

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

ANDRÉ DA SILVA SILVEIRA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE GERADOR
EÓLICO RESIDENCIAL**

FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 2021

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

ANDRÉ DA SILVA SILVEIRA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE GERADOR
EÓLICO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina como parte dos requisitos
para obtenção do título de Tecnólogo em
Sistemas de Energia.

Professor Orientador: João Carlos
Martins Lúcio, D. Eng.

FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Silveira, André da Silva

Análise técnica e econômica para a implantação de gerador eólico residencial / André da Silva Silveira ; orientação de João Carlos Martins Lúcio. - Florianópolis, SC, 2020.

91 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. CST em Sistemas de Energia. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Inclui Referências.

1. Energia Eólica Residencial. 2. Potencial Eólico. 3. Análise de Viabilidade Econômica. I. Martins Lúcio, João Carlos. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. III. Título.

ANDRÉ DA SILVA SILVEIRA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE GERADOR
EÓLICO RESIDENCIAL**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em Sistemas de Energia, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela banca avaliadora abaixo indicada.

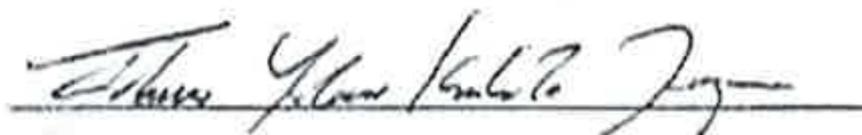
Florianópolis, 24 de Junho, 2021.



Prof. João Carlos Martins Lúcio, Dr. Eng. - Orientador



Prof. Daniel Tenfen, Dr. Eng.



Prof. Fabrício Yutaka Kuwabata Takigawa, Dr. Eng.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Janete da Silva Silveira e Joaci da Silva Silveira, por sempre me incentivarem e acreditarem que eu conseguiria.

Meu irmão, Israel da Silva Silveira, por todo apoio na elaboração desse trabalho.

Minha esposa, Priscila dos Santos Oliveira, por sempre me incentivar e me dar forças para nunca desistir.

Ao meu professor orientador, João Carlos Martins Lúcio, pela eterna paciência e envolvimento constante no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do curso, sem exceção, que contribuíram com seus ensinamentos para que eu pudesse chegar até essa importante etapa.

“Eu que já não quero mais ser um vencedor,
levo a vida devagar pra não faltar amor”.

Marcelo Camelo

RESUMO

A produção de eletricidade utilizando como fonte de geração a energia eólica se mostra atrativa, por causa do seu mínimo impacto ambiental. No estado de Santa Catarina, principalmente na região litorânea, estão presentes locais de ótima qualidade para a implantação de geradores eólicos de pequeno porte, ou seja, instalação de sistemas de minigeração ou microgeração eólica. Para a implantação de um gerador eólico de pequeno porte, se faz necessário analisar a viabilidade econômica, bem como os aspectos técnicos e ambientais relacionados ao projeto. Em nível nacional, iniciou-se um ciclo que promete ter bastante sucesso, através de incentivos que foram iniciados com o Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), estimulando o investimento no setor de geração de energia elétrica, por meio de fontes renováveis, ou seja, utilizar energia limpa e assim evitar ao máximo o impacto ambiental negativo. Desse modo, propõe-se nesse trabalho, a avaliação técnica e econômica da geração eólica para suprir a demanda de uma instalação elétrica residencial. Tal avaliação é baseada nos métodos de análise de investimento, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Tempo de Recuperação do Capital (*payback*), considerando informações referentes ao consumo de energia elétrica da residência, à tarifa estabelecida pela concessionária, à velocidade do vento no local, aos custos e à produção de energia elétrica de três aerogeradores, com capacidades diferentes, disponíveis no mercado. Como resultados, identificam-se as condições que viabilizam economicamente cada projeto eólico considerado, indicando como favoráveis a esses projetos, uma situação de tarifa de energia elétrica crescente, combinado com o oferecimento de subsídios e condições atrativas de financiamento.

Palavras chave: Energia Eólica Residencial, Potencial Eólico, Análise de Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

The production of electricity using wind energy as a generation source is attractive because of its minimal environmental impact. In the state of Santa Catarina, especially in the coastal region, there are excellent quality sites for the implementation of small wind generators, that is, installation of mini-generation or micro-generation wind systems. In order to analyze the implementation of a small wind generator, it is necessary to analyze the economic feasibility, as well as technical and environmental aspects related to the project. At the national level, we are starting a cycle that promises to be quite successful, through incentives that were initiated with the Incentive Program for Alternative Energy Sources (PROINFA), stimulating the investment in energy generation sector through sources renewable, that is, using clean energy and thus avoiding the negative environmental impact as much as possible. Thus, it is proposed in this work, the technical and economic evaluation of wind generation to supply the demand for a residential electrical installation. This evaluation is based on the investment analysis methods, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Capital Recovery Time (payback), considering information regarding the household's electricity consumption, the tariff established by the concessionaire, the wind speed at the location, the costs and production of electricity from three wind turbines, with different capacities, available on the market. As a result, the conditions that make each wind project considered economically viable are identified, indicating as favorable to these projects a situation of increasing electricity tariff, combined with the offer of subsidies and attractive financing conditions.

Keywords: Residential Wind Energy, Wind Potential, Economic Feasibility Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva típica de densidade de potência do vento em função da velocidade	24
Figura 2 – Fluxo de caixa	25
Figura 3 – Representação gráfica do <i>payback</i> de um investimento	29
Figura 4 – Sistemas conectados e isolados	31
Figura 5 – Tipos de Aerogeradores.....	34
Figura 6 - Comportamento do vento sob influência das características do terreno...39	
Figura 7 – Relação da velocidade do vento x altura.....	39
Figura 8 - Localização das estações anemométricas da CELESC	41
Figura 9 - Estações anemométricas no Estado de Santa Catarina	41
Figura 10 - Velocidade do vento.....	42
Figura 11 - Anemômetro digital de bolso.....	43
Figura 12 - Anemômetro analógico de torre	43
Figura 13 – Velocidade X Altura.....	44
Figura 14 – Sensor de direção	44
Figura 15 - Médias anuais de velocidade do vento – Imbituba.....	49
Figura 16 – Curva de Produção de Energia Elétrica – Aerogerador 1	50
Figura 17 – Curva de Produção de Energia Elétrica – Aerogerador 2	51
Figura 18 – Curva de Produção de Energia Elétrica – Aerogerador 3	52
Figura 19 – Variação do VPL acumulado em função do tempo Aerogerador 1 – Com Subsídio e Sem Financiamento.....	56
Figura 20 – Variação do VPL acumulado em função do tempo com subsídio e com financiamento para o gerador 1	58
Figura 21 – Variação do VPL acumulado em função do tempo – Aerogerador 1 – Com Subsídio e Melhorando as Condições de Financiamento	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fluxo de caixa – Aerogerador 1 – Sem Financiamento.....	53
Tabela 2 – Fluxo de caixa – Aerogerador 1 – Com Financiamento.....	54
Tabela 3 – Fluxo de caixa – Aerogerador 1 – Com Subsídio e Sem Financiamento	55
Tabela 4 – Fluxo de caixa – Aerogerador 1 – Com Subsídio e com Financiamento	57
Tabela 5 – Fluxo de caixa – Aerogerador 1 – Com Subsídio e Melhorando as Condições de Financiamento.....	59
Tabela 6 – Fluxo de caixa – Aerogerador 2 – Sem Financiamento.....	71
Tabela 7 – Fluxo de caixa – Aerogerador 2 – Com Financiamento.....	72
Tabela 8 – Fluxo de caixa – Aerogerador 2 – Com Subsídio e Sem Financiamento	73
Tabela 9 – Fluxo de caixa – Aerogerador 2 – Com Subsídio e Com Financiamento	74
Tabela 10 – Fluxo de caixa – Aerogerador 2 – Com Subsídio e Melhorando as Condições de Financiamento.....	75
Tabela 11 – Fluxo de caixa – Aerogerador 3 – Sem Financiamento.....	76
Tabela 12 – Fluxo de caixa – Aerogerador 3 – Com Financiamento.....	77
Tabela 13 – Fluxo de caixa – Aerogerador 3 – Com Subsídio e Sem Financiamento	78
Tabela 14 – Fluxo de caixa – Aerogerador 3 – Com Subsídio e Com Financiamento	79
Tabela 15 – Fluxo de caixa – Aerogerador 3 – Com Subsídio e Melhorando as Condições de Financiamento.....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resultados da análise econômica – Aerogerador 1.....	60
Quadro 2 – Resultados da análise econômica – Aerogerador 2.....	61
Quadro 3 – Resultados da análise econômica – Aerogerador 3.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEÓLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
COGEN	Associação da Indústria de Cogeração de Energia
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica
GD	Geração Distribuída
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
kWh	Quilowatt-hora
LEPTEN	Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia
MME	Ministério de Minas e Energia
PIS	Programa de Integração Social
PROGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PROINFA	Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Definição do problema	15
1.2 Justificativa	16
1.3 Objetivo geral.....	17
1.4 Objetivos específicos.....	17
1.5 Estrutura do trabalho	18
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 Mini e Microgeração Distribuída de Energia Elétrica	19
2.1.1 Vantagens e Desvantagens da Minigeração e/ou Microgeração Geração Distribuída de Energia Elétrica	19
2.1.2 Regulamentação Pertinente à Geração Distribuída	20
2.1.3 Observação do Custo/Benefício da Micro e/ou Minigeração Distribuída.....	22
2.2 Energia Eólica.....	22
2.2.1 Princípio da Geração Eólica.....	22
2.2.2 Potência Elétrica de um Aerogerador.....	23
2.3 Viabilidade Econômica de Projetos de Investimento	24
2.3.1 Conceitos Básicos para a Análise da Viabilidade Econômica de Investimentos	24
2.3.2 Métodos para a Análise da Viabilidade Econômica de Investimentos	26
3 GERAÇÃO EÓLICA RESIDENCIAL.....	30
3.1 Considerações Iniciais Sobre a Geração Eólica Residencial	30
3.2 Mini e Microgeração Eólica por Meio de Sistemas <i>Off-grid</i> ou <i>On-grid</i> ...	30
3.3 O Sistema de Compensação de Energia	32
3.4 Procedimentos para Conexão à Rede Elétrica	32
3.5 Componentes de um Sistema de Geração Eólica Residencial.....	33
3.6 Avaliação do Local	37
3.7 Fatores que Influenciam o Regime dos Ventos	38
3.8 Levantamento do Regime dos Ventos no Estado de Santa Catarina	40
3.9 Medição da Velocidade do Vento.....	42

3.10	A Escolha do Aerogerador	44
3.11	Considerações sobre o Local para a Instalação de um Aerogerador.....	45
3.12	Como Definir a Potência de um Microgerador.....	46
4	ANÁLISE DE VIABILIDADE DA MICROGERAÇÃO EÓLICA RESIDENCIAL – ESTUDO DE CASO	47
4.1	Considerações Iniciais.....	47
4.2	Dados de Entrada	48
4.2.1	Dados da Unidade Consumidora e das Condições de Fornecimento.....	49
4.2.2	Dados de Velocidade do Vento no Local	49
4.2.3	Dados dos Aerogeradores	50
4.2.4	Condições de Financiamento.....	52
4.2.5	Dados para a Avaliação Econômica.....	52
4.3	Resultados da Avaliação Técnica e Econômica	53
4.4	Comentários Gerais sobre os Resultados Obtidos.....	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	APÊNDICE – FLUXOS DE CAIXA – AEROGERADORES 2 E 3.....	71

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por energia elétrica é uma preocupação dos governantes e da sociedade, mas esse problema poderia ser reduzido com a introdução de uma política que diversifique os tipos de fontes de geração. A questão mais preocupante no âmbito mundial é a utilização de combustíveis poluentes para a produção de energia elétrica, o que ocasiona importantes impactos ambientais e por consequência, o aumento do aquecimento global. Isso faz com que aumente a procura por fontes alternativas de energia elétrica, sendo a energia eólica uma opção expressiva, por se tratar de uma energia limpa e renovável.

O constante aumento da conta e do consumo, influenciam na questão financeira dos consumidores de energia elétrica no nosso país. Uma solução interessante seria a geração distribuída de energia (GD), que é a geração descentralizada de energia elétrica nas áreas próximas ou no local onde a mesma é consumida. A GD geralmente é realizada por produtores independentes e autoprodutores que priorizam a geração de energia elétrica utilizando fontes renováveis (solar, eólica, biomassa, etc). A GD ainda é pouco divulgada entre os consumidores e sua divulgação é necessária para que as pessoas possam conhecer as suas vantagens e entender como aderir a esse modelo de geração.

A geração centralizada também conhecida como convencional, utiliza grandes centrais geradoras que necessitam de uma rede de linhas para transmissão e distribuição de energia elétrica para alcançar o consumidor final. A geração distribuída está diretamente relacionada à produção de energia elétrica executada por consumidores independentes, isso ocorre através de diversas centrais localizadas em diferentes regiões (SOLARVOLT, 2015).

1.1 Definição do problema

A ausência de um conhecimento mais profundo sobre o impacto das diversas fontes de energia, principalmente as não renováveis, no meio ambiente, ocasionou um problema mundial e se faz necessário obter compreensão total sobre a utilização de todas as fontes de geração de energia, mas o foco nas fontes renováveis segue em constante crescimento por causa da crise ambiental que precisa ser controlada. A utilização de uma fonte de energia inesgotável e com menor impacto ambiental

seria a situação ideal e evitaria o impacto ambiental que ocorre por meio de fontes de energia que poluem a atmosfera. A geração de energia elétrica por meio de geradores que utilizam a energia eólica se aproxima do modelo renovável ideal.

A representatividade da utilização da energia eólica renovável na matriz elétrica nacional é pouco significativa se comparada às fontes não renováveis e à fonte hidráulica, com percentual aproximado de 9% e tendo como característica a utilização de turbinas de médio e grande porte diretamente ligadas na rede elétrica (ABEEOLICA, 2018). Em locais isolados da rede convencional existem dezenas de turbinas eólicas de pequeno porte operando para suprir necessidades diversas, tais como, o bombeamento de água, o carregamento de baterias, a alimentação de sistemas de telecomunicação, a eletrificação rural, etc (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2015).

Torna-se necessária a produção de energia elétrica utilizando fontes de energia renováveis e que sejam compatíveis com as necessidades de crescimento econômico, levando em consideração a sustentabilidade por meio do aproveitamento dos recursos que tenham melhor disponibilidade, mas que apresentem o mínimo impacto ambiental e com gastos de produção conciliáveis ao fator econômico (MAGALHÃES, 2006, p. 14).

A produção de energia elétrica em larga escala por meio de geração eólica, em nível nacional, apresenta constante crescimento e cada vez mais são realizadas análises para a implantação desse modelo de geração de energia. Nos países da Europa a geração eólica é utilizada em grandes proporções, porque apresenta uma engenharia muito bem desenvolvida (MAGALHÃES, 2006, p. 13).

Considerando os fatos apresentados sobre os problemas energéticos, sejam em nível mundial ou nacional, propõe-se a avaliação técnica e econômica da implantação de uma turbina eólica de pequeno porte para o fornecimento de energia elétrica a uma instalação residencial, utilizando o potencial eólico disponível no local.

1.2 Justificativa

A utilização de fontes primárias renováveis para a geração de energia elétrica já esteve mais distante, mas avançou bastante com a Resolução Normativa 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que permite ao

consumidor brasileiro a geração da sua energia elétrica via fontes renováveis e utilizar a energia limpa em sua residência, fornecendo o excedente para a rede de distribuição local (ANEEL, 2012).

A autossustentabilidade e a economia financeira tornam este projeto algo interessante para aplicações em residências localizadas em regiões com boa velocidade, direção e frequência de ventos, trazendo benefícios constantes e também consciência socioambiental. A realidade atual, considerando a sustentabilidade e os avanços tecnológicos, sugere uma avaliação mais detalhada da utilização da energia renovável na geração de energia elétrica.

Para a implantação da energia eólica em instalações elétricas residenciais, segundo a Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, podem ser utilizados micros e minigeradores de eletricidade impulsionados pela força dos ventos. A microgeração e minigeração podem ocorrer de forma isolada ou conectada à rede elétrica, sendo que nesse último caso, o cliente poderá se beneficiar dos créditos de energia (ANEEL, 2015).

Os aspectos mencionados acima justificam e demonstram a importância do presente trabalho, no sentido de chamar a atenção para os benefícios advindos da utilização da energia eólica como fonte renovável geradora de energia elétrica, em especial, considerando a implantação de aerogeradores de pequeno porte em instalações elétricas residenciais.

1.3 Objetivo geral

Esse trabalho tem como objetivo geral, avaliar, técnica e economicamente a implantação de um sistema de microgeração eólica residencial, por meio dos conceitos da Matemática Financeira.

1.4 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, pretende-se:

- a) Apresentar os conceitos relacionados com a mini e a microgeração de energia elétrica;
- b) Identificar os componentes de um sistema de microgeração eólica residencial;

- c) Apresentar os procedimentos para o levantamento do potencial eólico de uma região;
- d) Identificar as receitas e custos associados a um projeto de microgeração eólica residencial;
- e) Apresentar um estudo de caso visando identificar as condições que favorecem economicamente um projeto de microgeração eólica residencial.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em 5 capítulos, conforme descrição a seguir:

No Capítulo 1, apresentam-se a introdução, a definição do problema, a justificativa, o objetivo geral e os objetivos específicos.

O Capítulo 2 é destinado à revisão da literatura e nele, apresentam-se os conceitos de mini e microgeração de energia elétrica, energia eólica e análise da viabilidade econômica de projetos de investimento.

No Capítulo 3 destacam-se as considerações sobre a geração eólica residencial, tais como os tipos de sistemas existentes e seus componentes, a compensação de energia, a avaliação do potencial eólico no local de instalação e a escolha do aerogerador.

