

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MAX HENRIQUE GOMES BRAUNSTEIN

**METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
APLICAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO**

Alegrete

2016

MAX HENRIQUE GOMES BRAUNSTEIN

**METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
APLICAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO**

Dissertação do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Mauricio Sperandio

Coorientador: Daniel Pinheiro Bernardon

Alegrete

2016

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

B593m Braunstein, Max Henrique Gomes
METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA
DA APLICAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO
/ Max Henrique Gomes Braunstein.
105 p.

Dissertação(Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa,
MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 2016.
"Orientação: Mauricio Sperandio".

1. Geração Distribuída. 2. Fontes Renováveis. 3. Energia
Alternativa. 4. Microrrede. I. Título.

MAX HENRIQUE GOMES BRAUNSTEIN

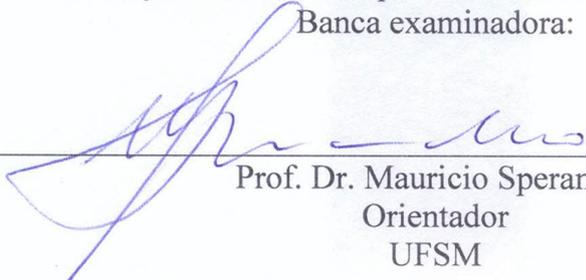
**METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
APLICAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação
Stricto Sensu em (Nome do Curso) da Universidade
Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção
do Título de Mestre em (Área do curso).

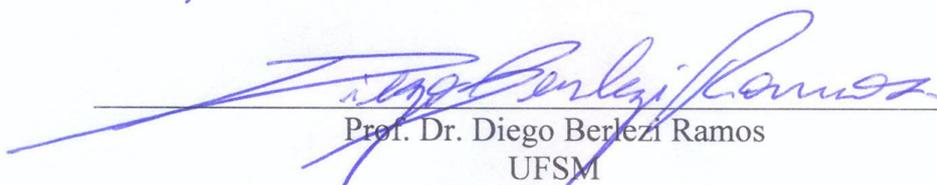
Área de concentração:

Dissertação defendida e aprovada em: 03 de junho de 2016.

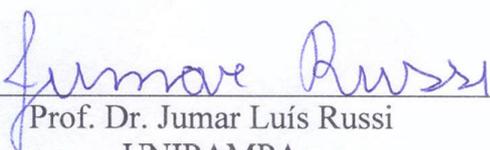
Banca examinadora:



Prof. Dr. Mauricio Sperandio
Orientador
UFSM



Prof. Dr. Diego Berlezi Ramos
UFSM



Prof. Dr. Jumar Luís Russi
UNIPAMPA

Dedico ao meu filho(a).

AGRADECIMENTOS

À Deus e seus mensageiros.

À Daiane, que esteve ao meu lado, apoiando, auxiliando e suportando mau humor e estresses decorrentes do trabalho.

Aos meus pais Elizete e Wolmar, que forneceram suporte em vários momentos que necessitei.

Aos professores Dr. Maurício Sperandio e Dr. Daniel Bernardon por realmente me orientarem e acreditarem não só na possibilidade deste trabalho, mas que eu pudesse concluí-lo.

Aos irmãos, Marcus e Mark.

Aos avós Olivar, Irene, Neri, Nadir.

À Eloá e Irene Gomes.

À Gabriela que me auxiliou com algumas correções ortográficas.

À PROINFRA, em especial ao André, Humberto, Luccas e Maurício, pois assumiram demandas de trabalho maiores para me auxiliar na conclusão deste trabalho.

Ao Diego, por se deslocar até Alegrete e ser parte da banca.

Ao Maurício Almeida, sem o auxílio dele não teria realizado a defesa.

RESUMO

O custo elevado de grandes centrais de geração e extensas linhas de transmissão de energia elétrica, bem como novas regulamentações tornam a geração distribuída e a busca de outras fontes de energia mais atrativas atualmente. A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para analisar a viabilidade técnico/econômico de implantação de geração distribuída aproveitando o conceito de microrredes em instituições de ensino superior. Este trabalho estuda a possibilidade de utilizar os recursos naturais e alternativos de forma a minimizar os custos oriundos da compra de energia elétrica.

Para esta pesquisa, é apresentada a modelagem realizada em ambiente computacional utilizando um software que auxilia nas análises, trazendo para o valor presente os custos provenientes de implantação, operação e manutenção. Para estudo de caso será utilizada a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Ao final do trabalho, foram atingidos os seguintes resultados: verificou-se possibilidade de redução do custo com energia elétrica através da redução de consumo e redução de contratação de demanda; observamos o retorno do investimento e o atendimento de portarias visando à utilização de fontes renováveis em instituições federais.

Palavras chave – Geração Distribuída; Fontes Renováveis; Energia Alternativa; Microrrede.

ABSTRACT

The high cost of large central generation, the long distance power transmission lines and the new governmental regulations make the distributed generation and the search for other energy sources an attractive solution. This work presents a methodology to analyze the technical and economic feasibility of distributed generation deployment using the concept of microgrids in Universities. The study aims to consider the possibility of using natural and alternative resources like Ethanol, biomass and PV to minimize the costs related to the purchase and usage of electricity.

The modeling is developed in a computing environment using the software Homer that assists in the analysis, bringing the current value of the costs of implementation, operation and maintenance. With the data from the analyses it will be possible to present some alternative scenarios of improvement with reduction of costs and increase of reliability. For this study case, Universidade Federal de Santa Maria (Federal University of Santa Maria), in south Brazil, is analyzed.

It was possible to bring solutions that reduced the energy purchased from the grid, through available renewable sources in the own University. We could also reduce the contracted demand. The methodology developed can be applied to any other Universities, analyzing the available sources in the campus, to bring economy, reliability and reduction of greenhouse gases.

Key Words – Generation; Renewable sources; Alternative energy; Microgrids

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de Microrrede conectada a rede.....	27
Figura 2 – Exemplo de Microrrede isolada.....	27
Figura 3 – Radiação Solar e suas componentes.....	29
Figura 4– Curvas características do módulo fotovoltaico em condições de teste padrão e condições de campo (painel com lâmina d’água e normal).....	31
Figura 5 – Gráfico de Geração elétrica de painel fotovoltaico (PV) e carga típica de escola.....	33
Figura 6 – Gráfico de Geração elétrica de painel fotovoltaico (PV) e carga típica de residência.....	34
Figura 7–Radiação Solar direta anual no Brasil.....	35
Figura 8–Custo do painel fotovoltaico por watt.....	35
Figura 9 – Preços de painéis fotovoltaicos de acordo com a potência.....	36
Figura 10 – Emissão de Material Particulado, durante 5 minutos de coleta, em função da carga aplicada e do combustível. B: Biodiesel; EH: Etanol Hidratado; OV: Óleo Vegetal.....	37
Figura 11 – Relação de custo de geradores a diesel por watt.....	39
Figura 12 – Mapa do potencial eólico brasileiro.....	41
Figura 13 – Curva de Potência x Velocidade de dois aerogeradores.....	42
Figura 14 – Curva de Potência x Velocidade do Aerogerador.....	42
Figura 15 – Curva de Potência x Velocidade do Aerogerador.....	43
Figura 16 – Velocidade média de ventos ao longo de um ano.....	44
Figura 17 – Velocidade média de vento ao longo de um ano.....	44
Figura 18 – Custo do aerogerador com acessórios para conexão a rede.....	45
Figura 19 – Custo de aerogeradores sem acessórios para conexão para a rede.....	45
Figura 20 – Ciclo bioenergético em escala local.....	46
Figura 21–Exemplo de uma máquina com ciclo combinado.....	47
Figura 22 – Relação entre potências e custos de conversores de energia.....	51
Figura 23 – Fluxograma para Implantação de uma Microrrede.....	55
Figura 24 – Curvas de carga da UFSM.....	57
Figura 25 – Dados de radiação média no ano de 2014.....	60
Figura 26 – Média das maiores temperaturas diárias de cada mês.....	60
Figura 27 – Gráfico de dados de biomassa estimados para a análise.....	63
Figura 28 – Gráfico de dados otimizados para o sistema com 9,9 MW de PV instalado.....	65
Figura 29 – Curvas de carga e energia gerada com PV em janeiro.....	66
Figura 30 – Curvas de carga e energia gerada com PV em junho.....	67
Figura 31 – Energia gerada a partir de biomassa (R\$ 100,00/t e 0,721t/dia).....	68
Figura 32 – Energia gerada a partir de biomassa (R\$ 200,00/t e 2,5t/dia).....	68
Figura 33 - Relação entre preço e taxa de gaseificação da biomassa.....	69
Figura 34 – Geração de energia com Etanol (Etanol = R\$ 0,50/l e cap. máx. anual = 600.000 l).....	70
Figura 35 – Geração de energia com Etanol (R\$ 0,50/l e cap. máx. anual = 3.600.000 l).....	71

Figura 36 – Geração de energia com Etanol (R\$ 1,00/l e cap. máx. anual = 600.000 l)	72
Figura 37 – Energia comprada da rede da concessionária de energia local	73
Figura 38 – Proporção de energia gerada e energia comprada da rede	75
Figura 39 – Proporção de energia consumida pela carga e energia fornecida para a rede	75
Figura 40 – Curvas de carga e energia gerada com PV em janeiro	76
Figura 41 – Energia comprada da rede da concessionária de energia local	77
Figura 42 – Proporção de energia gerada e energia comprada da rede	78
Figura 43 – Proporção de energia consumida pela carga e energia fornecida para a rede	79
Figura 44 – Curvas de carga e fontes com geradores trabalhando no período FP de maior demanda	80
Figura 45 – Curvas de carga e fontes com geradores trabalhando no período ponta	81
Figura 46 – Comparativo de custos com demanda sem ICMS	87
Figura 47 – Comparativo da possibilidade de economia com análise da Demanda sem ICMS	88
Figura 48 – Comparativo da possibilidade de economia com análise da Demanda sem ICMS	88
Figura 49 – Tela inicial do HOMER	98
Figura 50 – Tela de equipamentos do HOMER	99
Figura 51 – Componentes da GD no HOMER	100
Figura 52 – Dados de configuração da simulação	100
Figura 53 – Entrada de dados financeiros no HOMER	101
Figura 54 – Entrada do sistema de controles do HOMER	101
Figura 55 – Tela de resultados otimizados da simulação no HOMER	102
Figura 56 – Análise de sensibilidade no HOMER	103
Figura 57 – Plano Diretor da UFSM	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Eficiência de conversão de diversos tipos de células fotovoltaicas	32
Tabela 2– Relação entre produção e custo do etanol	39
Tabela 3 – Tipos de biocombustíveis	48
Tabela 4 – Produção de gás por dejetos de animais semiestabulados.....	50
Tabela 5 - Características técnicas do painel fotovoltaico fornecidas pelo fabricante.	58
Tabela 6 – Dados inseridos do software referente aos inversores.....	61
Tabela 7 – Relação de custo dos Geradores adotados na análise	61
Tabela 8 – Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos.....	62
Tabela 9–Poder calorífico inferior (PCI) do biogás em função da composição química	63
Tabela 10 – Dados fixados para simulação	73
Tabela 11 – Comparativo entre configurações da GD	74
Tabela 12 – Produção de energia	74
Tabela 13 – Consumo de energia	75
Tabela 14 – Dados fixados para simulação	77
Tabela 15 – Comparativo entre configurações da GD	78
Tabela 16 – Produção de energia	78
Tabela 17 – Consumo de energia	79
Tabela 18 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 13,8kV – Demanda contratada em horário de ponta = 3.000 kW e horário fora ponta = 5.000 kW	82
Tabela 19 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 13,8 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 2.550 kW e horário fora ponta = 4.500 kW	83
Tabela 20 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 13,8 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 2.550 kW e horário fora ponta = 3.950 kW	83
Tabela 21 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 13,8kV – Demanda contratada em horário de ponta = 1.700 kW e horário fora ponta = 4.500 kW	84
Tabela 22 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 69 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 3.000 kW e horário fora ponta = 5.000 kW	85
Tabela 23 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 69 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 2.550 kW e horário fora ponta = 4.500 kW	85
Tabela 24 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 69 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 2.550 kW e horário fora ponta = 3.950 kW	86

