF – Cadastro de Pessoa Física  
CNPJ – Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
EUA – Estados Unidos da América  
GW – Gigawatt  
GWh – Gigawatt-hora  
GWp – Gigawatt-pico  
h – Hora  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  
Isc – Corrente de Curto Circuito  
kg – Quilograma  
km<sup>2</sup> – Quilômetro Quadrado  
KW – Quilowatt  
KWh – Quilowatt-hora  
KWp – Quilowatt-pico  
m – Metro  
m<sup>2</sup> – Metro Quadrado  
mm – Milímetro  
m/s – Metro por Segundo

MPPT – Maximum Power Point Tracking / Seguidor do Ponto de Máxima Potência

MW – Megawatt

MWh – Megawatt-hora

MWp – Megawatt-pico

N/m – Newton por Metro

ONS – Operador Nacional do Sistema

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PWM – Pulse With Modulation / Modulação por Pulsos

RPM – Rotação por Minuto

R\$ – Reais

V – Volt

Voc – Tensão de circuito Aberto

W – Watt

Wh – Watt-hora

Wp – Watt-pico

°C – Graus Celsius

## 1 INTRODUÇÃO

O planeta está sofrendo uma grande transformação climática, percebida por fenômenos naturais severos: temperaturas mais altas, períodos de seca mais intensos e, em determinadas regiões, alagamentos e tsunamis. Acredita-se que muito dessa intensificação de fenômenos naturais está relacionada ao uso predatório da natureza pelo homem, e, na tentativa de reverter ou, pelo menos, desacelerar esse processo, existem inúmeros estudos voltados à sustentabilidade, cujo objetivo principal é a preservação dos ambientes naturais.

No que se refere à geração de eletricidade, área de estudo deste trabalho, as principais medidas de sustentabilidade visam o uso de fontes naturais renováveis em detrimento ao uso de combustíveis fósseis, que contribuem para a intensificação do efeito estufa. Nesse tópico, podem-se citar dois projetos voltados para a sustentabilidade na área de geração e distribuição de energia elétrica.

O primeiro deles se refere ao uso de recursos naturais renováveis, como sol e vento, para obtenção de energia elétrica. O projeto, realizado pelas empresas BioRegional e Peabody, deu origem a um eco-bairro chamado BedZED, que é uma sigla para Beddington Zero Energy Development, como o próprio nome já diz: Desenvolvimento de Zero Energia (Fóssil) de Beddington. Esse empreendimento foi projetado para ser neutro em carbono e gerar toda a energia consumida por ele (em forma de eletricidade, água quente e calefação) no próprio local, através de fontes renováveis (HALTRECHT e HODGE, 2009).

O segundo estudo teve como objetivo a eletrificação de parques através de sistemas fotovoltaicos, em locais onde a passagem de rede de distribuição seria inviável, fosse pelo pouco consumo, pela poluição da paisagem natural ou, até mesmo, pela interferência no processo reprodutivo de espécies em extinção devido à alteração da rota migratória pela passagem do cabeamento (GALDINO *et al.*, 2012).

Ambos os trabalhos citados ilustram situações em que a opção pelo uso de energia de fontes alternativas sustentáveis, no caso de ambos, eólica e solar, é feita por razões distintas. Enquanto no BedZED, a escolha pela geração de energia a partir de fontes sustentáveis derivou-se da própria concepção do projeto em si, no caso mostrado por Galdino *et al.* (2012), a escolha do tipo de planta decorreu da impossibilidade de alimentar o local com energia disponível na rede.

## 1.1 Matriz energética mundial

Impulsionada por esse pensamento sustentável, a produção de energia a partir de recursos naturais tem crescido, porém, os recursos não-renováveis, ainda que cada vez mais estigmatizados por contribuírem para a intensificação do efeito estufa e, conseqüente, aumento da temperatura global, continuam sendo a principal fonte de energia do planeta. Como se pode observar na figura 1, que compara a matriz de geração de eletricidade no mundo entre os anos de 1980 e 2010, a matriz energética mundial é baseada em combustíveis fósseis e nota-se aumento na participação de fontes renováveis de eletricidade, embora ainda não representem uma fatia expressiva da matriz.

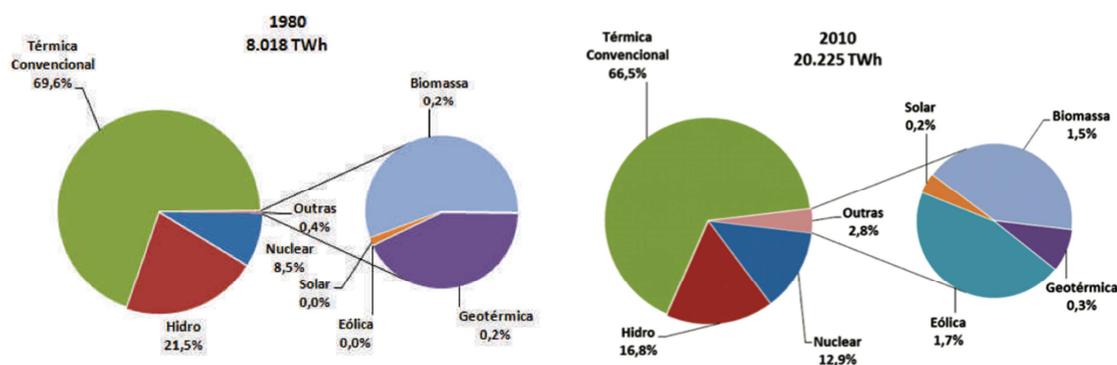


Figura 1. Comparação entre a matriz de geração de eletricidade no mundo entre os anos de 1980 e 2010.

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) 2013; Elaboração: EPE.

De acordo com a Figura 1, em 1980, a geração a partir de fontes eólicas e solares era praticamente nula na matriz mundial, sendo a hidroeletricidade a grande favorecedora para que a matriz mundial tivesse sua parcela de energia limpa, seguida pela nuclear e biomassa, tendo essa última uma contribuição muito pouco expressiva. Em 2010, por sua vez, é notório o avanço tecnológico na utilização destes dois recursos naturais abundantes: sol e vento.

## 1.2 Matriz energética brasileira

A matriz energética brasileira é predominantemente de origem renovável, isto porque a geração hidráulica representa 64,9% da oferta interna de energia elétrica. Na figura 2 observa-se que a oferta interna de energia elétrica por fonte hidráulica representa 70,6%.

Este valor maior do que o mencionado inclui a importação de energia, que no caso do Brasil, é também renovável. Na oferta por biomassa também está incluída a lenha, bagaço de cana, lixo e outras recuperações. A geração a partir de carvão e derivados inclui gás de coqueiral. Observe que na matriz brasileira não consta a energia solar, ou seja, ainda não dispomos dessa fonte para suprir a demanda nacional, mas já existem alguns parques que devem entrar esse ano para leilão de energia.

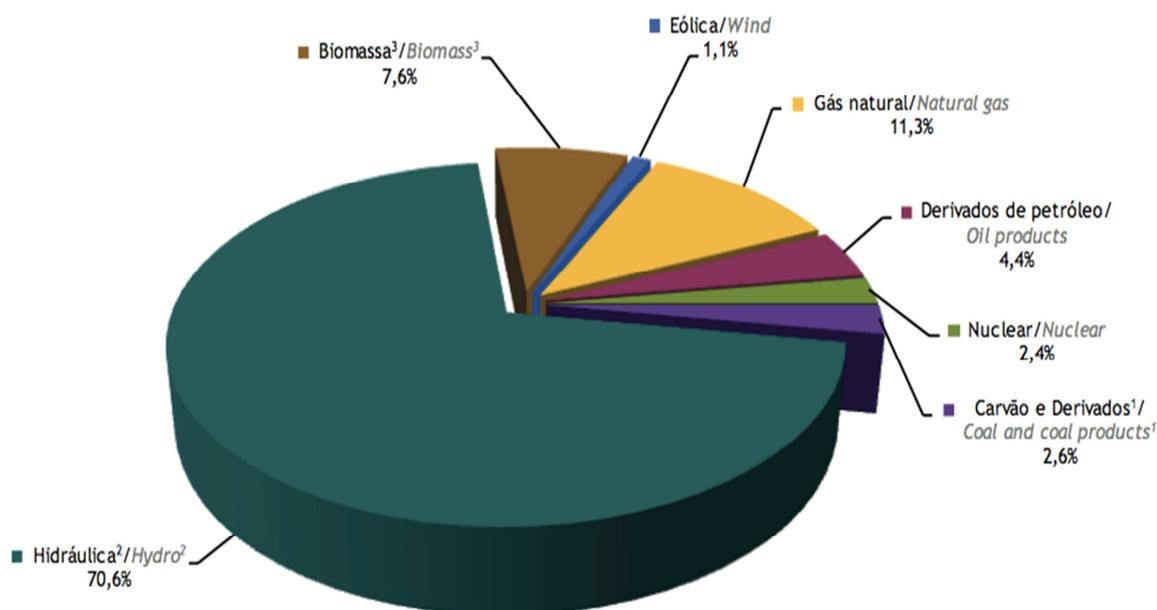


Figura 2. Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil. Fonte: EPE, BEN 2014.

Atualmente, no Brasil, o recurso natural mais amplamente explorado para a geração de energia elétrica é a água, o que o torna um dos poucos países cuja matriz de geração de eletricidade é predominantemente baseada em recursos naturais. Ao se projetar uma central geradora de energia elétrica baseada no aproveitamento de recursos hídricos é feito um estudo de sazonalidade. O estudo de sazonalidade tem por objetivo analisar as limitações hidrológicas do rio, com o intuito de se avaliar a real potência (medida em Megawatts) da usina a ser construída, potência essa que poderá ser alcançada durante todo o ano. Caso não se alcance a potência pretendida baseado na energia firme, ou seja, energia que é gerada com a vazão e regularizações naturais (REIS, 2010), é necessária a construção de barragens para regularização da vazão do rio. O estudo de sazonalidade leva em consideração um período de recorrência longo, de cerca de 20 ou 30 anos, ou desde quando houver registros. Durante esse tempo, são estudadas as características do rio: nível do rio,

vazão, período de seca, meses em que houve precipitações e em qual intensidade, e se foram na cabeceira e/ou ao longo do rio, ou seja, que contribuíram para vazão final.

O país, no entanto, está diante de um cenário hidrológico crítico. Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico, o ONS, os níveis dos reservatórios de água destinados ao abastecimento e geração de energia, ao final de 2014 e início de 2015, estavam abaixo dos limites considerados alarmantes, em certas regiões, e o volume atual de chuvas abaixo das três últimas décadas. Esses níveis podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1. Comparação dos níveis dos reservatórios brasileiros. Fonte: ONS.

<b>Região</b>	<b>Nível dos Reservatórios 16/11/2014</b>	<b>Nível dos Reservatórios 23/02/2015</b>
Sudeste e Centro-Oeste	16,57%	20,24%
Nordeste	3,51%	17,53%
Norte	30,05%	30,05%
Sul	77,46%	77,46%

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2014), o Brasil dispõe de usinas termoeletricas que representam 28,8% na matriz energética brasileira. Esse percentual, no entanto, tende a aumentar à medida que essas usinas sejam acionadas à plena capacidade, para compensar a queda da quantidade de energia gerada a partir das usinas hidrelétricas, devido à ausência de chuvas. Além disso, quando o Operador Nacional do Sistema (ONS) faz uso das termoeletricas, o custo da energia produzida aumenta e, conseqüentemente, aumentam as tarifas da energia utilizada pelo consumidor, sem contar o aumento na emissão de gases estufa decorrentes da produção de energia por essas usinas movidas a combustíveis fósseis.

Diante deste cenário, torna-se necessário o investimento na complementação da energia elétrica brasileira por outras fontes geradoras de energia limpa, fontes essas, que não sejam baseadas na hidroeletricidade e que estejam disponíveis no momento em que forem solicitadas.

### 1.3 Vantagens da geração local de energia em comparação com as soluções tradicionais

Quando da instalação de uma nova usina geradora de eletricidade, cria-se um conjunto industrial de obras e equipamentos cujo objetivo é a geração de energia elétrica através de aproveitamento do potencial energético de uma fonte energética qualquer. Dependendo da quantidade de carga a ser gerada pela usina, suas dimensões podem se tornar grandiosas, possivelmente na casa dos milhares de quilômetros, o que torna proibitiva a sua construção na proximidade de grandes centros consumidores. Sendo assim, na maioria das vezes, usinas geradoras de energia a partir de fontes convencionais são construídas longe dos centros consumidores, não somente pela área requerida para sua construção, mas também por medida de segurança.

Além da construção da usina, é necessária a transmissão da energia gerada na usina para centrais que farão a distribuição e o controle da energia até os consumidores. O cabeamento responsável pela transmissão é projetado de acordo com a capacidade de energia que será transmitida, considerando-se uma margem para futuras expansões (Plano Decenal de Energia, EPE, 2014).

Tomando-se como exemplo algo que acontece no Brasil, nas regiões norte e nordeste existem algumas usinas de geração de eletricidade a partir de energia eólica e solar, em virtude da favorabilidade que suas posições geográficas representam para um grande potencial de geração a partir dessas fontes de energia. No entanto, o cabeamento destinado à transmissão da energia produzida por essas usinas não tem capacidade suficiente para transmitir a quantidade de energia gerada por elas, ou seja, não basta que se invista na construção de usinas geradoras de energia a partir de fontes renováveis, também é necessário o investimento na construção de novas linhas de transmissão capazes de “escoar” a quantidade extra de energia produzida.

Entre as vantagens para a utilização da energia solar e eólica está o fato de que, por estarem disponíveis praticamente em qualquer lugar e pela versatilidade da tecnologia de geração, é possível gerar energia a partir dessas fontes tanto em larga escala, em usinas geradoras de grande porte, que ocupam grandes áreas e necessitam de grande investimento em construção e manutenção de linhas de transmissão, como em pequena escala, através do uso de minigeradores em residências ou estabelecimentos comerciais. A geração de energia *in-situ*, em pequena escala, pode se tornar um atrativo nas áreas urbanas, onde o

adensamento e consumo são crescentes, e a oportunidade de eliminar gastos com os custos de transmissão e distribuição da energia torna-se cada vez mais interessante. A instalação da tecnologia solar e eólica pode ser uma grande aliada em locais nos quais, por motivos ambientais e/ou normativos, não é permitida a instalação de um parque eólico ou solar, mas somente uma instalação de menor potência.

#### 1.4 Objetivos gerais e específicos

O objetivo do presente trabalho é analisar a viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos e aerogeradores de pequeno porte para geração de energia elétrica de forma sustentável nos meios urbanos. Acredita-se que esta seja uma forma de se aliar a necessidade de contribuir para a conservação do meio ambiente à redução de gastos com eletricidade por famílias e à possibilidade de difusão das tecnologias.

Por difusão das tecnologias, entende-se, entre outras coisas, a extensão de seu uso para outras construções, tanto novas como existentes, não somente nos meios urbanos, mas também em locais em que ainda não haja rede de distribuição disponível ou locais que não suportem a inserção de novos pontos de carga.

Espera-se, também, que este material sirva para amparar profissionais que desejam aplicar soluções sustentáveis de geração de energia, seja numa construção nova ou existente, listando os parâmetros chave na escolha das tecnologias a serem utilizadas e as variáveis que devem ser levadas em conta para a tomada de decisão.

#### 1.5 Metodologia utilizada

Inicialmente, se fez um levantamento bibliográfico sobre as tecnologias de geração de eletricidade eólica e solar disponíveis no mercado. Essas duas fontes de energia foram escolhidas por serem fontes alternativas sustentáveis baseadas em recursos naturais abundantes no Brasil.

Com informações disponíveis na literatura, especificações técnicas dos equipamentos usados para a geração e dados ambientais, como velocidade do vento e direção e intensidade de incidência de raios solares, foi possível identificar os parâmetros chave a serem levados em conta na tomada de decisão sobre a viabilidade da escolha de qualquer

dessas tecnologia para suprimento de energia de um empreendimento de pequeno a médio porte.

Para demonstrar a eficiência da geração, foi feito um estudo de caso da aplicação dessas tecnologias renováveis para suprir, em parte, a demanda de eletricidade de um empreendimento residencial construído a partir de containers. Nesse estudo, além da seleção dos equipamentos a serem utilizados, foram feitas simulações da quantidade do balanço de energia gerada no software Retscreen, a ser detalhado no capítulo 5, usando dados de sol e vento do Estado do Rio de Janeiro como referência.

## 1.6 Estrutura da dissertação

O Capítulo 1 consiste de uma introdução na qual se descrevem os cenários de geração de eletricidade mundial e nacional, e se apresenta justificativas para o uso de fontes de energia alternativas renováveis pontuais, ou seja, no próprio local de consumo, no cenário.

No Capítulo 2 são descritas as configurações de sistemas de geração local e sua aplicação e gestão. Apresenta-se, ainda, uma visão geral das regras impostas atualmente pelas concessionárias de energia para o acoplamento desses sistemas à rede de eletricidade.

Nos dois capítulos seguintes explica-se o funcionamento e a aplicação das tecnologias discutidas: o Capítulo 3 é dedicado à energia solar e o Capítulo 4 à eólica.

O Capítulo 5 lista parâmetros para escolha das tecnologias solar e eólica, evidenciando quando uma escolha torna-se mais vantajosa para aplicação que a outra. Este capítulo também é composto por um estudo de caso, feito em conjunto com outros alunos do curso de mestrado do PEU, da utilização de containers para moradias populares, em termos de eficiência energética e do uso das tecnologias de geração local solar e eólica para suprir a demanda de energia desse tipo de residência.

Por fim, no Capítulo 6 encontram-se as conclusões do trabalho.

## 2 GERAÇÃO LOCAL DE ENERGIA NAS GRANDES METRÓPOLES

Segundo Almeida (2013):

O mais recente relatório sobre o Déficit Habitacional Brasileiro, elaborado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), a partir de dados do IBGE, persiste no País uma demanda de 5,4 milhões de residências. Essa carência é majoritariamente urbana (81%). Nem poderia ser diferente, pois mais de 90% dos habitantes vivem nas cidades.

Os dados do IBGE mostram um crescente adensamento urbano, que se deve à proximidade dos estabelecimentos de conveniência à população e também aos locais de trabalho. Esse adensamento urbano provoca inúmeros malefícios à população e ao meio ambiente, causando um desconforto ao indivíduo exposto, especialmente porque na maioria das vezes é fruto de um crescimento urbano desordenado e sem o devido planejamento. As construções são dispostas de tal modo que a circulação de vento entre as ruas e residências é impedida e a iluminação é prejudicada devido à verticalização abundante (ABREU, 1997).

Um dos setores em que há reflexos negativos do adensamento urbano e do crescimento desordenado das cidades brasileiras é o de eletricidade. Tanto pelo ponto de vista do aumento da carga demandada pelo aumento não planejado do número de residências ligadas à rede, seja formal ou informalmente, mas também pela maior necessidade de energia para tornar confortáveis ambientes não planejados para serem energeticamente eficientes.

Para tornar os ambientes confortáveis a qualquer pessoa exposta a eles, faz-se o uso de grandes quantidades de energia. Com a falta de ventilação, o uso de aparelhos condicionadores de ar cresce e a necessidade de iluminação faz com que lâmpadas fiquem ligadas por muitas horas durante todo o dia. Quando ocorre algum evento natural, como a seca dos reservatórios de água durante o verão, é necessário criar estratégias para que o consumo de energia convencional seja reduzido, sem trazer desconforto às pessoas.

Nesse cenário, a geração de eletricidade a partir de fontes alternativas renováveis serve como aliada. Devido à falta de espaço nos centros urbanos, fica inviável a construção de uma central geradora de grande porte que possa suprir a demanda de toda a cidade e, portanto, é preciso recorrer a soluções locais individualizadas.

## 2.1 Configuração dos sistemas de geração local

De acordo com Reis (2010), os empreendimentos que utilizam geração local de energia operam e são classificados de modos distintos, como: sistemas autônomos (*Off-Grid*), sistemas conectados à rede (*On-Grid*) e sistemas híbridos.

### 2.1.1 Sistemas autônomos

O sistema autônomo ou sistema *Off-Grid* é fundamental para proporcionar eletricidade a uma aplicação onde não se disponha de rede elétrica convencional ou em que o uso de fontes alternativas seja economicamente mais viável. O sistema *Off-Grid* opera de maneira isolada e depende unicamente de si para geração de energia elétrica. Por se tratar de um sistema sem apoio de outras tecnologias, geralmente, possui um grupo de armazenamento de energia para manter o fornecimento da carga sem interrupções, inclusive quando o recurso utilizado para geração de energia não está disponível.

O armazenamento é composto por um banco de baterias e necessita, dependendo da aplicação, de controladores de carga e inversores CC/CA. Conforme a tecnologia escolhida, o sistema pode alimentar cargas em corrente contínua ou em corrente alternada, necessitando ou não de um inversor para transformação da corrente.



Figura 3. Arco Metropolitano do Rio de Janeiro. Fonte: Jornal Odia, 13/01/2015.

Um exemplo com grande aplicação a sistemas isolados são as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), nos casos em que se tem disponível o recurso hidráulico. Outro exemplo é a iluminação do arco metropolitano do Rio de Janeiro (figura 3). A opção usada nesse sistema foram postes acoplados a um gerador solar individual. Dessa forma, prescinde-se das linhas de transmissão, que contribuem para a poluição visual, devido à passagem de cabos, e representam custos elevados.