O Capítulo 4 destina-se a apresentação dos estudos de caso, com os resultados da análise de viabilidade técnica e econômica da microgeração eólica, considerando o fornecimento de energia elétrica a uma instalação residencial localizada no município de Imbituba/SC.

Por fim, reserva-se o Capítulo 5 para a apresentação das considerações finais e recomendações para futuros trabalhos, apresentando-se na sequência as referências bibliográficas e um apêndice contendo os fluxos de caixa referentes a dois dos três projetos de geração eólica residencial analisados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mini e Microgeração Distribuída de Energia Elétrica

Quando ocorre a geração de energia elétrica, baseada em pequenas centrais elétricas geradoras que aproveitam as fontes renováveis, estamos diante de sistemas de microgeração e/ou minigeração. A principal diferença entre os modelos é a potência instalada, sendo até 75 kW na microgeração e em minigeração superior a 75 kW até 3 MW (fontes hídricas) e 5 MW para as demais fontes (ANEEL, 2016).

2.1.1 Vantagens e Desvantagens da Minigeração e/ou Microgeração Geração Distribuída de Energia Elétrica

São listadas aqui, as vantagens da GD, tanto para o setor elétrico, como para o desenvolvimento econômico de um modo geral (COGEN, 2013).

- a) Ameniza a sobrecarga e também o congestionamento do sistema de transmissão assegurando a tensão em níveis apropriados;
- b) Apresenta segurança ao sistema por permitir a redução da quantidade de quedas de energia e *blackouts*;
- c) Minimiza a necessidade de aplicação de investimentos em redes de transmissão;
- d) Reduz a dependência do parque gerador despachado centralizadamente, conservando reservas perto dos centros de carga;
- e) Proporciona vantagens distribuídas por todos os consumidores e geradores;
- f) Menor período e menor dificuldade na licença e na liberação para introdução dos projetos;
- g) Permite o equilíbrio na produção pela indústria nacional;
- h) Permite o crescimento do número de agentes geradores e participantes no setor elétrico, distribuídos regionalmente;
- i) Auxilia na diversificação da matriz energética e do setor elétrico;
- j) Minimiza impactos ambientais resultantes da construção de reservatórios e de linhas de transmissão longas;
- k) Permite a valorização das fontes de energias de baixo impacto ambiental.

As seguintes desvantagens podem ser listadas:

- a) O investimento para instalação do sistema é custeado pelo proprietário (OLADE, 2011);
- b) Mudanças da tarifa em função da taxa de utilização da interconexão local, variável de acordo com cada companhia;
- c) O período de *payback* financeiro (tempo de recuperação do capital investido) ainda é bem elevado devido às despesas ocorridas no sistema;
- d) Ocorrência de variações na produção de energia do sistema, de acordo com a fonte energética empregada (INEE, 2011);
- e) Significativa complexidade nos procedimentos de manutenção (INEE, 2011).

2.1.2 Regulamentação Pertinente à Geração Distribuída

A Resolução Normativa 482/2012 (ANEEL, 2012) já mencionada na seção 1.2, estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, gerando o sistema de compensação de energia elétrica, sendo atestada através da Consulta Pública nº 15/2010 (de 10 de setembro a 9 de novembro de 2010) (ANEEL, 2010) e da Audiência Pública nº 42/2011 (de 11 de agosto a 14 de outubro de 2011) (ANEEL, 2011).

Em seguida, por meio da Audiência Pública nº 26/2015 (de 7 de maio de 2015 a 22 de junho de 2015) foi publicada a Resolução Normativa 687/2015 (ANEEL, 2015), revisando a Resolução Normativa 482/2012 e a seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Além disso, diversos documentos tratam da tributação e das condições de financiamento para a GD, conforme mencionados a seguir:

a) PIS/COFINS

Com a publicação da lei 13.169, em outubro de 2015, dispensando as tributações dos microgeradores e minigeradores, tornando nulas as porcentagens da contribuição ao Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) incidentes somente sobre a diferença positiva entre o gasto de energia e a energia inserida na rede pela unidade

consumidora com minigeração ou microgeração distribuída, seja com créditos de energia ativa gerada na própria unidade consumidora no mês corrente, meses retroativos ou diferente unidade de consumo do mesmo cliente (ANEEL, 2016).

b) ICMS

o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) teve regulamentada a cobrança através da lei complementar nº 87 de 13 de Setembro de 1996, onde cada Estado da Federação deve ser cobrado (BRASIL, 1996). O programa Convênio ICMS 16/2015, iniciado pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), permite que a tributação ao consumidor ocorra somente no excedente utilizado e assim viabiliza a geração distribuída para os consumidores, que pagam impostos somente sobre a energia não devolvida ao sistema (CONFAZ, 2015).

c) PROGD

O Ministério de Minas e Energia (MME) iniciou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), expandindo a produção distribuída de energia elétrica tendo como base fontes renováveis, contribuindo na criação de linhas de crédito e de financiamento de projetos de geração distribuída, estimulando a indústria de componentes e equipamentos, focando no desenvolvimento produtivo, tecnológico e na inovação (MME, 2015).

d) IPTU

O Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) é um imposto que está em vigor em todo o território nacional e que deve ser pago aos municípios por aqueles que possuem propriedade em zonas urbanas (BRASIL, 1988). A redução no IPTU para donos de imóveis que optarem por aderir à sistemas com base em fontes renováveis está sendo estimulado em vários municípios brasileiros e tem como foco contemplar residências, estabelecimentos comerciais e indústrias, com uma redução no valor do tributo e assim incentivando a utilização da minigeração e microgeração.

Os descontos variam de 10% até 100% no IPTU para o proprietário que utilizar tecnologia sustentável, mas isso depende de leis municipais e varia de acordo com as vantagens geradas ao meio ambiente em torno de sua região (BUZAGLO DANTAS, 2014).

2.1.3 Observação do Custo/Benefício da Micro e/ou Minigeração Distribuída

A escolha da implantação do sistema de micro e/ou minigeração distribuída é do usuário, e não são definidos valores de geradores e também não são ofertados financiamentos pela ANEEL (ANEEL, 2016).

Todo o estudo do custo/benefício para a implantação de geradores é de responsabilidade do consumidor. Diversas situações devem ser consideradas no estudo do sistema com geradores, como a fonte geradora de energia, configuração da unidade de consumo e da central de geração, tecnologia dos geradores implantados, posição geográfica (urbana, subúrbio, litoral), tarifa que representa o usuário interessado, condições de rendimentos financeiros do projeto e a presença de diferentes unidades consumidoras do mesmo titular para que tenha o benefício dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2016).

2.2 Energia Eólica

A energia eólica se caracteriza por ser limpa, abundante e renovável, sendo gerada pela massa de ar em deslocamento, produzindo energia cinética. O modo como é usada essa importante fonte de energia segue evoluindo de acordo com o avanço da tecnologia, desde o início, quando era utilizada para o deslocamento de barcos que utilizavam velas e também para mover os moinhos de vento (PORTOGENTE, 2016).

A ANEEL incentiva o uso da energia gerada por fontes renováveis, fazendo com que o interesse pela utilização da energia eólica para geração de energia elétrica aumente, e isso ocorre por meio de investimentos tecnológicos, tornando esse modelo de sistema cada vez mais atrativo também para aplicação no uso residencial.

2.2.1 Princípio da Geração Eólica

A energia eólica é a conversão da energia do vento em energia adequada para a geração de energia elétrica, por meio da utilização de aerogeradores, sendo um modelo de produção renovável e que não afeta o meio ambiente. As variações do fluxo do ar ocorrem devido à influência direta da energia radiada pelo sol

(radiação solar) que provoca a elevação da temperatura de maneira desigual em toda a atmosfera do planeta Terra e por consequência converte em energia aproveitável e ideal para geração de energia eólica (REIS, 2019).

O aerogerador é o equipamento que utiliza a energia dos ventos para o seu funcionamento, isso ocorre por meio do movimento das pás que ao girar o eixo da turbina resulta na produção de energia elétrica, ou seja, a energia cinética é transformada em energia mecânica implicando na geração de eletricidade (ECYCLE, [entre 2010 e 2020]).

A velocidade do vento é fundamental para o bom funcionamento do aerogerador e assim poder produzir energia elétrica. A variação da velocidade do vento define o melhor funcionamento do aerogerador e condições ruins provocam baixo rendimento na geração de energia elétrica. Durante o planejamento da instalação do aerogerador é muito importante realizar o levantamento de dados referentes à direção e a velocidade do vento na área onde será instalada a turbina eólica. Feito isso, deve-se obter informações sobre os diversos modelos de aerogeradores (SUÇUARANA, [entre 2015 e 2020]).

O uso da geração eólica apresenta benefícios como, ser renovável, não poluente, a sua aplicação provoca a diminuição do uso de fontes não renováveis, ocasiona melhores condições econômicas, contribui para ampliar e complementar a matriz energética (SUÇUARANA, [entre 2015 e 2020]).

2.2.2 Potência Elétrica de um Aerogerador

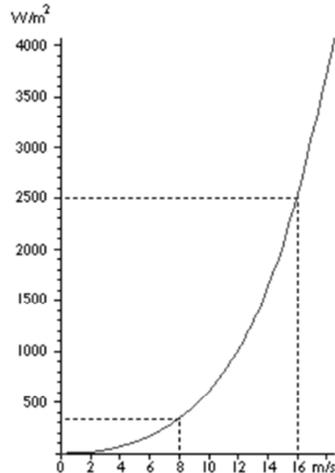
A energia disponível para um aerogerador é a energia cinética relacionada a uma coluna de ar que se movimenta a uma velocidade uniforme e contínua v (m/s). A coluna de ar, ao transpassar a seção plana transversal A (m²) do rotor da turbina, desloca uma massa $\rho \cdot A \cdot v$ (kg/s), em que ρ é a massa específica do ar ($\rho = 1,225$ kg/m³), em situações de pressão e temperatura normais (CASTRO, 2003).

A potência disponível no vento (W) é proporcional a sua velocidade ao cubo (CASTRO, 2003).

Figura 1 – Curva típica de densidade de potência do vento em função da velocidade

Potência por unidade de área = Densidade de potência – Watts/m²

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \text{ (Watts)} \longrightarrow \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 \text{ (Watts/m}^2\text{)}$$



$$\rho = 1,2256 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 8\text{m/s} \quad P = 314\text{W} / \text{m}^2$$

$$V = 16 \text{ m/s} \quad P = 2509 \text{ W} / \text{m}^2$$

8 vezes mais potência

314Watts = 5 lâmpadas de 60 Watts

Fonte: SANTO (2018)

2.3 Viabilidade Econômica de Projetos de Investimento

O estudo para verificar se um projeto de investimento é atrativo economicamente tem como objetivo garantir que os retornos serão vantajosos e assim poder decidir pela viabilidade ou inviabilidade do mesmo (PARMAIS, 2017).

Por meio do estudo aprofundado do projeto é possível verificar possíveis adversidades que poderão vir a ocorrer durante a sua implantação e também detalhes importantes sobre o retorno do investimento. Isso permitirá ao investidor escolher projetos que sejam favoráveis e compensatórios ao investimento realizado (PARMAIS, 2017).

É necessário seguir algumas etapas para se concluir o estudo detalhado de um projeto e assim verificar se o mesmo é viável, são elas: projeção de receitas do projeto, projeção de custos, despesas, investimentos necessários e análise dos indicadores calculados em cima dos dados projetados (PARMAIS, 2017).

2.3.1 Conceitos Básicos para a Análise da Viabilidade Econômica de Investimentos

Os conceitos básicos da análise da viabilidade econômica de investimentos,

considerando-se os principais métodos de análise utilizados nas mais diversas áreas estão apresentados na sequência.

Fluxo de Caixa

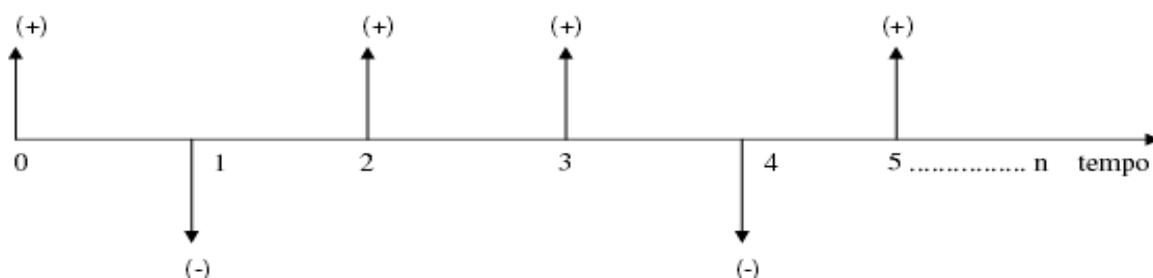
A preparação de um fluxo de caixa acontece da execução do projeto até a conclusão das movimentações financeiras do mesmo, sendo fundamental para o estudo de lucratividade e gastos nas execuções financeiras, e também de perspectiva econômica de planejamentos e aplicações (PUCCINI, 2011).

A elaboração do fluxo de caixa é realizada por gráficos, quadros e tabelas, sendo simplesmente a representação dos períodos e dos valores monetários incluídos em cada período, levando em consideração a taxa de juros i (PUCCINI, 2011).

O estudo financeiro é elaborado e contextualizado da maneira que ao longo do tempo existem entradas e saídas de dinheiro nos relatórios financeiros, ou seja, lucros e custos, sendo esse detalhado e importante processo de movimentação de valores definido como fluxo de caixa (NORBERTO, 2009).

Na representação gráfica, as receitas são apresentadas com setas apontadas para cima, continuadas do sinal positivo (+) e as despesas são sempre apresentadas com setas apontadas para baixo continuadas do sinal negativo (-). O eixo horizontal reproduz o período iniciado a partir de uma data inicial (data zero) e a unidade de tempo pode ser representada por diferentes épocas, como ano, mês, quinzena, semana, dia, etc) (NORBERTO, 2009).

Figura 2 – Fluxo de caixa



Fonte: Norberto (2009)

Taxa Mínima de Atratividade

Por meio da taxa mínima de atratividade (TMA) um projeto de investimento poderá ser rejeitado ou aprovado, porque o investidor utiliza essa taxa como referência. A análise que define a atratividade de um projeto para um investidor é fundamentada na aplicação do capital com a taxa de juro mínima predefinida (PUCCINI, 2011).

A TMA é a taxa empregada nos métodos de análise de viabilidade econômica para que um investimento seja classificado como executável (viável economicamente), sendo assim para que seja aplicada em um novo projeto, é necessário garantir a circulação de recursos na empresa com o custo inferior ao lucro e assim se tornar rentável financeiramente (PRATES, 2017).

A TMA tem como característica ser uma taxa instável, porque ela é influenciada por causas externas, como o período e as situações particulares do investidor. Também ocorre o ajuste do índice da TMA para cada diferente investimento e é fundamental que os valores de retorno sobre o investimento sejam condizentes aos riscos que eles apresentam (SILVA, 2018).

Resumidamente, a TMA é aplicada como parâmetro para análise com o intuito de estabelecer a aprovação de um investimento, sendo que a taxa de retorno será maior quando no investimento ocorre o aumento do fluxo de caixa. Para que o investimento seja efetivado é necessário conferir se o retorno financeiro será mais rentável do que o valor aplicado no projeto, se isso ocorrer ele é considerado apto para a aplicação.

2.3.2 Métodos para a Análise da Viabilidade Econômica de Investimentos

Os investidores de diferentes áreas utilizam métodos de análise de investimento para verificar a viabilidade de implantação de um projeto. O cidadão comum que tem interesse em avaliar a viabilidade econômica de uma possível instalação de um sistema de microgeração eólica em sua residência, deve também utilizar esses métodos como forma de assegurar o sucesso do seu projeto.

Método do Valor Presente Líquido – VPL

É um método de análise de estimativa de capital, pois considera a cotação do capital ao longo do período. Nesse método as entradas e as saídas de caixa são constituídas por cotações monetárias atualizadas e isso permite a equiparação do capital inserido no início (MARTINS, 2002).

Esse método reduz o fluxo de caixa do investimento a uma taxa definida e essa taxa é conhecida como custo de capital (sugere-se a utilização da TMA como taxa de juros), e indica o retorno mínimo que deve ser alcançado por um determinado empreendimento. A aprovação para a viabilidade econômica ocorrerá se o VPL for superior a zero e a reprovação se o VPL for inferior a zero (MARTINS, 2002).

O VPL de um projeto de investimento pode ser calculado utilizando-se a Equação 1 (MARTINS, 2002).

$$VPL = \left[\frac{fc_1}{(1+i)} + \frac{fc_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{fc_n}{(1+i)^n} \right] - fc_0 = \sum_{j=1}^n \frac{fc_j}{(1+i)^j} - fc_0 \quad (1)$$

fc_j é o fluxo de caixa de cada período.

fc_0 é o fluxo de caixa no período 0.

i é a taxa de desconto escolhida.

j é o período do fluxo de caixa.

Método da Taxa Interna de Retorno – TIR

A Taxa Interna de Retorno é um indicador muito importante utilizado para examinar economicamente se o investimento é executável, indicando em termos percentuais a rentabilidade do mesmo.

A TIR é definida como a taxa de desconto que faz com que o VPL de um projeto seja igual a zero, sendo um método utilizado para calcular o percentual de retorno do mesmo. Se a TIR for superior a TMA, o projeto de investimento é viável (GONÇALVES, 2018).

O cálculo da TIR é representado na Equação 2:

$$fC_0 = \sum_{j=1}^n \frac{fc_j}{(1+TIR)^j} \quad (2)$$

fC_0 é o investimento inicial.

fc_j é o fluxo de caixa no período.

TIR é taxa interna de retorno.

j é o período do fluxo de caixa.