Tabela 25 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 69 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 1.700 kW e horário fora ponta = 4.500 kW	86
Tabela 26 – Valores de demanda	87

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

GD – Geração Distribuída

RN – Resolução Normativa

MEC – Ministério da Educação

PCH – Pequenas centrais hidrelétricas

PV – Painel fotovoltaico

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

P – ponta

FP – fora ponta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Justificativa.....	18
1.2	Objetivos	19
1.3	Revisão Bibliográfica.....	20
1.4	Universidade	23
1.5	Objeto de estudo.....	24
1.6	Organização da Dissertação	24
2	MICRORREDE	26
2.1	FONTES DE GERAÇÃO.....	28
2.1.1	Energia solar.....	28
2.1.2	Etanol	36
2.1.3	Energia eólica.....	39
2.1.4	Biomassa.....	45
2.1.5	Conversores	50
3	METODOLOGIA PROPOSTA.....	52
4	ESTUDO DE CASO.....	57
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	64
5.1	Simulação com 9 MW de PV.....	64
5.2	Limite de 5 MW de GD	76
6	CONCLUSÕES.....	90
6.1	Sugestão para Trabalhos Futuros.....	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho enquadra-se numa discussão de âmbito geral com relação à utilização de energias renováveis e a responsabilidade ambiental das nações. O compromisso para redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) assumido pelos países desenvolvidos, a partir da assinatura do Protocolo de Kyoto e ratificado pelo Tratado em 2005, deu início a busca de geração de energia a partir de fontes renováveis, reduzindo a emissão de gases poluentes e causadores do efeito estufa (ANEEL, 2008).

Além disso, a responsabilidade ambiental, a necessidade de confiabilidade do sistema elétrico, não deixando que seja proveniente de uma única fonte de energia traz o questionamento com relação à distribuição de energia elétrica a partir de grandes centros geradores. Preocupação com custos de operação e manutenção, aliados com o desenvolvimento tecnológico são outros pontos que favorecem a utilização de fontes renováveis.

1.1 Justificativa

Essa pesquisa fundamenta-se na expressiva e atual discussão acerca das questões ambientais, principalmente as relacionadas à produção de energia elétrica a partir da utilização de fontes renováveis. Dessa maneira, os elementos tais como o aumento no consumo energético, a necessidade de preservação do meio ambiente, associados à necessidade de redução de custos impulsionam o aprimoramento tecnológico quanto à utilização de sistemas alternativos para geração de energia. Para se realizar um investimento e passar a utilizar fontes alternativas é fundamental termos definir-se o quanto se pode investir e em quanto tempo haverá retorno deste investimento.

Em instituições de ensino superior, destacando-se as Instituições Públicas Federais, há a preocupação com relação à utilização dos recursos naturais e energéticos. Afinal, há necessidade de controle do erário Público, de forma a atender adequadamente a população acadêmica.

De acordo com BRASIL (2015, p. 67):

“Art. 1º Esta Portaria estabelece boas práticas de gestão e uso de Energia Elétrica e de Água nos órgãos e entidades da Administração Pública federal direta, autárquica e fundacional, na forma dos Anexos I e II, e dispõe sobre o monitoramento do consumo desses bens e serviços.

Parágrafo único. Os órgãos e entidades deverão adotar as providências necessárias para implementar as boas práticas de que trata o caput, inclusive elaborando campanhas de conscientização, por meio presencial e eletrônico.”

Ainda em BRASIL (2015, p. 68), é de interesse salientar os itens V e VI:

“V – Priorizar o emprego de mecanismos de produção de energia in loco, sempre que técnica e economicamente viável e vantajoso;

IV – Priorizar a utilização de sistemas ou fontes renováveis de energia, como energia eólica e painéis fotovoltaicos que proporcionem economia no consumo anual de energia elétrica da edificação.”

A política de boas práticas, que trata o documento supracitado, torna-se ainda mais expressiva quando ocorre aumento tarifário, como ocorrido ao final do ano de 2014 e início do ano de 2015. A maior parte da nossa geração de energia elétrica é proveniente de hidroelétricas. De acordo com a ANEEL (2014), 68,6% da geração de energia elétrica no Brasil em 2013 foram provenientes de sistemas hidráulicos, o que acaba sendo um problema em períodos com escassez de chuvas, tornando o custo da produção de energia elétrica elevado. A partir de 2015 é repassado aos consumidores este custo através do sistema de bandeiras tarifárias (ANEEL, 2015a).

Atualmente existem incentivos governamentais para implementação de geração distribuída (GD) com a finalidade de que o consumidor possa gerar sua própria energia. Para tanto foi necessária a elaboração de legislações e regulamentações específicas, tal como a RN N° 482 (ANEEL, 2012) que foi substituída pela RN N° 687 (ANEEL, 2015b). Já existiam sistemas que injetavam energia na rede antes da publicação das resoluções supracitadas, como é o caso da Universidade Federal de Santa Catarina, conforme descrito por Nascimento e Ruther (2014), porém não havia regulamentação específica que tornasse possível a venda ou compensação da energia consumida pela energia produzida.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para análise da viabilidade técnica e econômica da aplicação de geração distribuída em instituições

de ensino superior, utilizando como estudo de caso a Universidade Federal de Santa Maria. Os objetivos específicos do trabalho são:

- Avaliar a possibilidade de redução de custos de compra de energia elétrica da concessionária de energia;
- Analisar os recursos naturais que poderão ser utilizados para geração de energia elétrica em instituições de ensino superior e de que forma poderão ser melhor empregados;
- Realizar um estudo de caso na Universidade Federal de Santa Maria realizando um comparativo com as fontes renováveis que poderiam ser utilizadas na instituição;
- Sugerir, utilizando o estudo de caso, um melhor aproveitamento de áreas da instituição para geração de energia elétrica;
- Verificar a coerência desta proposta em termos de geração e o que poderá ser colocado em prática;
- Através da metodologia proposta espera-se que seja possível auxiliar na Portaria nº 23, de 12 de fevereiro de 2015 (BRASIL, 2015);
- Viabilizar a utilização de fontes renováveis nas universidades.

1.3 Revisão Bibliográfica

Sistemas convencionais de geração de eletricidade enfrentam a depleção de recursos fósseis, energia pouco eficiente e a poluição ambiental. Para solucionar esses problemas se propõe o emprego de gerações locais em BT a partir de sistemas não convencionais de energia elétrica (fontes renováveis de energia), tais como gás natural, pequenas centrais hidroelétricas, painéis fotovoltaicos, geradores eólicos, células de combustível, etc. Esse tipo de geração é denominada Geração Distribuída (GD). Um conjunto de GD, geralmente a base de fontes renováveis, e cargas interconectadas por redes de distribuição de pequena escala é chamado de Microrrede (CHOWDHURY, S.; CHOWDHURY, S. P. CROSSLEY, 2009).

Mini e microgeração distribuída são definidas como uma central geradora de energia elétrica que utiliza como fonte a base de energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Na microgeração a potência instalada é de

até 75 kW e na minigeração a potência instalada é de 3 MW para fontes hidráulicas e 5 MW para outras fontes (ANEEL, 2012, 2015).

Dentre as vantagens de implementação de GD tem-se a minimização de perdas por quedas de tensão, menores custos de operação e manutenção de linhas de transmissão e redução de custos com energia. Falcao, Taranto e Hincapie (2013) apresentam um método de otimização de alocação e dimensionamento de GD com a finalidade de maximizar a relação custo/benefício. Observa-se que políticas públicas auxiliam a viabilização da micro e minigeração de energia elétrica bem como sua integração ao Sistema Elétrico Nacional. Assim, por parte das distribuidoras e seus sistemas comerciais, é necessário adequar e elaborar, ou revisar, normas técnicas para tratar do acesso de micro e minigeração distribuída.

A intenção da ANEEL é habilitar aos consumidores a autogeração, não sendo fornecedores de energia elétrica. Para o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) essa prática é interessante pela redução de investimentos em geração e distribuição de energia elétrica. De acordo com RN Nº 687 (ANEEL, 2015b), o excedente gerado pode ser utilizado como crédito de consumo de energia elétrica com vigência de até 5 anos, abatendo do consumo. Após esse período o crédito é desconsiderado.

Este trabalho apresenta uma metodologia para a análise da viabilidade técnica e econômica de implementação de GD em universidades explorando o conceito de microrredes. Para tanto, serão avaliados os recursos naturais de fontes renováveis como energia solar, eólica e biomassa, em um estudo de caso considerando a implementação de GD na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Dongmei, Yafei e Yanhua (2014a) realizaram um estudo otimizado com o software HOMER analisando um sistema de GD com as fontes renováveis de energia buscando o projeto ideal do sistema. De acordo com o estudo, o sistema de GD é adequado em áreas ricas em recursos naturais, tirando proveito máximo de energia, melhora da eficiência energética e redução do custo do investimento.

Em (KHAN et al., 2014) é realizado um trabalho de otimização combinando sistemas fotovoltaico, eólico, hídrico e diesel para uma carga sazonal em sistemas isolados de ilhas no sul da China. A proposta é substituir a geração que é a diesel pelo sistema otimizado. Devido à sazonalidade da carga e recursos naturais, a melhor configuração com relação ao custo/benefício foi o sistema hídrico-diesel-

bateria. Porém foi levada em consideração que com o possível aumento do custo do diesel a integração de PV e turbinas eólicas ao sistema é uma solução promissora para fornecer a energia necessária para a ilha.