### 2.1.2 Sistemas conectados à rede

O sistema conectado à rede ou sistema *On-Grid* opera interligado à rede de distribuição de energia e, por essa razão, deve seguir as regras da operadora de energia para que esse sistema se acople em potência. A estabilidade elétrica, frequência e tensão devem ser mantidas constantes e são controladas pelo operador da rede.

Uma das grandes vantagens no uso desse tipo de sistema é a possibilidade de se eliminar um dos elementos mais complicados do sistema de geração elétrica: a acumulação de energia. Neste caso, como a própria rede faz o papel de fornecedora em momentos em que o sistema está em déficit e de consumidora quando o sistema gera energia em excesso, não é necessária a inclusão de um banco de baterias para suprir a carga em momentos de déficit, o que encarece muito o sistema (REIS, 2010).

Os medidores de energia mais comumente encontrados nas residências brasileiras são do tipo unidirecional. Este modelo tem o objetivo de registrar a quantidade de energia consumida pelo usuário em um único sentido do fluxo de corrente, que é o da rede para a residência.

Quando entram em cena os painéis fotovoltaicos, que podem ser capazes de gerar maior quantidade de energia que a consumida em alguns períodos de tempo, surge a oportunidade de exportar (vender) energia para a rede, mas essa medição era impossível com os medidores unidirecionais.

Diante dessa necessidade surgiram os medidores bidirecionais, que são capazes de registrar o fluxo de corrente em ambos os sentidos. A partir de então a geração local de energia vem trilhando um novo caminho, abrindo a possibilidade de trocas com a rede de distribuição: é consumidora nos momentos em que a energia gerada é menor que a consumida e é fornecedora quando há produção excedente.

### 2.1.3 Sistemas híbridos

Os sistemas híbridos são caracterizados pela presença de distintas tecnologias de geração de energia, e permitem uma gama de possíveis aplicações e usos. O uso de um sistema híbrido pode ser uma solução quando se deseja utilizar uma fonte renovável, como solar e eólica, mas se necessita de um sistema gerador complementar, baseado em outro tipo de fonte, a fim de garantir o suprimento de energia em momentos que o rendimento dos mesmos esteja baixo. Dessa forma, uma maneira de reduzir seu custo é projetá-lo, não para suprir toda a demanda no pico de consumo, mas para complementar os picos de outros sistemas.

A forma mais usual de sistema híbrido é obtida pela inclusão de baterias ou de um grupo eletroquímico, e esses sistemas são, normalmente, de pequena potência (menor que 50 KW)(REIS, 2010).

Os grupos eletroquímicos são geralmente compostos por um motor de combustão interna que move um gerador elétrico. Este sistema é comumente formado por outros subsistemas que incluem: refrigeração, depósito de combustível, bateria de arranque e painel de controle. Esses grupos podem, ainda, ser classificados pelo tipo de combustível usado para o seu funcionamento: diesel, gasolina, propano e biocombustível, apresentando a vantagem de fornecer energia sobre a demanda sem a necessidade de baterias.

Se comparados com outras formas de geração de eletricidade, como os aerogeradores e os módulos fotovoltaicos, os grupos que funcionam com combustíveis fósseis têm baixos custos de capital inicial, mas possuem altos custos de operação e manutenção, sem levar em conta os impactos causados ao meio ambiente.

Como dito, os sistemas híbridos podem ser configurados com duas ou mais tecnologias de geração de energia. Os sistemas híbridos mais comumente encontrados são os sistemas: solar-rede de distribuição; solar-eólica; eólica-rede de distribuição; solar-eólica-rede de distribuição. Se esses sistemas forem instalados em locais isolados podem incluir, ainda, um grupo de geradores, seja um grupo diesel ou outra tecnologia de gerador, para que o fornecimento de energia para a carga não seja interrompido na indisponibilidade de alguma das fontes alternativas renováveis, como solar e eólica.

A Figura 4 ilustra um sistema híbrido com algumas fontes de energia trabalhando em conjunto.

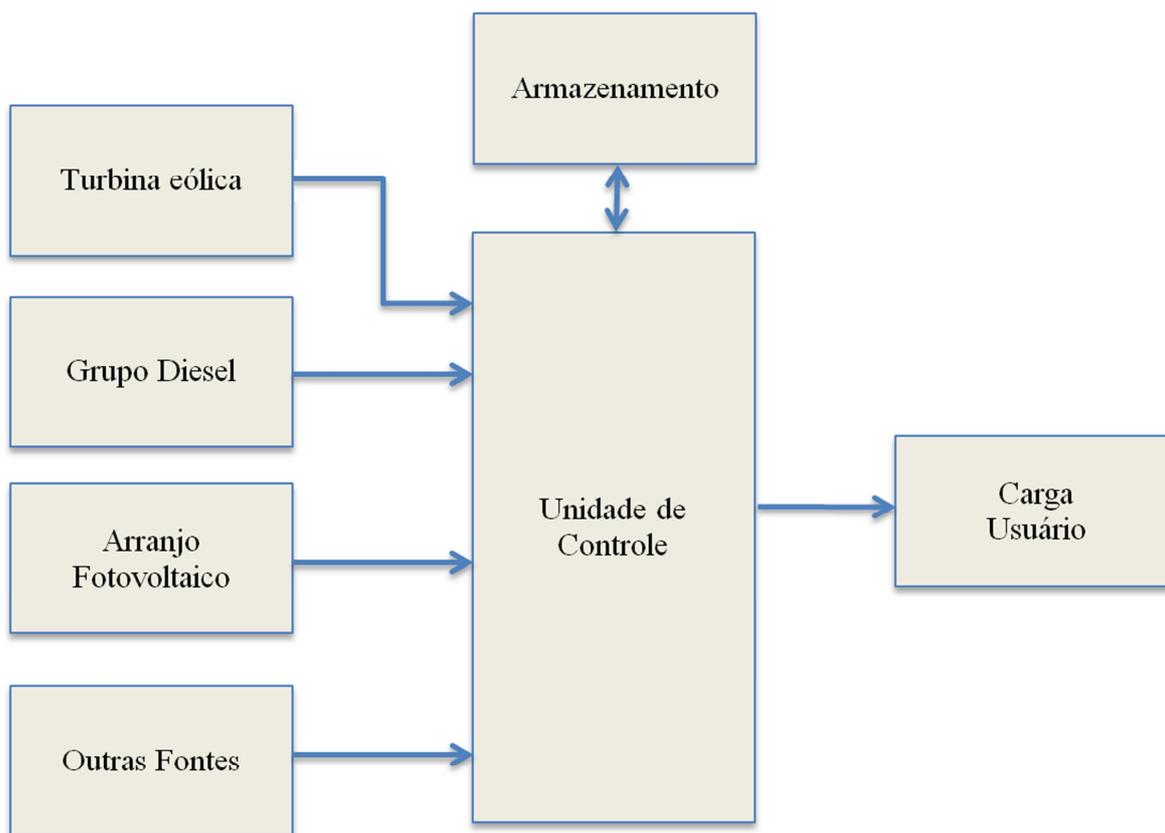


Figura 4. Sistema Híbrido. Fonte: elaborado pelo autor.

#### 2.1.4 Seleção do sistema ideal

Através de quaisquer dos três tipos de sistemas apresentados é possível proporcionar o uso de eletricidade a qualquer aplicação. Quando se deseja estender o uso de energia a um determinado lugar que não dispõe deste recurso são feitos estudos para verificar qual a melhor solução do ponto de vista econômico.

A primeira tentativa é verificar a possibilidade de extensão da rede elétrica mais próxima até a aplicação. Uma análise econômica deve ser feita levando-se em conta variáveis como: distância, nuances do relevo e da potência elétrica e, em função delas, calcula-se seu custo. Uma vez que se conclua que essa solução não é viável, uma forma de geração de eletricidade por meio de energias alternativas renováveis (solar e eólica) seria uma possibilidade de ser adotada.

## 2.2 Gestão de sistemas de geração

Os sistemas podem ser gerenciados de maneiras distintas: priorizando-se a quantidade a ser gerada; a quantidade a ser consumida; ou um misto das duas.

### 2.2.1 *Gestão da geração*

O objetivo da gestão da geração é garantir o fornecimento da potência necessária à planta em cada tempo. Para alcançar esse objetivo normalmente é necessária uma solução híbrida, por exemplo, uma que utilize energia solar e eólica, e, com frequência, inclui-se algum meio de armazenamento de energia elétrica de longo prazo (como baterias ou bombeamento de água) ou algum grupo eletrógeno.

Desse modo, essa solução pode ser independente (somente renovável) ou complementada pelo grupo eletrógeno. Ela se aplica em sistemas em que os consumos a alimentar são principais ou dedicados, ou seja, devem ser atendidos quando solicitado pelo usuário.

### 2.2.2 *Gestão do consumo*

O objetivo da gestão do consumo é variar a característica do consumo para que a geração de potência permaneça constante. Para alcançar esse objetivo é necessário regular a potência dos consumos.

Essa solução, obviamente, só pode ser utilizada em aplicações nas quais não existam consumos principais, sendo os consumos reguláveis pelo sistema (são atendidos quando o sistema decide).

Um exemplo bem simples, relacionado aos hábitos de consumo numa residência, se refere ao caso em que o usuário ligue algum equipamento não prioritário num momento em que o sistema não esteja com rendimento suficiente para alimentar aquela aplicação. Nesse caso, o sistema de controle tem autonomia para desligar o aparelho e fazer com que o usuário o utilize num momento mais conveniente em termos de geração de energia.

### 2.2.3 *Gestão integrada*

Neste caso, coexistem no sistema consumos principais, que necessitam ser atendidos quando o usuário desejar, e consumos reguláveis, gerenciados pelo controle central do sistema.

Para o consumo principal, a potência demandada pelo equipamento deve estar disponível em todo e qualquer tempo. Desse modo, esse equipamento pode ser ligado a qualquer momento sem que haja qualquer tipo de restrição por parte do sistema, e o mesmo deve ser capaz de alimentá-lo.

Como exemplos de equipamentos considerados como consumo principal pode-se citar: câmeras, alarmes, monitores e sistemas de trancamento e destravamento de portas, comumente usados em sistemas de segurança. Estes sistemas devem permanecer ligados mesmo quando o fornecimento de energia pela geração renovável (solar e eólica) não estiverem disponíveis.

Em se tratando de consumo regulável, o usuário é responsável por deixar o equipamento pronto para executar uma determinada tarefa, e o sistema é responsável por ligar o equipamento no momento em que gerasse potência suficiente para alimentá-lo durante todo o ciclo de sua atividade. Um exemplo de equipamento de consumo regulável é uma máquina de lavar. O usuário, nesse caso, colocaria as roupas a serem lavadas e o sabão na máquina e, quando houvesse energia suficiente para executar a tarefa, ela seria ligada automaticamente.

A diferença entre a gestão do consumo e a gestão integrada é que no primeiro, a decisão em ligar ou desligar um equipamento é sempre feita pelo sistema e não pelo usuário, já no segundo, é feita uma gestão integrada de usos que são considerados prioritários pelo usuário do sistema e usos não prioritários.

### 2.3 Configurações básicas para o acoplamento em potência

Para os sistemas conectados à rede, a mesma se encarrega do acoplamento em potência (nesta escala de geração, a rede é considerada ideal, ou seja, a rede é capaz de assumir toda a potência que lhe for fornecida e é capaz de fornecer toda a potência que se

lhe for demandada), de modo que este não é um aspecto que o projetista da instalação precise levar em consideração, o que torna o sistema mais simples (ROBBA, 1972).

Não ocorre o mesmo ao se desenhar uma planta isolada com energia renovável, no qual o princípio do acoplamento em potência é um quesito básico para manter a estabilidade elétrica. A frequência de geração tem que coincidir com a frequência da rede, caso contrário não há acoplamento. Na ausência de qualquer tipo de armazenamento, a potência fornecida pelo sistema de geração renovável deve igualar-se à consumida pelas cargas.

Entretanto, não existe essa coincidência de maneira natural, visto que a geração renovável, como o vento ou o sol, tende a produzir um fornecimento intermitente, enquanto os consumos, por sua vez, requerem perfis mais estáveis, ainda que também com variações que dependem das aplicações. O desafio básico é, portanto, criar alguma arquitetura e estratégia de controle para o sistema que permita alcançar o equilíbrio de potência.

Como exposto, a principal dificuldade para o controle de sistemas de geração elétrica isolados com renováveis é que sejam capazes de assegurar o fornecimento elétrico apesar das grandes variações na potência gerada, causadas pela natureza intermitente das fontes renováveis, mantendo, ao mesmo tempo, a voltagem e a frequência dentro de limites aceitáveis.

A otimização da operação representa a escolha da melhor combinação de componentes para conseguir um balanço no fluxo de energia, cumprindo metas previamente estabelecidas e respeitando os limites e as restrições que a operação do sistema impõe.

### *2.3.1 Controle dinâmico*

Atua na escala de segundos ou milissegundos e é responsável pela tensão e frequência necessárias para manter a estabilidade da rede.

Esse controle faz o chaveamento necessário para troca de sistemas (seja: rede-solar, rede-eólica ou solar-eólica) e é feito de maneira tão rápida que os equipamentos ligados a esse sistema não “percebem” essa mudança. Dessa maneira, os aparelhos ligados à rede

não se desligam e equipamentos mais sensíveis, por exemplo, aqueles que exigem programação, como os de segurança e circuitos de TV, não perdem sua rotina de trabalho.

### *2.3.2 Estratégia de operação*

O controle relacionado com a estratégia de operação do sistema atua na escala de vários segundos a várias horas, otimizando assim a operação do sistema.

O controle do sistema é responsável por fazer valer as regras impostas pelo operador na parte física do sistema, de maneira que o maior rendimento seja alcançado. Esse controle impõe restrições de uso para sistemas alimentados como prioritários e não prioritários.

A prioridade é programada para que o melhor aproveitamento do conjunto seja obtido e para que as partes móveis tenham sua vida útil aproveitada ao máximo. Como exemplo, pode-se citar o banco de baterias. Se a carga desse equipamento é esgotada ao mínimo, a vida útil desse equipamento diminui e, conseqüentemente, sua substituição será feita antes do prazo estimado no planejamento do sistema, o que aumenta o custo do sistema como um todo. Então, nesse caso, o sistema é responsável por controlar a carga dos bancos de baterias, não permitindo que o nível do banco fique abaixo do nível estabelecido pelo fabricante.

## 2.4 Sistema de armazenamento de energia

O armazenamento de energia costuma ser o fator fundamental ao implementar sistemas de alimentação isolados com energias renováveis. Antes de se escolher o tipo e o tamanho do sistema de armazenamento, deve-se considerar qual é o seu objetivo.

A utilização de energias renováveis está ligada aos sistemas de armazenamento, visto que a disponibilidade e intensidade do recurso natural não pode ser controlado pelo homem, como no caso da energia solar e eólica, em que não se pode determinar que haja sol ou vento quando se deseja. Sendo assim, necessita-se de um sistema de armazenamento.

Os sistemas de armazenamento mais comumente encontrados são: eletroquímicos, eletromecânicos, e através da água. Além desses, muitas tecnologias vêm sendo

desenvolvidas ou aperfeiçoadas, como por exemplo, a pilha combustível a hidrogênio, que alcançou alguma notoriedade. No entanto, as baterias continuam sendo a tecnologia mais utilizada.

#### 2.4.1 Sistemas eletroquímicos

Nesta tecnologia incluem-se todos os tipos de baterias convencionais (chumbo-ácido) e avançadas (figura 5), desenvolvidas para melhorar a densidade da potência e energia.



Figura 5. Sistema eletroquímico de armazenamento de energia. Fonte: <http://minhacasasolar.com.br>

#### 2.4.2 Sistemas eletromecânicos

Consistem em armazenadores cinéticos baseados nos volantes de inércia convencionais fabricados em aço, ou nos avançados, fabricados com materiais compostos (figura 6). No caso de volantes de aço de baixa rotação (de 3.000 a 5.000 rpm), este tipo de sistema normalmente se acopla diretamente ao eixo que une o motor diesel e o gerador síncrono, ou através de uma transmissão mecânica que permite variar sua velocidade em uma margem estreita. No caso de volantes de velocidade variável e normalmente maior, esses estão acoplados eletricamente através de um conversor eletrônico bidirecional, que permite variar a velocidade de rotação do volante em uma margem de largura (de 30.000 a 50.000 rpm), podendo dispor de mais energia útil. A autonomia normal de operação pode alcançar alguns minutos, dependendo da potência requerida.

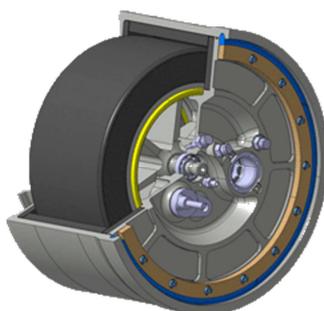


Figura 6. Sistema eletromecânico de armazenamento de energia. Fonte: <http://aroundvolvocars.es>

### 2.4.3 Sistemas de armazenamento de energia através da água

Um sistema que tem resultados satisfatórios no que diz respeito ao armazenamento é o bombeamento de água (figura 7). Neste tipo de sistema, água é bombeada até certa altura e armazenada. No momento em que se precisa gerar energia, a energia potencial é convertida em energia cinética pela ação da gravidade e, por meio de turbinas, transforma-se em energia mecânica para mover o gerador de energia elétrica. Esse processo costuma ser utilizado em hidrelétricas, onde parte da água vertida para movimentar uma turbina é bombeada para um reservatório, com intuito de ser utilizada posteriormente. O bombeamento é feito na maioria das vezes por geração solar ou eólica (REIS, 2010).

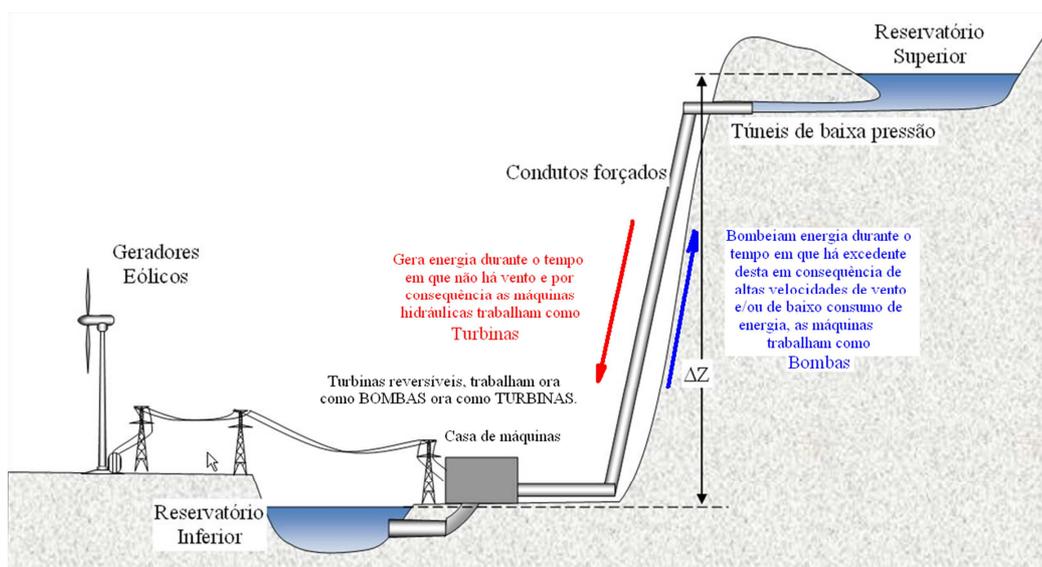


Figura 7. Sistema de armazenamento de energia através da água.

Fonte: <http://www.engenheirmaestri.com/2012/03/barragem-de-foz-tua.html>

## 2.5 Variáveis de projeto para sistemas de geração local

As características de consumo são o ponto chave a ser avaliado para o projeto e planejamento de um sistema, sendo este o fator de maior influência sobre o projeto. Para realizar o dimensionamento é, portanto, necessário conhecer algumas dessas características, que são ilustradas na figura 8 e estão enumeradas nas próximas Seções.

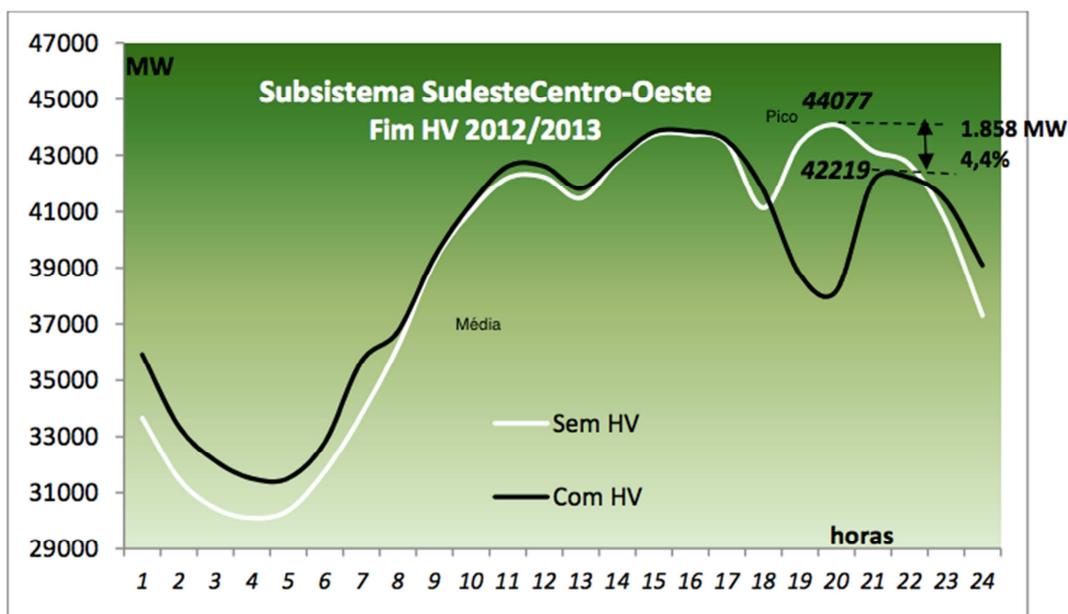


Figura 8. Curva de carga diária com e sem o horário de verão. Fonte: ONS 2012.