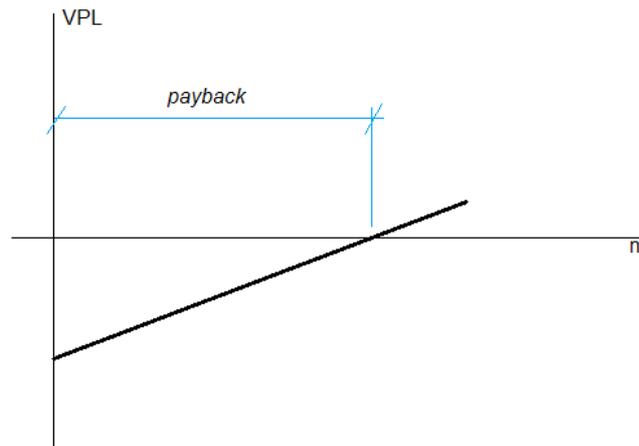
Método do Tempo de Retorno do Capital Investido – *Payback*

As empresas de pequeno porte optam por esse método devido a sua simplicidade de aplicação, por meio dele é possível identificar o período em que o investimento inicial será resgatado. Basicamente, menor será o risco se menor for o *payback*, ou seja, existirá uma maior chance de perda se o período de recuperação do que foi investido for longo (MARTINS, 2002).

O período de *payback* pode ser simples ou descontado. O período de *payback* simples é o mais direto para examinar se o projeto é executável e também definir a quantidade de períodos (dias, semanas, meses, etc) necessários para reaver o capital aplicado no começo do período. Somando os valores dos fluxos de caixa obtidos, até que o resultado seja igual ao aplicado inicialmente é possível determinar o *payback* (PRATES, 2016).

O período de *payback* descontado utiliza uma taxa de desconto (a TMA) antes de realizar o somatório do fluxo de caixas e isso o torna mais preciso (PRATES, 2016).

Na Figura 3, ilustra-se graficamente o *payback* de um projeto de investimento com base na variação do VPL do mesmo em função do número de períodos n . No ponto de cruzamento da reta que representa essa variação, com o eixo que representa os períodos do fluxo de caixa, tem-se um VPL nulo e a partir desse ponto, o VPL passa a ser positivo indicando que o projeto passa a produzir renda.

Figura 3 – Representação gráfica do *payback* de um investimento

Fonte: Elaborada pelo autor

No capítulo seguinte, são apresentados aspectos específicos da geração eólica residencial, foco do trabalho proposto.

3 GERAÇÃO EÓLICA RESIDENCIAL

A autoprodução de energia elétrica através da implantação do sistema de geração eólica residencial oferece benefícios ao meio ambiente porque é uma fonte limpa de energia, mas também beneficia o autoprodutor através da redução de custos com a energia elétrica.

3.1 Considerações Iniciais Sobre a Geração Eólica Residencial

A conexão de mini e microgeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica começou a ser permitida no Brasil em abril de 2012 através da Resolução Normativa 482/2012 e atualizada na Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL. Através dessas resoluções ficam definidas questões como o sistema de compensação de energia e requisitos gerais de conexão (ANEEL, 2018).

Com a atualização da resolução normativa, a produção de energia elétrica por meio de fontes renováveis, ficou determinada que central microgeradora apresenta potência instalada inferior ou igual a 75kW e central minigeradora possui potência instalada superior a 75kW e inferior ou igual a 5 MW para fontes renováveis de energia elétrica conectada na rede de distribuição (ANEEL, 2018).

3.2 Mini e Microgeração Eólica por Meio de Sistemas *Off-grid* ou *On-grid*

Sistemas Isolados – *Off-grid*

Os sistemas eólicos isolados são identificados pela ausência de interligação à rede elétrica. Esta solução é muito aplicada em regiões afastadas porque geralmente é a maneira mais econômica e funcional para se adquirir energia elétrica. São utilizados em sistemas de bombeamento de água, eletrificação de cercas, postes de iluminação, estações replicadoras de sinal, residências, etc. A energia gerada é estocada em baterias, assegurando o fornecimento na ausência de produção de energia elétrica (ELETROVENTO, 2020).

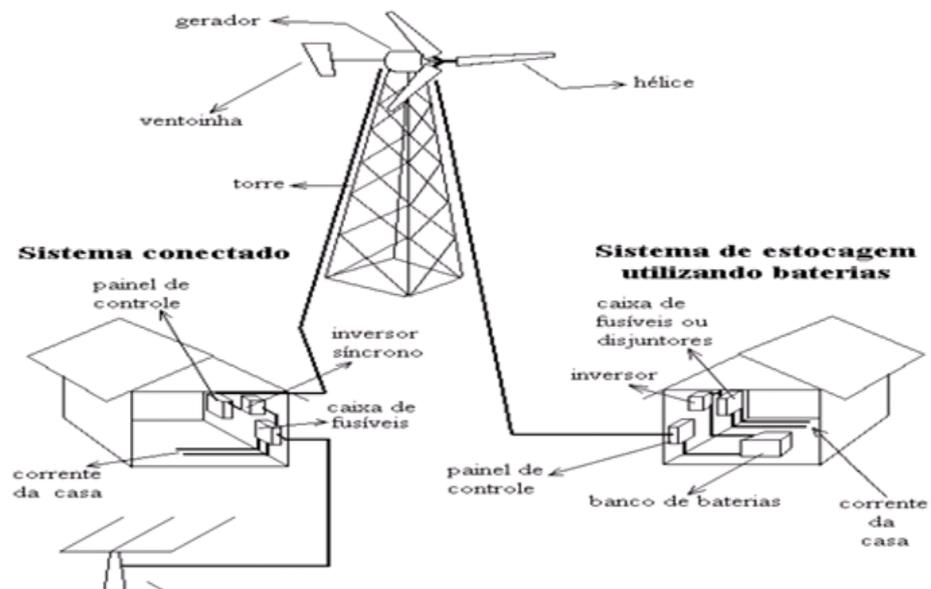
Sistemas Conectados – *On-grid*

Tais sistemas apresentam como característica a conexão à rede elétrica convencional e são preparados para realizar o fornecimento de energia que pode ser utilizada por diversos usuários da rede (ELETROVENTO, 2020).

A vantagem significativa do sistema conectado é a não utilização de baterias e controladores de carga, permitindo que ele apresente uma eficiência aproximada de 30%, outro benefício é o uso total da energia através da rede elétrica. Outras residências podem ser abastecidas pela energia gerada por esse modelo de sistema e esse processo ocorre quando a energia produzida é superior a energia consumida, quando isso ocorre o sistema injeta a energia excedente na rede de distribuição. O autoconsumo, como é chamado esse processo é controlado pelo medidor digital bidirecional, ele é responsável por calcular a diferença entre a energia gerada e a consumida (ELETROVENTO, 2020).

Na Figura 4, são ilustrados os dois tipos de sistemas de microgeração eólica.

Figura 4 – Sistemas conectados e isolados



Fonte: Ferreira, Leite ([entre 2001 e 2016])

3.3 O Sistema de Compensação de Energia

Os sistemas eólicos geram energia somente quando há vento suficiente para fazer o gerador eólico funcionar. Na ausência de vento a unidade consumidora utiliza a energia da rede, mas se o sistema eólico do cliente gerar energia e não realizar o consumo, ocorrerá a injeção dessa energia na rede elétrica de maneira automática e como benefício o cliente recebe a compensação de energia em kWh, sendo esse processo chamado de *net metering* (INSTITUTO IDEAL, 2018).

O crédito de energia é gerado após a injeção da energia produzida na rede, ele tem validade de 60 meses e o cliente gerador poderá utilizar o crédito como desconto na unidade geradora ou outra unidade que o cliente possuir (ANEEL, 2015).

A Resolução Normativa 687/2015 autorizou a divisão de créditos entre moradores quando ocorrer a geração de energia em condomínios, mas a distribuição é definida pelos consumidores envolvidos diretamente no processo. Também existe o compartilhamento de geração, onde através de parcerias entre cooperativas que realizam a implantação de micro ou minigeração distribuída e assim produzindo créditos para receber descontos nas faturas dos cooperados (ANEEL, 2015).

3.4 Procedimentos para Conexão à Rede Elétrica

O sistema elétrico é beneficiado pelos estímulos da geração distribuída, e alguns exemplos são a diminuição nos investimentos de projetos de ampliação da rede elétrica, a diversidade da matriz energética, a redução do impacto negativo ao meio ambiente e a prevenção para evitar a sobrecarga das redes (ANEEL, 2016).

A ANEEL reformulou a Resolução Normativa nº 482/2012 para a Resolução Normativa nº 687/2015 com a finalidade de diminuir os processos para a conexão da mini e microgeração, objetivando diminuição dos custos e o período para a ligação da mini ou microgeração, ampliar o público que se deseja atingir e aprimorar os dados presentes na fatura (ANEEL, 2016).

Para realizar a conexão da mini ou microgeração distribuída foram definidos processos mais simples, onde a entrada do consumidor é realizada através do preenchimento de formulários padrão, e o processo que antes era de 82 dias mudou para 34 dias para a conexão de usinas de até 75 kW (ANEEL, 2016).

É de competência única e exclusiva do consumidor de como será o projeto de implantação de mini ou microgeração distribuída. O consumidor deve verificar principalmente as vantagens econômicas e considerar todas as possíveis variáveis que possam ocorrer durante e após a instalação do gerador, entre as variáveis estão localização geográfica, tipos de tecnologia, valor tarifário, entre outros (ANEEL, 2016).

As unidades consumidoras do grupo B (baixa tensão) tem que realizar o pagamento do custo de disponibilidade, mesmo que tenha produzido e injetado mais energia elétrica do que consumido e para os consumidores do grupo A (alta tensão) será cobrada a demanda contratada e se a diferença da energia injetada para a energia consumida for positiva, ou seja, maior produção do que consumo, a fatura poderá sofrer desconto de até 100% (ANEEL, 2016).

3.5 Componentes de um Sistema de Geração Eólica Residencial

Um sistema de geração eólico é composto de cinco componentes básicos: gerador eólico, inversor, controlador de carga, baterias e torre. Na sequência estão descritos todos os componentes para melhor entendimento de suas características e funcionamento.

Gerador Eólico

Tem a função de transformar a força cinética do vento em energia elétrica. O avanço tecnológico expandiu para uma significativa variedade de aerogeradores, fazendo o mercado dividir-se de acordo com a potência em três diferentes grupos (ELETROVENTO, 2020):

- Pequeno porte: com potências entre 0,1 kW até 100 kW;
- Médio porte: com potências entre 101 kW até 300 kW;
- Grande porte: com potências superior a 300 kW.

Encontram-se principalmente dois modelos de aerogeradores e são eles os de eixo horizontal e de eixo vertical.

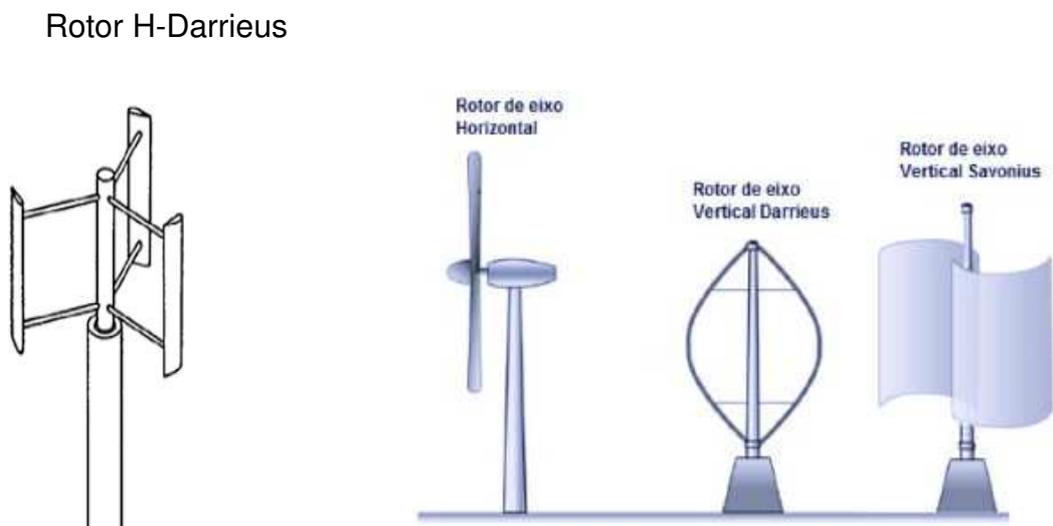
- Eixo Horizontal: é fisicamente menor, mais comum no mercado, mais eficaz e geralmente com conjunto de 3 pás, devido as condições econômicas

(custo x benefício) e complexidade de balanceamento.

- Eixo Vertical: é estruturalmente um pouco maior, eficiência inferior, produz menos ruído, geralmente com uma quantidade maior de pás e são mais harmoniosos com as edificações.

Na Figura 5, são representados os tipos de aerogeradores e na sequência, são descritas as principais características dos mesmos.

Figura 5 – Tipos de Aerogeradores



Rotor H-Darrieus

Fonte: Instituto Ideal (2018)

Fonte: Tolmasquim (2016)

a) Aerogerador com rotor em eixo horizontal com três ou mais pás

É o que apresenta melhor eficiência entre todos os modelos de aerogeradores eólicos quando trabalha em situações de vento sem elevadas mudanças de direção, não possui sistema de controle das pás ou eixo interno, não é adequado para regiões com ventos turbulentos e geralmente é mais barulhento que os outros modelos (INSTITUTO IDEAL, 2018).

b) Aerogerador com rotor em eixo vertical com duas pás onduladas em forma de “s” (Rotor Savonius)

Produz energia com pouco vento, sustenta melhor ventos com maior intensidade, apresenta baixa potência, é bastante silencioso e assim é indicado para

áreas urbanas (INSTITUTO IDEAL, 2018).

c) Aerogerador com rotor em eixo vertical e pás curvadas (Rotor Darrieus)

Oferecidos em potências maiores, indicado para regiões urbanas, geralmente são ruidosos, possui custo mais elevado se comparado aos outros tipos e necessita de sistema inicial de aceleração (INSTITUTO IDEAL, 2018).

d) Aerogerador com o rotor em eixo vertical e pás verticais dispostas em paralelo (Rotor H-Darrieus)

Apresenta maior eficiência que o modelo Darrieus, extremamente silencioso, possui exemplares com motores sem núcleo e não necessitam de aceleração inicial (INSTITUTO IDEAL, 2018).

Inversor

No sistema *off-grid* tem como finalidade converter a corrente contínua das baterias em corrente alternada para alimentar os equipamentos de 110 V ou 220 V e em sistemas *on-grid* converter a corrente contínua proveniente do retificador e ainda tem a função de realizar o sincronismo da energia produzida com a energia da rede elétrica (ELETROVENTO, 2020).

- **Inversor *off-grid***

Tem a função principal de ser conversor CC/CA. Sistemas eólicos que não são interligados com a rede utilizam inversores *off-grid*. Realizam o controle da bateria, principalmente quando está baixa e assim prevenindo avarias com o excesso de descarga elétrica e por consequência desativando o sistema (ELETROVENTO, 2019).

- **Inversor *on-grid***

São inversores de corrente aplicados em sistemas interligados na rede. Tem como funcionalidade controlar o consumo e o que é produzido no sistema. Podendo assim optar por utilizar a energia produzida pelo sistema aerogerador, utilizar a energia disponível na rede de distribuição ou expedir a energia produzida pelo aerogerador para a rede e, ainda, desconectar da rede na ausência de energia

(ELETROVENTO, 2020).

Controlador de Carga

Utilizados em sistemas do modelo *off-grid* e projetado para ser instalado entre o gerador eólico e as baterias. Opera como limitador de carga das baterias, prevenindo excessivas sobrecargas e assim melhorando o desempenho e ampliando a durabilidade (ELETROVENTO, 2020).

- **Controladores PWM** (*Pulse Width Modulation*): são os mais aplicados nesses sistemas por causa do baixo custo, mas apresentam menor eficácia (ELETROVENTO, 2020).
- **Controladores MPPT** (*Maximum Power Point Tracking*): apesar de apresentarem alto custo são mais eficientes (ELETROVENTO, 2020).

Baterias

Adicionadas apenas em sistemas *off-grid*, porque os sistemas ligados na rede não necessitam de baterias, haja vista que a energia da rede faz a compensação na ausência da geração. As baterias armazenam energia para que seja utilizada no sistema quando ocorrer a ausência do vento e permitem a autossuficiência de um sistema isolado (ELETROVENTO, 2020).

As baterias apresentarão avarias e diminuição no desempenho, antes de qualquer outro componente do sistema e a sua escolha está diretamente relacionada a troca e manutenção, ou seja, custo. A escolha da bateria é muito importante ao longo prazo, haja vista que a projeção de duração do sistema de geração de energia renovável é algo em torno de 30 anos. As baterias que suportam elevadas descargas elétricas são as mais apropriadas para os sistemas com aerogeradores e as estacionárias apresentam essa importante vantagem (ELETROVENTO, 2020).

Modelos de Baterias

- Baterias Automotivas: não indicadas a sua utilização porque não suportam descargas intensas e isso limita a sua vida útil.
- Baterias Estacionárias: resistem a descargas mais elevadas porque foram projetadas com placas mais espessas. São uma boa escolha para sistemas pequenos, mais econômicas e com vida útil aproximada de 5 anos.
- Baterias OpzS: precisam de reposição de água periódica e apresentam custo satisfatório para a sua vida útil (aproximadamente 10 anos), se tornando uma opção bastante escolhida. Por questões de segurança precisam ser instaladas em locais com boa ventilação porque liberam gases explosivos.
- Baterias de Gel: com vida útil superior a 10 anos, essas baterias podem ser instaladas em locais fechados porque não liberam gases explosivos, fazendo com que sejam muito utilizadas em embarcações marítimas, porque o gel presente no interior da bateria não se agita, mas não podem permanecer em locais de elevada temperatura.
- Baterias AGM (Absorbent Glass Matt): utilizam a tecnologia AGM, onde as placas fazem o contato direto com a solução ácida e por consequência ocorre o absorvimento total do eletrólito e assim possibilitando maior vida útil (superior a 10 anos). É um investimento vantajoso apesar de apresentarem custo elevado.