O impacto de recursos naturais, preços de combustível e nível de carga em um sistema isolado de geração distribuída é analisado por Dongmei, Yafei e Yanhua (2014b). No trabalho evidencia-se a importância de encontrar o ponto de equilíbrio entre investimento inicial e custos de operação. Isso é importante para a constituição, principalmente, aplicação da metodologia aqui proposta.

Essas metodologias de análise podem ser adotadas pela concessionária de energia a fim de avaliar a relação custo/benefício em reestruturações ou implementações de novas redes de transmissão para atendimento dos clientes.

Procurou-se utilizar as contribuições de Dongmei, Yafei e Yanhua (2014a, b) e Khan et al. (2014), onde são analisados casos de sistemas isolados. Desta forma, buscam-se alternativas que supram a demanda do consumidor. A análise de custo/benefício é diferente de um sistema conectado à rede. No sistema conectado à rede a relação custo/benefício deve ser mais vantajosa que apenas o atendimento pela concessionária de energia além da análise entre os sistemas alternativos. O diferencial do trabalho proposto com relação aos supracitados está na metodologia para análise do sistema conectado à rede, onde poderá se chegar à conclusão de que apenas o atendimento pela concessionária de energia é mais viável.

Couture e Gagnon (2010) realizaram comparações sobre as diferentes formas que são remuneradas as energias provenientes de fontes renováveis, apresentando metodologias de preço fixo, variável de acordo com o tipo de geração além de variáveis depreciativas. No caso do Brasil, de acordo com a regulamentação da ANEEL (2015b), temos apenas a possibilidade de compensação da energia gerada num prazo máximo de cinco anos.

Para desenvolver a metodologia proposta será utilizado o Software HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*) de simulação da HOMER Energy (2015). O Programa permite avaliar a possibilidade de implementação de gerações distribuídas utilizando fontes alternativas e convencionais, relacionar e comparar diferentes tarifas do sistema elétrico auxiliando na otimização da relação custo/benefício para o consumidor ou até mesmo à concessionária de energia

elétrica. Optou-se a utilização deste programa por ser gratuito, no período da pesquisa, de fácil utilização e atender as necessidades de modelagem e simulação.

1.4 Universidade

O conceito de universidade: definido por Significados (2015) diz o seguinte:

“Universidade é uma instituição de ensino superior que compreende um conjunto de faculdades ou escolas superiores destinadas à especialização profissional e científica.”

Já em (INFOESCOLA, 2015) é descrito que estas instituições são mais completas, tem mais autonomia e podem criar cursos sem solicitar autorização para o MEC. As Universidades Federais são criadas por lei e necessitam de aprovação no Congresso Nacional, enquanto as Universidades Particulares podem surgir a partir de outras entidades, como os Centros Universitários. Para que a instituição seja classificada como Universidade é necessário que ofereça pelo menos quatro cursos de pós-graduação *stricto sensu*, sendo obrigatório pelo menos que um deles seja de doutorado. Um terço do corpo docente deve ser composto por mestres e doutores, com a mesma proporção de contrato de trabalho integral. São realizadas nas universidades atividades de pesquisa e extensão nas diversas áreas de conhecimento, sendo de saúde, tecnologia, ciências humanas aplicadas, por exemplo.

As Universidades podem ter inclusas escolas técnicas, creches, hospitais, agências bancárias, farmácias, quadras desportivas, ginásios, piscinas térmicas, moradia estudantil, moradia para funcionários/servidores, posto de gasolina, laboratórios de pesquisa de diversas áreas do conhecimento, etc. Toda essa diversidade de espaços e atividades que podem ser desenvolvidas nesse tipo de instituição de ensino acarreta em uma variedade nas curvas de carga de cada instituição. Haverá horários variados para consumo de energia elétrica. Dependendo do tamanho da instituição encontraremos todos os espaços supramencionados além do ensino superior.

Podemos observar que as Universidades são campos excelentes para estudo e análise de cargas, por toda a diversidade e especificidades que pode apresentar. Quanto maior a quantidade de edificações de uma forma geral, mais elevado é o consumo. Sendo de interesse a confiabilidade e redução de custo quanto à utilização de quaisquer recursos, no nosso caso energia elétrica, justifica-se a busca por alternativas com essas finalidades.

Estas alternativas tornam-se ainda mais justificáveis quando se utiliza dos recursos naturais disponibilizados na própria instituição. Adotando fontes renováveis, quando possível e viável técnica e economicamente, estar-se-á contribuindo não só

com o meio ambiente, mas sim numa formação baseada no exemplo com relação à preocupação com este tema.

1.5 Objeto de estudo

Como já mencionado anteriormente, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para análise da viabilidade técnica e econômica da aplicação de geração distribuída em universidades e fundamenta-se em uma necessidade de confiabilidade do sistema associado a redução de custos.

Para o processo de desenvolvimento da metodologia foi utilizado por base o software HOMER, bem como a observância de dados necessários para a implementação de uma GD. Há a necessidade de que sejam traçados objetivos antes da análise, para que posteriormente possa ser verificado se serão aceitos ou refutados. Fica bastante claro nesse processo que o software é apenas um facilitador para os cálculos, necessitando o olhar crítico do usuário quanto as possibilidades.

Verificou-se que a metodologia desenvolvida ao longo deste trabalho é eficaz, por trazer recursos que se verifiquem a viabilidade técnico/econômica de implementação de uma GD. Na análise são determinadas as fontes economicamente e tecnicamente viáveis para o sistema, assim como a possibilidade de atendimento dos objetivos pré definidos. Além disso se o tipo de sistema que será adotado (isolado, conectado a rede ou sistema combinado) é o recomendável.

No estudo de caso foi possível observar o quão vantajosa é a utilização de uma GD para o objeto de estudo (UFSM), uma vez que o retorno do investimento é certo. A análise foi realizada de acordo com o fornecimento de energia atual (em 13,8 kV) e em 69 kV, pois há uma possibilidade de que seja alterado o fornecimento de energia na instituição. Para ambos os casos foi realizada uma possibilidade de redução de demanda contratada pela concessionária de energia local, trazendo um outro tipo de economia para instituição. Em 13,8 kV verificou-se uma possibilidade de redução de custos de até 18,17 % e em 69 kV de até 15,25 %, apenas reduzindo a demanda contratada.

1.6 Organização da Dissertação

O primeiro capítulo é introdutório, o segundo capítulo trata de microrrede e as tecnologias de geração utilizadas no trabalho, juntamente com referências bibliográficas sobre elas. O terceiro capítulo trata da descrição e desenvolvimento da metodologia a ser aplicada. O quarto capítulo é o estudo de caso onde será aplicada

a metodologia proposta. No quinto capítulo é realizada uma análise dos resultados. O sexto são conclusões do trabalho.

2 MICRORREDE

Para o melhor aproveitamento das GDs necessita-se interconectá-las. Essa conexão permite um fluxo energético entre as fontes e as diversas cargas do sistema e, se assim estabelecido, à rede da concessionária de energia local.

Do ponto de vista operacional, as fontes devem possuir equipamentos de eletrônica de potência e controles para prover a flexibilidade requerida para garantir a operação como um simples sistema agregado e para manter a potência e qualidade de energia especificada na saída. Essa flexibilidade de controle permitirá a microrrede apresentar-se ao sistema principal de energia elétrica como uma única unidade controlada que atenda às necessidades de energia locais para confiabilidade e segurança (CHOWDHURY, S.; CHOWDHURY, S. P.; CROSSLEY, 2009).

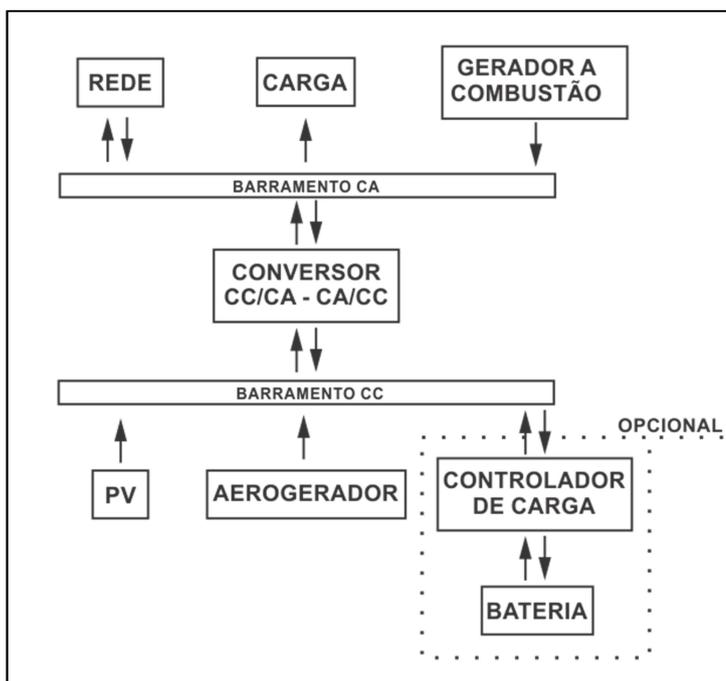
Microrrede é definida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos como um grupo de cargas interconectadas e recursos de energia distribuída com limites elétricos claramente definidos que atua como uma entidade única controlável com respeito à rede, que pode ser conectada, e desconectada podendo operar em ambos os modos conectada à rede ou de forma isolada (AMIN, 2015).

A crescente proporção de unidades de geração distribuída em sistemas elétricos de potência tem um impacto significativo no funcionamento das redes de distribuição. Cada vez mais confrontados com problemas de sobrecarga e tensão. Isso exige uma abordagem coordenada para a integração da GD na rede, sendo cada vez mais necessárias estruturas complexas para esta conexão (VANDOORN et al., 2013).

Este trabalho não visa analisar as problemáticas de conexão da microrrede e sim a metodologia para sua implementação. Dessa forma adota-se o significado de microrrede de (CHOWDHURY, S.; CHOWDHURY, S. P.; CROSSLEY, 2009), destinada a uma pequena comunidade como um conjunto habitacional ou uma comunidade acadêmica ou conjunto de prédios públicos. É essencialmente um conjunto de GD e cargas em diferentes níveis de tensão interconectados. Os geradores empregados são geralmente à base de energias renováveis. A microrrede pode funcionar de forma isolada (ilhada) e conectada ao sistema de energia elétrica. A Figura 1 ilustra um exemplo de microrrede conectada à rede. O item bateria é opcional neste sistema, pela possibilidade de injetar o excesso de energia gerada na rede. Na Figura 2 observa-se um exemplo de microrrede isolada da rede, ilhada. Nessa configuração o item bateria é necessário. Como não há conexão com a rede as fontes devem suprir toda a demanda da carga.