### 2.5.1 Carga de pico

É a carga solicitada pelo consumo de maior intensidade no dia. Os componentes do sistema, especialmente as proteções, a fiação e o condicionamento de potência, devem ser dimensionados de modo que o sistema possa fornecer a carga de pico sem sofrer dano. A carga de pico de um sistema está discriminada na figura 8.

### 2.5.2 Carga média

É a média da carga durante um período de tempo estudado. Essa média conduzirá ao tamanho dos componentes de produção de energia e pode também influenciar na escolha dos componentes. Essa carga é demonstrada na figura 8.

### *2.5.3 Distribuição anual e diária da carga*

Apresenta o comportamento da carga durante o período diário distribuída de modo anual. As cargas que entram em operação durante o verão e as diurnas favorecem a utilização do vento e sol. As cargas de inverno são mais apropriadas para grupos elétricos e quando há presença de aproveitamento eólico, os aerogeradores são uma boa opção. Se os recursos eólicos e solares se complementassem sazonalmente, então um sistema híbrido sol-vento poderia ser muito apropriado, por exemplo, se o recurso do vento fosse melhor durante a estação de baixa insolação (REIS, 2010).

### *2.5.4 Qualidade do serviço*

A qualidade do serviço está intimamente ligada à capacidade do sistema de satisfazer as cargas devido às variabilidades das fontes solares e eólicas. Para um sistema em funcionamento com 100% de energias renováveis, o custo pode ser excessivo quando a qualidade do serviço é muito alta. Se os componentes do sistema, especialmente os de armazenamento, forem dimensionados para o caso mais adverso possível, ou seja, a carga de pico, todos os componentes do sistema deverão satisfazer esse requisito, encarecendo o sistema.

É fundamental que os consumos sejam definidos da forma mais precisa possível para que a planta se adeque ao posterior uso. Além disso, nem sempre é fácil dispor de todos os dados necessários, de modo que existe uma tendência a se tentar aglomerar todos os possíveis casos em uns poucos casos, que constituem os consumos-tipo.

Um ponto de grande importância em relação ao consumo de um sistema isolado é a eficiência energética. O uso de dispositivos mais eficientes compensa rapidamente o aumento do investimento que seria necessário na geração renovável se fossem utilizados equipamentos convencionais, ou seja, menos eficientes (REIS, 2010).

### *2.5.5 Perfil de consumo das residências brasileiras*

Em países mais frios, a necessidade de aquecimento nos ambientes é essencial, enquanto em países quentes, predomina o uso de condicionadores de ar para reduzir a

temperatura. Em lugares com clima ameno, deve-se optar pela construção das edificações que utilizem o mínimo de equipamentos para manter as temperaturas agradáveis, priorizando-se a arquitetura das construções para que haja ventilação natural.

Seja em países quentes ou frios, é preciso despender grande quantidade de energia elétrica para alimentar os equipamentos aquecedores e condicionadores de ar, que, juntamente com os chuveiros elétricos, são os grandes vilões do consumo doméstico.

Nas tabelas que se seguem, foram feitas estimativas sobre o consumo de alguns dos equipamentos mais utilizados nas residências brasileiras. O custo da energia utilizado nos cálculos foi de 0,49901 R\$/KWh, cobrado pela empresa de fornecimento de energia Light no mês de fevereiro de 2015.

A tabela 2 apresenta os custos com chuveiro elétrico em diferentes posições da chave. Normalmente, a potência do chuveiro doméstico varia entre 2.100 e 3.500 W com a chave na posição verão, e entre 4.500 e 6.000 W com a chave na posição inverno (ANEEL, 2015).

Tabela 2. Consumo dos chuveiros elétricos. Fonte: Aneel (2015), adaptada pelo autor.

<b>Potência elétrica (KW)</b>	<b>Horas de funcionamento diário (min)</b>	<b>Consumo mensal (KWh)</b>	<b>Custo (R\$)</b>
3,5	15	26,25	13,10
5,5	15	41,25	20,58
6,0	15	45	22,46

As altas temperaturas tem sido recorrentes nos meses do verão brasileiro e cada vez mais brasileiros recorrem ao uso de aparelhos de ar condicionado para uma sensação térmica mais agradável. O consumo de energia desses aparelhos, no entanto, é bastante alto. A tabela 3 mostra o custo mensal estimado da energia consumida pelos aparelhos condicionadores de ar de acordo com as potências térmicas mais comumente encontradas no mercado. Os resultados apresentados levam em consideração que o aparelho de ar condicionado não ficou ligado durante todo o tempo na função refrigeração, permanecendo metade do tempo na função ventilação, com potência variando entre 100 e 200 Watts.

Tabela 3. Consumo dos aparelhos de ar condicionado. Fonte: Aneel (2015), adaptada pelo autor.

Potência térmica (BTU/h)	Potência elétrica (KW)	Horas de funcionamento diário (h)	Consumo mensal (KWh)	Custo (R\$)
7400	1,2	8	162	80,84
10000	1,4	8	186	92,81
12500	2,0	8	258	128,75

O consumo de energia de uma geladeira moderna, classe de consumo A, ligada 24 horas por dia durante 30 dias num mês, pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4. Consumo dos aparelhos de refrigeração para alimentos. Fonte: Aneel (2015), adaptada pelo autor.

Tipo	Capacidade em litros	Consumo mensal (KWh)	Custo (R\$)
Geladeira	280	25,0	12,47
Geladeira	310	28,1	14,02
Geladeira	360	31,5	15,72
Geladeira+Freezer	350	53,1	26,5
Geladeira+Freezer	400	58,1	29
Geladeira+Freezer	440	67,4	33,63

Nas tabelas 2 a 4 é possível observar o consumo individual de três equipamentos comumente encontrados nas residências brasileiras. Embora o chuveiro elétrico só fique ligado em média 15 minutos e o ar condicionado 8 horas por dia, é notório que o consumo de ambos é alto e por isso devem ser utilizados racionalmente.

Com as altas temperaturas, um desses “vilões” de consumo, o ar condicionado, cada vez mais é considerado essencial pelos brasileiros e uma consequência disso é o aumento do consumo de energia no Brasil. Com a geração local, eólica e solar, esse pico de demanda pode ser amenizado. No entanto, para que isso ocorra e haja uma troca entre concessionária e gerador local, a companhia de eletricidade precisa instalar um medidor bidirecional na residência.

Com a comercialização dos medidores bidirecionais, os consumidores podem vir a trocar de papel com as concessionárias. Quando a tecnologia solar e eólica começou a ser

implementada no Brasil visando os consumidores residenciais, o único modo de obter energia nos momentos em que o rendimento dos painéis solares e dos aerogeradores diminuíssem, era por meio de um banco de baterias, o qual por sua vez encarecia o custo de todo o sistema e também trazia riscos na hora do descarte e substituição. Com o surgimento dos medidores bidirecionais, a bateria pode ser substituída pela rede convencional. Nos momentos em que o consumidor estiver gerando mais energia do que consome, a energia excedente pode ser transferida para a rede elétrica, e contabilizada pelos medidores. Em contrapartida, nos momentos em que o consumo for maior que a quantidade gerada de energia, a rede pode suprir o déficit do consumidor.

## 2.6 Regras para geração de energia nas unidades consumidoras

Com a inclusão de sistemas de geração de eletricidade conectados à rede de distribuição elétrica das concessionárias, tem-se a necessidade de regulamentar essa conexão pelos órgãos responsáveis, no caso do Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Esta é responsável pela regulamentação necessária para que os consumidores de energia elétrica possam ser também geradores de energia.

A ANEEL fixou normas para que um sistema de geração distribuída de pequeno porte seja conectado a rede elétrica. A Resolução Normativa n. 482, de 17 de abril de 2012, estabelece: “as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.”

Essa regulamentação criou um novo horizonte e incentivo para a produção de energia elétrica alternativa.

A microgeração distribuída está relacionada à:

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 KW e 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 minigeração distribuída está relacionada à:

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 KW e menor ou igual a 1 MW para 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.

Visando facilitar a instalação desses sistemas nas unidades consumidoras, a diretoria da ANEEL fixou algumas regras. A norma instaurou um sistema de compensação de energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar a energia com a distribuidora local.

O sistema de compensação de energia elétrica é o:

Sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.

Essa regra vale para unidades geradoras de energia que utilizem fontes de energia incentivadas, que são: hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada. No sistema de geração, a unidade geradora instalada pelo proprietário do local, produzirá uma quantidade de energia. A energia que não for consumida na hora pelo sistema local, será injetada no sistema da distribuidora de energia na qual o sistema estiver conectado, e o proprietário do sistema terá sua energia excedente vendida para rede em forma de créditos que servirão para abater o consumo dos meses subsequentes. Os créditos poderão ser utilizados em um prazo de 36 meses e as informações estarão na fatura do consumidor, a fim de que ele saiba o saldo de energia e tenha o controle sobre a mesma. Os órgãos públicos e as empresas com filiais que optarem por participar do sistema de compensação também poderão utilizar o excedente produzido em uma de suas instalações para reduzir a fatura de outra unidade, desde que seja a outra instalação pertencente ao mesmo CPF ou CNPJ do titular.

Por fim, a resolução 482, ainda estabelece que:

Os custos de eventuais ampliações ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de microgeração ou minigeração distribuída participante do sistema de compensação de energia elétrica não deverão fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor, sendo integralmente arcados pela distribuidora.

#### *2.6.1 Sistema de medição*

Segundo a ANEEL (2012), o consumidor que optar em instalar um sistema de micro ou minigeração distribuída será responsável inicialmente pelos custos de adequação do sistema de medição necessário para implantação do sistema de compensação. Após a instalação e estando o sistema em funcionamento, a distribuidora será responsável pela manutenção, incluindo os custos de eventual substituição.

#### *2.6.2 Vantagens da geração local*

Como já mencionado, a geração de energia elétrica próxima ao local de consumo traz inúmeros benefícios às concessionárias e ao sistema interligado nacional. Pode-se citar como exemplo: economia dos investimentos em transmissão, redução das perdas nas redes e melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica. A ANEEL espera oferecer melhores condições para o desenvolvimento sustentável do setor elétrico brasileiro, com aproveitamento adequado dos recursos naturais e utilização eficiente das redes elétricas, por isso a regra é direcionada a geradores que utilizem fontes renováveis de energia.

### 3 GERAÇÃO SOLAR

A busca por tecnologias capazes de gerar eletricidade e que possam ser inseridas no contexto urbano sem causar danos ao meio ambiente e à saúde das pessoas tem sido um grande desafio para os países mundo afora. O Brasil está apenas iniciando seus investimentos em energias alternativas renováveis. Os parques eólicos representam 1,6% da matriz de geração de energia elétrica brasileira e a energia solar ainda não dispõe de capacidade instalada de geração suficiente que contribua significativamente para o suprimento da demanda nacional (EPE, AEEE, 2013).

Os painéis fotovoltaicos, como tecnologia para o aproveitamento da energia solar para a geração de eletricidade, foram desenvolvidos no contexto dos programas espaciais da década de 60, destinados à aplicação em satélites. Atualmente, diversos tipos de painéis fotovoltaicos estão sendo produzidos para os mais diferentes tipos de empreendimentos, conforme será visto na Seção 3.1.1.

A energia solar fotovoltaica teve seu crescimento no período da crise do petróleo de 1973, renovando e ampliando o interesse em aplicações terrestres. Esse tipo de geração de energia já era utilizado em sistemas espaciais, porém, o seu custo era elevado. Como medida para tornar economicamente viável a utilização de células fotovoltaicas para geração de energia, seria necessário, naquele momento, reduzir em até 100 vezes o custo de produção das células em relação ao custo daquelas usadas em aplicações espaciais.

Segundo Pinho e Galdino (2014):

Em 1998, a produção mundial de células fotovoltaicas atingiu a marca de 150 MWp, sendo o silício quase absoluto dentre os materiais utilizados. O grande salto no desenvolvimento do mercado fotovoltaico resultou do rápido aumento da produção chinesa, observado desde 2006. Em 2003, a Ásia não figurava entre os dez maiores fabricantes do mundo, entretanto, em 2008, três destes eram da China e um de Taiwan e, em 2009, a China já ocupava a liderança na fabricação de módulos.

Embora o sol seja um recurso natural abundante na Terra, especialmente no Brasil, a energia solar fotovoltaica ainda é pouco utilizada. Porém, a escassez de recursos hídricos e o forte aumento na tarifa de energia fizeram com que muitos consumidores se interessassem pela instalação da tecnologia. Já nos países desenvolvidos, este cenário é

diferente. Com o incentivo dado pelos órgãos governamentais, a instalação de sistemas fotovoltaicos teve grande crescimento.

A figura 9 apresenta a evolução da produção mundial de células fotovoltaicas, tendo sido produzidos, em 2012, cerca de 36,2 GWp. Essa potência equivale a mais de duas vezes e meia a potência da usina hidroelétrica de Itaipu, a maior central de produção de energia elétrica do Brasil. Nos últimos onze anos, o crescimento anual médio da indústria de células e módulos fotovoltaicos foi de 54,2% (PINHO e GALDINO, 2014).

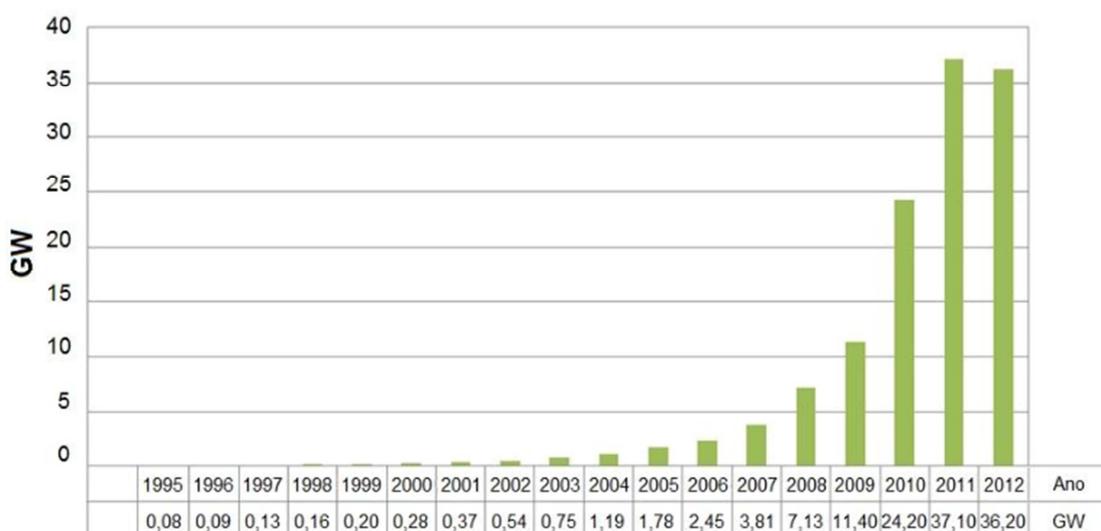


Figura 9. Produção mundial de células fotovoltaicas. Fonte: Pinho e Galdino (2014).

### 3.1 Princípio de funcionamento das células fotovoltaicas

A célula fotovoltaica é responsável pela transformação de energia solar em energia elétrica. Essas células são compostas por dispositivos semicondutores que quando expostos a radiação solar geram uma corrente elétrica em seus terminais. Os módulos fotovoltaicos encontrados no mercado são, em sua maioria, fabricados de silício na forma pura. A intensidade da corrente gerada variará proporcionalmente conforme a intensidade da luz incidente.

A manutenção do painel fotovoltaico é mínima, necessitando apenas de limpeza em um intervalo de 3 meses. Essa limpeza é simplesmente passar um pano molhado sobre a superfície do painel, retirando qualquer impureza devido à exposição ao ambiente. Um

valor mínimo de inclinação admitido para instalação é de 10°, a qual é necessária para evitar o acúmulo de sujeira e facilitar a limpeza com a água da chuva (CEPEL, 2004).

### *3.1.1 Tecnologias fotovoltaicas*

Entre os diversos semicondutores utilizados para a fabricação de células solares fotovoltaicas destacam-se, por ordem decrescente de maturidade e utilização: o silício cristalino (c-Si); o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou simplesmente a-Si); o telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e índio (CuInSe<sub>2</sub> ou CIS e Cu(InGa)Se<sub>2</sub> ou CIGS). Neste último grupo classificam-se os elementos que são altamente tóxicos (Cádmio, Selênio e Telúrio), ou muito raros (Gálio, Índio e os anteriores já citados), ou ambos, inviabilizando inicialmente o uso mais intensivo destas tecnologias (RÜTHER, 2004).

Segundo o CEPEL (2004), os painéis solares podem ser classificados de três maneiras básicas: painéis solares monocristalinos; painéis solares policristalinos; e painéis de filme fino.

Os painéis solares monocristalinos são feitos de células monocristalinas de silício e apresentam grande grau de eficiência. O silício utilizado em sua confecção deve possuir elevado grau de pureza, o que caracteriza um processo complexo de fabricação dos cristais únicos de cada célula.

Os painéis solares policristalinos, por sua vez, são menos eficientes que os monocristalinos. Esse tipo de painel não é fabricado com células formadas por um único cristal de silício e, portanto, sua aparência é como de vidro quebrado.

Nos painéis de filme fino, o material fotovoltaico é depositado diretamente sobre uma superfície como metal ou vidro para formar o painel. Dos três modelos apresentados, esse é o que possui a menor eficiência e, conseqüentemente, é o de mais baixo custo. Quando se utiliza um modelo como esse é necessário utilizar uma área maior para compensar a baixa eficiência.

Os painéis solares mais comumente encontrados no mercado apresentam dados técnicos conforme a tabela 5. Os módulos são inseridos no local de implantação e conectados, seja em série ou paralelo, de modo a alcançar a potência desejada para a usabilidade. O valor da potência apresentada pelo fabricante é calculado para condições

ideais de aplicação, como descritas ao final da tabela 5. Em condições reais, quanto maior a temperatura dos módulos, menor será sua eficiência, e por esse motivo é importante que a instalação seja feita deixando-se uma distância entre as placas e o telhado ou local de fixação, a fim de favorecer a ventilação e conseqüente resfriamento do módulo.

Tabela 5. Dados de painéis solares. Fonte: Canadian Solar (2015), adaptada pelo autor.

<b>Dados Elétricos</b>	<b>CS6P-245P</b>	<b>CS6P-250P</b>	<b>CS6P-255P</b>
Potência nominal máxima* (P <sub>máx</sub> )	245W	250W	255W
Tensão operacional ideal (V <sub>mp</sub> )	30.0V	30.1V	30.2V
Corrente operacional ideal (I <sub>mp</sub> )	8.17A	8.30A	8.43A
Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )	37.1V	37.2V	37.4V
Corrente de curto circuito (I <sub>sc</sub> )	8.74A	8.87A	9.00A
Eficiência do módulo	15,23%	15,54%	15,85%
Temperatura operacional	-40°C - +85°C		

\*Sob condições padrões de teste (STC) ou irradiação de 1.000W/m<sup>2</sup>, temperatura da célula de 25°C.

### 3.1.2 Reguladores / controladores de carga

A função desse equipamento é controlar o fluxo de energia do sistema, ou seja, a carga enviada ao conjunto de armazenamento (quando aplicável) e a carga requerida pelo sistema. Ele estipula as prioridades de carregamento das baterias, evitando assim que as mesmas sejam excessivamente carregadas ou descarregadas. Isso contribui para o aumento da vida útil do sistema de armazenamento. Os controladores modernos utilizam uma tecnologia chamada PWM – *Pulse With Modulation*, ou modulação por pulsos, ou ainda a tecnologia MPPT – *Maximum Power Point Tracking*, para assegurar que a bateria possa ser carregada até atingir sua capacidade máxima.

### 3.1.3 Inversor / conversor CC-CA

A tensão gerada pelos módulos solares fotovoltaicos é na forma contínua, sendo necessário então o uso de um equipamento eletrônico conhecido como inversor ou conversor CC-CA (corrente contínua – corrente alternada), para obter tensão em corrente alternada com as características (frequência, conteúdo de harmônicos, forma de onda, etc.) necessárias para utilização em equipamentos convencionais de 127 Volts, uma vez que os

aparelhos convencionais utilizados nas residências brasileiras são, em sua maioria, alimentados por corrente alternada.

No mercado de equipamentos conversores, dois tipos de inversores são conhecidos: os de saída com senóide modificada e os de senóide pura, conforme figura 10. A especificação de cada tipo depende das características da carga a ser alimentada.