Torre

O aerogerador é posicionado na torre em uma altura preestabelecida para que melhor aproveite o vento e possa gerar energia. As torres podem ser dos tipos treliçada ou tubular e a sua altura pode variar de 6 m para cima, mas o custo da torre é diretamente proporcional a sua altura (ELETROVENTO, 2020).

3.6 Avaliação do Local

A instalação dos aerogeradores de pequeno porte é realizada em locais mais próximos da superfície, diferente dos aerogeradores de grande porte. Ainda antes da instalação do aerogerador, análises criteriosas do local devem ser feitas para evitar

que obstáculos possam atrapalhar no rendimento do aerogerador. (INSTITUTO IDEAL, 2018).

Quanto maior for a altura, maior será a velocidade do vento, mas a construções localizadas próximas as áreas de instalações têm interferência direta no funcionamento do aerogerador. A velocidade do vento em baixas alturas sofrem interferência pela fricção com o solo, principalmente em áreas como muitas árvores ou muitas edificações, mas em locais mais abertos a interferência é praticamente inexistente. Para evitar transtornos os aerogeradores são instalados em torres maiores ou no alto das edificações para evitar possíveis obstáculos (INSTITUTO IDEAL, 2018).

Locais que apresentam bastante vento não garantem rendimento favorável do aerogerador, é importante que os ventos apresentem intensidade e que seja constante. A instalação do aerogerador pode ser inviabilizada em áreas urbanas próximas de construções e também locais que futuramente possam ser realizadas novas construções, então é importante um estudo detalhado da região como um todo para evitar grandes prejuízos (ECOCASA, 2016).

As regiões brasileiras mais favoráveis para a implantação de aerogeradores são os litorais norte, nordeste e do Rio Grande do Sul, interiores da Bahia e Mato Grosso, noroeste de Santa Catarina, norte de Minas Gerais e sudoeste de São Paulo. Independente se a região é favorável ou não, as medições dos ventos devem ser realizadas em alturas diferentes do local e isso permitirá um estudo de viabilidade mais preciso para que se possa definir o melhor modelo de aerogerador que será instalado (ECOCASA, 2016).

É muito importante destacar que ventos muito intensos não garantem um bom rendimento do aerogerador, pois os mesmos irão parar de gerar energia em casos de ventos que excedam a segurança do sistema (ECOCASA, 2016).

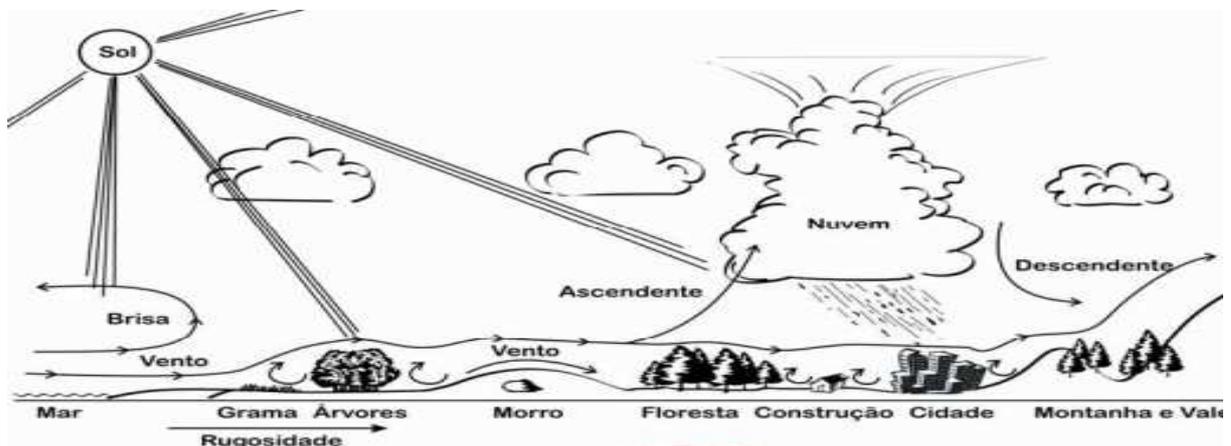
3.7 Fatores que Influenciam o Regime dos Ventos

O levantamento do comportamento do vento representa a variação da velocidade durante um período. A velocidade pode sofrer variações importantes em pequenos intervalos e é por isso que se faz necessária uma análise detalhada do local em que poderá ser inserido o aerogerador, como (CRESESB, 2008):

- A altura em relação ao solo;
- Tipos de vegetação e construções do local ;
- A existência de obstáculos nas imediações;
- A elevação do terreno.

Os mapas topográficos, dados de satélite e demais informações da região permitem o recolhimento de informações detalhadas e assim condições que permitem precisão nos resultados da área. A Figura 6 detalha as condições dos ventos nos diferentes tipos de superfície (CRESESB, 2008).

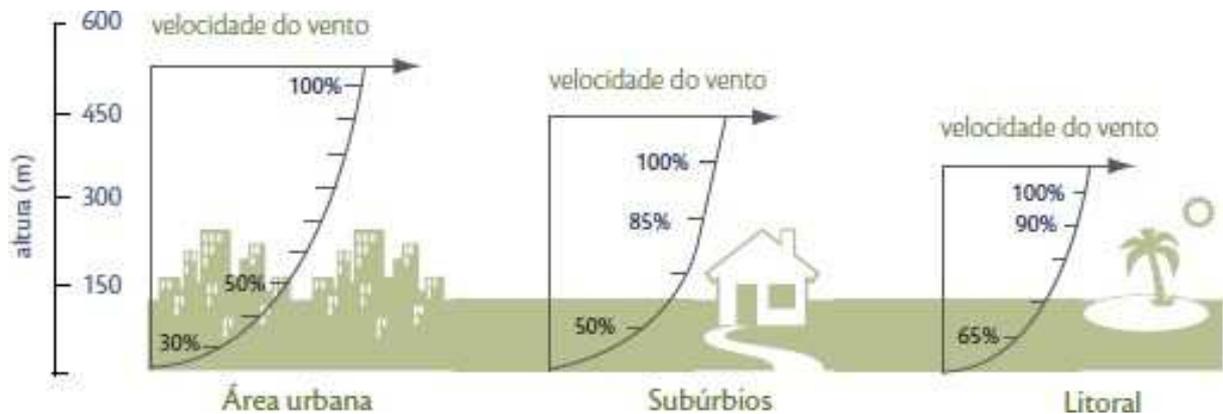
Figura 6 - Comportamento do vento sob influência das características do terreno



Fonte: Atlas Eólico do Brasil (1998)

Apresenta-se na Figura 7 a relação entre as alturas e velocidades de ventos nas diferentes áreas (urbana, subúrbio e nível do mar) (RODRIGUES, 2011, p.12).

Figura 7 – Relação da velocidade do vento x altura



Fonte: Rodrigues (2011)

A Figura 7 apresenta que a velocidade do vento em locais que têm prédios, se torna satisfatória somente em altitudes elevadas, em locais com construções baixas é possível se obter condições melhores dos ventos em baixas altitudes e em regiões localizadas no nível do mar se consegue condições favoráveis até mesmo em altitudes inferiores (RODRIGUES, 2011, p.12).

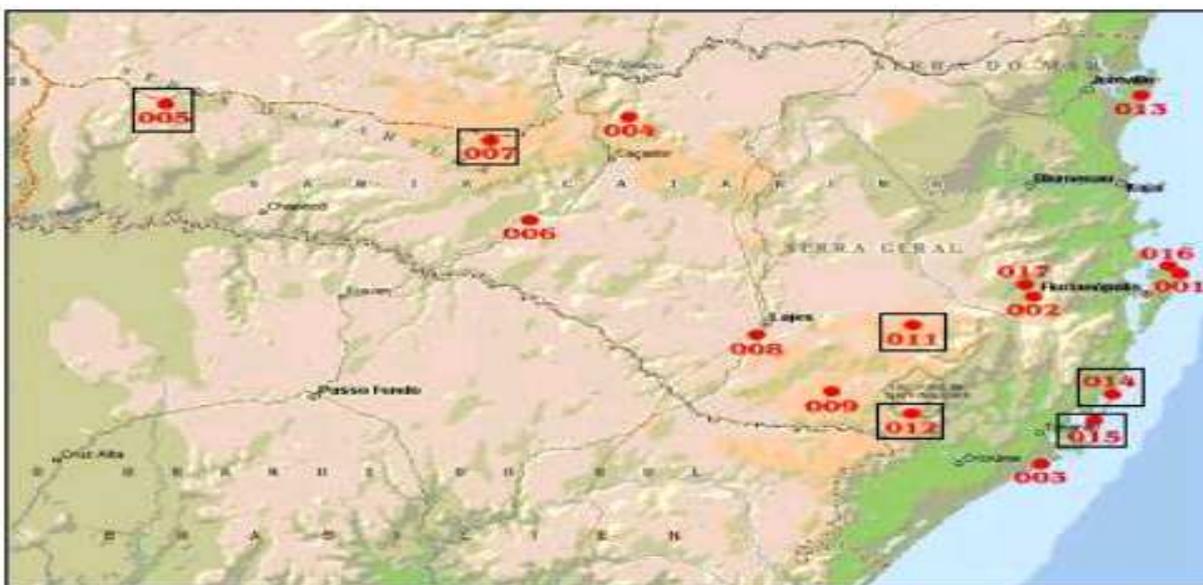
3.8 Levantamento do Regime dos Ventos no Estado de Santa Catarina

O escoamento atmosférico no sul do Brasil é equilibrado pelas baixas pressões do nordeste da Argentina, que sofrem influência direta devido ao relevo da região e provocando ventos leste-nordeste no litoral sul de SC (Laguna, Imbituba) com velocidades maiores que 7m/s (RODRIGUES, 2011, p.12).

No ano de 1998 iniciou-se um estudo do potencial eólico de SC com o propósito de gerar energia através dos ventos. A CELESC juntamente com o Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia (LEPTEN) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) implantaram dezesseis estações anemométricas para o recolhimento de dados entre os anos de 1998 e 2002. As implantações ocorreram em diversas situações geográficas, como litoral, serra e planalto, conforme Silva et al (2004).

O mapa da Figura 8 representa a localização das dezessete estações anemométricas que foram instaladas do estado de SC para a realização do estudo e na Figura 9 estão as coordenadas geográficas de cada estação anemométrica, conforme Passos et al (2003) e Silva et al (2004).

Figura 8 - Localização das estações anemométricas da CELESC



Fonte: Silva (2004)

Figura 9 - Estações anemométricas no Estado de Santa Catarina

Estações Anemométricas no Estado de Santa Catarina			
Latitude	Longitude	número	Estação / Localização
27° 29' 8,23"	48° 20' 4,13"	001	Moçambique I - Florianópolis
27° 41' 3,1"	49° 8' 31,4"	002	Rancho Queimado - Boa Vista
28° 51' 50,8"	49° 16' 36,8"	003	Içara - Praia do Rincão
26° 37' 37,6"	50° 57' 45,6"	004	Calmon - Fazenda Cruzeiro
26° 22' 28,8"	53° 10' 23"	005	Campo Erê - Fazenda Perseverança
27° 27' 55"	51° 16' 18"	006	Campos Novos - Fazenda Ouro Verde
26° 44' 47"	51° 44' 51"	007	Água Doce - Fazenda São Rufino
28° 0' 35,4"	50° 05' 14"	008	Lages / Paineis - Fazenda Rancho Alegre
28° 21' 40"	50° 03' 16"	009	São Joaquim - Chapada Bonita
28° 07' 30"	49° 29' 41"	011	Urubici - Fazenda Carambola / SBT
28° 21' 05"	49° 35' 0"	012	Bom Jardim da Serra - Fazenda Barrinha
26° 18' 0"	48° 32' 30"	013	São Francisco do Sul - Praia Grande
28° 09' 53,9"	48° 39' 34,4"	014	Imbituba - Praia de Ibiraquera
28° 30' 2,7"	48° 44' 55,5"	015	Laguna - Morro do Tamborete
27° 29' 58,23"	48° 20' 4,13"	016	Moçambique II - Rio Vermelho - Florianópolis
27° 44' 39,3"	49° 09' 27,2"	017	Rancho Queimado II - Chapada da Boa Vista

Fonte: Passos (2003)

Informações referentes ao regime dos ventos, obtidas pela estação 014 (Imbituba – Praia de Ibiraquera) são utilizadas no estudo de caso apresentado no próximo capítulo.

3.9 Medição da Velocidade do Vento

Os ventos sofrem variações diariamente e a Figura 10 classifica o vento por escalas de acordo com a velocidade, mostrando suas ações no ambiente e a denominação (RODRIGUES, 2011, p.13).

Figura 10 - Velocidade do vento

Escala	Denominação	Velocidade em m/s	Avaliação do vento em terra
0	Calmo	0 a 0,4 1,44 Km/h	Não se nota nenhum movimento nos galhos das árvores.
1	Quase calmo	0,5 a 1,5 1,8-5,4 Km/h	A direção da fumaça sofre um pequeno desvio.
2	Brisa leve	1,6 a 3,4 6-12 Km/h	As folhas são levemente agitadas.
3	Vento fresco	3,5 a 5,5 13-20 Km/h	As folhas ficam em agitação contínua.
4	Vento moderado	5,6 a 8 20,6-29 Km/h	Poetra e pedaços de madeira são levantados.
5	Vento regular	8,1 a 10,9 29-39 Km/h	As árvores pequenas começam oscilar.
6	Vento meio forte	11,4 a 13,9 41-50 Km/h	Galhos maiores ficam agitados.
7	Vento forte	14,1 a 16,9 50-60 Km/h	Torna-se difícil andar contra o vento.
8	Vento muito forte	17,4 a 20,4 61-73 Km/h	Fica impossível andar contra o vento.
9	Ventania	20,5 a 23,9 74-86 Km/h	Telhas podem ser arrancadas.
10	Vendaval	24,4 a 28 88-100 Km/h	Árvores são derrubadas.
12	Furacão	83,0 a 125 298-450 Km/h	Produzem efeitos devastadores.

Fonte: Rodrigues (2011)

A exatidão da aferição da velocidade do vento é a questão principal para a correta instalação do aerogerador. Os erros nas medições geralmente ocorrem por falta de experiência e podem ser evitados com a escolha correta do local para medição, calibração periódica e instalação dos anemômetros (RODRIGUES, 2011, p.25). As Figuras 11 e 12 mostram o instrumento utilizado para medir a velocidade do vento.

Figura 11 - Anemômetro digital de bolso



Fonte: Rodrigues (2011)

Figura 12 - Anemômetro analógico de torre



Fonte: Rodrigues (2011)

Para garantir o sucesso da instalação do aerogerador e reduzir riscos financeiros é necessário acompanhar detalhadamente as medições do vento no período de pelo menos 12 meses. Ocorrendo um erro de até 3% nas aferições pode gerar uma perda de até 10% na produção de energia elétrica (RODRIGUES, 2011, p.26). O gráfico da Figura 13 apresenta a evolução da velocidade do vento à medida que vai elevando a altura (RODRIGUES, 2011, p.26).

Figura 13 – Velocidade X Altura



Fonte: Rodrigues (2011)

Para obter dados para calcular a geração de energia, definir local e posição do aerogerador é importante ter a informação sobre a direção do vento e para isso é utilizado um instrumento chamado de sensor de direção e a Figura 14 mostra como é esse instrumento (RODRIGUES, 2011, p.26).

Figura 14 – Sensor de direção



Fonte: Rodrigues (2011)

3.10 A Escolha do Aerogerador

As principais características que devem ser analisadas antes da escolha do aerogerador são as seguintes (INSTITUTO IDEAL, 2018):

- Velocidade mínima de vento para que comece a operar e assim gerar energia;
- A velocidade do vento necessária para atingir a potência nominal;

- A velocidade máxima do vento que provoca a retirada de operação.

Como o valor da energia elétrica continua em constante crescimento de tempos em tempos e também o custo para implantação do aerogerador de pequeno porte continua a diminuir, isso faz com que a instalação de um aerogerador em residências ou empresas se torne uma excelente escolha (INSTITUTO IDEAL, 2018).

A nova regulação da ANEEL serve como incentivo, pois quem gerar energia elétrica receberá créditos em kWh ao injetar o excedente na rede e assim o investimento na implantação do aerogerador se tornará viável economicamente, mas isso deve ocorrer a longo prazo. É importante ressaltar que para evitar riscos a instalação do aerogerador deverá ser executada por empresas especializadas (INSTITUTO IDEAL, 2018).

3.11 Considerações sobre o Local para a Instalação de um Aerogerador

A escolha do local onde será instalado o aerogerador deve levar em consideração os seguintes aspectos (INSTITUTO IDEAL, 2018):

a) Distância de obstáculos

Obstáculos nas proximidades do local da instalação podem interferir no rendimento do aerogerador e para evitar esse transtorno é aconselhado manter uma distância mínima. Para evitar esse problema é orientado que o aerogerador esteja a um raio de 150 metros e uma altura superior de 10 metros do obstáculo. Também é importante analisar a influência de correntes de ar que possam interferir negativamente no funcionamento do aerogerador, se isso ocorrer algumas modificações podem ser realizadas, como o elevação da altura ou até mesmo a troca do local (INSTITUTO IDEAL, 2018).

b) Fixação sobre telhados

É preciso realizar um estudo de infraestrutura da construção para assegurar a fixação do aerogerador no telhado. É orientada a escolha de aerogeradores menos

barulhentos quando a instalação ocorre no telhado de prédios, pois o ruído produzido pelo aerogerador poderá se propagar pelo interior da construção causando transtornos (INSTITUTO IDEAL, 2018).

c) Ruídos e sombras

É necessário fazer uma análise detalhada para confirmar se o microgerador não emitirá ruídos ou até mesmo sombras que causem transtornos para os moradores que residem próximo do local. O grau de propagação de ruído deve ser analisado em diversos pontos distintos, como 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, etc (INSTITUTO IDEAL, 2018).