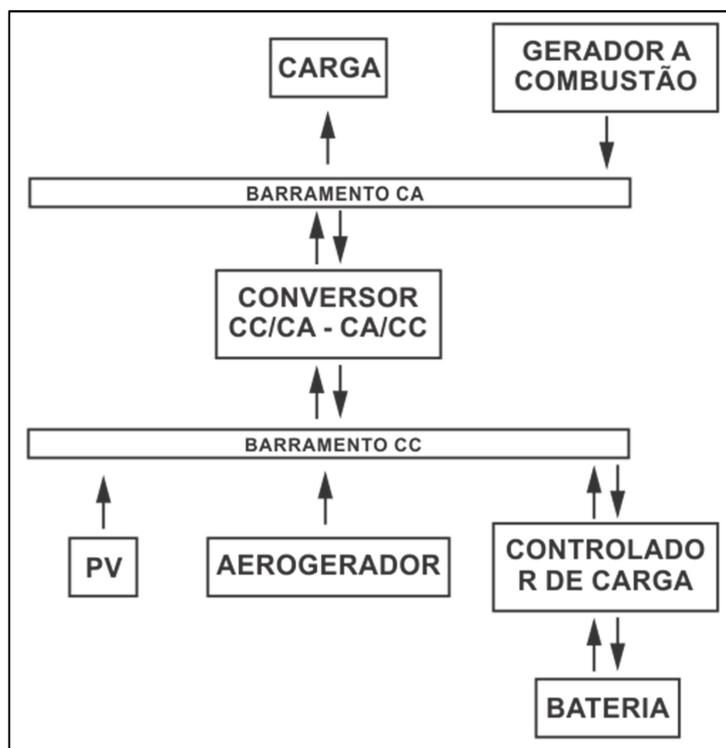
No sistema isolado, há uma possibilidade de não se utilizar a bateria, no caso de geradores a combustão ou PCH suprirem toda a demanda e atuarem de forma complementar com as demais fontes. Há possibilidade de realizar uma combinação entre esses dois sistemas.

Figura 1 – Exemplo de Microrrede conectada a rede



Fonte: próprio Autor

Figura 2 – Exemplo de Microrrede isolada



Fonte: próprio Autor

2.1 FONTES DE GERAÇÃO

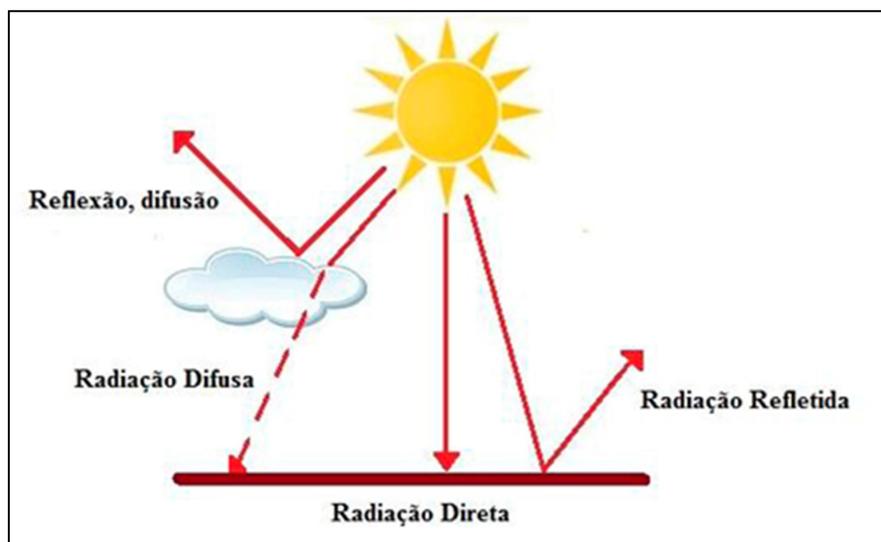
Neste trabalho serão adotadas fontes alternativas renováveis. Fontes definidas como renováveis são fontes inesgotáveis de energia, como o sol, por exemplo. A sua utilização é de acordo com a disponibilidade geográfica, tornando ela mais vantajosa em determinados locais que em outros. Fontes não renováveis são aquelas cuja produção é limitada e podem escassear com o tempo, como o petróleo e seus derivados.

2.1.1 Energia solar

Energia solar ou fotovoltaica é a proveniente da transformação direta da energia radiante em energia elétrica, não constituindo intermediários no processo. A sua geração está relacionada à eficiência da célula fotovoltaica, que depende da característica do semicondutor, da qualidade dos materiais utilizados e tecnologia de fabricação. O aproveitamento da energia radiante convertida em energia elétrica, ou seja, a sua eficiência é aproximadamente 10%. Os módulos para conversão de energia radiante em energia elétrica de corrente contínua são encontrados em 12, 24 ou 48 V (FARRET, 2010).

A radiação solar é absorvida em parte pela atmosfera terrestre, dessa forma somente uma parcela chega à superfície do planeta. Essa parcela é composta por uma componente direta e uma componente difusa. A composição destas radiações direta e difusa é denominada de Irradiação Global Horizontal que quantifica a radiação recebida por uma superfície plana horizontal. A radiação direta é a que não foi distorcida, refletida ou dispersada pela atmosfera. A radiação difusa ou indireta é aquela cuja direção foi desviada, ou sua intensidade foi atenuada por algum obstáculo. A Figura 3 mostra a radiação solar e suas componentes. (FOCUSOLAR, 2015; CARRIJO; FERREIRA; CAMACHO, 2010)

Figura 3 – Radiação Solar e suas componentes



Fonte: FOCUSOLAR (2015)

A geração de energia elétrica está relacionada com a incidência luminosa que é incidida diretamente no painel. Sombreamentos e temperatura são outros fatores que influenciam diretamente na geração de energia elétrica por PV. A maior incidência de radiação sobre o painel dá-se no horário de maior perpendicularidade com o sol (zênite solar), o máximo de geração disponibilizada é nesse momento. Para que a energia seja utilizada em horários que não haja radiação solar, faz-se necessária a utilização de banco de baterias, assim como controladores de carga para proteção das baterias contra eventuais sobrecargas e sobredescargas (FARRET, 2010).

Uma forma de maximizar a conversão de energia elétrica é utilizar sistemas de rastreamento mecânico, fazendo com que o painel fotovoltaico fique o maior tempo possível em perpendicular com o sol (CARRIJO; FERREIRA; CAMACHO, 2010; TESSARO; SOUZA; RICIÉRI, 2006).

Existem diferentes estudos para avaliar a produção de energia elétrica dos painéis com variações de métodos para extrapolação levando em consideração as condições reais de operação devido à inexistência de uma metodologia padrão. Basicamente é adotado o método numérico e algébrico. Dos métodos algébricos podemos relacionar: ponto de máxima potência aproximado; fator de forma variável com resistência série constante; fator de forma constante; método de Osterwald

(equação (1)); potência e energia nas condições de STC (Condições Padrão de Teste) (equação (2)) (BERNARDON et al., 2015).

$$P_{Máx} = P_{STC} \cdot \frac{G_i}{G_{STC}} \cdot [1 - \gamma \cdot (T_i - T_{STC})] \quad (1)$$

$$P_{Máx} = P_{STC} \cdot \frac{G_i}{G_{STC}} \quad (2)$$

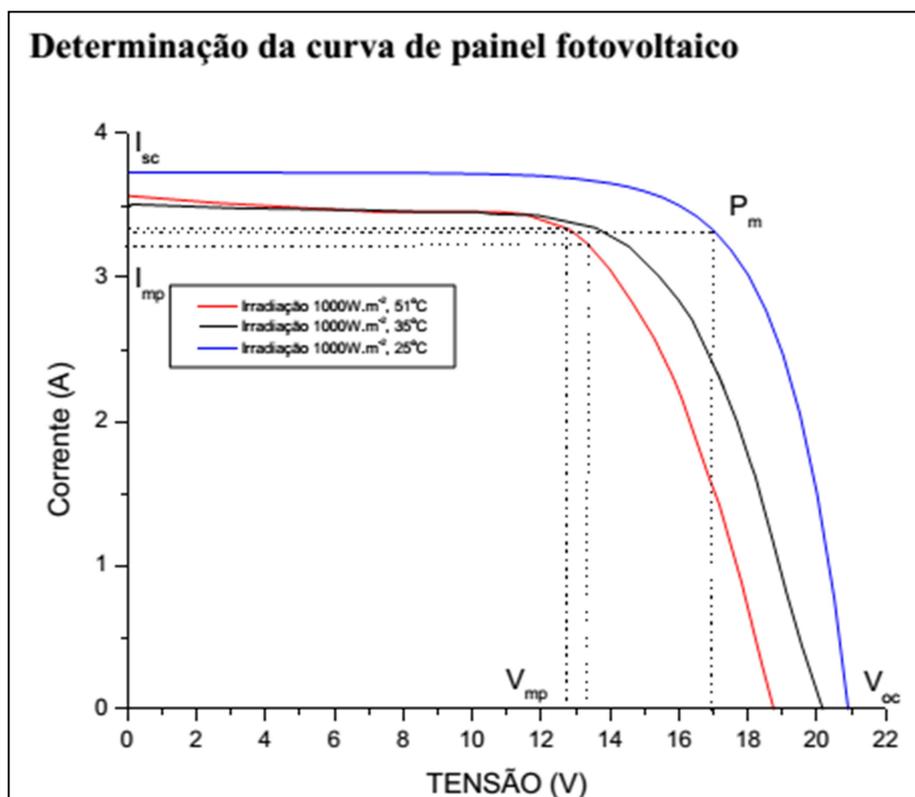
Onde P_{STC} é a máxima potência (W), gerada pelo módulo, geralmente anunciada pelo fabricante, G_{STC} é a radiação global para a condição do STC, G_i e T_i são a radiação global e a temperatura do ar na condição medida e T_{STC} é a temperatura para a condição do STC. As condições de STC são dadas em condições restritas, é necessário aplicar um fator de correção da temperatura para a potência, que é representado por γ e corresponde ao valor do intervalo $-0,005^{\circ}\text{C}^{-1}$ a $-0,003^{\circ}\text{C}^{-1}$ (BERNARDON et al., 2015).

A temperatura tem um fator determinante com relação ao rendimento do painel fotovoltaico. Com o aumento da temperatura a potência de saída decresce e a tensão de circuito aberto diminui ($2,3 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ aproximadamente). A corrente de curto-circuito praticamente não é influenciada (CASTRO, 2002).

Em (GNOATTO, 2005) foi analisada a utilização de painéis fotovoltaicos em condições normais de operação a fim de uma comprovação da sua eficiência relacionada à temperatura. No experimento foram utilizadas lâminas d'água sob o painel fotovoltaico a fim de mantê-lo com uma temperatura menor. A Figura 4 ilustra as três curvas, a de condições padrões de testes (25°C), do painel fotovoltaico sem lâmina d'água, onde a temperatura chegou a 51°C e com lâmina d'água (35°C). Foi possível observar a melhoria da eficiência com a refrigeração do painel fotovoltaico.