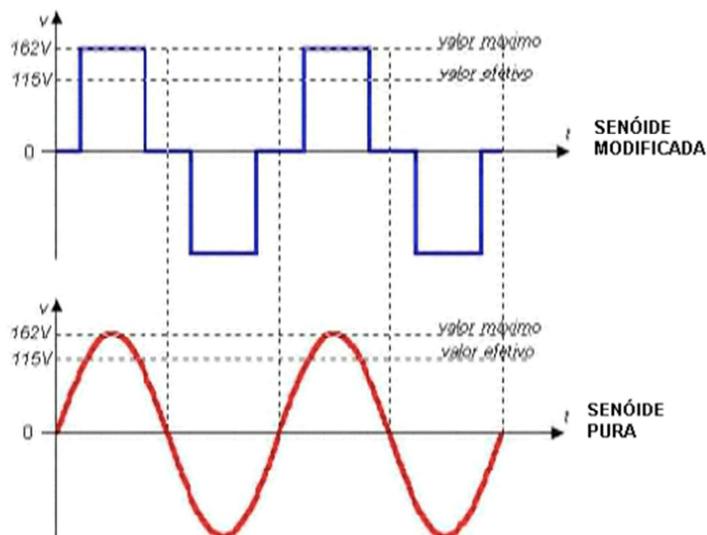


Figura 10. Diferença de onda entre senóide pura e senóide modificada. Fonte: <http://macrosol.wagtel.com>

Os inversores de senóide modificada podem ser utilizados na maioria dos equipamentos, com exceção de alguns mais sensíveis a flutuações. Por exemplo, aparelhos como receptores de sinal, sistemas de segurança e alguns eletrodomésticos, podem não funcionar corretamente ou ter a sua vida útil reduzida.

Já os inversores de senóide pura produzem uma onda equivalente a da rede elétrica tradicional, podendo ser utilizados com qualquer aparelho elétrico ou eletrônico sem restrições.

### 3.1.4 Seguidor de ponto de máxima potência - MPPT

Quando instalados, dependendo da orientação e local, os painéis fotovoltaicos são submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Esses níveis variam ao longo dos dias e períodos do ano. Para que se possa extrair o máximo de rendimento do conjunto, são utilizados equipamentos capazes de seguir o ponto de máxima potência, chamados de

MPPT (*Maximum Power Point Tracker*). A função desse dispositivo é regular a tensão e corrente de operação do sistema fotovoltaico, com a finalidade de operar sempre na máxima potência disponível, em qualquer condição de operação do sistema fotovoltaico, maximizando a produção de energia.

Muitos dos inversores tendem a ter sua eficiência diminuída à medida que operam abaixo de sua potência nominal. A figura 11 exemplifica a diferença entre os dois tipos de inversores.

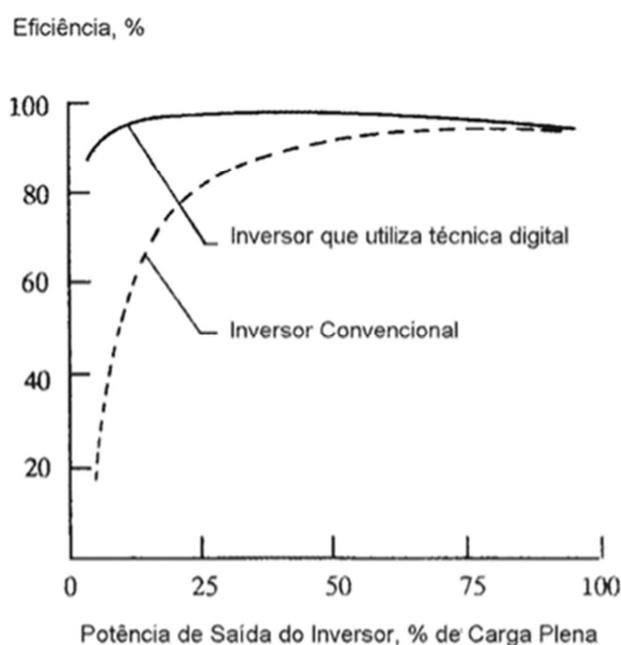


Figura 11. Eficiência típica dos inversores. Fonte: Imamura *et al.* (1992).

### 3.2 Configuração dos sistemas fotovoltaicos

Como os demais sistemas de geração local, apresentados no Capítulo 2, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em dois tipos distintos: sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*On-Grid*) e sistemas fotovoltaicos autônomos (*Off-Grid*).

#### 3.2.1 Sistema conectado à rede (*On-Grid*)

Nessa configuração (figura 12), o sistema fica encarregado de converter a energia solar em eletricidade e injetar o potencial gerado diretamente na rede de distribuição da companhia de eletricidade.

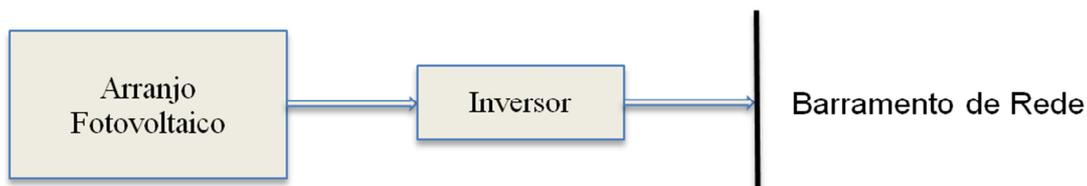


Figura 12. Arranjo fotovoltaico interligado à rede de eletricidade. Fonte: elaborado pelo autor.

O sistema *on-grid* funciona em conjunto com a rede de eletricidade, e caso ocorra alguma interrupção na rede de distribuição, o sistema é imediatamente desligado, não funcionando como sistema de backup. Essa medida é necessária, pois caso ocorra alguma manutenção e a rede venha a ser desernegizada pelo operador, um fluxo de corrente fluiria da casa (estação geradora) para a rede, e a pessoa que estivesse executando a manutenção poderia sofrer um choque elétrico. Além disso, essa medida também garante a proteção do arranjo fotovoltaico, que não deve funcionar de forma isolada.

Os inversores utilizados em sistemas *on-grid*, chamados *grid-tie*, possuem uma tecnologia mais avançada do que a dos inversores utilizados nos sistemas autônomos. Esses inversores são responsáveis por gerenciar todo o sistema fotovoltaico. Os inversores *grid-tie* modernos, em sua grande maioria, possuem seguidor do ponto de máxima potência (MPPT), que permite o aproveitamento máximo da capacidade de geração do arranjo fotovoltaico ao qual está conectado (figura 13).

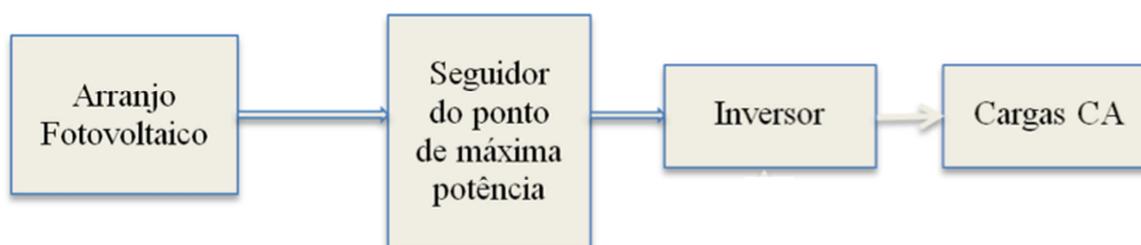


Figura 13. Arranjo fotovoltaico com seguidor do ponto de máxima potência. Fonte: elaborado pelo autor.

Devido ao fato do sistema *on-grid* não necessitar de equipamentos de armazenamento (baterias), a rede elétrica atua como um grande sistema de carga, absorvendo a energia elétrica gerada não consumida no momento. A eficiência dos inversores define a eficiência do sistema: quanto mais eficiente o inversor, maior será o potencial aproveitado e a qualidade da energia injetada na rede de distribuição.

Um estudo apresentado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) afirma que o custo médio da energia para residências que utilizam painéis solares (sistemas fotovoltaicos interligados à rede) já apresenta custo abaixo da tarifa residencial cobrada por algumas concessionárias brasileiras, tendo como referência uma produção de 5 KWp.

### 3.2.2 Sistema autônomo (*Off-Grid*)

O sistema fotovoltaico autônomo pode ser utilizado de duas formas distintas. Na primeira delas e mais simples, o sistema ficaria encarregado de alimentar cargas em corrente contínua. Os painéis fotovoltaicos para suprir essas cargas em CC são usados geralmente em pequenos núcleos populacionais, ficando restrito a sistemas não prioritários e aplicados em atividades agrícolas, como a irrigação.

O sistema de irrigação agrícola normalmente retira água de rios, poços e lagos, não sendo um sistema por pressão, como o que existe em nossas moradias, necessitando de um sistema de bombeamento de água. Nesse caso, a água é bombeada para caixas d'água em níveis mais elevados, podendo ser usada posteriormente ou no momento em que o recurso solar estiver disponível. Nesse sistema a geração é diretamente ligada à carga, no caso a bomba, e necessita somente de um dispositivo de proteção (figura 14).

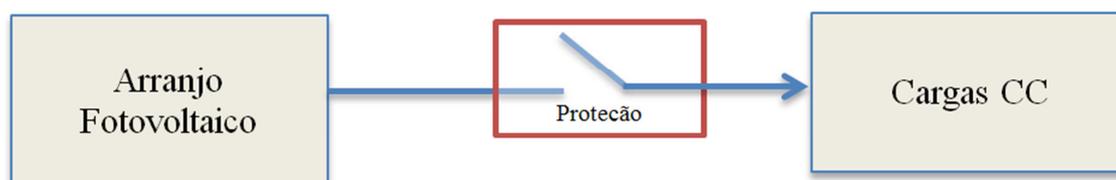


Figura 14. Sistema fotovoltaico ligado diretamente a cargas CC. Fonte: elaborado pelo autor.

A segunda forma de utilização do sistema fotovoltaico autônomo pode ser aplicada, por exemplo, na iluminação, como já foi visto nos sistemas *off-Grids* (Seção 2.1.1), necessitando de um sistema de controle e armazenamento, como na figura 15.

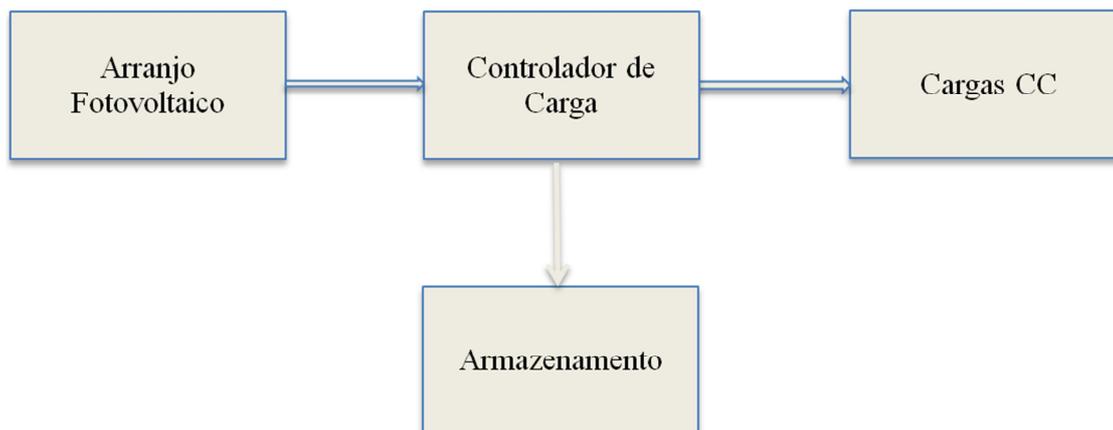


Figura 15. Sistema fotovoltaico ligado diretamente a cargas CC, com armazenamento e controlador de carga.

Fonte: elaborado pelo autor.

Independente do tipo de sistema fotovoltaico, *on-grid* ou *off-grid*, de acordo com o CEPEL, CRESESB, tais sistemas apresentam altos índices de durabilidade e precisam de pouca manutenção. Os módulos fotovoltaicos possuem normalmente garantia de 20 anos, enquanto que os dispositivos eletrônicos, inversor e controlador de carga, possuem vida útil estimada superior a 10 anos. As baterias são consideradas o ponto fraco do sistema, mas quando bem dimensionadas podem ter vida útil de 4 a 5 anos.

## 4 GERAÇÃO EÓLICA

A energia eólica é originada na solar. O aquecimento diferenciado das camadas de ar dá origem a uma variação da massa específica e gradientes de pressão, produzindo energia cinética. Ela também sofre influência do movimento de rotação da Terra sobre o seu eixo, e depende significativamente de influências naturais como: continentalidade, maritimidade, latitude e altitude. Para se obter energia a partir dessa fonte é necessário convertê-la em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica.

A energia eólica vem ganhando espaço na matriz energética brasileira, indicando que sua participação continuará crescendo em um forte ritmo, devido aos investimentos em novos parques eólicos. Ao final do ano de 2015, a capacidade instalada de energia eólica pode chegar a 7.904 MW, resultando numa expansão de 62% comparado ao ano de 2014.

Durante o primeiro trimestre deste ano, 2015, a energia eólica apresentou um bom indicativo do seu forte crescimento, entrando em operação 781,4 MW em novos empreendimentos. Entre os meses de janeiro e março, o Brasil teve 1.594,2 MW entrando em operação entre todas as fontes, ou seja, a eólica representou 49% da energia nova que entrou em operação no país.

Em março deste ano, 2015, um montante de 5.703 MW instalados de geração de energia era oriundo da fonte eólica na matriz brasileira, contra 2.441 MW instalados em março do ano anterior, 2014. Portanto, num período de um ano a capacidade instalada eólica brasileira cresceu 133%.

A previsão é de que mais energia elétrica proveniente de fontes eólicas compoñha a matriz energética brasileira, e para os leilões de energia agendados para este ano foi cadastrada uma potência de 24.371 MW. Somado a isso, para novembro está previsto o 2º Leilão de Energia de Reserva de 2015, que contribuirá ainda mais para o crescimento da energia eólica no país (PETRONOTICIAS, 2015).

O litoral brasileiro, de uma forma geral, apresenta velocidades de vento adequadas para geração de energia eólica em larga escala. Algumas regiões litorâneas do Nordeste, Sul e norte do Estado do Rio de Janeiro são consideradas as mais apropriadas para exploração desse tipo de energia (CEPEL, 2001). Inclusive no interior do país existem áreas montanhosas que dispõem de um potencial eólico que pode ser bem aproveitado. A

região menos favorecida em relação aos ventos é a Norte, sendo pouco utilizada para essa exploração.

Para estudar, em caráter geral, o potencial eólico brasileiro, realizam-se medições dos ventos, através de anemômetros e cataventos (figura 16). Os cataventos são utilizados para se obter as medidas de direção, registrando a predominância dos ventos, e os anemômetros medem sua velocidade em m/s (metros por segundo). Ambos são instalados a, no mínimo, 10 metros do solo em torre suporte. Essas duas medidas são importantes, pois, através delas, pode-se estimar a quantidade de energia que poderá ser gerada no local. Sendo a predominância dos ventos apresentada com certa constância (média para se gerar uma quantidade mínima de energia), a escolha do local para implantação da tecnologia pode ser realizada (CEPEL, 2001).



Figura 16. Anemômetro e catavento. Fonte: <http://www.ciemat.es>.

Esses sensores são instalados por várias instituições do Brasil: o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do Ministério da Agricultura, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Ministério da Marinha (BND/CHM), o Ministério da Aeronáutica (DEPV e INFRAERO), diversas concessionárias de energia elétrica, e Secretarias de Energia de vários estados, que têm acesso às informações. Além disso, também é possível realizar consultas ao Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, preparado pelo CEPEL. Esse atlas cobre todo o território nacional, tendo como objetivo fornecer informações para capacitar tomadores de decisão na identificação de áreas adequadas para aproveitamento eólico-elétrico (CEPEL, 2001).

#### 4.1 Energia eólica nas regiões brasileiras

A região do nordeste brasileiro abriga inúmeros complexos geradores de energia baseados em energia eólica, pois é uma região que apresenta uma constância significativa de ventos e áreas que possibilitam a construção dessas usinas. O Complexo Eólico Alto Sertão I, localizado no semiárido baiano, é o maior parque gerador de energia eólica do Brasil e também da América Latina. Ele é composto por 184 torres, que geram 294 MW de energia, cerca de 30% de toda energia eólica gerada no Brasil. Esse parque foi inaugurado em junho de 2012 e teve investimento de 1,2 bilhões de Reais (RENOVA ENERGIA, 2012). Dentre as maiores usinas eólicas do nordeste brasileiro podem, também, ser citadas: a Usina de Energia Eólica de Praia Formosa, instalada na cidade de Camocim no Ceará, com capacidade instalada de 105 MW (CPFL RENOVÁVEIS, 2009), o Parque Eólico Alegria, instalado na cidade de Guamaré no Rio Grande do Norte, que possui capacidade instalada de 51,15 MW (NEW ENERGY, 2015), o Parque Eólico do Rio de Fogo, instalado na cidade de Rio do Fogo no Rio Grande do Norte, com capacidade instalada de 49,3 MW (DOISAENGENHARIA, 2014) e o Parque Eólico Eco Energy, instalado na cidade de Beberibe no Ceará, que possui capacidade instalada de 25,2 MW (GRANDES CONSTRUÇÕES, 2013).

Outra região do país que tem investido na construção de parques eólicos é a região Sul, que atualmente possui dois complexos geradores em funcionamento: o Parque Eólico de Osório, localizado no município de Osório, no estado do Rio Grande do Sul, com 75 aerogeradores que totalizam um potencial de geração de 150 MW (VENTOS DO SUL ENERGIA, 2006) e o Complexo Eólico Cerro Chato, localizado em Sant'ana do Livramento, também no Rio Grande do Sul, com capacidade instalada total de 90 MW, que passaram a operar plenamente em janeiro de 2012 (ELETROSUL, 2012).

#### 4.2 Características dos aerogeradores

Os aerogeradores podem ser classificados de vários modos diferentes, atendendo a características como eixo de giro, velocidade de rotação, tamanho e aplicação. A classificação mais comum, quanto às turbinas eólicas, pode ser feita pela disposição do

eixo de giro do rotor eólico. Mediante este critério, podem-se classificar as aeroturbinas em dois tipos: aerogeradores de eixo horizontal e aerogeradores de eixo vertical.

#### 4.2.1 Aerogeradores de eixo horizontal

A principal característica deste modelo de aerogerador é que suas pás giram em um plano perpendicular à direção do vento incidente (figura 17). Essas turbinas têm sua velocidade de giro numa relação inversa ao número de suas pás. Sendo assim, as turbinas de eixo horizontal se classificam em turbinas com rotor multi-pá (ou aeroturbinas lentas) e com rotor tipo hélice (ou aeroturbinas rápidas).



Figura 17. Aerogerador de eixo horizontal. Fonte: <http://www.bornay.com/en>.

Outras características apresentadas por esses rotores são os grandes pares de arranque e uma baixa velocidade de giro. A velocidade linear na ponta da pá destas máquinas, em condições de projeto, é da mesma ordem da velocidade do vento. Estas características fazem com que a aplicação fundamental destas turbinas seja tradicionalmente o bombeamento de água. Não são utilizadas em aplicações de geração de energia elétrica, devido a seu baixo regime de giro.

Já os rotores tipo hélice possuem velocidade maior do que os rotores multi-pá. A velocidade linear na ponta das pás destes aerogeradores varia entre 6 a 10 vezes a velocidade do vento, e isso faz com que essas aeroturbinas rápidas sejam apropriadas para

a geração de energia elétrica. Além disso, apresentam um par de arranque reduzido que, na maioria das aplicações, é suficiente para fazer girar o rotor durante o processo de conexão (REIS, 2010).

#### 4.2.2 Aerogeradores de eixo vertical

Este tipo de aerogerador é mais aplicável em centros urbanos, devido à facilidade de instalação mais perto do solo, pelo pouco espaço ocupado e pelo melhor comportamento em condições de turbulência. Neste modelo, as correntes de ar batem lateralmente sobre as lâminas, possuindo velocidade de arranque mais baixa, o que é vantajoso em condições de pouco vento, aproveitando o potencial eólico mesmo que a direção do vento não seja constante e haja formação de turbilhões, caso que acontece com frequência em áreas com edifícios, árvores e outros obstáculos (figura 18).



Figure 18. Aerogerador de eixo vertical. Fonte: <http://www.sasenergia.pt>.

Outra vantagem deste tipo de aerogerador é não necessitar de sistemas de orientação ativos para captar a energia dos ventos. Além disso, quando comparada à turbina de eixo horizontal, possui um trem de potência e sistema de geração elétrica ao nível do solo, o que facilita o trabalho de manutenção do equipamento.

Como principal desvantagem destaca-se a dificuldade de realizar a regulação de potência na presença de ventos com altas velocidades, inconveniente esse que quase levou à extinção dos modelos de eixo vertical. Porém, por ser desenhado para utilização em centros urbanos, seu projeto prevê que tais ventos possam não ocorrer, devido ao adensamento urbano. Além disso, nos últimos anos, essa classe de aerogeradores passou por uma série de ajustes e teve uma retomada no mercado. Esses ajustes trouxeram características marcantes como: menor nível sonoro, menor impacto visual e melhor comportamento diante de fluxo turbulento. Estas novas características fizeram com que esse modelo pudesse ser utilizado no meio urbano, sendo integrado a edifícios.

#### *4.2.3 Aerogeradores no meio urbano: modelo residencial*

Equipamentos para geração de energia nos meios urbanos servem como um incentivo à geração local e ao alívio do sistema nos momentos de pico. O aerogerador para geração eólica de pequeno porte é um desses equipamentos, podendo ser instalado sobre o solo ou nos telhados, geralmente em uma parcela em que exista outro edifício. Os geradores de pequeno porte são uma opção proposta com maior frequência como forma de conexão à rede. Os tamanhos de geração podem chegar a 100 KW.

Esta opção está aberta também aos locais nos quais, por motivos ambientais e/ou normativos, não é permitida a instalação de um parque eólico, mas somente uma instalação de menor potência.