3.12 Como Definir a Potência de um Microgerador

Na escolha do microgerador é necessário saber qual o consumo médio anual de energia elétrica na residência ou empresa, para que se escolha um equipamento com a potência que atenda as necessidades do cliente.

Deve ser pago o custo de disponibilidade pelos consumidores do grupo B (residenciais e rurais) sendo eles monofásico, bifásico ou trifásico, trata-se de um custo mensal de consumo mínimo que pode ser de 30 kW, 50 kW ou 100 kW, respectivamente (ANEEL, 2018).

O suporte de empresas com conhecimento técnico específico se faz necessário para a escolha do modelo de aerogerador correto para gerar a energia elétrica que atenda as necessidades de consumo do cliente e também para garantir o bom custo-benefício do projeto.

A escolha final deve ser o resultado do estudo de viabilidade econômica dos diferentes aerogeradores disponíveis no mercado e que possam garantir que todas as necessidades do cliente sejam atendidas.

Conforme propõe-se nesse trabalho, apresenta-se no próximo capítulo, o estudo de caso com a avaliação da viabilidade econômica de três aerogeradores com capacidades de produção de energia elétrica diferentes, representando três alternativas diferentes, sob o ponto de vista de percentual de atendimento à demanda de energia elétrica em uma unidade consumidora monofásica do grupo B.

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE DA MICROGERAÇÃO EÓLICA RESIDENCIAL – ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, são apresentados os resultados da análise da viabilidade técnica e econômica da microgeração eólica, visando o fornecimento de energia elétrica para uma instalação elétrica residencial localizada no município de Imbituba/SC.

4.1 Considerações Iniciais

Foi considerada a análise de três aerogeradores com capacidades de produção de energia elétrica diferentes, visando comparar, por meio de dados técnicos realistas, três condições distintas de atendimento à unidade consumidora. Para as três opções de aerogerador, foi considerada a operação *on-grid*, mas sem levar em conta a possibilidade de obtenção das vantagens com o sistema de compensação de energia. Para a composição dos fluxos de caixa de cada projeto, foram considerados: os investimentos iniciais; os custos anuais de manutenção, calculados como um percentual do investimento inicial (CORSO, 2019) e a receita referente à redução dos custos com a energia elétrica fornecida pela concessionária (custo evitado), levando em conta o consumo mínimo faturável ou o custo da disponibilidade, de acordo com a Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL (ANEEL, 2010).

Os investimentos iniciais contemplam o custo de aquisição do aerogerador e dos demais componentes do sistema, conforme descritos na seção 3.5. Já os custos anuais de manutenção, bem como a receita anual obtida com a redução dos custos com a energia elétrica são obtidos de acordo com as Equações (3) e (4) a seguir:

$$\mathbf{custodemanutenção} = I_0 \times \frac{\mathbf{perc}}{100} \quad (3)$$

$$\mathbf{receitaanual} = 12 \times E_{\mathbf{mensal}} \times \mathbf{tarifa} \quad (4)$$

Onde:

I_0 = Investimento inicial no sistema de microgeração (R\$);

$perc$ = percentual referente ao custo anual de manutenção (%);

E_{mensal} = Energia mensal produzida pelo aerogerador (kWh);

$tarifa$ = tarifa de energia elétrica (R\$/kWh).

Nas situações em que o aerogerador irá suprir 100% do consumo mensal da unidade consumidora, deverá ser considerada a cobrança sobre o consumo mínimo faturável e nesse caso, a receita anual passa a ser obtida por meio da Equação (5).

$$receita_{anual} = 12 \times (C_{mensal} - C_{mínimo}) \times tarifa \quad (5)$$

Onde:

C_{mensal} = consumo mensal da unidade consumidora (kWh);

$C_{mínimo}$ = consumo mínimo faturável (kWh).

Para a avaliação econômica dos projetos de microgeração, foram utilizados os métodos do VPL e da TIR, e além disso o método do *payback*, para calcular o tempo de retorno do investimento, para os casos em que o mesmo se mostrar viável economicamente. Para a aplicação desses métodos, foi definida uma TMA baseada na rentabilidade da caderneta de poupança, considerando o valor médio anual entre os anos de 2003 e 2018.

Com relação à tarifa de energia elétrica (R\$/kWh), foram considerados dois cenários distintos: um primeiro cenário com tarifa fixa baseada no valor médio de anos anteriores; um segundo cenário com valor crescente, cuja evolução foi baseada no Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). Além disso, não foram considerados os impostos incidentes sobre o consumo.

Para a aquisição dos aerogeradores foram consideradas a compra à vista e a compra por meio de financiamento, sendo que nesse segundo caso, tomou-se como base as condições estabelecidas pelo BNDES. As prestações do financiamento são inseridas como um custo adicional nos fluxos de caixa dos projetos de microgeração eólica.

4.2 Dados de Entrada

A seguir, são apresentados os dados utilizados para a avaliação técnica e econômica da microgeração eólica residencial.

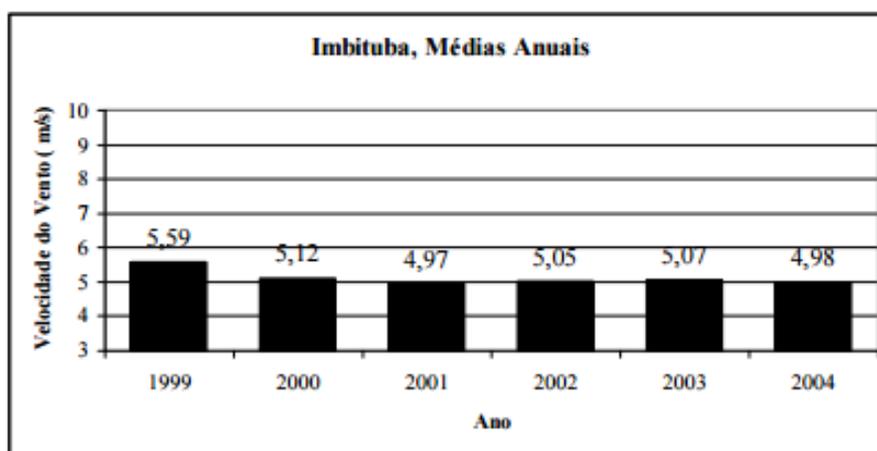
4.2.1 Dados da Unidade Consumidora e das Condições de Fornecimento

- Tipo de instalação – residencial monofásica.
- Consumo médio mensal – 245 kWh.
- Consumo mínimo faturável¹ – 30 kWh.
- Custo anual de manutenção – 1,2% do investimento inicial.
- Tarifa atual (R\$/kWh)² – 0,4698 (CELESC, 2019).
- Tarifa média (R\$/kWh)³ – 0,5369 (valor médio anual no período 2010-2019) (ANEEL, 2019).
- Percentual de aumento da tarifa baseado no IPCA⁴ – 7,02% a.a. (valor médio anual no período 1995-2018) (IBGE, 2019).

4.2.2 Dados de Velocidade do Vento no Local

Na Figura 15, apresentam-se os valores médios anuais de velocidade do vento, para o município de Imbituba, de acordo com estudos já mencionados na subseção 3.8.1. Para os estudos de caso, será considerado o valor de 5,13 m/s (valor médio entre os valores apresentados na figura).

Figura 15 - Médias anuais de velocidade do vento – Imbituba



Fonte: LEPTEN (2004)

1 De acordo com a Resolução Normativa 414/2010 – ANEEL.

2 Grupo B, Subgrupo B1, Classificação Residencial Normal – CELESC (consulta em outubro de 2019).

3 Relatório Evolução das Tarifas Residenciais – ANEEL (consulta em outubro de 2019).

4 Séries Históricas – IBGE (consulta em outubro de 2019).

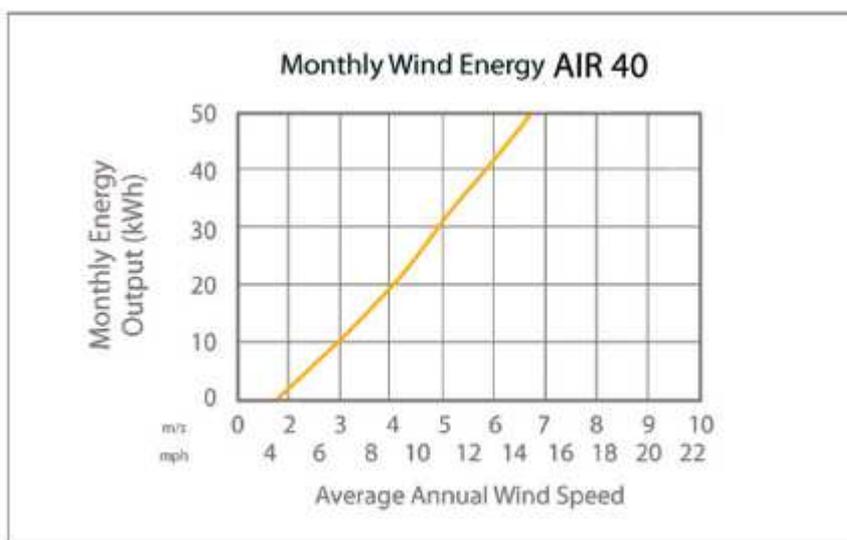
4.2.3 Dados dos Aerogeradores

Aerogerador 1⁵:

- Investimento inicial – R\$ 5.300,00.
- Potência nominal – 160 W.
- Velocidade nominal – 12,5 m/s.

Na Figura 16, apresenta-se a curva de produção de energia elétrica do aerogerador 1.

Figura 16 – Curva de Produção de Energia Elétrica – Aerogerador 1



Fonte: Energia Pura (2019)

De acordo com a figura, para uma velocidade do vento de 5 m/s (valor próximo da velocidade média anual no local), o aerogerador 1 produz uma energia mensal de 30 kWh, o que corresponde a 12,24% do consumo médio mensal da unidade consumidora.

Aerogerador 2⁶:

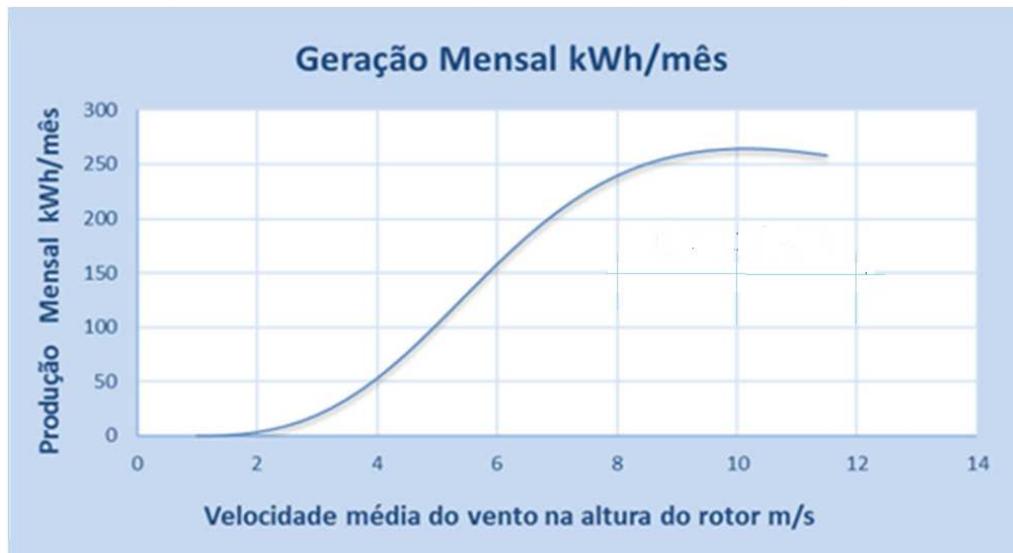
- Investimento inicial – R\$ 16.200,00.
- Potência nominal – 1.000 W.
- Velocidade nominal – 12,5 m/s.

5 Site energiapura.com (consulta em outubro de 2019).

6 Site enersud.com.br (consulta em outubro de 2019).

Na Figura 17, apresenta-se a curva de produção de energia elétrica do aerogerador 2.

Figura 17 – Curva de Produção de Energia Elétrica – Aerogerador 2



Fonte: Enersud (2019)

Para uma velocidade do vento de 5 m/s, o aerogerador 2 produz uma energia mensal de 100 kWh, o que corresponde a 40,82% do consumo médio mensal da unidade consumidora.

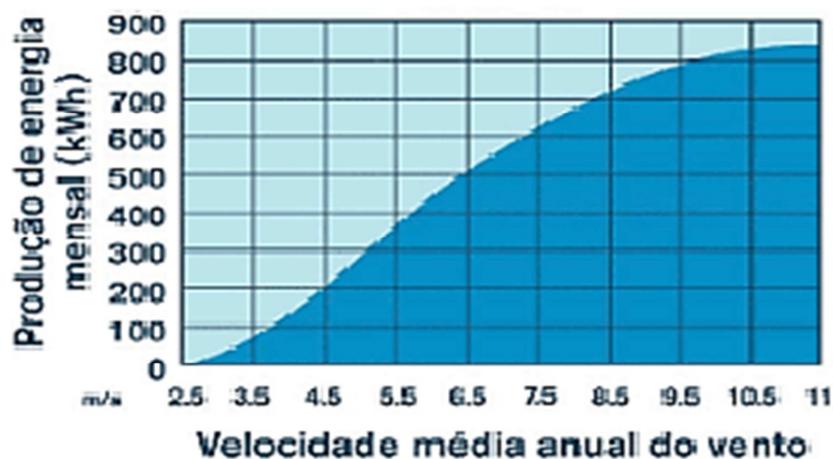
Aerogerador 3⁷:

- Investimento inicial – R\$ 35.000,00.
- Potência nominal – 2.400 W.
- Velocidade nominal – 9,4 m/s.

Na Figura 18, apresenta-se a curva de produção de energia elétrica do aerogerador 3.

⁷ Site energiapura.com (consulta em outubro de 2019).

Figura 18 – Curva de Produção de Energia Elétrica – Aerogerador 3



Fonte: Energia Pura (2019)

O aerogerador 3 produz uma energia mensal de 300 kWh, para uma velocidade de vento de 5 m/s, ou seja, esse aerogerador supre 100% do consumo médio mensal da unidade consumidora.

4.2.4 Condições de Financiamento

- Valor financiado – até 100% do investimento inicial.
- Taxa de juros – 11,86% a.a..
- Prazo para o financiamento – 10 anos.
- Sistema de financiamento – SAC (amortizações constantes).

4.2.5 Dados para a Avaliação Econômica

- Taxa Mínima de Atratividade (TMA)⁸ – 7,7% a.a. (valor médio anual da rentabilidade da Caderneta de Poupança no período 2003-2018) (PORTAL BRASIL, 2019)
- Vida útil de cada projeto – 20 anos.

⁸ www.portalbrasil.net – Consulta em outubro de 2019.

4.3 Resultados da Avaliação Técnica e Econômica

A seguir, é apresentada a avaliação econômica referente à implantação de cada um dos aerogeradores.

Aerogerador 1

a) Aquisição do aerogerador 1 sem financiamento

Na Tabela 1 a seguir, apresenta-se o fluxo de caixa referente à aquisição do aerogerador 1, com 100% de recursos próprios e considerando os dois cenários para a tarifa de energia elétrica.

Tabela 1 – Fluxo de caixa – Aerogerador 1 – Sem Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	5.300,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-5.300,00	-5.300,00
1	0,00	193,28	181,00	63,60	0,00	129,68	117,40
2	0,00	193,28	193,71	63,60	0,00	129,68	130,11
3	0,00	193,28	207,31	63,60	0,00	129,68	143,71
4	0,00	193,28	221,86	63,60	0,00	129,68	158,26
5	0,00	193,28	237,43	63,60	0,00	129,68	173,83
6	0,00	193,28	254,10	63,60	0,00	129,68	190,50
7	0,00	193,28	271,94	63,60	0,00	129,68	208,34
8	0,00	193,28	291,03	63,60	0,00	129,68	227,43
9	0,00	193,28	311,46	63,60	0,00	129,68	247,86
10	0,00	193,28	333,32	63,60	0,00	129,68	269,72
11	0,00	193,28	356,72	63,60	0,00	129,68	293,12
12	0,00	193,28	381,76	63,60	0,00	129,68	318,16
13	0,00	193,28	408,56	63,60	0,00	129,68	344,96
14	0,00	193,28	437,24	63,60	0,00	129,68	373,64
15	0,00	193,28	467,94	63,60	0,00	129,68	404,34
16	0,00	193,28	500,79	63,60	0,00	129,68	437,19
17	0,00	193,28	535,94	63,60	0,00	129,68	472,34
18	0,00	193,28	573,57	63,60	0,00	129,68	509,97
19	0,00	193,28	613,83	63,60	0,00	129,68	550,23
20	0,00	193,28	656,92	63,60	0,00	129,68	593,32

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Para ambos os cenários (tarifa constante e tarifa crescente), o projeto no

aerogerador 1 se mostra inviável economicamente ($VPL < 0$ e $TIR < TMA$), com VPL igual a – R\$ 3.997,81 para o cenário 1 e VPL igual a – R\$ 2.771,59 e TIR igual a 1,17% a.a. para o cenário 2. Como era de se esperar, para uma tarifa crescente, o desempenho econômico, embora inviabilize o projeto, é melhor que o obtido para a tarifa constante, uma vez que a energia elétrica vai se tornando um produto cada vez mais caro ao longo do tempo, favorecendo a autoprodução.

b) Aquisição do aerogerador 1 com financiamento

Efetua-se a seguir, com base na análise do fluxo de caixa apresentado na Tabela 2, a avaliação do investimento no aerogerador 1, considerando que a aquisição do mesmo será feita financiando 100% do investimento inicial.