A utilização de painéis fotovoltaicos só é preocupante do ponto de vista ecológico durante a sua produção e durante o seu descarte, onde é necessário cuidar com relação ao tratamento dos materiais empregados como o silício, disseleneto de cobre-índio e telurineto de cádmio. Acredita-se que com o desenvolvimento tecnológico da produção dos painéis, sua produção será menos poluente e menos onerosa (FARRET, 2010).

Figura 4– Curvas características do módulo fotovoltaico em condições de teste padrão e condições de campo (painel com lâmina d'água e normal)



Fonte: GNOATTO (2005)

São produzidos três tipos de painéis fotovoltaicos: o monocristalino, o policristalino e o de filme fino. Os painéis monocristalinos são produzidos a partir de silício monocristalino extremamente puro, ou seja, uma estrutura única praticamente sem defeitos ou impurezas. As células de silício policristalino consistem em pequenos grãos de silício monocristalino. As células fotovoltaicas de filme fino são constituídas de películas muito finas de silício em uma forma conhecida como silício amorfo (a-Si) (BOYLE, 2004). A Tabela 1 ilustra uma relação entre estes três aspectos de construção do painel fotovoltaico.

A integração de painéis fotovoltaicos à rede de distribuição, assim como outras GDs, é interessante pela vantagem de modularidade, minimização de perdas nas redes de distribuição e transmissão, e redução de investimentos em transmissão e distribuição de energia elétrica (CÂMARA, 2011). Como qualquer sistema, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede também apresentam dificuldades técnicas como níveis de tensão, qualidade de energia, distorção harmônica e fluxo energético. A característica da geração intermitente da energia solar acentua estes problemas. Desta forma existem estudos que analisam a conexão com a rede e

maneiras de minimizar os problemas oriundos desta integração (CHANT et al., 2011; PRAJAPT et al., 2011).

Tabela 1– Eficiência de conversão de diversos tipos de células fotovoltaicas

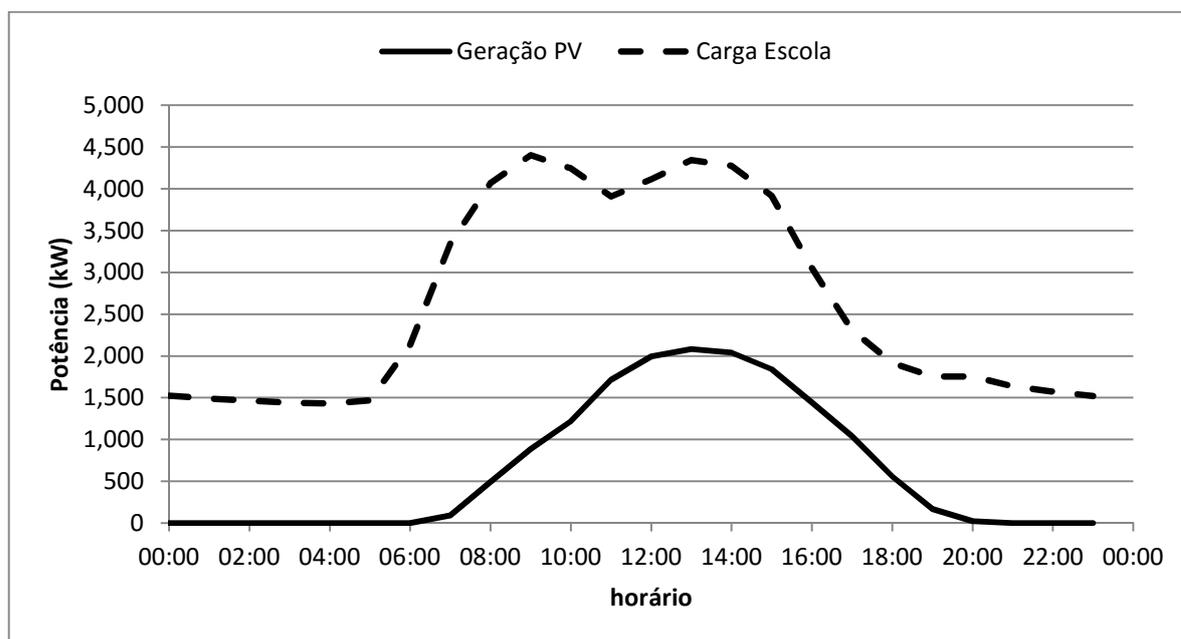
Tipo de célula	Vantagens	Desvantagens	Eficiência dos produtos disponíveis	Eficiência aproximada no laboratório
Monocristalina	Alta eficiência	Processo de produção dispendioso	13% a 18%	25%
Policristalina	Custo de produção mais econômico	Requer maior área do que as células monocristalinas	11% a 15%	20%
Amorfa (filme fino)	Economia de material devido à espessura das camadas (μm)	Baixa eficiência (aplicação em coberturas, etc.)	5% a 8%	13%

Fonte: adaptada de BONHAGEN (2013), pág. 39

A integração à rede se dá por meio de sistemas de inversores, uma vez que sua geração de energia elétrica é em corrente contínua e em baixa tensão. De acordo com Burger e Rüter (2006) deve ser levado em conta que a capacidade de produção de energia elétrica dos painéis fotovoltaicos tende a decair com o tempo. Os painéis fotovoltaicos apresentam uma boa vida útil, em alguns casos de até 35 anos (conforme especificação de fabricantes), são garantidos como capacidade de geração de 80% da energia de pico do painel em até 25 anos (MITSUBISHI ELECTRIC, 2015).

Como o pico de produção de energia elétrica proveniente de painéis fotovoltaicos ocorre com a maior perpendicularidade do sol (geralmente ao meio dia), devem-se utilizar sistemas de armazenamento de energia elétrica, ou utilizar de outras fontes de energia para que possam suprir a demanda total energética da carga. No gráfico da Figura 5 é possível verificar a geração proveniente de energia elétrica a partir de energia fotovoltaica e uma carga típica de escola. Neste gráfico é possível verificar que há uma coincidência de horário de maior consumo com o pico da geração do painel fotovoltaico. Neste caso a energia pode ser armazenada, utilizada pelo consumidor ou repassada à concessionária para geração de créditos para a fatura de energia elétrica.

Figura 5 – Gráfico de Geração elétrica de painel fotovoltaico (PV) e carga típica de escola



Fonte: próprio Autor

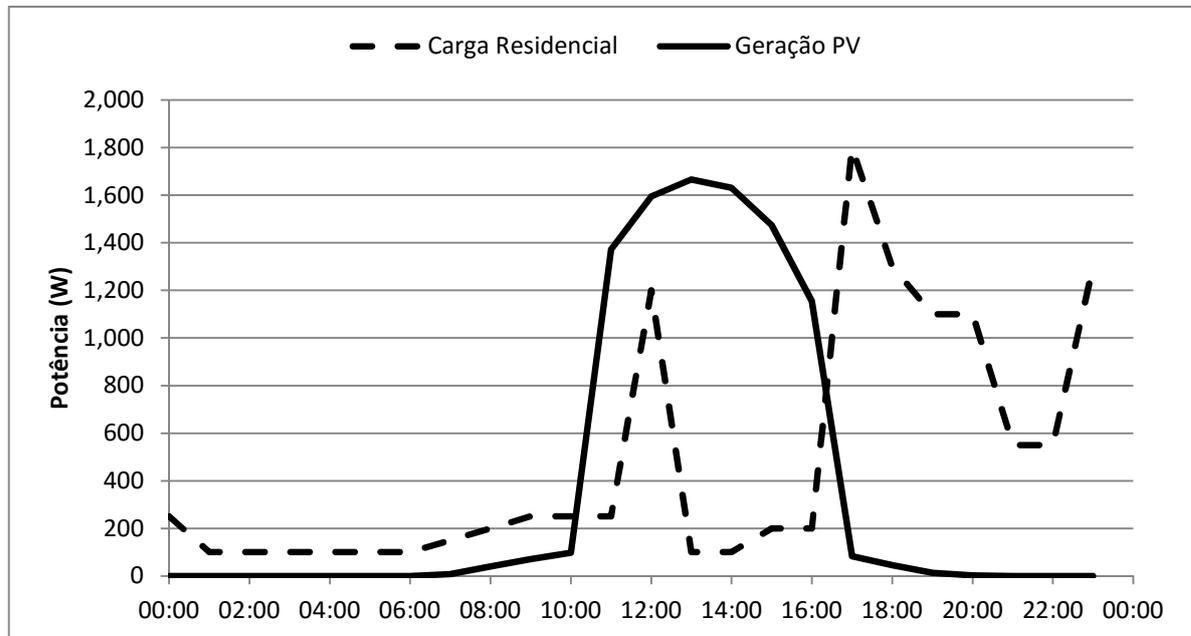
O gráfico da Figura 6 ilustra a geração de painel fotovoltaico e uma carga típica residencial. Verifica-se neste gráfico que a geração não é coincidente com o consumo, pois apresenta um excedente de geração e não fornece energia no período de maior consumo, que inicia depois das 16 horas. Neste caso, é imprescindível que sejam utilizados sistemas de armazenamento ou que o excesso de energia gerado gere créditos para o consumidor perante a concessionária de energia.

Khan et al. (2014) apresentam um estudo para avaliar a substituição de geração ilhada, sem conexão com a rede da concessionária de energia, somente a diesel por um sistema híbrido composto de painéis fotovoltaicos, geradores eólicos, micro-hidroelétrica e geradores a diesel. Em uma análise geral o sistema torna-se viável do ponto de vista econômico e ambiental. Estudos semelhantes são encontrados em (KARLIS; DOKOPOULOS, 1996) e (BRASIL, 2012).

De acordo com Chant et al. (2011), a aplicação da energia fotovoltaica já é uma realidade. Tem como meta para o governo Australiano para 2020 a utilização de 20% de energia renovável em sua matriz energética, sendo essencial/obrigatória a utilização em larga escala de painéis fotovoltaicos. Atualmente existem cinco

projetos propostos de geração fotovoltaica na Austrália, sendo o maior de 80 MW em Whyalla, Austrália do Sul.