#### *4.2.4 Aerogeradores montados sobre a cobertura do edifício*

Neste caso, o aerogerador está fisicamente unido à estrutura do edifício, que serve como torre para o aerogerador, elevando-o, o que representa uma importante redução do custo total, visto que não será necessária nenhuma construção para fixação ou elevação da máquina. Deve-se mencionar que o edifício deverá ser capaz de suportar o aerogerador, tanto em termos de cargas transmitidas, quanto de vibrações produzidas. Sendo assim, o edifício influi de forma notável no recurso eólico, pois, além de ser utilizado como torre, é também um obstáculo importante e próximo, de modo que produz uma alteração do fluxo, diminuindo sua capacidade energética e aumentando sua turbulência.

Esta opção é proposta como forma de produzir energia no local em que será consumida, normalmente de maneira conjunta a outras formas de geração distribuída (fotovoltaica, principalmente). Assim, as possibilidades seriam grandes, principalmente com a rede das concessionárias disponíveis e em conjunto. Os aerogeradores propostos para esta aplicação são de pequeno tamanho, geralmente com menos de 5 KW. Apesar do avanço tecnológico, o ruído e as vibrações são algumas desvantagens que devem ser analisados com cuidado antes da tomada de decisão a respeito da instalação do equipamento (CEPEL, 2004).

#### *4.2.5 Aerogeradores integrados no edifício desde a construção*

Nesta modalidade, o edifício é projetado para receber a geração eólica desde o projeto de construção, de modo que tenha a forma necessária para aumentar o potencial de captação eólico. No século XVIII, os moinhos de vento já tentavam aproveitar em seu desenho o recurso eólico (HOLLAND, 2015), sendo muito poucas as experiências existentes no mundo de edifícios modernos deste tipo.

Quando se considera que os usuários destes equipamentos não serão profissionais qualificados, mas o público em geral, aspectos como a segurança, tanto física quanto elétrica (um acidente é especialmente indesejável) e conforto (deve causar o mínimo transtorno ao usuário e à sociedade em que se instale, o que se reflete em aspectos como o impacto visual e ruído) são de suma importância.

Como exemplo deste tipo de tecnologia, tem-se o Pearl River Tower (figura 19). Este é um prédio construído na China que possui 71 andares e 309 metros de altura. O empreendimento possui fendas na altura de 1/3 e 2/3 do prédio, favorecendo a passagem de ar (NATGEO, 2015). Dentro dessas fendas foram instaladas turbinas eólicas de eixo vertical para geração de energia elétrica para o próprio prédio. Sua forma curvilínea, adotada desde a construção, aumenta o desempenho eólico, ajudando a afunilar o ar para as entradas das turbinas na fachada, elevando a velocidade do vento em 2,5 vezes.

O sistema eólico muitas das vezes é amparado por algum outro tipo de sistema, para que a energia seja utilizada quando o recurso não estiver disponível. O sistema híbrido mais comum relacionado à tecnologia eólica é o sistema eólico-diesel.



Figura 19. Pearl River Tower, aproveitamento eólico. Fonte: <http://www.som.com>.

#### 4.3 Sistema híbrido: eólico-diesel

Geralmente utilizado para potências maiores que 50 KW, é normalmente instalado em redes já alimentadas por centrais diesel, sendo apropriada uma gestão energética, devido a maior potência requerida.

Em sistemas que utilizam os sistemas eólicos conectados à rede, normalmente não existem outros componentes além do aerogerador, das proteções e dos inversores. Já nos sistemas com geração eólica isolados da rede, a situação é diferente, contando com os seguintes componentes: o próprio aerogerador; outras formas de geração renovável (solar, por exemplo); um sistema de controle; e um sistema de armazenamento de energia (grupo eletrógeno).

Quando se opta por utilizar a geração eólica de pequena potência em um sistema isolado, normalmente este tipo de geração serve como apoio à geração fotovoltaica, e não como um substituto.

#### 4.4 Configurações básicas de sistemas com aerogeradores de pequeno porte

Os aerogeradores de pequeno porte, são assim classificados, em função da potência e das dimensões da máquina. As máquinas de pequeno porte requerem um tratamento na

frequência da tensão, enquanto as de grande porte, em sua maioria, podem ser ligadas diretamente na rede de eletricidade.

A configuração mais comum de aerogeradores de pequeno porte conectados à rede é apresentada na figura 20.

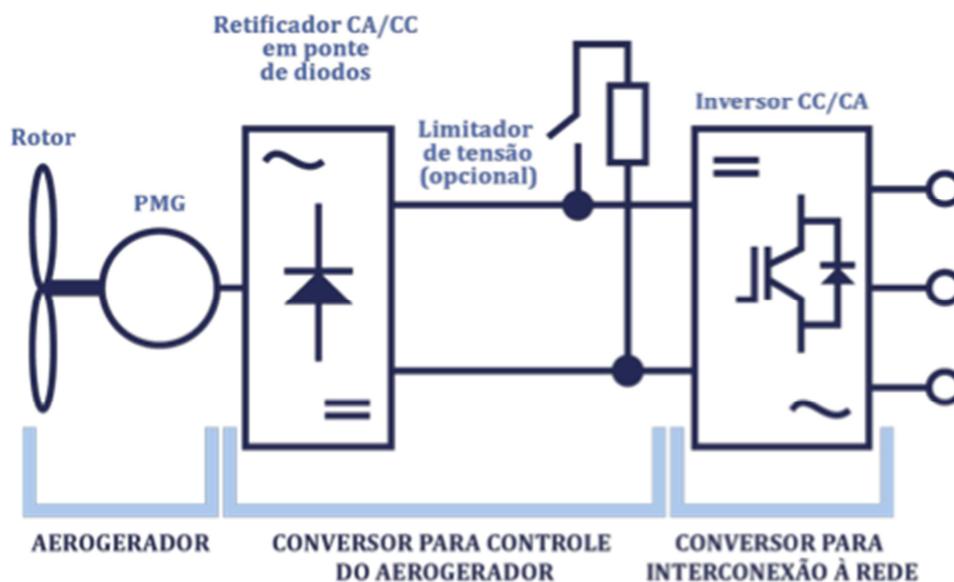


Figura 20. Configuração típica para aerogeradores de pequeno porte conectados à rede.

Fonte: <http://www.ciemat.es>.

A conexão elétrica de geração eólica de pequeno porte à rede não representa complicações do ponto de vista técnico, além da adequação dos parâmetros do inversor com os da rede. A situação do ponto de vista normativo e administrativo é muito distinta, porque depende muito do local da instalação. Assim, existem locais com quadros normativos que favorecem claramente a conexão de aerogeradores de pequeno porte à rede, como nos EUA, Reino Unido ou Japão, e locais onde a falta de um quadro normativo dificulta e até chega a impedir a conexão.

#### 4.4.1 Sistemas isolados com acumulação de energia elétrica

Os aerogeradores de pequena potência normalmente geram eletricidade em corrente alternada, sendo necessário um equipamento retificador para transformar essa corrente alternada em contínua. Esse passo de transformação é necessário, pois a frequência gerada

pelo aerogerador não é a mesma dos equipamentos comumente encontrados nas residências, e é mais simples transformá-la em corrente contínua e, posteriormente, em corrente alternada na frequência desejada, do que alterar a frequência gerada.

A transformação da corrente alternada em contínua é interessante pelo fato de que outros sistemas de geração, como o solar, geram em corrente contínua, além do banco de baterias, que também é alimentado em corrente contínua, o que favorece o acoplamento desses sistemas. Uma vez retificada a corrente gerada, usa-se um inversor para transformá-la em corrente alternada na frequência da rede e dos equipamentos a serem utilizados.

Uma vantagem desse tipo de sistema é sua utilização com distintas tecnologias (fotovoltaica, vários aerogeradores) de forma simples, já que utilizar uma frequência nula (corrente contínua) representa a imposição de um único parâmetro: a tensão de trabalho.

Na figura 21 pode-se observar uma das configurações utilizadas em sistemas com acumulação de energia elétrica.

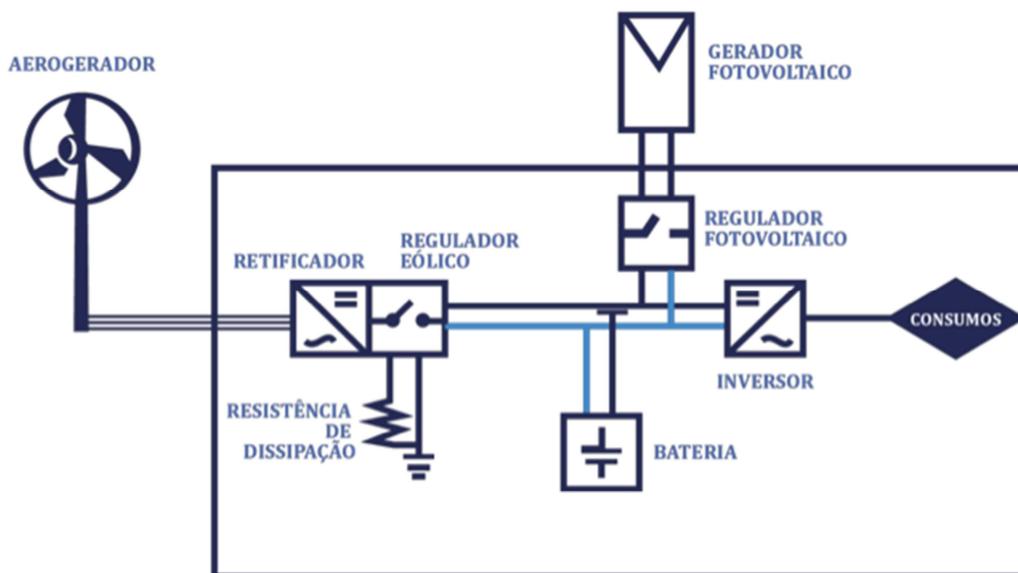


Figura 21. Sistema isolado com acumulação de energia elétrica. Fonte: <http://www.ciemat.es>.

A bateria é uma fonte de tensão estável, que mantém a tensão contínua dentro de uma variação relativamente pequena (tensão nominal  $\pm 20\%$ ). Os demais componentes, aerogerador e/ou gerador fotovoltaico, se adequam à tensão imposta pelo balanço energético do sistema.

Os fabricantes de baterias aconselham que seja evitado, na medida do possível, que a bateria continue sendo carregada quando já está em plena carga, e que a continue sendo descarregada quando está esgotada. Isto porque a vida útil da bateria será reduzida.

A missão dos reguladores eólicos e fotovoltaicos é justamente a de não deixar que a bateria sofra este tipo de intervenção. Sua missão é proteger a bateria diante da situação de sobrecarga. Neste caso, detectado normalmente por uma elevada tensão da bateria, os reguladores devem impedir o carregamento ilimitado da bateria. Para tanto, podem impedir ou limitar a passagem de potência à bateria, permitindo somente a passagem da potência necessária para manter o balanço energético e a bateria em estado de carga completa.

## 5 ESPECIFICAÇÃO DOS SISTEMAS E ESTUDO DE CASO

Quando se deseja utilizar energia solar e/ou eólica como fonte alternativa renovável para geração de eletricidade em um empreendimento ou residência é necessário verificar se algumas características geográficas e da construção viabilizam a aplicação da tecnologia, para que o aproveitamento ótimo do sistema seja atingido.

A figura 22 apresenta um fluxograma criado com intuito de auxiliar o processo de tomada de decisão sobre a implantação desses tipos de sistema.

Em primeiro lugar, deve-se verificar se o local onde será inserida a tecnologia possui radiação solar ou intensidade de vento suficiente para atender o projeto.

Para auxiliar a escolha e implantação de sistemas de geração de energia renovável existem softwares livres, como o Retscreen Clean Energy Software, um simulador que auxilia os profissionais da área de energia em determinar se um projeto de energia renovável ou eficiência energética é ou não viável no âmbito econômico. O software foi lançado em sua primeira versão em 1998, como parte da tese de mestrado de Gregory J. Leng, em Engenharia de Energia, no Canadá.

Atualmente, o programa é fornecido pelo governo do Canadá e é utilizado por mais de 340 mil usuários em todo o mundo e em mais de 400 universidades e faculdades de ensino e pesquisa (DASOL, 2015). Sua ampla utilização é favorecida pela gratuidade do software no portal do Retscreen <<http://www.retscreen.net/pt/download.php>>. No módulo de geração eólica, o programa funciona a partir da inserção dos dados climáticos, juntamente com os dados técnicos do projeto: velocidade de vento, tipo e tamanho da turbina, fator de capacidade e os dados financeiros. Com base nesses dados, o Retscreen apresenta ao usuário uma indicação da taxa do retorno financeiro, para analisar se o investimento é viável. O programa ainda fornece uma análise, simples ou detalhada, da quantidade de emissões que deixará de ser lançada na atmosfera ao se escolher, para o projeto em questão, geração renovável em vez do método de geração de energia tradicional (considerada, pelo programa, como termoelétrica).

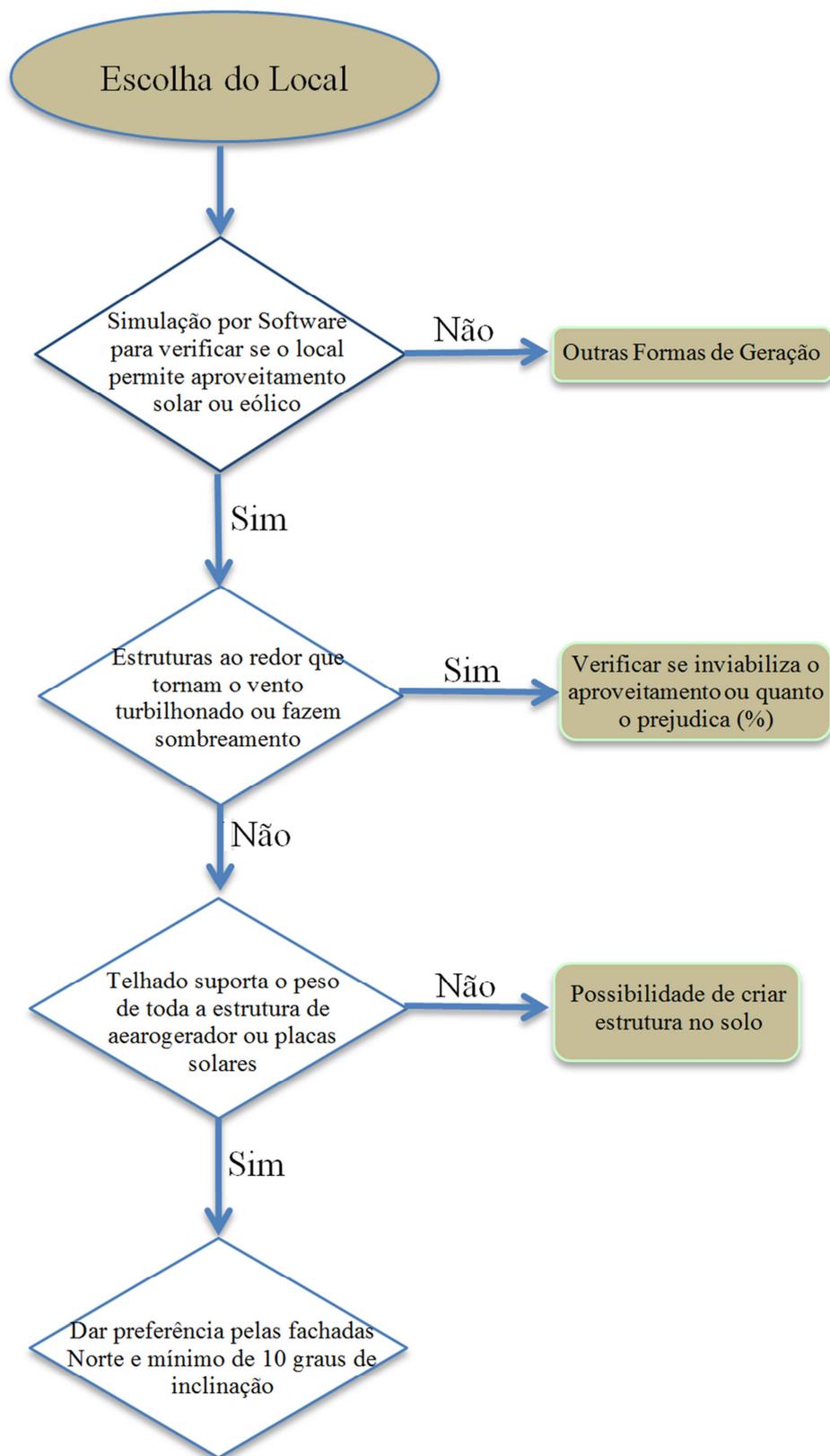


Figura 22. Fluxograma de tomada de decisão para aproveitamento renovável solar e eólico.

Fonte: elaborado pelo autor.

Embora os resultados de softwares como esse sejam de grande confiabilidade, uma visita física para inspeção visual do local onde será instalado o sistema é imprescindível. Essa inspeção é necessária pois o software leva em conta dados regionais do seu banco de dados, no entanto, variações locais do relevo do terreno e da cobertura por vegetação (como a presença de árvores), podem inviabilizar a escolha da tecnologia, por exemplo, quando sombras parciais ou totais diminuem o potencial de geração solar.

Quando o projeto do empreendimento já está vinculado ao uso de geração local de energia de fonte solar ou eólica, o projeto da estrutura já leva em conta o peso adicional dos painéis fotovoltaicos ou aerogeradores. No entanto, quando o empreendimento é preexistente ao projeto de geração local, é necessário estudar a viabilidade de instalação dessas cargas nas estruturas existentes ou projetar uma nova estrutura para sustentá-las. A escolha de uma localização alternativa para instalação do arranjo não costuma ser problemática em áreas remotas, onde se dispõe de amplo espaço. No entanto, para a montagem de grandes arranjos em telhados cujos espaços são limitados, ou em locais onde o custo de ocupação do solo é importante, pode ser conveniente realizar uma análise do custo de ocupação versus a perda de energia.

Com a finalidade de se obter a máxima captação de energia ao longo do ano, devem ser observadas duas condições: orientação e inclinação dos painéis. A primeira delas considera que, para uma operação adequada, os módulos fotovoltaicos devem estar orientados em direção ao Equador. Para instalações localizadas no território brasileiro (Hemisfério Sul), os módulos fotovoltaicos fixos devem, então, ser orientados em direção ao Norte. Contudo, esta pode não ser uma regra válida caso o clima local varie muito durante um dia típico, por exemplo, se ocorre neblina durante a manhã e a maioria da insolação ocorre à tarde, ou caso se deseje privilegiar a geração em alguma hora específica do dia.

Em relação à segunda condição, de maneira geral, a inclinação do arranjo deve ser de mesma proporção à latitude do local onde o sistema será instalado, mas nunca inferior a  $10^\circ$ , a fim de se favorecer a autolimpeza dos painéis fotovoltaicos. Vale ressaltar que em locais onde exista grande quantidade de poeira é necessário realizar a limpeza regular na superfície dos módulos (tomando-se o devido cuidado para não danificar o vidro ou qualquer outro material de cobertura do módulo), uma vez que a sujeira afeta a captação de luz, reduzindo o desempenho do painel.

O ângulo de inclinação que maximiza a geração de energia varia com a época do ano e local onde o sistema é instalado. Para aumentar a eficiência na geração de energia ao longo do ano, a inclinação do arranjo fotovoltaico deve estar dentro de  $10^\circ$  no entorno da latitude do local. Por exemplo: um sistema usado, ao longo de todo o ano, em uma latitude de  $35^\circ$  pode ter um ângulo de inclinação de  $25^\circ$  a  $45^\circ$ , sem que haja uma redução significativa em seu desempenho anual. Dependendo da aplicação e das condições climáticas ao longo do ano, podem-se utilizar outras inclinações que privilegiem a geração em épocas específicas.

Muitas vezes, o local escolhido para a aplicação da geração renovável tem potencial para ambas as tecnologias: solar e eólica. Nesse caso, se for necessário escolher apenas uma dessas tecnologias, alguns parâmetros devem ser levados em consideração.

### 5.1 Parâmetros para escolha da tecnologia eólica

A fim de ilustrar parâmetros-chave na escolha da tecnologia, apresenta-se a seguir as características de um aerogerador, fabricado com tecnologia nacional, pela empresa Enersud, com potência de 1KW. Os dados foram retirados do site do fabricante (ENERSUD, 2015). O custo de um aerogerador como esse, hoje em dia, é de aproximadamente R\$ 5.000,00.

- Diâmetro da hélice – 2,46 m
- Potência a 12 m/s – 1000 Watt
- Rpm a 12 m/s – 630 rpm
- Número de pás – 3
- Velocidade de partida, ou cut-in – 2,2 m/s
- Torque de partida – 0,3 Nm
- Proteção contra altas velocidades – Active Stall (Controle de Passo)
- Sistema magnético – neodímio (ímã permanente)
- Sistema elétrico – trifásico
- Tensão de saída – 12/24/48/300 volts
- Peso total (alternador+hélice+cab. Rot.) – 32 Kg
- Material Anti Corrosão – Alumínio / Inox / Mat. Galvanizado

- Balanceamento – Dinâmico (confirmação após pintura)
- Características Técnicas do Controlador de Carga
- Controle de carregamento de baterias com booster para aproveitamento das baixas velocidades de vento; acima de 3m/s.
- Tensão de saída – até 300 volts
- Material – Alumínio

Uma característica importante a ser observada é a velocidade de partida e a velocidade necessária para alcançar sua potência nominal. A velocidade de partida, também chamada de *cut-in*, é a velocidade a partir da qual o aerogerador começa de fato a gerar eletricidade, e a velocidade de desacoplamento ou *cut-off*, é a velocidade a partir da qual o aerogerador se desacopla, como medida de proteger o sistema, interrompendo sua geração.