Tabela 2 – Fluxo de caixa – Aerogerador 1 – Com Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	193,28	181,00	63,60	1.158,58	-1.028,90	-1.041,18
2	0,00	193,28	193,71	63,60	1.095,72	-966,04	-965,61
3	0,00	193,28	207,31	63,60	1.032,86	-903,18	-889,16
4	0,00	193,28	221,86	63,60	970,01	-840,32	-811,75
5	0,00	193,28	237,43	63,60	907,15	-777,46	-733,32
6	0,00	193,28	254,10	63,60	844,29	-714,61	-653,79
7	0,00	193,28	271,94	63,60	781,43	-651,75	-573,09
8	0,00	193,28	291,03	63,60	718,57	-588,89	-491,15
9	0,00	193,28	311,46	63,60	655,72	-526,03	-407,86
10	0,00	193,28	333,32	63,60	592,86	-463,17	-323,14
11	0,00	193,28	356,72	63,60	0,00	129,68	293,12
12	0,00	193,28	381,76	63,60	0,00	129,68	318,16
13	0,00	193,28	408,56	63,60	0,00	129,68	344,96
14	0,00	193,28	437,24	63,60	0,00	129,68	373,64
15	0,00	193,28	467,94	63,60	0,00	129,68	404,34
16	0,00	193,28	500,79	63,60	0,00	129,68	437,19
17	0,00	193,28	535,94	63,60	0,00	129,68	472,34
18	0,00	193,28	573,57	63,60	0,00	129,68	509,97
19	0,00	193,28	613,83	63,60	0,00	129,68	550,23
20	0,00	193,28	656,92	63,60	0,00	129,68	593,32

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

As condições de financiamento apresentadas na subseção 4.2.4 não são favoráveis e por esse motivo, o projeto se mostra inviável economicamente para os dois cenários de tarifa. Para o cenário 1 foi obtido um VPL igual a – R\$ 4.913,56 e para o cenário 2 um VPL igual a – R\$ 3.687,35. Nos dois casos, não foi possível obter valores para a TIR. Na sequência, são analisadas algumas situações adicionais, visando a viabilização econômica do projeto no aerogerador 1.

c) Aquisição do aerogerador 1 por meio de subsídio

Considera-se nesse ponto, que a aquisição do aerogerador 1 poderá ser concretizada por meio de um subsídio oferecido, por exemplo, pelo governo ou por agentes do setor elétrico. Considera-se um subsídio de 60% do investimento inicial, ou seja, R\$ 3.180,00 de subsídio, com R\$ 2.120,00 pagos à vista.

Tabela 3 – Fluxo de caixa – Aerogerador 1 – Com Subsídio e Sem Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	2.120,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2.120,00	-2.120,00
1	0,00	193,28	181,00	63,60	0,00	129,68	117,40
2	0,00	193,28	193,71	63,60	0,00	129,68	130,11
3	0,00	193,28	207,31	63,60	0,00	129,68	143,71
4	0,00	193,28	221,86	63,60	0,00	129,68	158,26
5	0,00	193,28	237,43	63,60	0,00	129,68	173,83
6	0,00	193,28	254,10	63,60	0,00	129,68	190,50
7	0,00	193,28	271,94	63,60	0,00	129,68	208,34
8	0,00	193,28	291,03	63,60	0,00	129,68	227,43
9	0,00	193,28	311,46	63,60	0,00	129,68	247,86
10	0,00	193,28	333,32	63,60	0,00	129,68	269,72
11	0,00	193,28	356,72	63,60	0,00	129,68	293,12
12	0,00	193,28	381,76	63,60	0,00	129,68	318,16
13	0,00	193,28	408,56	63,60	0,00	129,68	344,96
14	0,00	193,28	437,24	63,60	0,00	129,68	373,64
15	0,00	193,28	467,94	63,60	0,00	129,68	404,34
16	0,00	193,28	500,79	63,60	0,00	129,68	437,19
17	0,00	193,28	535,94	63,60	0,00	129,68	472,34
18	0,00	193,28	573,57	63,60	0,00	129,68	509,97
19	0,00	193,28	613,83	63,60	0,00	129,68	550,23
20	0,00	193,28	656,92	63,60	0,00	129,68	593,32

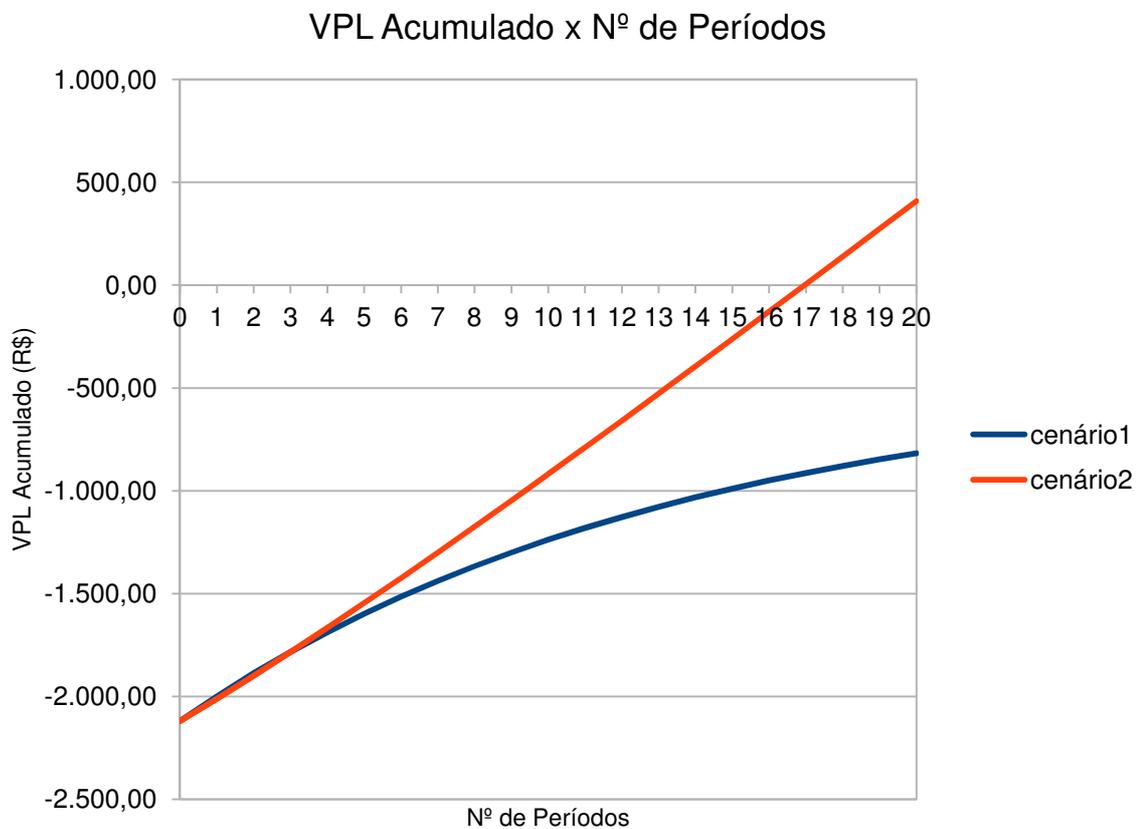
* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Com o subsídio de 60% do investimento inicial, o projeto ainda continua inviável quando se considera o cenário de tarifa constante, com VPL igual a – R\$ 817,81. No entanto, ao se considerar o cenário que prevê a evolução da tarifa, o projeto se torna viável, com VPL igual a R\$ 408,41 e TIR igual a 9,51% a.a..

Na Figura 19, apresenta-se o gráfico que representa a variação do VPL acumulado do projeto em função do tempo, permitindo visualizar um *payback* de aproximadamente 17 anos.

Figura 19 – Variação do VPL acumulado em função do tempo Aerogerador 1 – Com Subsídio e Sem Financiamento



Considera-se um tempo de recuperação do capital pouco satisfatório por estar próximo ao final da vida útil do projeto. No entanto, o resultado mostra que o subsídio oferecido à microgeração eólica aparece como uma alternativa promissora para a viabilização econômica de um projeto, principalmente quando se considera a perspectiva de evolução da tarifa de energia elétrica.

d) Aquisição do aerogerador 1 por meio de subsídio e com financiamento

Em uma análise alternativa, considerou-se que o valor não contemplado pelo subsídio foi financiado, de acordo com as condições apresentadas na subseção 4.2.4. Nesse caso, considerando-se o cenário de evolução da tarifa, o investimento no aerogerador 1 continua viável, no entanto com um desempenho econômico bem inferior, com VPL igual a R\$ 42,10, TIR igual a 7,98% a.a. e *payback* de quase 19 anos.

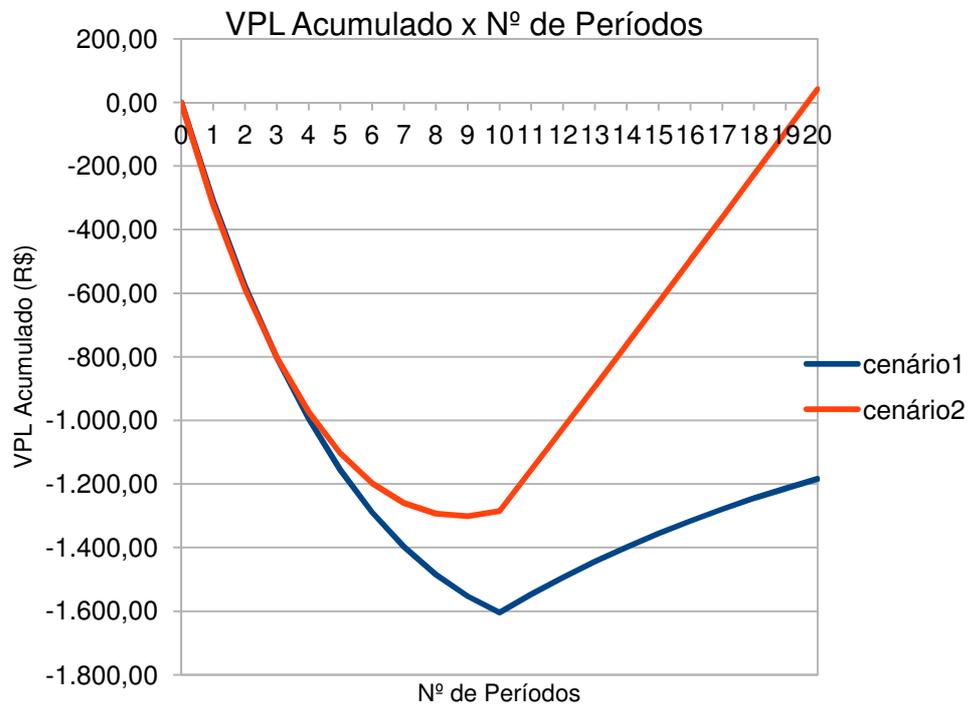
Tabela 4 – Fluxo de caixa – Aerogerador 1 – Com Subsídio e com Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	193,28	181,00	63,60	463,43	-333,75	-346,03
2	0,00	193,28	193,71	63,60	438,29	-308,60	-308,18
3	0,00	193,28	207,31	63,60	413,15	-283,46	-269,44
4	0,00	193,28	221,86	63,60	388,00	-258,32	-229,74
5	0,00	193,28	237,43	63,60	362,86	-233,18	-189,03
6	0,00	193,28	254,10	63,60	337,72	-208,03	-147,22
7	0,00	193,28	271,94	63,60	312,57	-182,89	-104,23
8	0,00	193,28	291,03	63,60	287,43	-157,75	-60,00
9	0,00	193,28	311,46	63,60	262,29	-132,60	-14,43
10	0,00	193,28	333,32	63,60	237,14	-107,46	32,58
11	0,00	193,28	356,72	63,60	0,00	129,68	293,12
12	0,00	193,28	381,76	63,60	0,00	129,68	318,16
13	0,00	193,28	408,56	63,60	0,00	129,68	344,96
14	0,00	193,28	437,24	63,60	0,00	129,68	373,64
15	0,00	193,28	467,94	63,60	0,00	129,68	404,34
16	0,00	193,28	500,79	63,60	0,00	129,68	437,19
17	0,00	193,28	535,94	63,60	0,00	129,68	472,34
18	0,00	193,28	573,57	63,60	0,00	129,68	509,97
19	0,00	193,28	613,83	63,60	0,00	129,68	550,23
20	0,00	193,28	656,92	63,60	0,00	129,68	593,32

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Figura 20 – Variação do VPL acumulado em função do tempo com subsídio e com financiamento para o gerador 1



e) Aquisição do aerogerador 1 por meio de subsídio e melhorando as condições de financiamento

Nesse caso, aproveitando-se dos benefícios já identificados com relação ao subsídio, analisou-se a viabilidade do projeto, levando em consideração a redução na taxa de juros do financiamento, de 11,86% a.a., para 9,5% a.a.. Na Tabela 4 é apresentado o fluxo de caixa referente a essa opção para a aquisição do aerogerador 1.

Tabela 5 – Fluxo de caixa – Aerogerador 1 – Com Subsídio e Melhorando as Condições de Financiamento

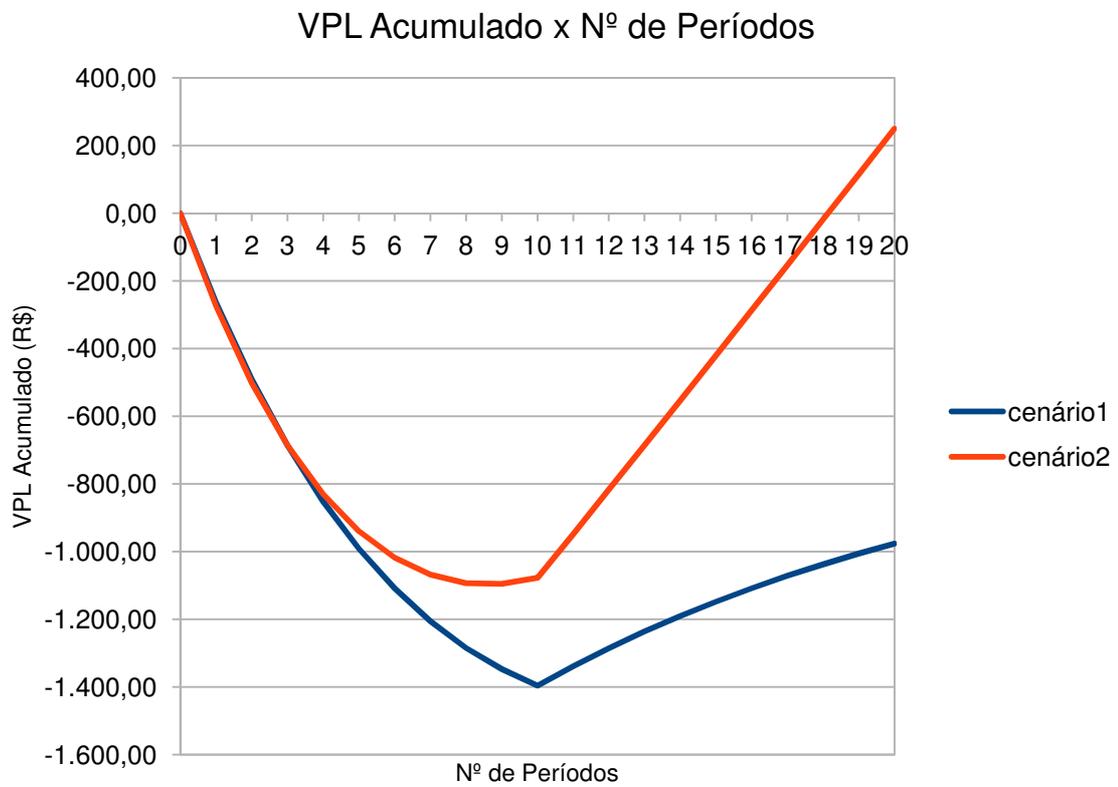
Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	193,28	181,00	63,60	413,40	-283,72	-296,00
2	0,00	193,28	193,71	63,60	393,26	-263,58	-263,15
3	0,00	193,28	207,31	63,60	373,12	-243,44	-229,41
4	0,00	193,28	221,86	63,60	352,98	-223,30	-194,72
5	0,00	193,28	237,43	63,60	332,84	-203,16	-159,01
6	0,00	193,28	254,10	63,60	312,70	-183,02	-122,20
7	0,00	193,28	271,94	63,60	292,56	-162,88	-84,22
8	0,00	193,28	291,03	63,60	272,42	-142,74	-44,99
9	0,00	193,28	311,46	63,60	252,28	-122,60	-4,42
10	0,00	193,28	333,32	63,60	232,14	-102,46	37,58
11	0,00	193,28	356,72	63,60	0,00	129,68	293,12
12	0,00	193,28	381,76	63,60	0,00	129,68	318,16
13	0,00	193,28	408,56	63,60	0,00	129,68	344,96
14	0,00	193,28	437,24	63,60	0,00	129,68	373,64
15	0,00	193,28	467,94	63,60	0,00	129,68	404,34
16	0,00	193,28	500,79	63,60	0,00	129,68	437,19
17	0,00	193,28	535,94	63,60	0,00	129,68	472,34
18	0,00	193,28	573,57	63,60	0,00	129,68	509,97
19	0,00	193,28	613,83	63,60	0,00	129,68	550,23
20	0,00	193,28	656,92	63,60	0,00	129,68	593,32

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Com essa nova condição de financiamento e considerando o cenário de tarifa crescente, obteve-se um VPL igual a R\$ 249,91, uma TIR igual a 9,52% a.a. e um *payback* de 18 anos, conforme indicado na Figura 21. O investimento no aerogerador 1 se mostra viável, mas principalmente no tocante ao tempo de recuperação do capital, os resultados ainda não são satisfatórios.