Figura 6 – Gráfico de Geração elétrica de painel fotovoltaico (PV) e carga típica de residência



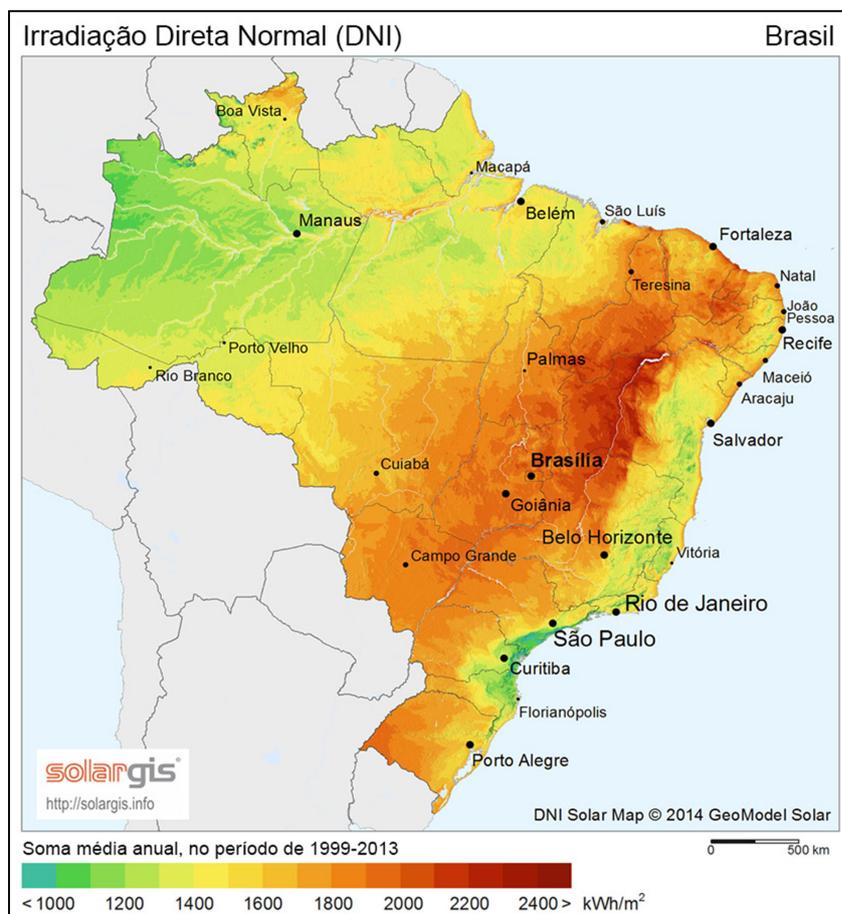
Fonte: próprio Autor

A capacidade de geração solar fotovoltaica é expressa em Wh/ano, essa geração é dependente do índice de irradiação solar. Através deste valor é possível uma análise comparativa das possibilidades de geração ao longo do país (BRASIL, 2012).

De acordo com a Figura 7, que ilustra o mapa de irradiação média anual no Brasil, pode-se observar que a radiação solar tem um amplo espectro de 1000 kWh/m² a 2400 kWh/m² em toda a sua extensão. A utilização de geração de energia elétrica torna-se interessante em várias localidades do território Nacional.

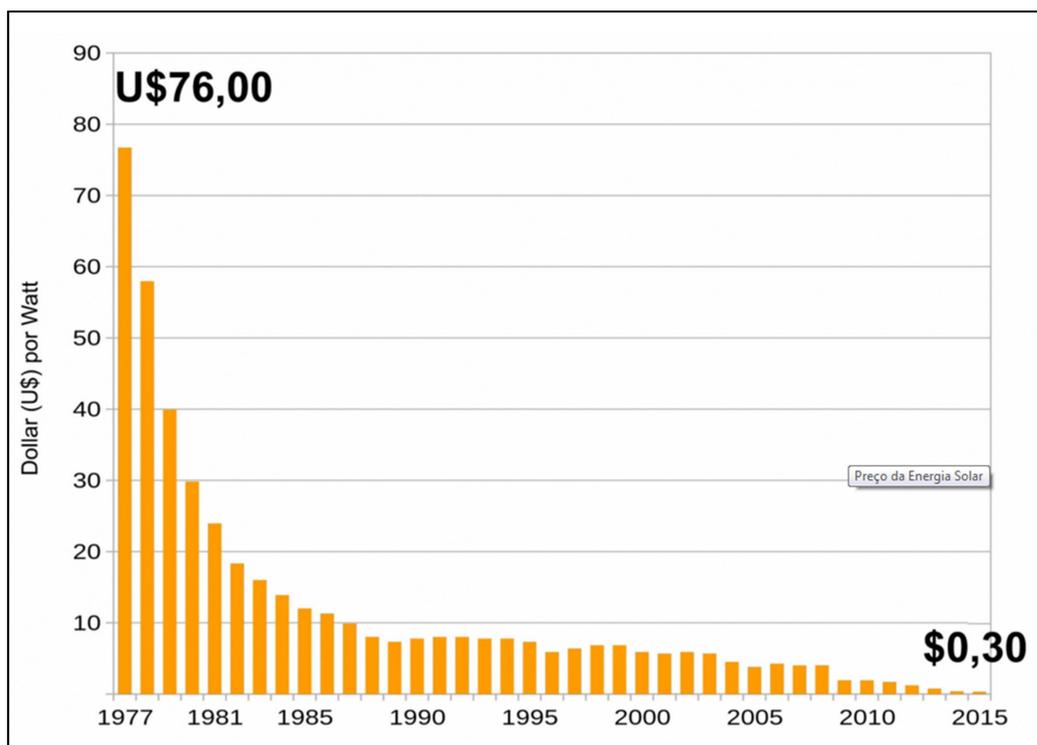
O preço do painel fotovoltaico tem reduzido nas últimas décadas, o que o torna mais atrativo do ponto de vista econômico. É possível verificar na Figura 8 que o preço do watt proveniente de um painel custava U\$ 76 (setenta e seis dólares) em 1977 e em 2015 custa apenas U\$ 0,30 (trinta centavos de dólar), ou seja, 0,39% do valor inicial. Esses dados servem apenas para verificar que o custo de PV reduziu significativamente, não podendo ser utilizados diretamente para projeto.

Figura 7–Radiação Solar direta anual no Brasil



Fonte: SOLARGIS (2015)

Figura 8–Custo do painel fotovoltaico por watt

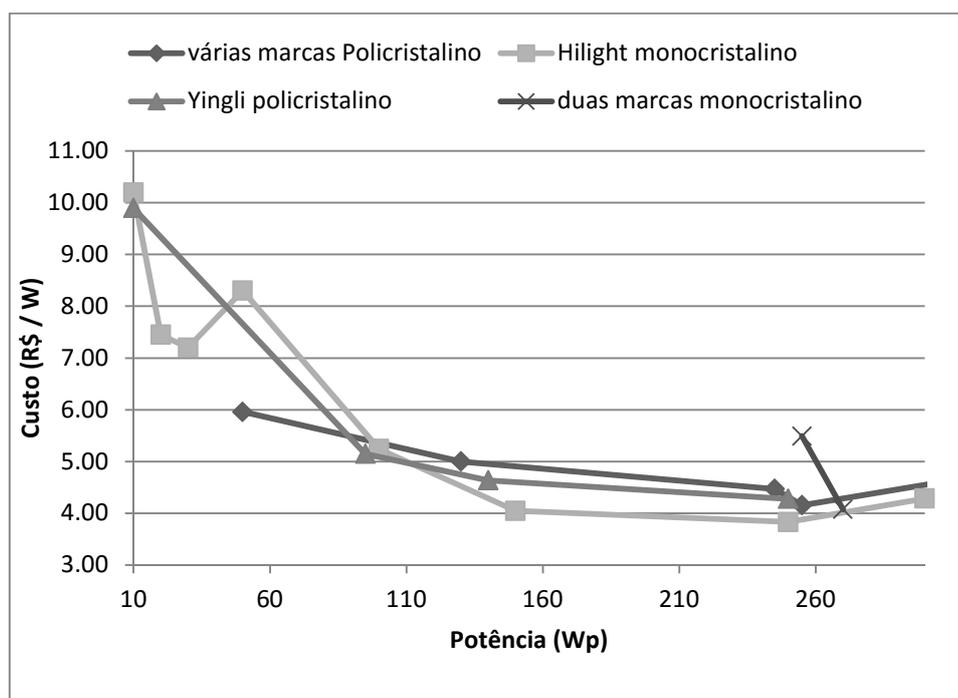


Fonte: PORTAL SOLAR (2015)

Em (SS SOLAR, 2015) relata-se que por conta desta redução de custos, a instalação de geradores fotovoltaicos tornou-se mais atrativa para consumidores residenciais, sendo mais comum em locais de difícil acesso à eletricidade. É descrito ainda que o retorno do investimento possa ser recuperado em aproximadamente três anos, uma vez que a fatura de energia elétrica chega a reduzir 70%.

Na Figura 9 temos uma relação entre potência dos painéis fotovoltaicos e o custo por watt destes painéis. Observa-se que os painéis monocristalinos, estão atualmente mais baratos que os policristalinos, e que, quanto maior a potência do painel seu custo tende a ser menor. Há certa dificuldade de encontrar painéis fotovoltaicos amorfos para vender, são mais conhecidos por painéis fotovoltaicos flexíveis, seu custo é em média de R\$ 10,00 por watt (DAMIA SOLAR, 2015).

Figura 9 – Preços de painéis fotovoltaicos de acordo com a potência



Fonte: próprio Autor

2.1.2 Etanol

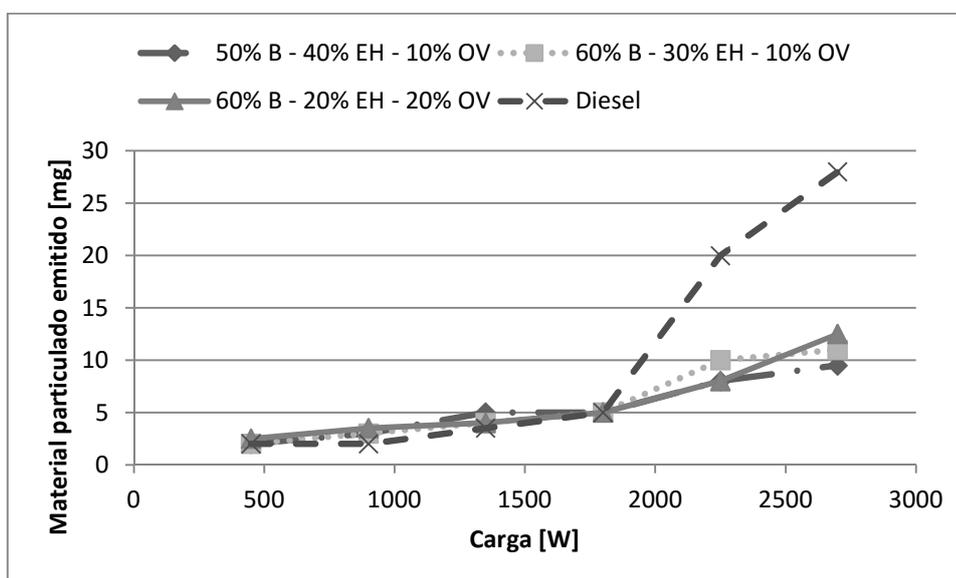
Geradores a diesel são amplamente utilizados como sistema de *backup*, ou seja, em caso de falta do fornecimento de energia elétrica em locais onde se faz necessário manter o abastecimento constante. Hospitais, *datacenters*, frigoríficos, sistemas de iluminação de emergência, e outros equipamentos que não podem depender exclusivamente do fornecimento de energia da concessionária local devido

a sua importância. Outra aplicação é a utilização destes mesmos geradores para, reduzir a demanda contratada em momentos de maior consumo.