Como exemplo, a figura 23 apresenta o gráfico de um aerogerador da empresa Jiali Wind Turbine (2015), que apresenta esses dois parâmetros. Esse aerogerador começa a gerar a partir de 2 m/s, atingindo sua potência nominal com ventos de velocidade de 10 m/s, e é desacoplado com velocidade de *cut-off* de 25 m/s.

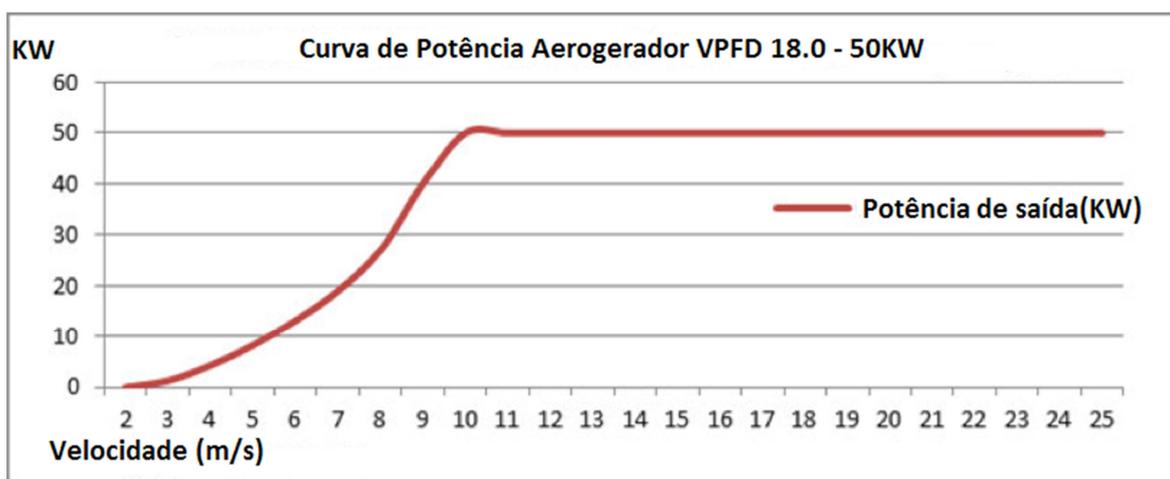


Figura 23. Parâmetros do aerogerador VPFD18.0 de 50 KW.

Fonte: <http://jialiwindturbine.gmc.globalmarket.com>.

Conhecendo os valores de velocidade de *cut-in* e *cut-off* do aerogerador é necessário analisar o atlas de potencial eólico, que possui dados de velocidade dos ventos para cada região. A figura 24 apresenta as características e locais do vento no Estado do Rio de

Janeiro. Antes de se optar por utilizar a energia eólica é de suma importância consultar o atlas eólico da região em que será inserido o empreendimento, e somente então, será possível verificar a viabilidade de se utilizar ou não este tipo de geração de eletricidade.

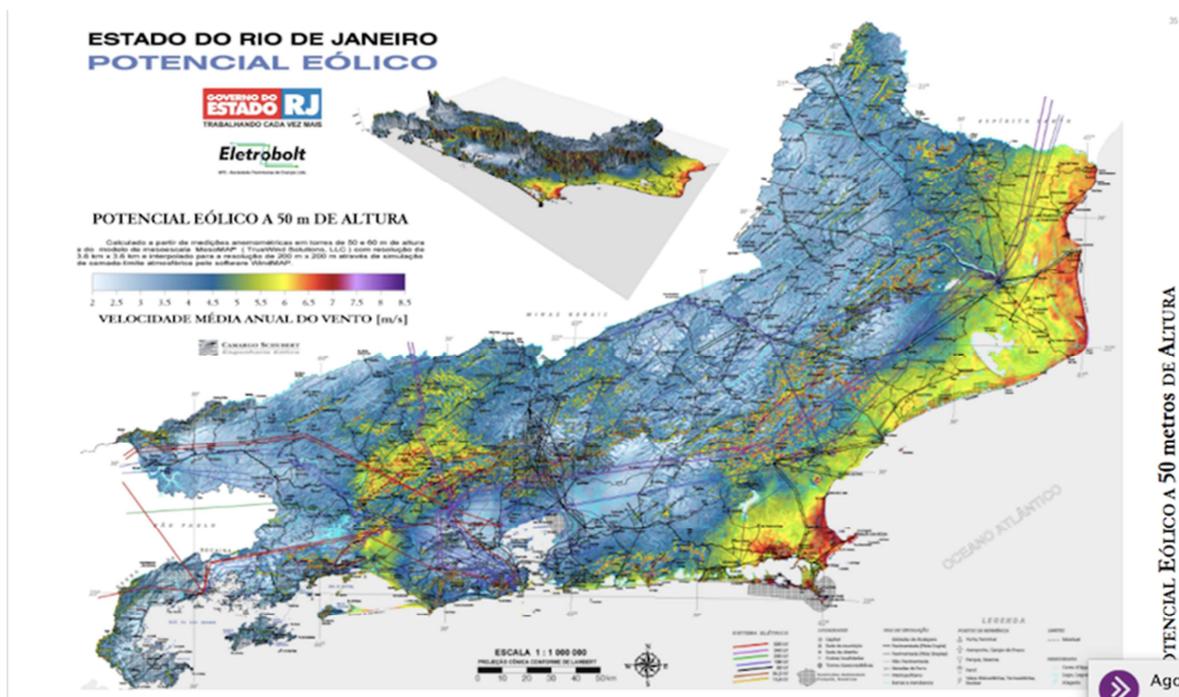


Figura 24. Atlas eólico do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: CEPEL.

Na figura 24 pode-se observar que as áreas em azul mais claro apresentam velocidade de vento baixa. As áreas com tons de amarelo, por sua vez, são as áreas em que o potencial eólico começa a se tornar interessante para utilização da tecnologia eólica, onde a velocidade de vento varia entre 5,5 a 6,3 m/s.

É importante que se consulte, além do atlas anual com as médias dos ventos, os atlas que mostram essa informação de acordo com as estações do ano (figura 25). Esse procedimento é importante para observar a sazonalidade do sistema, se durante alguma estação do ano esse recurso estará menos disponível do que em outra. É possível observar também se existem recursos energéticos naturais complementares, por exemplo, se durante o mesmo período em que o potencial eólico é diminuído, o potencial hídrico é aumentado, ou vice versa. Observar as variações em detrimento de se guiar somente pelas médias, é importante também em casos em que o potencial eólico é tão forte em determinadas épocas do ano que, quando é feita a média mensal, esse recurso acaba por apresentar um potencial que não condiz com a geração real.

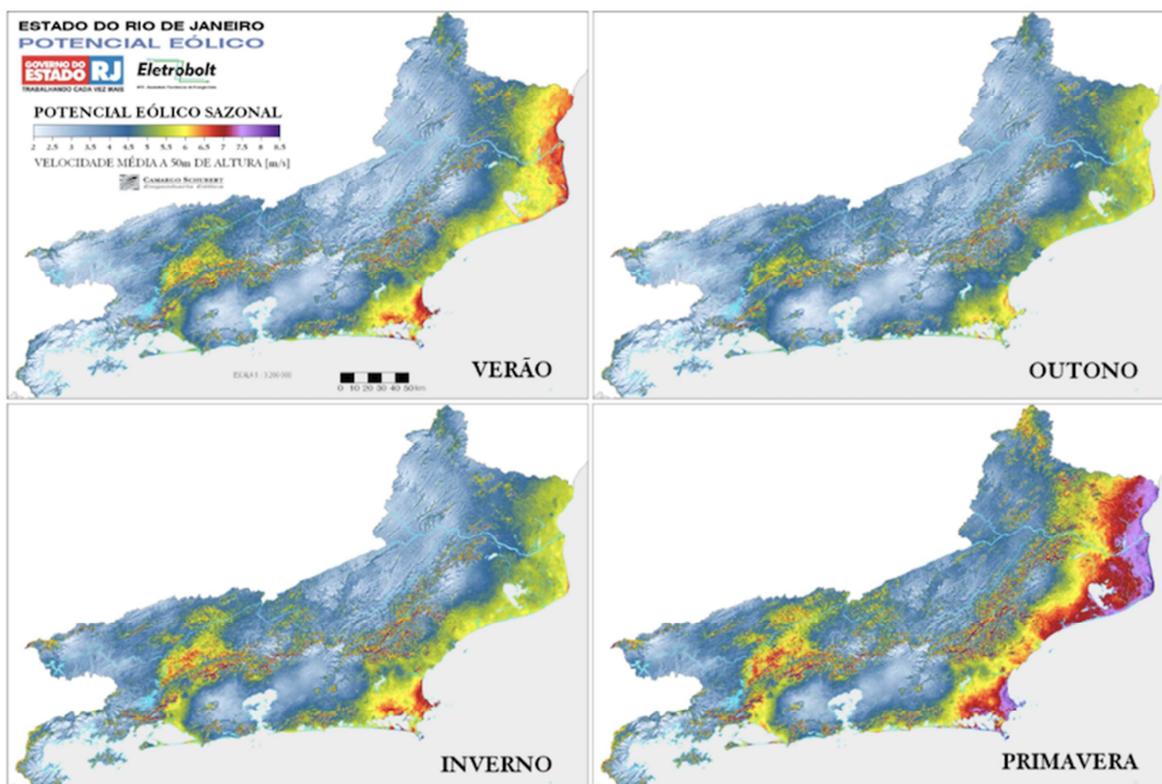


Figura 25. Atlas eólico do Estado do Rio de Janeiro, estações do ano. Fonte: CEPTEL.

Este é, portanto, o primeiro passo e o mais importante na escolha do aproveitamento eólico, pois a partir de então é possível analisar se a escolha da tecnologia é viável ou não. Embora os aerogeradores citados como exemplo precisem de regiões com velocidade de vento de 12 m/s para gerar sua potência nominal de 1KW, a partir de 6m/s a escolha dessa tecnologia torna-se interessante.

Uma visita física ao local, para medidas específicas de velocidade do vento, também é fundamental. Nos meios urbanos, devido ao grande adensamento de edificações, o vento pode se tornar “turbilhonado”, causando perda de eficiência do sistema e comprometendo a escolha por esse tipo de tecnologia.

## 5.2 Parâmetros para escolha da tecnologia solar

A escolha do sistema solar fotovoltaico segue o mesmo princípio do eólico. Baseado no índice de radiação solar da área escolhida é possível tomar a decisão de utilização ou não dessa tecnologia. Os índices de radiação para uma determinada localidade estão

armazenados em bancos de dados de softwares, como o Retscreen, que já calculam, inclusive, a quantidade de energia que poderá ser gerada.

Como já foi dito anteriormente, embora o software forneça dados de incidência solar suficientemente confiáveis para tomada de decisão na escolha da tecnologia, medidas físicas devem ser adotadas para que o aproveitamento tenha seu rendimento alcançado ao máximo. A verificação do local onde o aproveitamento solar será inserido é essencial. Se houver áreas sombreadas por edificações ou árvores no entorno, em horas específicas do dia e estações do ano, o aproveitamento solar pode ficar comprometido e, muitas vezes, até inviabilizado como sistema a ser implantado.

### 5.3 Estudo de caso

O estudo de caso em questão reúne três diferentes áreas de conhecimento e foi realizado, de forma integrada e visando à sustentabilidade, por três profissionais do curso de Mestrado do Programa de Engenharia Urbana da Escola Politécnica da UFRJ, a saber: Frederico Coutinho Guimarães Cotia, Cícero Furtado de Mendonça Lopes, e Franklin Soares Iriarte.

O objetivo do estudo é quantificar a geração de energia elétrica a partir do uso de painéis fotovoltaicos e aerogeradores em habitações populares construídas a partir de containers. Para o trabalho, serão analisados três cenários para o revestimento dos containers: isolamento em todas as fachadas, isolamento nas fachadas norte e oeste e, por fim, sem isolamento. Os dados de consumo de energia mensal e anual serão simulados levando-se em consideração o hábito de consumo de aparelhos domésticos comumente utilizados por esta classe de pessoas.

A partir dos dados simulados, será apresentada a porcentagem de energia elétrica atendida por painéis fotovoltaicos e aerogeradores para os três tipos de construção, sendo a variante entre eles o consumo para condicionamento de ar dos ambientes internos.

#### *5.3.1 Contextualização para a escolha do estudo de caso*

Nos últimos anos, o Brasil tem investido grande quantidade de recursos em programas habitacionais destinados à moradia popular, como o Minha Casa Minha Vida

(CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2015). Normalmente, durante o processo de construção dessas moradias, uma grande quantidade de recursos humanos e materiais são empregados, e o desperdício de suprimentos usados nesse processo é elevado. Na concepção desses projetos não são utilizadas ferramentas que avaliem o conforto térmico das construções, e como a prática mais disseminada na população brasileira para combater as altas temperaturas é a utilização de aparelhos condicionadores de ar, isso resulta em um acréscimo do consumo de energia elétrica de cada habitação, onerando a rede de energia elétrica.

Diante desse cenário, o projeto aqui apresentado tem foco num tipo de empreendimento habitacional que possui um processo de construção rápido, com pouco desperdício, sustentável e que consuma pouca energia elétrica para manter o ambiente confortável. Pretende-se analisar a eficiência energética de containers revertidos para uso em habitação popular, com o uso de fontes alternativas renováveis (solar fotovoltaica e eólica) para suprimento parcial da energia elétrica consumida pelo empreendimento. A figura 26 apresenta o empreendimento proposto.

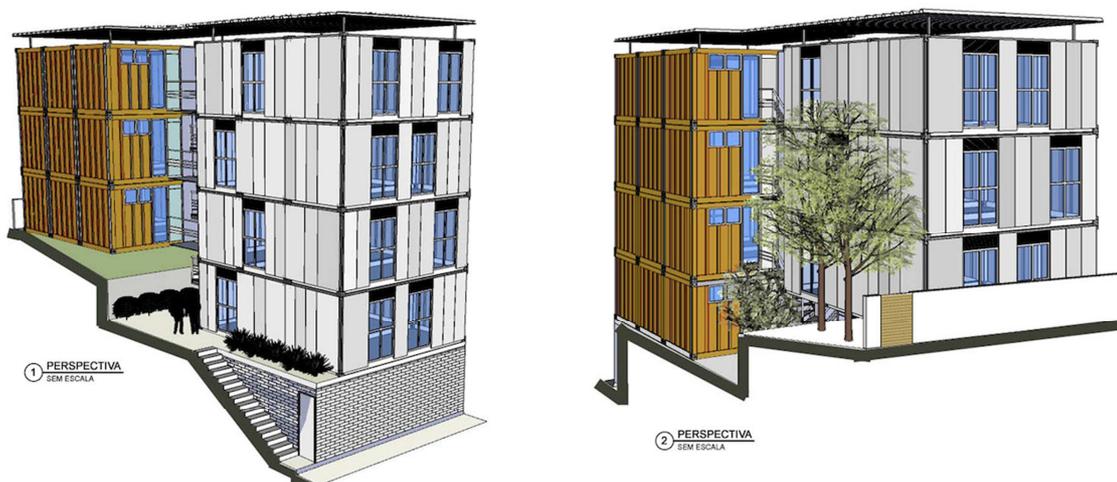


Figura 26. Bloco de residências construídas a partir de containers.

Fonte: elaborado pelo autor, usando o software Designbuilder.

Vale ressaltar que vários trabalhos vêm sendo realizados, ao longo dos anos, relacionados à utilização de containers como habitações, tanto no Brasil como em todo o mundo, para citar alguns: Kotnik (2008), Musibay (2009), Uittenbroek e Macht (2009), Aguirre *et al.* (2010), e Milaneze *et al.* (2012).

#### 5.4 Características dos containers

Para compor o empreendimento habitacional foram utilizados containers de 7,40m x 12m x 2,60m, fabricados em aço com 4mm de espessura nas paredes. Os containers foram dispostos em 4 andares, totalizando 7 módulos, cada módulo constituído por um container, que comporta 2 apartamentos. A área de cada apartamento é de 44,5m<sup>2</sup>, divididos em 2 quartos, uma sala com cozinha americana e um banheiro. A figura 27 apresenta a disposição dos cômodos em cada container.

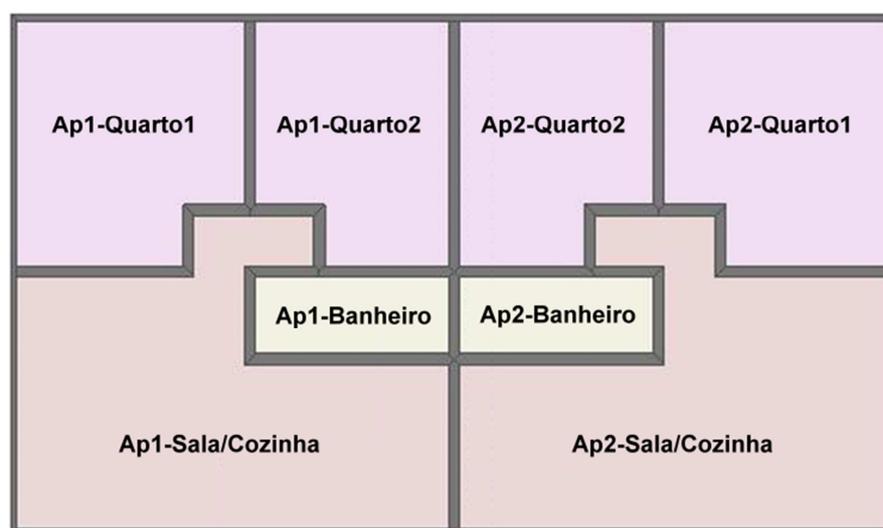


Figura 27. Planta baixa de cada container. Fonte: elaborado pelo autor, usando o software Designbuilder.

#### 5.5 Simulação da eficiência dos containers

Os containers foram analisados quanto à eficiência energética em 3 cenários diferentes, denominados como: caso 1, caso 2 e caso 3. Para a simulação do consumo mensal e anual em KWh de cada caso, foi utilizado o programa Energyplus v8.3, onde foram inseridos os dados de entrada referentes à ocupação, iluminação, equipamentos, sistemas construtivos, e sistema de condicionamento do ar. Os dados inseridos seguem as recomendações do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), que foi desenvolvido pelo INMETRO para certificar edificações residenciais de acordo com o Programa Brasileiro de Etiquetagem Edifica (PBE Edifica).

### 5.5.1 Simulação do caso 1

No caso 1 considera-se o uso de cada container sem nenhum tipo de revestimento térmico nas fachadas, ou seja, ele será utilizado na sua forma bruta de construção, com as paredes de aço expostas à radiação solar incidente, conforme mostrado na figura 28.



Figura 28. Configuração dos containers - caso 1. Fonte: elaborado pelo autor.

Para este caso, tem-se o gasto mensal e anual simulado de acordo com a tabela 6.

Tabela 6. Consumo de energia elétrica para o caso 1. Fonte: elaborado pelo autor, usando o Energyplus.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado ventilador [KWh]	Ar condicionado resfriamento [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454,76	435,74	148,89	1351,02	2390,41
Fevereiro	410,3	392,94	146,14	1327,67	2277,05
Março	451,3	430,84	129,27	1170,49	2181,9
Abril	444,56	428	94,28	842,5	1809,34
Mai	451,3	430,84	111,26	399,55	1392,95
Junho	437,63	418,21	112,74	120,49	1089,07
Julho	458,22	440,63	207,47	152,25	1258,57
Agosto	451,3	430,84	99,98	336,79	1318,91
Setembro	441,1	423,1	143,78	289,23	1297,21
Outubro	454,76	435,74	80,77	544,71	1515,98
Novembro	437,63	418,21	84,98	737,12	1677,94
Dezembro	458,22	440,63	118,72	1061,52	2079,09
Total	5351,09	5125,79	1478,3	8333,34	20288,45

### 5.5.2 Simulação do caso 2

No caso 2 considera-se que o container é revestido parcialmente com material isolante térmico. As fachadas norte e oeste foram revestidas com uma placa cimentícia mais aço, mais fibra de vidro, mais placa de gesso, que resulta em uma nova espessura das paredes mencionadas para 7cm. A figura 29 apresenta os containers neste caso.



Figura 29. Configuração dos containers - caso 2. Fonte: elaborado pelo autor.

Para este caso, tem-se o gasto mensal e anual simulado de acordo com a tabela 7.

Tabela 7. Consumo de energia elétrica para o caso 2. Fonte: elaborado pelo autor, usando o Energyplus.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado ventilador [KWh]	Ar condicionado resfriamento [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454,76	435,74	182,36	1582,32	2655,18
Fevereiro	410,3	392,94	174,35	1516,32	2493,91
Março	451,3	430,84	161,49	1396,59	2440,22
Abril	444,56	428	125,97	1077,56	2076,09
Mai	451,3	430,84	101,91	619,17	1603,22
Junho	437,63	418,21	79,46	302,18	1237,48
Julho	458,22	440,63	146,8	315,65	1361,3
Agosto	451,3	430,84	92,91	559,31	1534,36
Setembro	441,1	423,1	114,8	483,65	1462,65
Outubro	454,76	435,74	100,61	785,81	1776,92
Novembro	437,63	418,21	118,88	1000,18	1974,9
Dezembro	458,22	440,63	153,95	1316,96	2369,76
Total	5351,09	5125,72	1553,49	10955,7	22986

### 5.5.3 Simulação do caso 3

No caso 3 considera-se que o container utilizado será totalmente revestido, ou seja, todas as paredes em todas as fachadas possuem revestimento. Este revestimento consiste em uma placa cimentícia mais aço, mais fibra de vidro, mais placa de gesso, que resulta em uma nova espessura das paredes mencionadas para 7cm. A figura 30 apresenta os containers neste caso.