Figura 21 – Variação do VPL acumulado em função do tempo – Aerogerador 1 – Com Subsídio e Melhorando as Condições de Financiamento



A seguir, apresenta-se um quadro resumo contendo os resultados da análise da viabilidade econômica referente à aquisição do aerogerador 1.

Quadro 1 – Resultados da análise econômica – Aerogerador 1

	Cenário 1			Cenário 2		
	VPL (R\$)	TIR (% a.a.)	payback (anos)	VPL (R\$)	TIR (% a.a.)	payback (anos)
Caso 1	- 3.997,81	- 6,02	-----	- 2.771,59	1,17	-----
Caso 2	- 4.913,56	-----	-----	- 3.687,35	-----	-----
Caso 3	- 817,81	-----	-----	408,41	9,51	17
Caso 4	- 1.184,11	-----	-----	42,10	7,98	19
Caso 5	- 976,30	-----	-----	249,91	9,52	18

Caso 1 – Sem subsídio e sem financiamento.

Caso 2 – Sem subsídio e com financiamento nas condições iniciais.

Caso 3 – Com subsídio e sem financiamento.

Caso 4 – Com subsídio e com financiamento nas condições iniciais.

Caso 5 – Com subsídio e melhorando as condições de financiamento.

Observa-se que, todas as situações para as quais o investimento no aerogerador 1 se mostra economicamente viável (em destaque no quadro anterior), consideram a possibilidade de subsídio, em um cenário caracterizado pela evolução da tarifa ao longo do tempo, o que favorece a autoprodução, já que a energia elétrica vai se tornando um produto cada vez mais caro. Além disso, o financiamento só melhora o desempenho econômico do projeto, sob condições mais favoráveis do que as apresentadas inicialmente na subseção 4.2.4.

Deve-se levar em consideração o fato de que o aerogerador analisado não supre uma parcela muito significativa do consumo, ou seja, os benefícios com a redução do consumo de energia elétrica não são significativos. Por esse motivo, mesmo nas situações para as quais o investimento é economicamente viável, os períodos de *payback* não são favoráveis, já que estão bem próximos do final da vida útil do projeto.

Aerogerador 2

Os fluxos de caixa referentes à análise do aerogerador 2 são apresentados no Apêndice. No Quadro 2 a seguir, são apresentados os resultados obtidos para esse aerogerador, no que diz respeito ao desempenho econômico.

Quadro 2 – Resultados da análise econômica – Aerogerador 2

	Cenário 1			Cenário 2		
	VPL (R\$)	TIR (% a.a.)	<i>payback</i> (anos)	VPL (R\$)	TIR (% a.a.)	<i>payback</i> (anos)
Caso 1	- 11.682,63	- 5,05	-----	- 7.595,26	2,01	-----
Caso 2	- 14.481,74	-----	-----	- 10.394,36	-----	-----
Caso 3	- 1.962,63	3,35	-----	2.124,74	10,7	15
Caso 4	- 3.082,27	-----	-----	1.005,10	9,88	18
Caso 5	- 2.447,09	-----	-----	1.640,28	11,62	16

Caso 1 – Sem subsídio e sem financiamento.

Caso 2 – Sem subsídio e com financiamento nas condições iniciais.

Caso 3 – Com subsídio e sem financiamento.

Caso 4 – Com subsídio e com financiamento nas condições iniciais.

Caso 5 – Com subsídio e melhorando as condições de financiamento.

Da mesma forma que para o aerogerador 1, observa-se no caso do aerogerador 2, que a viabilidade econômica do investimento só é alcançada nos casos que consideram a evolução da tarifa e a aquisição do sistema por meio de subsídios (ver os casos 3, 4 e 5 no Quadro 2). Na comparação com o aerogerador 1, verifica-se uma vantagem econômica ao se investir no aerogerador 2, que possui maior capacidade de produção de energia elétrica, já que nesse caso, os benefícios com a redução dos custos com a energia elétrica são maiores.

Os índices econômicos VPL, TIR e *payback* são maiores para o aerogerador 2 (comparar os valores dos Quadros 1 e 2, para os casos 3, 4 e 5).

Aerogerador 3

No Apêndice são apresentados os fluxos de caixa produzidos por meio da análise do investimento no aerogerador 3. No Quadro 3, apresentam-se os índices econômicos obtidos para o investimento nesse aerogerador.

Quadro 3 – Resultados da análise econômica – Aerogerador 3

	Cenário 1			Cenário 2		
	VPL (R\$)	TIR (% a.a.)	<i>payback</i> (anos)	VPL (R\$)	TIR (% a.a.)	<i>payback</i> (anos)
Caso 1	- 25.308,15	- 5,1	-----	- 16.520,28	1,96	-----
Caso 2	- 31.355,59	-----	-----	- 22.567,72	-----	-----
Caso 3	- 4.308,15	3,28	-----	4.479,72	10,63	15
Caso 4	-6.727,12	-----	-----	2.060,74	9,77	18
Caso 5	- 5.354,82	-----	-----	3.433,04	11,49	16,5

Caso 1 – Sem subsídio e sem financiamento.

Caso 2 – Sem subsídio e com financiamento nas condições iniciais.

Caso 3 – Com subsídio e sem financiamento.

Caso 4 – Com subsídio e com financiamento nas condições iniciais.

Caso 5 – Com subsídio e melhorando as condições de financiamento.

Os resultados apresentados no Quadro 3 (ver resultados em destaque) mostram que o investimento no aerogerador 3 só é viável em um ambiente de evolução tarifária, bem como na presença dos benefícios obtidos por meio de subsídios para a aquisição do sistema, fato já verificado para os aerogeradores

anteriormente analisados.

No caso do investimento no aerogerador 3, consegue-se suprir integralmente o consumo da unidade consumidora, restando ao consumidor o pagamento sobre o consumo mínimo faturável (30 kWh). Essa significativa redução nos custos com a energia elétrica se reflete no VPL do investimento, com valores superiores aos obtidos para os aerogeradores 1 e 2 (comparar os valores apresentados nos Quadros 1, 2 e 3, para os casos 3, 4 e 5).

4.4 Comentários Gerais sobre os Resultados Obtidos

Os resultados anteriores mostram que a viabilidade econômica de um projeto de microgeração eólica residencial depende de alguns fatores:

- Deve haver uma expectativa de evolução da tarifa, o que torna a energia elétrica um produto cada vez mais caro ao longo do tempo;
- As condições de velocidade do vento devem, permitir o suprimento integral do consumo, considerando a disponibilidade no mercado, de aerogeradores que permitam alcançar esse objetivo;
- Deve haver um ambiente favorável à realização do investimento, por meio de subsídios oferecidos pelo governo ou por agentes do setor elétrico, bem como por meio de condições facilitadas de financiamento.

Com tais fatores sendo considerados, a escolha de qualquer um dos aerogeradores analisados, traria um benefício econômico ao consumidor, com retornos e rentabilidades superiores aos oferecidos pela caderneta de poupança (alternativa de investimento de referência). Destaca-se a alternativa que possibilita o suprimento integral do consumo, ou seja, a aquisição do aerogerador 3, por apresentar maiores valores de VPL.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A geração distribuída por meio do sistema de autoprodução, segue crescendo em ritmo lento e precisando de muito mais incentivos para que seja atraente ao consumidor.

Nas diferentes simulações realizadas neste estudo, utilizando aerogeradores para o uso residencial, foi possível observar que se faz necessária a existência de subsídios e também ofertas com baixas taxas de juros no financiamento para a diminuição do *payback*, e assim o projeto se tornar atrativo.

Ao realizar a análise da implementação do projeto é de suma importância a utilização de métodos para estimar as condições econômicas favoráveis que permitirão determinar o grau de lucratividade e o período de retorno financeiro.

Na escolha do aerogerador correto para a microgeração eólica em determinada residência deve-se levar em consideração alguns critérios importantes como o consumo médio mensal e o mínimo faturável, custo de manutenção do equipamento, a variação da tarifa ao longo do tempo e as médias da velocidade do vento no local. É necessário evitar o sobredimensionamento do projeto para evitar gastos desnecessários que possam afetar o desempenho econômico do mesmo.

Visando melhores condições no futuro, a implementação de projetos utilizando sistemas híbridos com micro e/ou minigeração eólica e solar poderia ser uma condição mais atrativa e que permitiria a geração de energia elétrica por um período maior, podendo ocorrer essa geração durante o período diurno utilizando o sistema eólico e o solar e no período noturno o sistema eólico, considerando essas as melhores situações de um projeto onde a geração poderia ocorrer de forma integral.

Para trabalhos futuros, propõe-se a análise de sistemas *on-grid*, com o objetivo de avaliar os benefícios advindos do sistema de compensação de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA. **Geração Eólica**. São Paulo, SP: ABEEÓLICA, 2017. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/04/Boletim-Anual-de-Geracao2017.pdf> /. Acesso em: 10 mar. 2020.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Cadernos Temáticos ANEEL. 2. ed.** Brasília, DF: ANEEL, 2016. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida++2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>. Acesso em: 03 jul. 2021.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Brasília, DF: ANEEL, 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 04 jul. 2021.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Regras, Direitos e Deveres**. Brasília, DF: ANEEL, 2016. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/ren-414>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório da Evolução das Tarifas Residenciais**. Brasília, DF: ANEEL, 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/luz-na-tarifa> . Acesso em: 30 out. 2019.

COGEN – Associação da Indústria de Cogeração de Energia.. **Geração Distribuída**. São Paulo, SP: COGEN, 2013. Disponível em: http://www.cogen.com.br/workshop/2013/Geracao_Distribuida_Calabro_22052013.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, Senado, 2016. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf . Acesso em: 03 set. 2019.

BRASIL. DECRETO Nº 2.003, de 10 de setembro de 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2003.htm. Acesso em: 08 maio 2019.

BRASIL. Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.762.htm. Acesso em: 20 mar. 2020.

BUZAGLODANTAS. **Desconto no IPTU através da lei IPTU Verde**. Florianópolis, SC: BUZAGLODANTAS 2014. Disponível em: <http://buzaglodantas.adv.br/2014/08/desconto-no-iptu-atraves-da-lei-iptu-verde/>. Acesso em: 15 abr. 2019.

CASTRO, R. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada: INTRODUÇÃO À ENERGIA EÓLICA**. 2003. 70 f. - Curso de Engenharia, Deec / Secção de Energia, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Tecnico, Lisboa, 2003. Disponível em: http://ead2.ctgas.com.br/a_rquivos/aperfeicoamento/MedicaoAnemometrica/Biblioteca/Livros/Introducao_a_Energia_Eolica.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.

CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. **Tarifas e taxas de energia**. Florianópolis, SC: CELESC, 2019. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/tarifasde-energia#tarifas-vigentes>. Acesso em: 30 out. 2019.

CORSO, A. C. **Estudo Sobre Microgeração Distribuída de Energia Eólica Aplicada à Produtores Rurais**. 2019. 134 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2019. Disponível em: <https://www.unifacvest.net/assets/uploads/files/arquivos/7fb7b-tcc-ana-carolineoliveira.pdf>. Acesso em: 18 maio 2020.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **O Recurso Eólico**. Rio de Janeiro, RJ: CRESESB, 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=211. Acesso em: 20 jun. 2020.

ECOCASA. **Energia Eólica Residencial**. Limeira, SP: ECOCASA, 2016. Disponível em: <https://www.ecocasa.com.br/energia-eolica-residencial>. Acesso em: 09 jun. 2018.

ECYCLE. **O que é energia eólica**. [entre 2010 e 2020]. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/2899-energia-eolica>. Acesso em: 18 jun. 2020.

ELETROVENTO. **Energias Renováveis ou Energias Alternativas**. Mairinque, SP: ELETROVENTO, 2020. Disponível em: <http://www.eletrovento.com.br/pagina/saibamais/sobre-energia-eolica/47/>. Acesso em: 24 mar. 2020.

ENERGIA PURA. **Sistemas Eólicos**. SP, SP: ENERGIA PURA, 2019. Disponível em: <https://www.energiapura.com/eolico/>. Acesso em: 30 out. 2019.

ENERSUD. **Turbina Eólica Gerar Extreme**. Márica, RJ: ENERSUD, 2019. Disponível em: <http://www.enersud.com.br/produtos/turbina-eolica-gerar-extreme/>. Acesso em: 30 out. 2019.

FERREIRA, R.; LEITE, B. M. **Aproveitamento de energia eólica**. Unicamp, Campinas, SP, [entre 2001 e 2016]. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/eolica/eolica.htm>. Acesso em: 10 mar. 2020.

GONÇALVES, T. **Taxa Interna de Retorno (TIR): o que é e como calcular**. São Paulo, SP, 2018. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/taxa-internade-retorno>. Acesso em 08 mar. 2020.

INSTITUTOIDEAL. **Como faço para ter energia eólica em minha casa**. Florianópolis, SC: INSTITUTOIDEAL, 2018. Disponível em: <http://institutoideal.org/guiaeolica/>. Acesso em: 25 maio 2019.

INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética. **O que é geração distribuída**. Rio de Janeiro, RJ: INEE, [entre 2016 e 2019]. Disponível em:

http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp. Acesso em: 02 set. 2019.

INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética. **Geração Distribuída**. Rio de Janeiro, RJ: INEE, 2011. Disponível em: http://www.inee.org.br/forum_sobre_gd_cg.asp?Cat=gd. Acesso 27 maio 2020.

LEPTEN - Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia. **Estudo do potencial eólico e previsão de ventos para geração de eletricidade em Santa Catarina**. Florianópolis, SC: LEPTEN, 2004. Disponível em: <https://www.lepten.ufsc.br/disciplinas/emc5489/arquivos/pdf/textos/eolica/textoeolica4.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2020.

MAGALHÃES, M. V.. **Estudo de utilização da energia eólica como fonte geradora de energia no Brasil – SC**. 2006. 62 f. Dissertação (Graduação) – Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <http://tcc.bu.ufsc.br/Economia291554>. Acesso em: 17 jun. 2020.

MARTINS, C.. **Plano de Negócios**. Rio de Janeiro, RJ, 2002. Disponível em: https://www.carlosmartins.com.br/_bizplan/bizplan24.htm. Acesso em 08 mar. 2020.

MELO, E. **Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade**. São Paulo, SP, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100010. Acesso em: 20 maio 2020.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar**. Brasília, DF: MME, 2015. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-prevemovimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030. Acesso em: 03 set. 2019.

NORBERTO, P. **Matemática Financeira**. 2009. Disponível em: <https://docplayer.com.br/11262894-Podemos-representar-em-fluxo-de-caixa-atraves-do-seguinte-diagrama-0-1-2-3-4-5-n-tempo.html>. Acesso em: 03 mar. 2020.

OLADE - ORGANIZACIÓN LATINO AMERICANA DE ENERGÍA. **Curso de la Generación Distribuida. SABA System.** Quito, EC: OLADE, 2011. Disponível em:<http://www.olade.org/elearning>. Acesso em 12 ago. 2019.

PARMAIS. **Como fazer análise de viabilidade econômica e financeira.** São Paulo, SP: PARMAIS, 2017. Disponível em: <https://www.parmais.com.br/blog/comofazer-analise-de-viabilidade-economica-e-financeira/>. Acesso em: 22 jun. 2020.

PEDRO, R. **Energia Renovável.** Guarda, PT, 2019. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/energia-eolica/>. Acesso em 03 mar. 2020.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Energia Eólica.** 2015. Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/geografia/energia-eolica>. Acesso em: 18 jun. 2019.

PORTOGENTE. **Energia Eólica.** 2016. Disponível em: <https://portogente.com.br/portopedia/doce/76182>. Acesso em: 08 jun. 2020.

PRATES, W. R. **O que é TMA?** 2017. Disponível em: <https://www.wrprates.com/oque-e-tma-taxa-minima-de-atratividade/>. Acesso em 08 mar. 2020.

PRATES, W. R. **Qual a diferença entre payback simples e descontado?** 2016. Disponível em: <https://www.wrprates.com/qual-e-a-diferenca-entre-payback-simples-e-descontado/>. Acesso em 08 mar. 2020.

PUCCINI, A. L. **Matemática financeira: objetiva e aplicada.** 9. ed. São Paulo: Elsevier, 2011.

RODRIGUES, P. R. **Energia Eólica: Energias Renováveis.** 2011. Disponível em: https://issuu.com/youssefbrasil/docs/energia_eolica. Acesso em: 03 maio 2020.

SANTO, I. P. **PEA 2200 Energia, Meio Ambiente e Sustentabilidade.** 2018. 22

slides. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/14739518/>. Acesso em: 18 jun. 2020.

SILVA, R. S. **Saiba como usar a taxa mínima de atratividade antes de investir em um novo projeto.** Curitiba, PR, 2018. Disponível em: <https://eadbox.com/taxaminima-de-atratividade/>. Acesso em 08 mar. 2020.

SUÇUARANA, M. S. Energia Eólica. [entre 2015 e 2020]. Disponível em: <https://www.infoescola.com/tecnologia/energia-eolica/>. Acesso em: 10 jun. 2020.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.** Rio de Janeiro, RJ, 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoesdadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2019.