Microcentrais a óleo diesel são compostas, basicamente, por um motor diesel acoplado a um gerador de energia elétrica e a uma excitatriz. A viabilidade de sua utilização se dá por ser compacto, acionamento rápido, manutenção rotineira e de fácil operação. Em contrapartida são ruidosos, poluentes, instáveis com relação aos custos dos combustíveis e a necessidade de transporte frequente do combustível (FARRET, 2010).

O diesel apresenta uma maior quantidade de emissão de partículas, provenientes da exaustão de motores de ciclo diesel, comparado a composições ternárias com outros combustíveis: biodiesel, etanol e óleo vegetal (BORGES; RALISCH; INNOCENTINI, 2011). A utilização de combustíveis menos poluentes é mais atrativa, uma vez que há uma preocupação com a emissão de CO₂ e gases do efeito estufa. A Figura 10 mostra um gráfico comparativo da emissão destes resíduos.

Figura 10 – Emissão de Material Particulado, durante 5 minutos de coleta, em função da carga aplicada e do combustível. B: Biodiesel; EH: Etanol Hidratado; OV: Óleo Vegetal



Fonte: adaptado de BORGES; RALISCH; INNOCENTINI (2011)

Perez, Carvalho e Carrocci (2015) realizam um estudo sobre a substituição do óleo diesel por etanol na queima direta. Os resultados mostram que o álcool etílico hidratado se apresenta como um substituto interessante do óleo diesel por seus

benefícios na combustão e na formação de poluentes. Em contrapartida faz-se necessário prevenir perdas por evaporação, riscos de incêndios e danificação dos materiais por corrosão, pois o álcool é mais volátil e a menor faísca em um vazamento pode gerar acidentes.

O governo federal desenvolveu o PROÁLCOOL, um programa de substituição em larga escala de derivados do petróleo, seu desenvolvimento deve-se ao interesse de reduzir a dependência de combustível externo. Foram produzidos 5,6 milhões de veículos abastecidos a álcool entre 1975 e 2000 (BIODIESELBR, 2015).

Neste trabalho será explorada a opção de utilização do etanol para geração de energia elétrica, uma vez que existem programas governamentais para sua produção em larga escala conforme descrito em (RIO GRANDE DO SUL, 2015), tornando-o mais atrativo monetariamente e fomentando a economia local.

O programa lançado em 2011 (Proetanol/RS) gera expectativas de aumento de renda e diversificação de atividades. Cultivo de sorgo, arroz gigante, triticale e batata-doce para a geração de etanol; culturas de baixo custo de produção. Considera construção de 12 biorrefinarias. Cultivo de culturas próprias ou mais adequadas para a extração do etanol. Utilização de terras ociosas ou pouco utilizadas no inverno. A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) vem testando a eficiência das variedades disponíveis para a produção de etanol, dentre as desenvolvidas pela Embrapa e pela Fepagro. Os combustíveis produzidos são testados em sua própria frota. Antes da produção do etanol de amiláceos a Usina Piloto de Etanol da UFSM, já produzia etanol de alta concentração a partir de bebida alcoólica apreendida pela Polícia Federal, e etanol de fontes sacarídeas como a cana-de-açúcar e sorgo sacarino. Segundo a análise da UFSM, os valores e quantidades obtidas são variados, podendo chegar até mesmo ao custo de R\$ 0,60 por litro de etanol, mas devem ser considerados outros fatores, como transporte, rendimento do plantio por hectare (MACHADO, 2015). A Tabela 2 mostra a relação entre a produção de etanol a cada tonelada de matéria prima e o respectivo custo por litro de cada um em Reais.

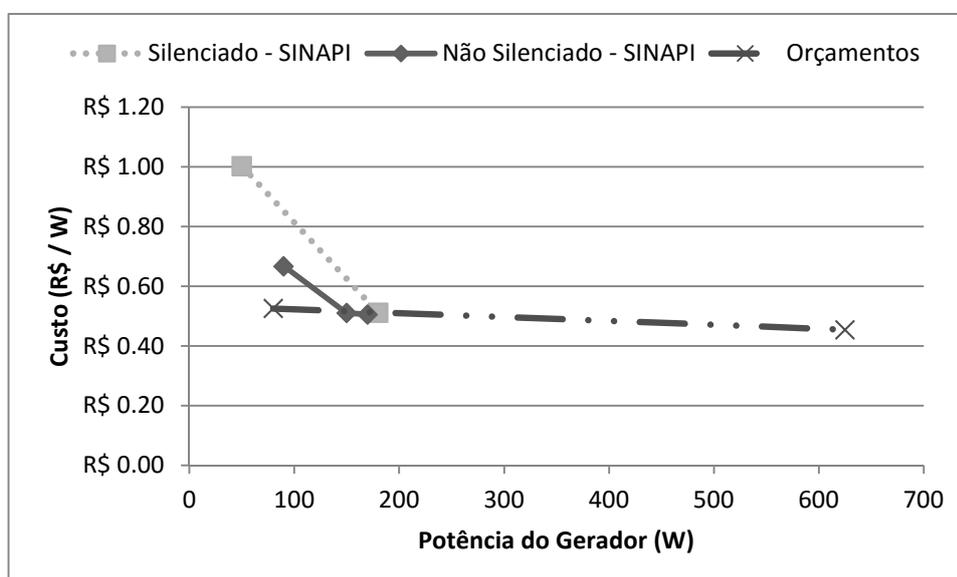
Os geradores a diesel são facilmente encontrados no mercado e podem ser adaptados para utilizarem etanol como combustível. Encontramos disponíveis para vendas geradores já a etanol, porém em pequeno porte. A Figura 11 mostra a relação de custo de geradores a diesel.

Tabela 2– Relação entre produção e custo do etanol

Matéria prima	Produção (l/t)	Custo/l (R\$)
batata-doce	170	1,00
arroz (sem diferenciação da variedade gigante)	420	1,10
triticale	375	1,15
sorgo granífero	450	1,00
cana-de-açúcar	85	0,6
sorgo sacarino	50	0,9

Fonte: próprio Autor com os valores obtidos em MACHADO (2015)

Figura 11 – Relação de custo de geradores a diesel por watt



Fonte: próprio Autor

2.1.3 Energia eólica

A energia eólica é derivada da energia solar, originada pela distribuição de diferentes concentrações de temperatura em áreas distintas do planeta (FARRET, 2010). Este deslocamento de ar que realiza a movimentação do rotor e por sua vez a conversão eletromecânica. Geralmente os aerogeradores são utilizados em pequenas aplicações, porém com a melhoria da tecnologia e a possibilidade de utilizar este recurso natural faz com que seja empregado em aplicações de grande porte. Pode ser citado como exemplo o Complexo eólico de Cerro Chato, localizado em Santana do Livramento no Rio Grande do Sul. Conforme noticiado por RBS

(2004), desde maio de 2011 a usina já está em operação, com capacidade de geração de 78MW.

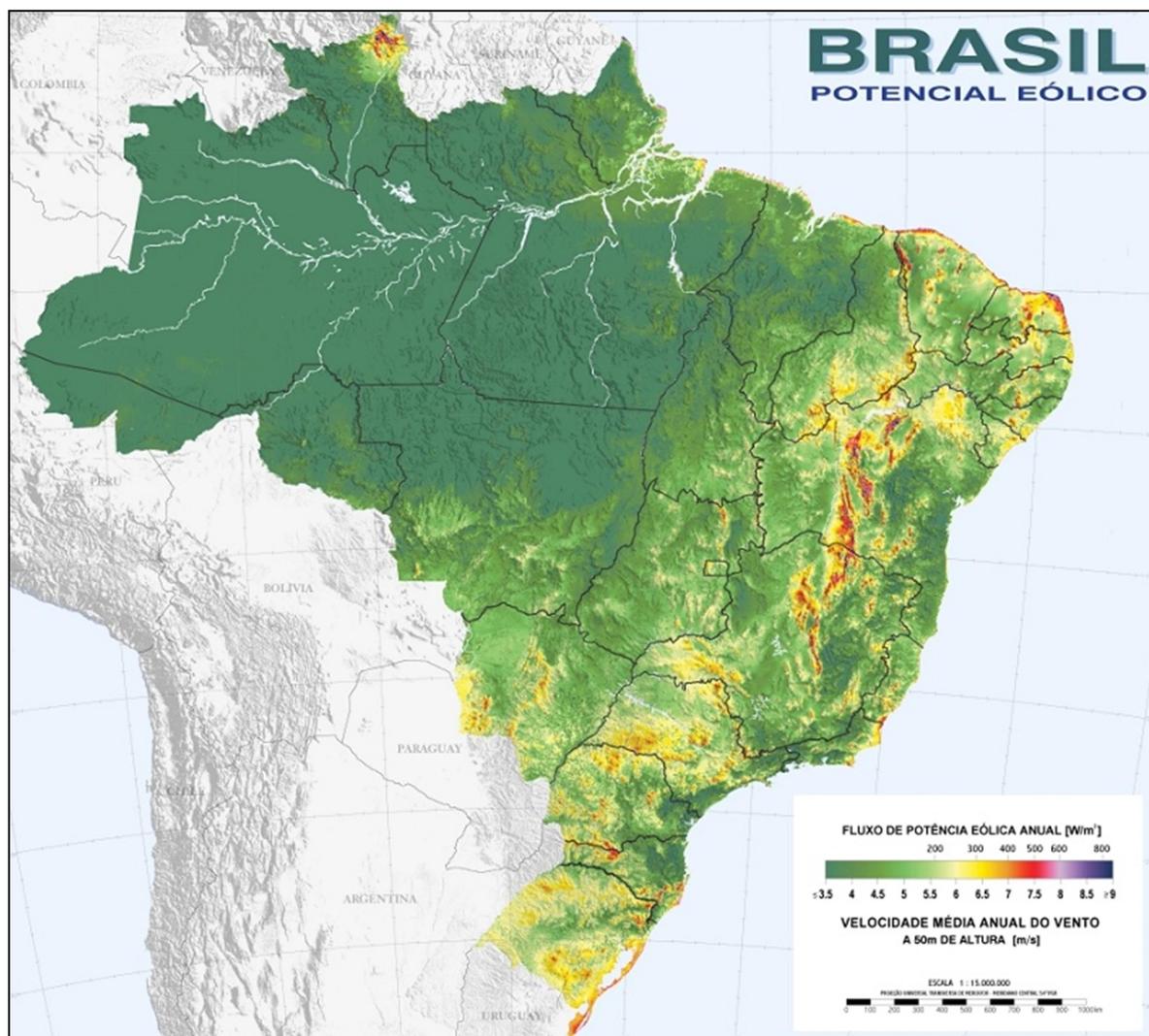
Na geração eólica é possível utilizar o gerador síncrono (alternador) ou o assíncrono (de indução). Para velocidades praticamente constantes é mais utilizado o gerador de indução pelos fabricantes, por sua grande simplicidade e robustez, acarretando em um menor custo. O escorregamento entre a velocidade de rotação e a velocidade de sincronismo permite atenuar parte da turbulência associada ao vento, tornando a operação deste tipo de máquina mais suave. O funcionamento síncrono do alternador não possibilita atenuar as flutuações da velocidade do vento. Geradores eólicos com velocidade variável, para que possam ser interligados em sistemas elétricos de frequência constante, necessitam de sistemas de conversão corrente alternada/corrente contínua/corrente alternada (AC/DC/AC) (JESUS; CASTRO, 2004).