Figura 30. Configuração dos containers - caso 3. Fonte: elaborado pelo autor.

Para este caso, tem-se o gasto mensal e anual simulado de acordo com a tabela 8.

Tabela 8. Consumo de energia elétrica para o caso 3. Fonte: elaborado pelo autor, usando o Energyplus.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado ventilador [KWh]	Ar condicionado resfriamento [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454,76	435,74	226,54	1895,48	3012,52
Fevereiro	410,3	392,94	211,39	1773,21	2787,84
Março	451,3	430,84	205,21	1710,87	2798,22
Abril	444,56	428	170,6	1406,22	2449,38
Mai	451,3	430,84	119,42	957,44	1959
Junho	437,63	418,21	79,86	618,27	1553,97
Julho	458,22	440,63	80	611,05	1589,9
Agosto	451,3	430,84	114,7	902,76	1899,6
Setembro	441,1	423,1	101,81	802,68	1768,69
Outubro	454,76	435,74	139,32	1119,58	2149,4
Novembro	437,63	418,21	164,51	1335,59	2355,94
Dezembro	458,22	440,63	200,95	1656,66	2756,46
Total	5251,09	5125,72	1814,34	14789,93	27080,95

### 5.5.4 Comparação entre os três casos

A comparação do gasto de energia elétrica mensal e anual entre os três casos propostos é apresentado na tabela 9.

Tabela 9. Consumo de energia elétrica anual nos três casos. Fonte: elaborado pelo autor.

Mês	Caso 1 (KWh)	Caso 2 (KWh)	Caso 3 (KWh)
Janeiro	2390,41	2655,18	3012,52
Fevereiro	2277,05	2493,91	2787,84
Março	2181,9	2440,22	2798,22
Abril	1809,34	2076,09	2449,38
Mai	1392,95	1603,22	1959
Junho	1089,07	1237,48	1553,97
Julho	1258,57	1361,3	1589,9
Agosto	1318,91	1534,36	1899,6
Setembro	1297,21	1462,65	1768,69
Outubro	1515,98	1776,92	2149,4
Novembro	1677,94	1974,9	2355,94
Dezembro	2079,09	2369,76	2756,46
Total	20288,42	22985,99	27080,92

A figura 31 apresenta o gasto de energia elétrica anual por setor.

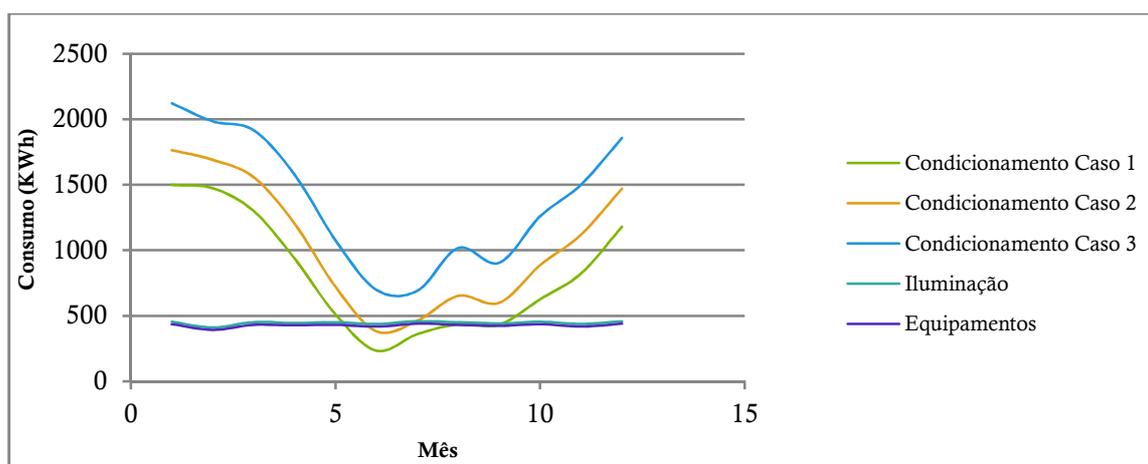


Figura 31. Consumo anual por setor. Fonte: elaborado pelo autor, usando o Energyplus.

É possível observar que o consumo de energia elétrica foi maior no caso 3, em que as fachadas foram revestidas totalmente. Além disso, de acordo com o gráfico da figura 31, o setor de maior influência no consumo de energia de uma residência deste tipo é o condicionamento de ar, o que já era esperado. O caso 1 foi o que apresentou resultado mais satisfatório do ponto de vista da eficiência energética, visto que apresentou o menor gasto energético em todos os meses, tanto no verão quanto no inverno.

## 5.6 Suprimento solar para o empreendimento

Como já discutido anteriormente, os sistemas solares têm se mostrado de grande eficiência na geração local de eletricidade em meios urbanos. A energia gerada localmente tende a aliviar as cargas da rede em momentos de pico e ainda permite a concessão de crédito, pela venda da energia para concessionária em momentos de sobra. Se aplicada em larga escala, poderá ainda vir a contribuir para a sustentabilidade da matriz energética nacional. Embora essa ainda seja uma realidade distante, o primeiro passo já está sendo dado por muitos que estão utilizando esse tipo de geração. Essa fonte permite a conexão com outras fontes geradoras tornando ainda mais atrativo o sistema, além de ser aliada na preservação ao planeta, por não gerar resíduos que causem impactos negativos ao meio ambiente.

Para alimentar o empreendimento habitacional em análise, foi escolhido um sistema de geração de energia fotovoltaico interligado ao *grid*, formando um sistema híbrido, rede-solar. A rede, nesse caso, funcionará como um banco de baterias, e no momento em que não houver oferta solar para suprir a planta, a rede passa a suprir o sistema com a energia da concessionária local.

De acordo com os resultados simulados de consumo de eletricidade para os três casos, o percentual de energia economizado será analisado, caso um sistema desse tipo seja adotado. Para simulação do aproveitamento solar, o software Retscreen 4.0 foi usado como parâmetro para obter o montante de energia gerado pelo sistema escolhido, e para dados financeiros de *payback* do sistema.

### 5.6.1 Escolha do sistema de aproveitamento solar

Baseado na área disponível no telhado do bloco de apartamentos, 10m x 15m, foram colocadas 40 placas solares do tipo policristalina, modelo Canadian CS6P-250P, com os parâmetros técnicos conforme Tabela 10. Estas placas devem ser dispostas de tal modo que haja espaço suficiente entre elas para a circulação de pessoas para o trabalho de limpeza e manutenção.

Tabela 10. Dados técnicos do painel solar CS6P-250P. Fonte: <http://www.canadiansolar.com>.

Característica (ficha técnica)	Valor	Unidade
<u>P nom</u>	250	<u>Wp</u>
<u>I SC</u>	8,87	A
<u>V MPP nom</u>	30,1	V
<u>V OC</u>	37,2	V
<u>Coef V</u>	-0,34%	%/°C
Local da instalação	Temperatura	Unidade
<u>T mín</u>	10	°C
<u>T máx</u>	75	°C

O inversor escolhido para o projeto foi o modelo CSI10K-TLD-GW com potência de 10KW do mesmo fabricante dos painéis solares, a Canadiansolar.

Com a potência do sistema solar definida, o próximo passo seria a simulação do sistema. Essa simulação é importante para verificar a viabilidade do aproveitamento solar onde o empreendimento será implantado.

Como citado anteriormente, o software escolhido foi o RetScreen 4.0, que fornecerá importantes resultados, e a partir dele, será possível estimar o montante da geração pelo sistema escolhido e tempo de retorno do capital investido.

### 5.7 Simulação no RetScreen

Para a simulação foi escolhida a cidade do Rio de Janeiro como parâmetro de local, e sistema fotovoltaico de geração de energia ligado ao *grid* (figura 32).

**Informação sobre o projeto** [Veja banco de Dados do projeto](#)

Nome do Projeto: Fontes Renovaveis

Localização do Projeto: [ ]

Preparado para: Materia de Fontes Renovaveis

Preparado por: [ ]

Tipo de projeto: Produção de eletricidade

Tecnologia: Fotovoltaica

Tipo de grid: Rede Central

Tipo de análise: Método 1

Poder calorífico de referência: Poder calorífico superior (PCS)

Ver parâmetros:

Idioma: Português - Português

Manual do usuário: English - Anglais

Moeda: Brasil

Unidades: Unidades métricas

Figura 32. Dados iniciais para simulação. Fonte: elaborado pelo autor, usando o Retscreen.

Baseado na radiação solar anual dada pelo software, chega-se a um montante de 14,15MWh de eletricidade exportada para rede com o sistema escolhido, conforme mostrado na figura 33.

Sistema de eletricidade do caso proposto		Cus		
Tipo de análise		<input type="radio"/> Método 1		
		<input checked="" type="radio"/> Método 2		
<b>Avaliação de recursos</b>				
Sistema de posicionamento solar		Fixo		
Inclinação	:	26,0		
Azimet	:	207,0		
<input checked="" type="checkbox"/> Mostrar dado				
Mês	Radiação solar diária - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Radiação solar diária - inclinada kWh/m <sup>2</sup> /d	Preço eletricidade exportada BRL/MWh	Eletricidade exportada p/ rede MWh
Janeiro	5,21	4,78	500,0	1,239
Fevereiro	5,41	5,15	500,0	1,186
Março	4,76	4,81	500,0	1,225
Abril	4,31	4,73	500,0	1,166
Maio	3,66	4,29	500,0	1,103
Junho	3,65	4,60	500,0	1,143
Julho	3,66	4,49	500,0	1,158
Agosto	4,32	4,95	500,0	1,266
Setembro	4,18	4,32	500,0	1,095
Outubro	4,74	4,60	500,0	1,202
Novembro	4,97	4,61	500,0	1,170
Dezembro	5,02	4,57	500,0	1,197
<b>Anual</b>	<b>4,49</b>	<b>4,66</b>	<b>500,00</b>	<b>14,150</b>
Radiação Solar anual - horizontal	MWh/m <sup>2</sup>	1,64		
Radiação Solar anual - inclinada	MWh/m <sup>2</sup>	1,70		

Figura 33. Montante de eletricidade exportada para rede. Fonte: elaborado pelo autor, usando o Retscreen.

Na figura 34 são apresentados os dados referentes às placas solares e ao inversor utilizado no sistema, que foram retirados da folha de dados dos equipamentos junto aos fabricantes. O custo do sistema seria de R\$ 7.000,00/KWp e foi calculado com base no preço dos equipamentos somado ao da instalação.

<b>Fotovoltaica</b>		
Tipo		Outro
Potência elétrica	kW	10,00
Fabricante		Canadian Solar
Modelo		CS6P-250P
Eficiência	%	15,5%
Temperatura de operação normal da célula	°C	65
Coefficiente de Temperatura	% / °C	0,43%
Área do coletor solar	m²	65
Perdas diversas	%	
<b>Inversor</b>		
Eficiência	%	97,0%
Capacidade	kW	10,0
Perdas diversas	%	
<b>Resumo</b>		
Fator de Utilização	%	16,2%
Eletricidade exportada p/ rede	MWh	14,150

Figura 34. Dados dos equipamentos utilizados no sistema. Fonte: elaborado pelo autor, usando o Retscreen.

<b>Análise Financeira</b>		
<b>Parâmetros financeiros</b>		
Taxa de inflação	%	6,0%
Vida do projeto	ano	25
Razão da dívida	%	
<b>Custos iniciais</b>		
Sistema de produção de eletricidade	BRL	70.000
Outro	BRL	
<b>Total de custos de investimento</b>	BRL	70.000
<b>Incentivos e subsídios</b>		
	BRL	
<b>Pagamento anual de custos e empréstimos</b>		
Custo (economia) de O&M	BRL	2.000
Custo combustível - caso proposto	BRL	0
<b>Total de custos anuais</b>	BRL	2.000
<b>Economia anual e receita</b>		
Custo combustível - caso de referência	BRL	0
Receita com eletricidade exportada	BRL	7.075
<b>Total de economia e receita anual</b>	BRL	7.075
<b>Viabil. Financeira</b>		
TIR antes impostos - ativos	%	11,5%
Retorno simples	ano	13,8
Retorno do capital próprio	ano	9,9

Figura 35. Payback do sistema. Fonte: elaborado pelo autor, usando o Retscreen.

Por fim, as características técnicas do sistema foram inseridas no software e o tempo de *payback* do sistema calculado foi de aproximadamente 10 anos. Para esse cálculo foi considerada uma taxa de inflação de 6% a.a. e vida útil do sistema de 25 anos. Esses dados podem ser vistos na figura 35. A figura 36 apresenta o gráfico de fluxo de caixa cumulativo.

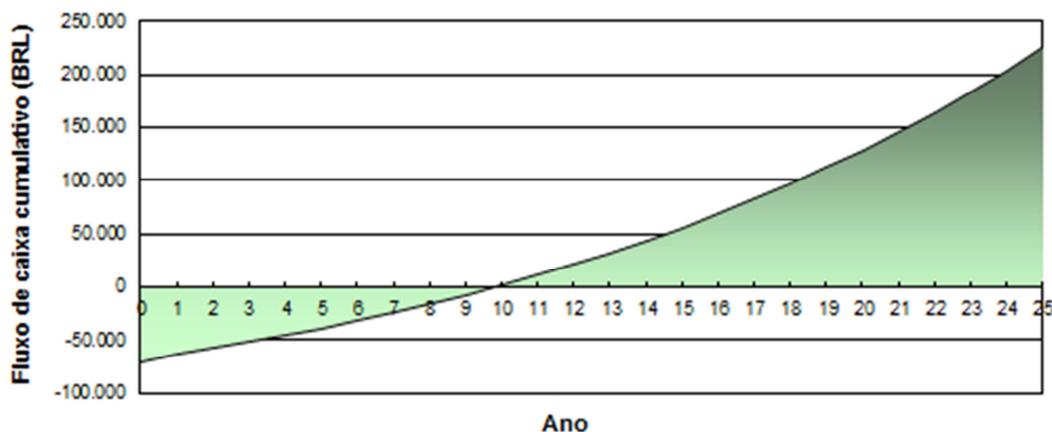


Figura 36. Gráfico do fluxo de caixa cumulativo. Fonte: elaborado pelo autor, usando o Retscreen.

### 5.7.1 Simulação para um sistema eólico

O sistema poderia, também, ser suprido por energia eólica, sendo que a velocidade de vento é o fator chave na escolha dessa tecnologia. Para que a simulação fosse o mais próxima possível do real seria necessário que o local exato do empreendimento fosse inserido no programa. Essa localização precisaria ser analisada e, muitas das vezes, torna-se necessário instalar uma estação de medição de velocidade dos ventos.

Como não foi definida uma localização específica, realizou-se uma análise apenas qualitativa da implantação de um sistema de geração eólico no empreendimento, conforme mencionado na Seção 5.1, considerando que num local com velocidades de ventos maiores que 6m/s a escolha da tecnologia eólica seria mais vantajosa que a solar.

No caso do suprimento por energia solar, foram selecionados dois geradores de 5KW. Se a mesma potência fosse instalada com aerogeradores, por exemplo, dois aerogeradores de 5KW, a energia gerada ainda ultrapassaria, em muito, a consumida. Isso se deve ao fato de que a energia do vento possui maiores tempos de utilização do que a solar. Enquanto a última tem tempo de utilização estimado de 5,5 a 6,5 horas por dia

(figura 37), a segunda pode estar disponível até mesmo 24 horas por dia, o que aumenta o montante de energia gerada. Desse ponto de vista, a energia eólica se torna mais vantajosa que a solar. Quanto ao inversor, pode ser utilizado o mesmo tipo para ambos os sistemas, especialmente se o sistema for do tipo híbrido solar-eólico-rede.

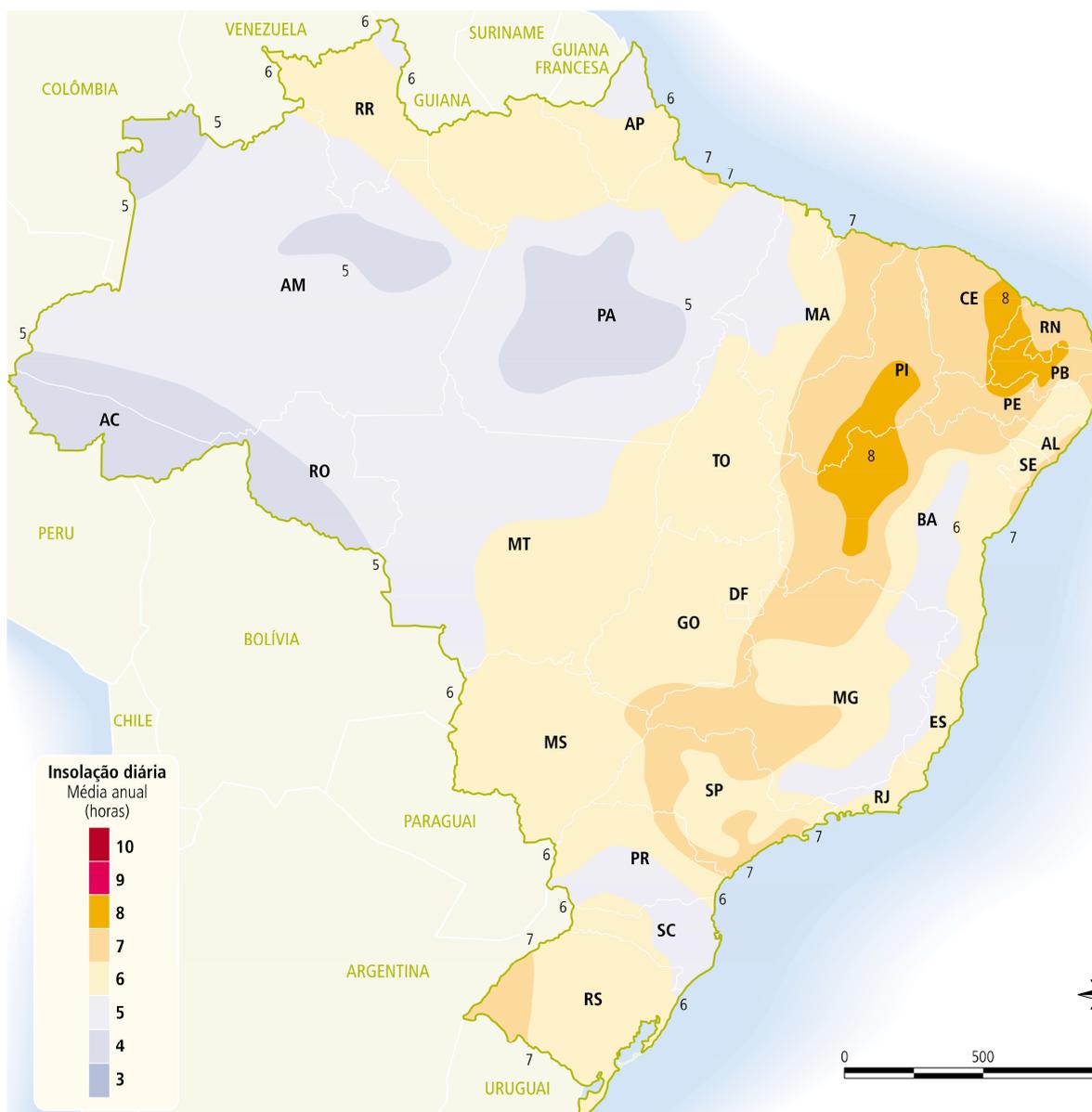


Figura 37. Gráfico de insolação diária no Brasil. Fonte: ANEEL, Energia Solar.

Como os aerogeradores não permitem o fracionamento de sua potência, o projeto fica limitado a potências fixas das máquinas, sendo que 1KW, 6KW e 10KW são os mais comuns no mercado, embora ainda seja possível aos fabricantes produzirem, sob

encomenda, modelos para aplicações específicas. Como já mencionado, se o local possuir velocidades de vento superiores a 6m/s, o aerogerador pode ser instalado como uma opção mais viável que a solar, seguindo os requisitos descritos nessa dissertação. Os resultados da simulação com o uso de um aerogerador são apresentados na figura 38.

#### Avaliação de recursos

Método de avaliação dos recursos	Velocidade do Vento	Rio De Janeiro	<input checked="" type="checkbox"/> Mostrar dado Preço eletricidade exportada BRL/MWh	Eletricidade exportada p/ rede MWh
<b>Mês</b>	<b>m/s</b>	<b>m/s</b>		
Janeiro	6,0	3,1	500,0	4
Fevereiro	6,0	3,0	500,0	3
Março	6,0	3,2	500,0	4
Abril	5,0	2,7	500,0	3
Maio	5,0	2,8	500,0	3
Junho	5,0	2,7	500,0	3
Julho	3,0	2,7	500,0	2
Agosto	3,0	3,1	500,0	2
Setembro	3,0	3,5	500,0	2
Outubro	3,0	3,9	500,0	2
Novembro	6,0	4,0	500,0	4
Dezembro	6,0	3,8	500,0	4
<b>Anual</b>	<b>4,7</b>	<b>3,2</b>	<b>500,0</b>	<b>37</b>
Medido a	m	20,0		
Coefficiente de cisalhamento do vento		10,0		
<b>Turbina eólica</b>				
Capacidade de potência por turbina	kW	5,0		
Fabricante				
Modelo				
Número de turbinas		2		
Potência elétrica	kW	10,0		
Altura do centro	m	10,0		
Diâmetro do rotor por turbina	m	2		4,7 m/s
Área de varredura por turbina	m <sup>2</sup>	2		
Dado da curva de energia		Padrão		
Fator de forma		2,0		

Figura 38. Montante de eletricidade exportada para rede (sistema eólico).