APÊNDICE – FLUXOS DE CAIXA – AEROGERADORES 2 E 3

Tabela 6 – Fluxo de caixa – Aerogerador 2 – Sem Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	16.200,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-16.200,00	-16.200,00
1	0,00	644,28	603,34	194,40	0,00	449,88	408,94
2	0,00	644,28	645,69	194,40	0,00	449,88	451,29
3	0,00	644,28	691,02	194,40	0,00	449,88	496,62
4	0,00	644,28	739,53	194,40	0,00	449,88	545,13
5	0,00	644,28	791,44	194,40	0,00	449,88	597,04
6	0,00	644,28	847,00	194,40	0,00	449,88	652,60
7	0,00	644,28	906,46	194,40	0,00	449,88	712,06
8	0,00	644,28	970,09	194,40	0,00	449,88	775,69
9	0,00	644,28	1.038,19	194,40	0,00	449,88	843,79
10	0,00	644,28	1.111,08	194,40	0,00	449,88	916,68
11	0,00	644,28	1.189,07	194,40	0,00	449,88	994,67
12	0,00	644,28	1.272,55	194,40	0,00	449,88	1.078,15
13	0,00	644,28	1.361,88	194,40	0,00	449,88	1.167,48
14	0,00	644,28	1.457,48	194,40	0,00	449,88	1.263,08
15	0,00	644,28	1.559,80	194,40	0,00	449,88	1.365,40
16	0,00	644,28	1.669,30	194,40	0,00	449,88	1.474,90
17	0,00	644,28	1.786,48	194,40	0,00	449,88	1.592,08
18	0,00	644,28	1.911,89	194,40	0,00	449,88	1.717,49
19	0,00	644,28	2.046,11	194,40	0,00	449,88	1.851,71
20	0,00	644,28	2.189,74	194,40	0,00	449,88	1.995,34

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Tabela 7 – Fluxo de caixa – Aerogerador 2 – Com Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	644,28	603,34	194,40	3.541,32	-3.091,44	-3.132,38
2	0,00	644,28	645,69	194,40	3.349,19	-2.899,31	-2.897,90
3	0,00	644,28	691,02	194,40	3.157,06	-2.707,18	-2.660,44
4	0,00	644,28	739,53	194,40	2.964,92	-2.515,04	-2.419,80
5	0,00	644,28	791,44	194,40	2.772,79	-2.322,91	-2.175,75
6	0,00	644,28	847,00	194,40	2.580,66	-2.130,78	-1.928,06
7	0,00	644,28	906,46	194,40	2.388,53	-1.938,65	-1.676,47
8	0,00	644,28	970,09	194,40	2.196,40	-1.746,52	-1.420,70
9	0,00	644,28	1.038,19	194,40	2.004,26	-1.554,38	-1.160,47
10	0,00	644,28	1.111,08	194,40	1.812,13	-1.362,25	-895,46
11	0,00	644,28	1.189,07	194,40	0,00	449,88	994,67
12	0,00	644,28	1.272,55	194,40	0,00	449,88	1.078,15
13	0,00	644,28	1.361,88	194,40	0,00	449,88	1.167,48
14	0,00	644,28	1.457,48	194,40	0,00	449,88	1.263,08
15	0,00	644,28	1.559,80	194,40	0,00	449,88	1.365,40
16	0,00	644,28	1.669,30	194,40	0,00	449,88	1.474,90
17	0,00	644,28	1.786,48	194,40	0,00	449,88	1.592,08
18	0,00	644,28	1.911,89	194,40	0,00	449,88	1.717,49
19	0,00	644,28	2.046,11	194,40	0,00	449,88	1.851,71
20	0,00	644,28	2.189,74	194,40	0,00	449,88	1.995,34

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Tabela 8 – Fluxo de caixa – Aerogerador 2 – Com Subsídio e Sem Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	6.480,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-6.480,00	-6.480,00
1	0,00	644,28	603,34	194,40	0,00	449,88	408,94
2	0,00	644,28	645,69	194,40	0,00	449,88	451,29
3	0,00	644,28	691,02	194,40	0,00	449,88	496,62
4	0,00	644,28	739,53	194,40	0,00	449,88	545,13
5	0,00	644,28	791,44	194,40	0,00	449,88	597,04
6	0,00	644,28	847,00	194,40	0,00	449,88	652,60
7	0,00	644,28	906,46	194,40	0,00	449,88	712,06
8	0,00	644,28	970,09	194,40	0,00	449,88	775,69
9	0,00	644,28	1.038,19	194,40	0,00	449,88	843,79
10	0,00	644,28	1.111,08	194,40	0,00	449,88	916,68
11	0,00	644,28	1.189,07	194,40	0,00	449,88	994,67
12	0,00	644,28	1.272,55	194,40	0,00	449,88	1.078,15
13	0,00	644,28	1.361,88	194,40	0,00	449,88	1.167,48
14	0,00	644,28	1.457,48	194,40	0,00	449,88	1.263,08
15	0,00	644,28	1.559,80	194,40	0,00	449,88	1.365,40
16	0,00	644,28	1.669,30	194,40	0,00	449,88	1.474,90
17	0,00	644,28	1.786,48	194,40	0,00	449,88	1.592,08
18	0,00	644,28	1.911,89	194,40	0,00	449,88	1.717,49
19	0,00	644,28	2.046,11	194,40	0,00	449,88	1.851,71
20	0,00	644,28	2.189,74	194,40	0,00	449,88	1.995,34

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Tabela 9 – Fluxo de caixa – Aerogerador 2 – Com Subsídio e Com Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	644,28	603,34	194,40	1.416,53	-966,65	-1.007,59
2	0,00	644,28	645,69	194,40	1.339,68	-889,80	-888,39
3	0,00	644,28	691,02	194,40	1.262,82	-812,94	-766,20
4	0,00	644,28	739,53	194,40	1.185,97	-736,09	-640,84
5	0,00	644,28	791,44	194,40	1.109,12	-659,24	-512,07
6	0,00	644,28	847,00	194,40	1.032,26	-582,38	-379,66
7	0,00	644,28	906,46	194,40	955,41	-505,53	-243,35
8	0,00	644,28	970,09	194,40	878,56	-428,68	-102,86
9	0,00	644,28	1.038,19	194,40	801,71	-351,83	42,09
10	0,00	644,28	1.111,08	194,40	724,85	-274,97	191,82
11	0,00	644,28	1.189,07	194,40	0,00	449,88	994,67
12	0,00	644,28	1.272,55	194,40	0,00	449,88	1.078,15
13	0,00	644,28	1.361,88	194,40	0,00	449,88	1.167,48
14	0,00	644,28	1.457,48	194,40	0,00	449,88	1.263,08
15	0,00	644,28	1.559,80	194,40	0,00	449,88	1.365,40
16	0,00	644,28	1.669,30	194,40	0,00	449,88	1.474,90
17	0,00	644,28	1.786,48	194,40	0,00	449,88	1.592,08
18	0,00	644,28	1.911,89	194,40	0,00	449,88	1.717,49
19	0,00	644,28	2.046,11	194,40	0,00	449,88	1.851,71
20	0,00	644,28	2.189,74	194,40	0,00	449,88	1.995,34

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Tabela 10 – Fluxo de caixa – Aerogerador 2 – Com Subsídio e Melhorando as Condições de Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	644,28	603,34	194,40	1.263,60	-813,72	-854,66
2	0,00	644,28	645,69	194,40	1.202,04	-752,16	-750,75
3	0,00	644,28	691,02	194,40	1.140,48	-690,60	-643,86
4	0,00	644,28	739,53	194,40	1.078,92	-629,04	-533,79
5	0,00	644,28	791,44	194,40	1.017,36	-567,48	-420,32
6	0,00	644,28	847,00	194,40	955,80	-505,92	-303,20
7	0,00	644,28	906,46	194,40	894,24	-444,36	-182,18
8	0,00	644,28	970,09	194,40	832,68	-382,80	-56,99
9	0,00	644,28	1.038,19	194,40	771,12	-321,24	72,67
10	0,00	644,28	1.111,08	194,40	709,56	-259,68	207,12
11	0,00	644,28	1.189,07	194,40	0,00	449,88	994,67
12	0,00	644,28	1.272,55	194,40	0,00	449,88	1.078,15
13	0,00	644,28	1.361,88	194,40	0,00	449,88	1.167,48
14	0,00	644,28	1.457,48	194,40	0,00	449,88	1.263,08
15	0,00	644,28	1.559,80	194,40	0,00	449,88	1.365,40
16	0,00	644,28	1.669,30	194,40	0,00	449,88	1.474,90
17	0,00	644,28	1.786,48	194,40	0,00	449,88	1.592,08
18	0,00	644,28	1.911,89	194,40	0,00	449,88	1.717,49
19	0,00	644,28	2.046,11	194,40	0,00	449,88	1.851,71
20	0,00	644,28	2.189,74	194,40	0,00	449,88	1.995,34

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Tabela 11 – Fluxo de caixa – Aerogerador 3 – Sem Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	35.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-35.000,00	-35.000,00
1	0,00	1.385,20	1.297,17	420,00	0,00	965,20	877,17
2	0,00	1.385,20	1.388,23	420,00	0,00	965,20	968,23
3	0,00	1.385,20	1.485,69	420,00	0,00	965,20	1.065,69
4	0,00	1.385,20	1.589,98	420,00	0,00	965,20	1.169,98
5	0,00	1.385,20	1.701,60	420,00	0,00	965,20	1.281,60
6	0,00	1.385,20	1.821,05	420,00	0,00	965,20	1.401,05
7	0,00	1.385,20	1.948,89	420,00	0,00	965,20	1.528,89
8	0,00	1.385,20	2.085,70	420,00	0,00	965,20	1.665,70
9	0,00	1.385,20	2.232,12	420,00	0,00	965,20	1.812,12
10	0,00	1.385,20	2.388,81	420,00	0,00	965,20	1.968,81
11	0,00	1.385,20	2.556,51	420,00	0,00	965,20	2.136,51
12	0,00	1.385,20	2.735,97	420,00	0,00	965,20	2.315,97
13	0,00	1.385,20	2.928,04	420,00	0,00	965,20	2.508,04
14	0,00	1.385,20	3.133,59	420,00	0,00	965,20	2.713,59
15	0,00	1.385,20	3.353,57	420,00	0,00	965,20	2.933,57
16	0,00	1.385,20	3.588,99	420,00	0,00	965,20	3.168,99
17	0,00	1.385,20	3.840,93	420,00	0,00	965,20	3.420,93
18	0,00	1.385,20	4.110,57	420,00	0,00	965,20	3.690,57
19	0,00	1.385,20	4.399,13	420,00	0,00	965,20	3.979,13
20	0,00	1.385,20	4.707,95	420,00	0,00	965,20	4.287,95

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Tabela 12 – Fluxo de caixa – Aerogerador 3 – Com Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	1.385,20	1.297,17	420,00	7.651,00	-6.685,80	-6.773,83
2	0,00	1.385,20	1.388,23	420,00	7.235,90	-6.270,70	-6.267,67
3	0,00	1.385,20	1.485,69	420,00	6.820,80	-5.855,60	-5.755,11
4	0,00	1.385,20	1.589,98	420,00	6.405,70	-5.440,50	-5.235,72
5	0,00	1.385,20	1.701,60	420,00	5.990,60	-5.025,40	-4.709,00
6	0,00	1.385,20	1.821,05	420,00	5.575,50	-4.610,30	-4.174,45
7	0,00	1.385,20	1.948,89	420,00	5.160,40	-4.195,20	-3.631,51
8	0,00	1.385,20	2.085,70	420,00	4.745,30	-3.780,10	-3.079,60
9	0,00	1.385,20	2.232,12	420,00	4.330,20	-3.365,00	-2.518,08
10	0,00	1.385,20	2.388,81	420,00	3.915,10	-2.949,90	-1.946,29
11	0,00	1.385,20	2.556,51	420,00	0,00	965,20	2.136,51
12	0,00	1.385,20	2.735,97	420,00	0,00	965,20	2.315,97
13	0,00	1.385,20	2.928,04	420,00	0,00	965,20	2.508,04
14	0,00	1.385,20	3.133,59	420,00	0,00	965,20	2.713,59
15	0,00	1.385,20	3.353,57	420,00	0,00	965,20	2.933,57
16	0,00	1.385,20	3.588,99	420,00	0,00	965,20	3.168,99
17	0,00	1.385,20	3.840,93	420,00	0,00	965,20	3.420,93
18	0,00	1.385,20	4.110,57	420,00	0,00	965,20	3.690,57
19	0,00	1.385,20	4.399,13	420,00	0,00	965,20	3.979,13
20	0,00	1.385,20	4.707,95	420,00	0,00	965,20	4.287,95

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Tabela 13 – Fluxo de caixa – Aerogerador 3 – Com Subsídio e Sem Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	14.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-14.000,00	-14.000,00
1	0,00	1.385,20	1.297,17	420,00	0,00	965,20	877,17
2	0,00	1.385,20	1.388,23	420,00	0,00	965,20	968,23
3	0,00	1.385,20	1.485,69	420,00	0,00	965,20	1.065,69
4	0,00	1.385,20	1.589,98	420,00	0,00	965,20	1.169,98
5	0,00	1.385,20	1.701,60	420,00	0,00	965,20	1.281,60
6	0,00	1.385,20	1.821,05	420,00	0,00	965,20	1.401,05
7	0,00	1.385,20	1.948,89	420,00	0,00	965,20	1.528,89
8	0,00	1.385,20	2.085,70	420,00	0,00	965,20	1.665,70
9	0,00	1.385,20	2.232,12	420,00	0,00	965,20	1.812,12
10	0,00	1.385,20	2.388,81	420,00	0,00	965,20	1.968,81
11	0,00	1.385,20	2.556,51	420,00	0,00	965,20	2.136,51
12	0,00	1.385,20	2.735,97	420,00	0,00	965,20	2.315,97
13	0,00	1.385,20	2.928,04	420,00	0,00	965,20	2.508,04
14	0,00	1.385,20	3.133,59	420,00	0,00	965,20	2.713,59
15	0,00	1.385,20	3.353,57	420,00	0,00	965,20	2.933,57
16	0,00	1.385,20	3.588,99	420,00	0,00	965,20	3.168,99
17	0,00	1.385,20	3.840,93	420,00	0,00	965,20	3.420,93
18	0,00	1.385,20	4.110,57	420,00	0,00	965,20	3.690,57
19	0,00	1.385,20	4.399,13	420,00	0,00	965,20	3.979,13
20	0,00	1.385,20	4.707,95	420,00	0,00	965,20	4.287,95

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Tabela 14 – Fluxo de caixa – Aerogerador 3 – Com Subsídio e Com Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
1	0,00	1.385,20	1.297,17	420,00	3.060,40	-2.095,20	1
2	0,00	1.385,20	1.388,23	420,00	2.894,36	-1.929,16	2
3	0,00	1.385,20	1.485,69	420,00	2.728,32	-1.763,12	3
4	0,00	1.385,20	1.589,98	420,00	2.562,28	-1.597,08	4
5	0,00	1.385,20	1.701,60	420,00	2.396,24	-1.431,04	5
6	0,00	1.385,20	1.821,05	420,00	2.230,20	-1.265,00	6
7	0,00	1.385,20	1.948,89	420,00	2.064,16	-1.098,96	7
8	0,00	1.385,20	2.085,70	420,00	1.898,12	-932,92	8
9	0,00	1.385,20	2.232,12	420,00	1.732,08	-766,88	9
10	0,00	1.385,20	2.388,81	420,00	1.566,04	-600,84	10
11	0,00	1.385,20	2.556,51	420,00	0,00	965,20	11
12	0,00	1.385,20	2.735,97	420,00	0,00	965,20	12
13	0,00	1.385,20	2.928,04	420,00	0,00	965,20	13
14	0,00	1.385,20	3.133,59	420,00	0,00	965,20	14
15	0,00	1.385,20	3.353,57	420,00	0,00	965,20	15
16	0,00	1.385,20	3.588,99	420,00	0,00	965,20	16
17	0,00	1.385,20	3.840,93	420,00	0,00	965,20	17
18	0,00	1.385,20	4.110,57	420,00	0,00	965,20	18
19	0,00	1.385,20	4.399,13	420,00	0,00	965,20	19
20	0,00	1.385,20	4.707,95	420,00	0,00	965,20	20

* tarifa constante.

** tarifa crescente.

Tabela 15 – Fluxo de caixa – Aerogerador 3 – Com Subsídio e Melhorando as Condições de Financiamento

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)*	Redução dos Custos Com E. E. (R\$)**	Custo de Manutenção (R\$)	Financiamento (R\$)	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)*	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	1.385,20	1.297,17	420,00	2.730,00	-1.764,80	-1.852,83
2	0,00	1.385,20	1.388,23	420,00	2.597,00	-1.631,80	-1.628,77
3	0,00	1.385,20	1.485,69	420,00	2.464,00	-1.498,80	-1.398,31
4	0,00	1.385,20	1.589,98	420,00	2.331,00	-1.365,80	-1.161,02
5	0,00	1.385,20	1.701,60	420,00	2.198,00	-1.232,80	-916,40
6	0,00	1.385,20	1.821,05	420,00	2.065,00	-1.099,80	-663,95
7	0,00	1.385,20	1.948,89	420,00	1.932,00	-966,80	-403,11
8	0,00	1.385,20	2.085,70	420,00	1.799,00	-833,80	-133,30
9	0,00	1.385,20	2.232,12	420,00	1.666,00	-700,80	146,12
10	0,00	1.385,20	2.388,81	420,00	1.533,00	-567,80	435,81
11	0,00	1.385,20	2.556,51	420,00	0,00	965,20	2.136,51
12	0,00	1.385,20	2.735,97	420,00	0,00	965,20	2.315,97
13	0,00	1.385,20	2.928,04	420,00	0,00	965,20	2.508,04
14	0,00	1.385,20	3.133,59	420,00	0,00	965,20	2.713,59
15	0,00	1.385,20	3.353,57	420,00	0,00	965,20	2.933,57
16	0,00	1.385,20	3.588,99	420,00	0,00	965,20	3.168,99
17	0,00	1.385,20	3.840,93	420,00	0,00	965,20	3.420,93
18	0,00	1.385,20	4.110,57	420,00	0,00	965,20	3.690,57
19	0,00	1.385,20	4.399,13	420,00	0,00	965,20	3.979,13
20	0,00	1.385,20	4.707,95	420,00	0,00	965,20	4.287,95

* tarifa constante.

** tarifa crescente.