Fonte: elaborado pelo autor, usando o Retscreen.

Considerando uma simulação com dados de ventos médios de 4,7m/s, o montante de eletricidade exportada para rede foi de 37MWh, e o tempo de *payback* do sistema calculado foi de aproximadamente 4 anos. Para esse cálculo foi considerada uma taxa de inflação de 6% a.a. e vida útil do sistema de 25 anos, semelhante ao solar. A figura 39 apresenta os dados para análise financeira e a figura 40 o gráfico de fluxo de caixa cumulativo.

Análise Financeira		
<b>Parâmetros financeiros</b>		
Taxa de inflação	%	6,0%
Vida do projeto	ano	25
Razão da dívida	%	
<b>Custos iniciais</b>		
Sistema de produção de eletricidade	BRL	70.000
Outro	BRL	
<b>Total de custos de investimento</b>	BRL	70.000
<b>Incentivos e subsídios</b>		
	BRL	
<b>Pagamento anual de custos e empréstimos</b>		
Custo (economia) de O&M	BRL	2.000
Custo combustível - caso proposto	BRL	0
	BRL	
<b>Total de custos anuais</b>	BRL	2.000
<b>Economia anual e receita</b>		
Custo combustível - caso de referência	BRL	0
Receita com eletricidade exportada	BRL	18.689
	BRL	
<b>Total de economia e receita anual</b>	BRL	18.689
<b>Viabil. Financeira</b>		
TIR antes impostos - ativos	%	31,1%
Retorno simples	ano	4,2
Retorno do capital próprio	ano	3,6

Figura 39. Payback do sistema eólico. Fonte: elaborado pelo autor, usando o Retscreen.

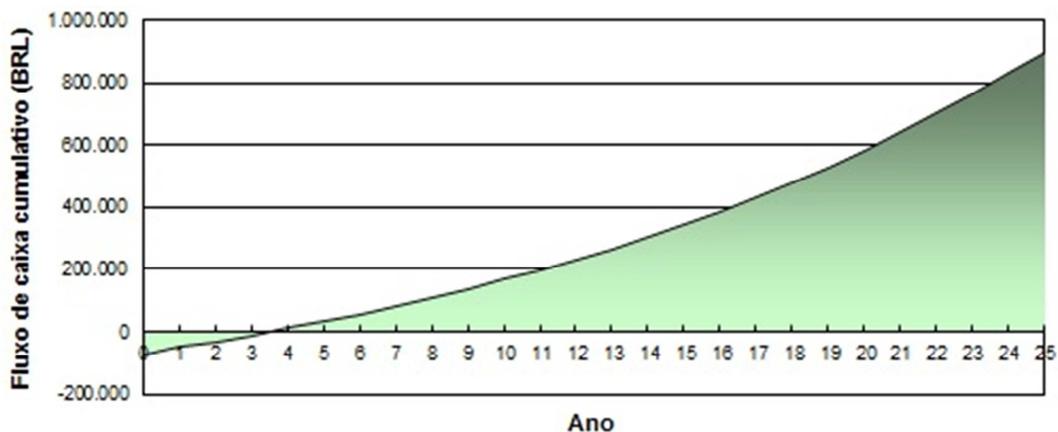


Figura 40. Gráfico do fluxo de caixa cumulativo (sistema eólico).

Fonte: elaborado pelo autor, usando o Retscreen.

## 6 CONCLUSÃO

As fontes de energia alternativas renováveis, solar e eólica, estão começando sua jornada em termos de contribuir de forma consistente na matriz energética brasileira e até mesmo mundial. Seu caminho ainda é muito difícil devido ao pouco conhecimento das tecnologias por parte da população e pela falta de incentivo por parte dos governantes para popularizá-las.

Desse modo, trabalhos como este visam mostrar que esses tipos de tecnologia estão acessíveis e podem ser utilizados por cidadãos comuns nos meios urbanos. Os custos, embora altos, são compensados em alguns anos, dependendo do projeto, especialmente no cenário atual brasileiro, com tarifas crescentes de energia em função da maior utilização de usinas térmicas.

Além disso, essas tecnologias podem representar uma alternativa interessante para regiões longínquas ou de difícil acesso, nas quais a interligação à rede elétrica seja dificultada ou até mesmo impossível, e a geração local torne-se então mandatória.

À medida que as tecnologias vão sendo difundidas, muitas barreiras são quebradas, os custos diminuem e mais pessoas tem acesso a elas. A possibilidade de troca com a rede abre uma nova fronteira e uma expectativa de que, no futuro, se possa ter muitos geradores não-centralizados de energia e usar os espaços de nossas casas para gerar energia.

Complementando o trabalho aqui apresentado, o estudo de caso visou ampliar a discussão sobre eficiência energética em habitações e a possibilidade de atender a demanda de energia através de fontes renováveis. Para isso, foram avaliados três tipos de revestimentos em habitações construídas a partir de containers de carga, visando o conforto térmico dos usuários, e foi avaliada a viabilidade de atendimento da demanda de energia elétrica das habitações a partir de placas fotovoltaicas ou aerogeradores instalados no telhado destas habitações.

Constatou-se que o desempenho térmico de edificações em regiões de clima quente e úmido, como o Rio de Janeiro, não apresenta resultados satisfatórios com o aumento da inércia térmica em suas fachadas, sendo a inércia térmica a capacidade de armazenar e liberar calor em uma edificação. Isso se deve ao retardamento térmico, que é o tempo necessário para que uma diferença de temperatura ocorrida em um meio manifeste-se na superfície oposta. Quanto mais espessa a parede, maior o tempo para que ocorra o pico de

temperatura interna, normalmente no período noturno, quando há ocupação do local, além de haver uma demora na dissipação da carga térmica gerada dentro do edifício. Logo, à noite, quando o sistema de ar condicionado é acionado em edificações residenciais, a carga térmica é maior e prejudica o desempenho termo-energético daquela habitação.

Dessa forma, a edificação que apresentou melhor desempenho energético possuía a menor inércia térmica, o que deixa a moradia vulnerável à variação da temperatura externa durante o ano, porém observam-se na cidade do Rio de Janeiro menores variações de temperatura ao longo do dia, mostrando-se viável a aplicação de baixa inércia térmica.

Com relação à utilização de um sistema solar fotovoltaico, verificou-se por meio de simulação que o montante anual de eletricidade exportada para rede chegaria a 14,15MWh, sendo o tempo de *payback* do sistema de aproximadamente 10 anos, para retorno de um investimento inicial estimado de R\$ 70.000,00 (considerando o custo dos equipamentos e da instalação). Já um sistema eólico, em local com condições adequadas de ventos, geraria um montante anual de 37MWh de eletricidade exportada para rede, sendo o tempo de *payback* do sistema de aproximadamente 4 anos, considerando um investimento inicial similar ao do sistema solar.

Por fim, ressalta-se a importância na avaliação de diferentes cenários antes de se projetar um empreendimento em uma determinada região, sendo que todos os procedimentos e simulações apresentados nesse trabalho, incluindo os softwares, podem ser utilizados em novos estudos de caso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Maurício de. Evolução Urbana do Rio de Janeiro. 3a Edição. Rio de Janeiro: SMU, 1997.

AGUIRRE, Lina Denise de Moraes; OLIVEIRA, Juliano; CORRÊA, Celina Britto. Habitando o container - Proposta de uso de container reciclado para Habitação de Interesse Social Bioclimática para a cidade de Pelotas. Congresso Internacional: Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social, Porto Alegre, 2010.

ALMEIDA, Luiz Augusto Pereira de. Adensamento urbano e o déficit habitacional. Disponível em: <[http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver\\_noticia.php?not=246883](http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=246883)>. Acessado em: março de 2015.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Consumo dos aparelhos residenciais. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/>>. Acessado em: fevereiro de 2015.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Geração 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: outubro de 2015.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Resolução Normativa n. 482 de 17 de Abril de 2012. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acessado em: julho de 2013.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Minha Casa Minha Vida, habitações. Disponível em: <<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=904>>. Acesso em: maio de 2015.

CANADIAN SOLAR. Dados técnicos de painéis solares. Disponível em: <[http://www.canadiansolar.com/fileadmin/user\\_upload/downloads/manuals/Canadian\\_Solar-Diamond\\_Module\\_Installation\\_Manual\\_v1.11\\_en.pdf](http://www.canadiansolar.com/fileadmin/user_upload/downloads/manuals/Canadian_Solar-Diamond_Module_Installation_Manual_v1.11_en.pdf)>. Acessado em: maio de 2015.

CEPEL [Centro de Pesquisas de Energia Elétrica]. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília, 2001. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/)>. Acessado em: novembro de 2014.

CEPEL [Centro de Pesquisas de Energia Elétrica]. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2004.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf)>. Acessado em: novembro de 2014.

CPFL RENOVÁVEIS. Companhia brasileira de geração de energia elétrica renovável. Usina de Energia Eólica de Praia Formosa, 2009. Disponível em: <<http://www.cpflrenovaveis.com.br/>>. Acessado em: fevereiro de 2015.

CRESESB [Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito]. Coletânea de Artigos - Energia Solar e Eólica, vol.2. Rio de Janeiro, 2005.

DASOL. Departamento Nacional de Aquecimento Solar. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br/2012/08/software-canadense-o-retscreen-ajuda-na-elaboracao-de-projetos-de-eficiencia-energetica/>>. Acessado em: abril de 2015.

DESIGNBUILDER. Disponível em: <<http://www.designbuilder.co.uk>>. Acessado em: maio de 2015.

DOISAENGENHARIA. Parque Eólico do Rio de Fogo, 2014. Disponível em: <<http://www.doisa.com/portfolio/>>. Acessado em: fevereiro de 2015.

ELETROSUL. Complexo Eólico de Cerro Chato, 2012. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/eletrosul-inaugura-parque-eolico-de-258-mw-no-rio-grande-do-sul>>. Acessado em: fevereiro de 2015.

ENERGYPLUS. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>>. Acessado em: maio de 2015.

ENERSUD. Empresa de fabricação de aerogeradores. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <[http://enersud1.hospedagemdesites.ws/?page\\_id=2](http://enersud1.hospedagemdesites.ws/?page_id=2)>. Acessado em: março de 2015.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] (BRASIL). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014: Ano Base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] (BRASIL). Balanço Energético Nacional 2014: Ano Base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] (BRASIL). Plano Decenal de Energia 2014: Horizonte 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] (BRASIL). Plano Nacional de Energia 2050. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

G1 GLOBO. Vilões no consumo de energia elétrica nas residências brasileiras. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/hora1/noticia/2015/>>. Acessado em: abril de 2015.

GALDINO, M. A. Análise de custos históricos de sistemas fotovoltaicos no Brasil. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES, São Paulo, 2012.

GALDINO, M. A.; VISCONTI, I. F.; OLIVIERI, M. M. A. Estudos de impactos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no sistema isolado de Parintins - AM. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES, São Paulo, 2012.

GRANDES CONSTRUÇÕES. Potenciação do Parque Eólico Eco Energy, 2013. Disponível em: <<http://www.grandesconstrucoes.com.br/>>. Acessado em: fevereiro de 2015.

HALTRECHT, Julia; HODGE, Jessica. BedZED: seven years on the impact of the UK's best known eco-village and its residents. Reino Unido, 2009.

HOLLAND. Moinhos de ventos. Disponível em: <<http://www.holland.com/br/.htm>>. Acessado em: março de 2015.

IMAMURA, M. S.; HELM, P.; PALZ, W. Photovoltaic System Technology. An European Handbook, CEC, H. S. Stephens & Associates, 1992.

JIALI WIND TURBINE. Disponível em: <<http://jialiwindturbine.gmc.globalmarket.com>>. Acessado em: março de 2015.

KOTNIK, Jure. Container Architecture. Barcelona, Espanha: Links Books, 2008.

LEITÃO, Neidja Cristine Silvestre; SOUSA Jr., Wilson Cabral. Análise custo-benefício social aplicada ao complexo hidrelétrico de Belo Monte. IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação da Universidade do Vale do Paraíba. São Paulo, 2015.

LIGHT. Formulário de Solicitação para Geração de Energia Alternativa. Disponível em: <<https://agenciavirtual.light.com.br/LASView/av/energiaalternativa/energiaAlternativaDescrica.do>>. Acessado em: maio de 2015.

MILANEZE, Giovana Leticia Schindler; et al. A Utilização de Containers como Alternativa de Habitação Social no Município de Criciúma/SC. Revista Técnico Científica (IFSC), vol. 3, n. 1, 2012, p. 615-624.

MUSIBAY, Oscar. Cargo Containers Converted into Affordable Housing Units. South Florida Business Journal, 2009.

NATGEO [National Geographic]. Pearl River Tower. Disponível em: <<http://natgeotv.com/uk/megastructures/about>>. Acessado em: junho de 2015.

NEW ENERGY. Parque Eólico Alegria, 2015. Disponível em: <<http://www.parqueeolicoalegria.com.br>>. Acessado em: fevereiro de 2015.

PETRONOTICIAS. Aumento da geração eólica na matriz de eletricidade Brasileira, 2015. Disponível em: <<http://www.petronoticias.com.br/archives/73503>>. Acessado em: junho de 2015.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos. Edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro: Cepel, 2014.

REIS, Lineu Belico dos. Geração de energia elétrica. 2a Edição, São Paulo: Ed. Manole, 2010.

RENOVAENERGIA. Complexo Eólico Alto Sertão I, 2012. Disponível em: <<http://www.renovaenergia.com.br>>. Acessado em: fevereiro de 2015.

RETSCREEN. Disponível em: <<http://www.etscreen.net/pt/home.php>>. Acessado em: maio de 2015.

ROBBA, Ernesto João. Introdução a Sistemas Elétricos de Potência. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda, 1972.

RÜTHER, Ricardo. Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. 1ª Edição, Florianópolis: Ed. Labsolar, 2004.

SOARES, G. F. W. Comparação de Custos entre Sistemas Fotovoltaicos Individuais e Minicentrais Fotovoltaicas para Eletrificação Rural. III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém, 2010.

UITTENBROEK, Caroline; MACHT, Will. Sustainable Containers: Cost-Effective Student Housing. Quarterly & Urban Development Journal, PSU Center for Real Estate, 2009, p. 53-60.

VENTOS DO SUL ENERGIA. Parque Eólico de Osório, 2006. Disponível em: <<http://www.ventosdosulenergia.com.br/highres.php>>. Acessado em: fevereiro de 2015.

VILELA, O. C.; FRAIDENRAICH, N.; GALDINO, M. A. Metodologia de levantamento de características de sistemas fotovoltaicos de bombeamento d'água utilizando fonte de alimentação CC. III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém, 2010.

## ANEXO A - ILUSTRAÇÕES ADICIONAIS PARA FUNDAMENTAÇÃO



### Solicitação para Geração de Energia Alternativa Microgeração e Minigeração

#### A - IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE

##### 1. Dados da Unidade Consumidora:

CÓDIGO DO CLIENTE:	Nº INSTALAÇÃO:	
Nome Completo	CPF / CNPJ	
Endereço da Instalação (Rua/Av, nº, complemento, bairro e município):	CEP	
Endereço de Cobrança (Rua/Av, nº, complemento, bairro e município):	CEP	
Atividade Principal:	Telefone(s):	Email:

#### B - INFORMAÇÕES TÉCNICAS GERAIS

##### 1. Caracterização da Unidade Consumidora:

Solicitação:

Microgeração até 100 kW   
  Minigeração de 101kW a 1.000kW   
  Autoprodutor s/ Exp   
  PIE ou Autoprodutor c/ Exp

Individual   
  Coletivo   
  BT   
  MT / AT   
  Aéreo   
  Subterrâneo

Tensão de fornecimento (kV): \_\_\_\_\_ | Potência Instalada da Unidade Consumidora (kVA): \_\_\_\_\_

Tipo de ligação:

monofásica   
  bifásica   
  trifásica

Carga Instalada da Unidade Consumidora (kW): \_\_\_\_\_

##### 2. Caracterização da Unidade Geradora:

Potência total da central geradora (kW): \_\_\_\_\_ | Potência total instalada (kVA): \_\_\_\_\_

Tipo de fonte de geração:

hidráulica   
 solar   
 eólica   
 biomassa   
 cogeração qualificada   
 Outros: \_\_\_\_\_

Tipo de ligação:

monofásica   
 bifásica   
 trifásica

##### 3. Unidades Participantes do Sistema de Compensação:

*1ª Prioridade*

Nome do Cliente: \_\_\_\_\_ | Nº Instalação: \_\_\_\_\_

Endereço da Instalação (Rua/Av, nº, complemento, bairro e município): \_\_\_\_\_ | CEP: \_\_\_\_\_

*2ª Prioridade*

Nome do Cliente: \_\_\_\_\_ | Nº Instalação: \_\_\_\_\_

Endereço da Instalação (Rua/Av, nº, complemento, bairro e município): \_\_\_\_\_ | CEP: \_\_\_\_\_

*3ª Prioridade*

Nome do Cliente: \_\_\_\_\_ | Nº Instalação: \_\_\_\_\_

Endereço da Instalação (Rua/Av, nº, complemento, bairro e município): \_\_\_\_\_ | CEP: \_\_\_\_\_

#### C - INFORMAÇÕES TÉCNICAS DA CENTRAL GERADORA

##### 1. Dados dos Transformadores - apenas para minigeradores

Quant. de transformadores	1	2	3	4	5
Potência nominal (kVA)					
Reatância do trafo (%)					
Tensão primária (V)					
Tensão secundária (V)					
Faixa de regulação (+ ou - x%)					

##### 2. Alimentação de controle para a proteção:

Não aplicável (uso de inversores)

Baterias - utilizando carregador flutuador    Informar tensão VCC: \_\_\_\_\_

**3. Dados da Usina:**

Usina Fotovoltaica - SOL

Nº de arranjos:

Área total da usina (m<sup>2</sup>):

Quant. de módulos:

Arranjos	Nº de placas por arranjo	Área do arranjo (m <sup>2</sup> )	Potência de pico (kW)	Data de entrada em operação
1				
2				
3				
4				
5				

Usina Eólica - EOL

Geração Híbrida:  Não Possui  Possui - Especificar: \_\_\_\_\_

Nº de unidades geradoras:

Geradores	Potência (kVA)	Tensão (kV)	Fator de Potência	Data de entrada em operação
1				
2				

Demais Usinas

Combustível:

Nº de unidades geradoras:

 Sem exportação de energia Com exportação de energia

Geradores	Potência (kVA)	Tensão (kV)	Fator de Potência	Data de entrada em operação
1				
2				

**D - DADOS DOS INVERSORES**

Quant. de inversores	1	2	3	4	5
Potência nominal (kVA)					
Faixa de tensão de operação (V)					
Corrente nominal (A)					
Fator de potência					
Rendimento (%)					
Fabricante					
Modelo					

**E. INFORMAÇÕES DA PROTEÇÃO DE ACOPLAMENTO** Funções de proteção do Inversor. Quais: \_\_\_\_\_ Funções de proteção a partir de equipamento específico para proteção. Informar:

Modelo:

Fabricante:

Funções utilizadas

**F. RESPONSÁVEL TÉCNICO**

Nome do Responsável Técnico:

Nº CREA / CAU:

ART / RRT nº:

Telefone(s) para contato

Email:

Assinatura:

Data:

**G. INFORMAÇÕES PARA PREENCHIMENTO DA LIGHT**

Linha alimentadora/subestação:

Níveis de curto-circuito (A):

Normal:	Normal Máximo	Entrada SE	Reserva Máximo	Entrada SE
Reserva:	Monofásico		Monofásico	
	Trifásico		Trifásico	

**H. PREENCHIMENTO DA LIGHT**

Código do Cliente:

Instalação:

Solicitação:

Nº da(s) Nota(s) de Serviço:

Estação Consumidora:

**Este formulário deve ser entregue, anexando os seguintes documentos:**

- Planta de situação/ localização;
- Anotação de Responsabilidade Técnica – ART, devidamente numerada, ou Registro de Responsabilidade Técnica - RRT, devidamente quitada;
- Procuração, em papel timbrado e com reconhecimento de firma;
- Carta de solicitação de serviço;
- Planta baixa da subestação com corte transversal e longitudinal (apenas para acessantes na MT);
- Diagrama unifilar completo da planta do sistema de geração própria;
- Características dos TC's, TP's, geradores e transformadores existentes;
- Diagramas esquemáticos e funcionais;
- Diagrama trifilar da interligação (apenas para Acessantes trifásicos);
- Descritivo dos intertravamentos (quando couber);
- Cópia dos manuais técnicos dos relés e inversores;
- Certificado de conformidade emitido pelo fabricante do inversor.\*

(\*): Inversores para sistema fotovoltaicos conectados à rede de distribuição cujas solicitações possuam potência nominal até 10kV devem ser fabricados e importados de acordo com as normas do INMETRO e devidamente registrados por este órgão. Nesse caso, o Cliente deve apresentar o documento certificado por esse órgão metrológico.

A veracidade das informações fornecidas é de total responsabilidade do cliente que estará sujeito as penalidades cabíveis segundo legislação vigente.