O Brasil por sua extensão territorial apresenta um bom potencial eólico. A Figura 12 ilustra este potencial a 50 m de altitude. No site WINDFINDER (2015) é possível adquirir dados das estações de medição do Brasil e do mundo. Trataremos neste trabalho sobre aerogeradores de pequeno porte, uma vez que geradores eólicos de grande porte necessitam de um local específico, afastado da população.

A potência gerada pelo aerogerador é uma parcela da potência do vento, ou seja, parte do vento é convertida em energia elétrica. O coeficiente que define a parcela de energia que pode ser transformada em eletricidade é dado por C_p , que é a quantidade total de potência nele contida, ρ representa a densidade específica do ar (kg/m^3), A é a seção transversal da área (m^2) abrangida pelas pás do aerogerador, e v é a velocidade do vento (m/s). Desta forma a expressão (3) define a potência máxima extraída pelo aerogerador (BERNARDON et al., 2015).

$$P_t = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (3)$$

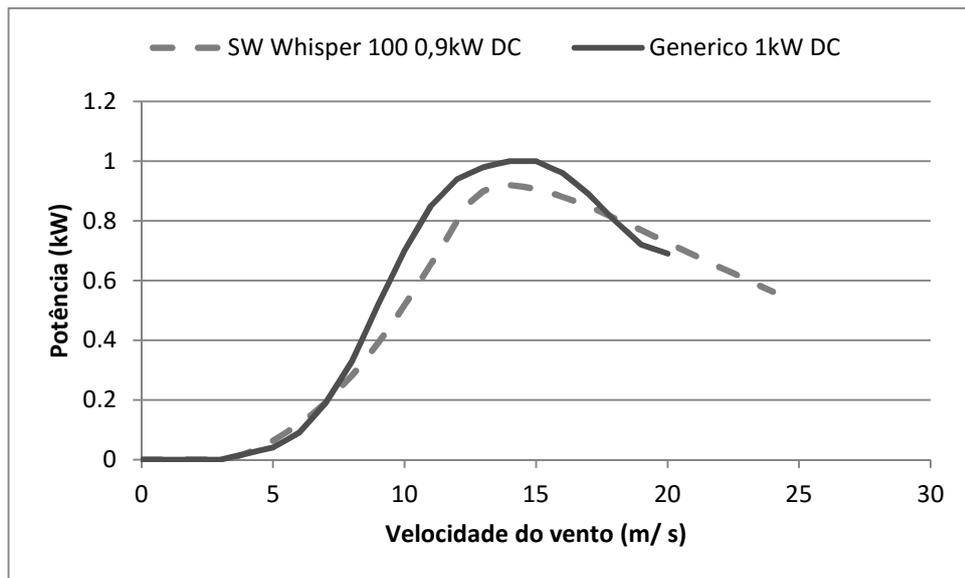
Figura 12 – Mapa do potencial eólico brasileiro.



Fonte: MME (2001), pág. 26

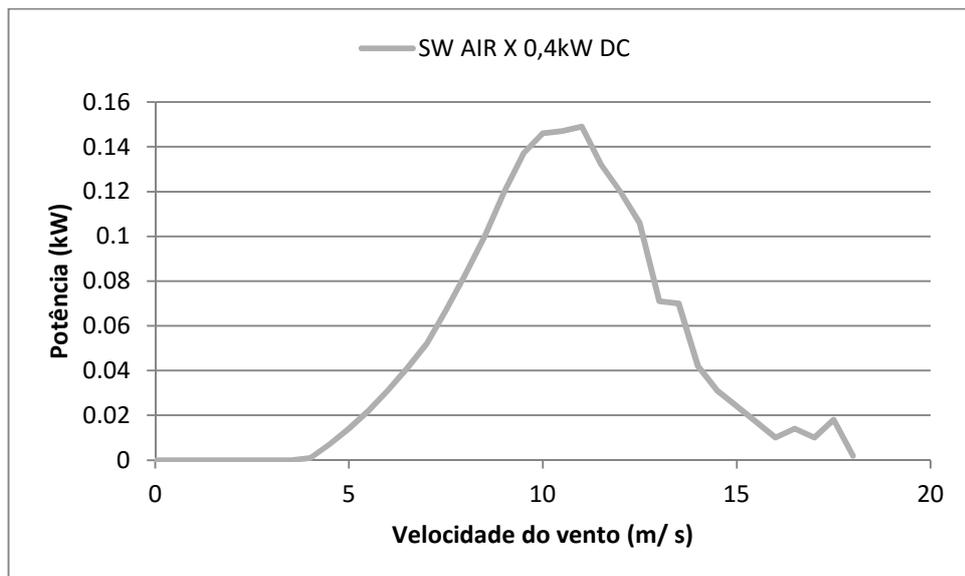
A potência de um aerogerador varia com a velocidade que cada turbina apresenta. Cada turbina tem uma curva característica de potência relacionada à velocidade de ataque. Fatores que influenciam na forma desta curva são: área que o rotor varre, número de pás, forma da lâmina, relação de otimização da velocidade de ponta, a velocidade de rotação, sistema de desligamento da velocidade do vento, eficiência aerodinâmica e a eficiência do gerador (BOYLE, 2004). Na Figura 13, Figura 14 e Figura 15 mostram os gráficos da curva de potência e velocidade dos aerogeradores.

Figura 13 – Curva de Potência x Velocidade de dois aerogeradores



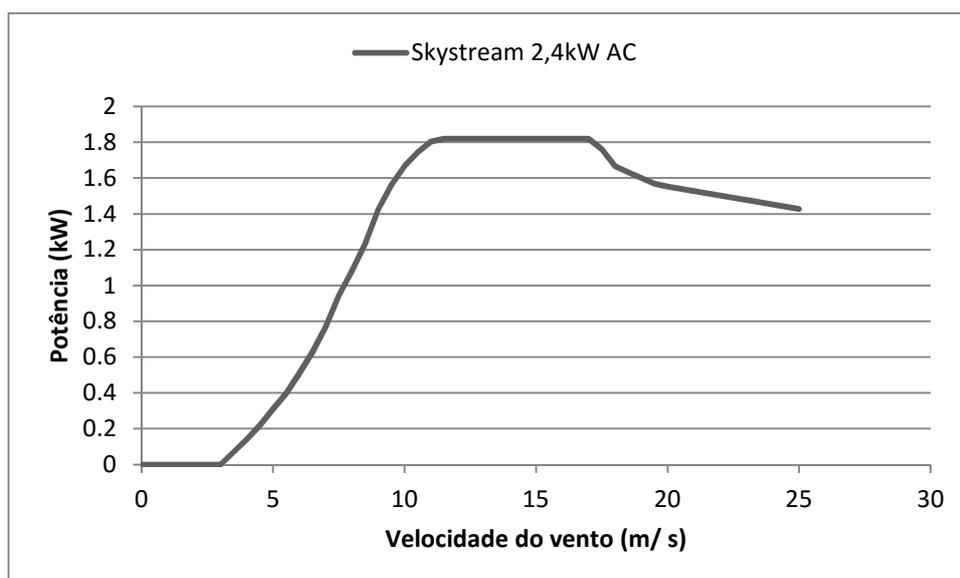
Fonte: adaptado do software HOMER, obtido em (HOMER ENERGY, 2015)

Figura 14 – Curva de Potência x Velocidade do Aerogerador



Fonte: adaptado do software HOMER, obtido em (HOMER ENERGY, 2015)

Figura 15 – Curva de Potência x Velocidade do Aerogerador

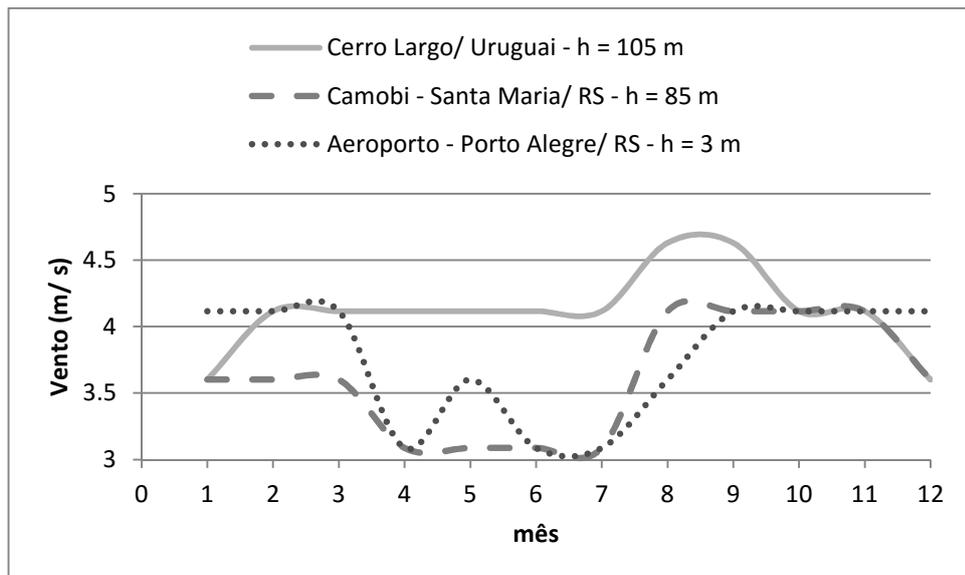


Fonte: adaptado do software HOMER, obtido em (HOMER ENERGY, 2015)

Ao analisar os gráficos das Figura 13, Figura 14 e Figura 15 verificam-se as diferenças existentes entre os tipos de aerogeradores quanto à variação de potência que estes apresentam a uma mesma incidência de vento. O aerogerador da Figura 15 apresenta controle de estabilidade, pois quando ultrapassa a velocidade limite para geração há um pequeno declive na geração de energia. Em contrapartida o gerador da Figura 14 possui uma queda acentuada na geração de energia à medida que a velocidade do vento ultrapassa o ponto ótimo de geração, por não possuir o controle de estabilidade. Para escolha do aerogerador mais adequado também é necessário analisar os índices de vento do local onde se almeja implantá-lo. Nas Figura 16 e Figura 17 temos gráficos de medidas médias de ventos anuais.

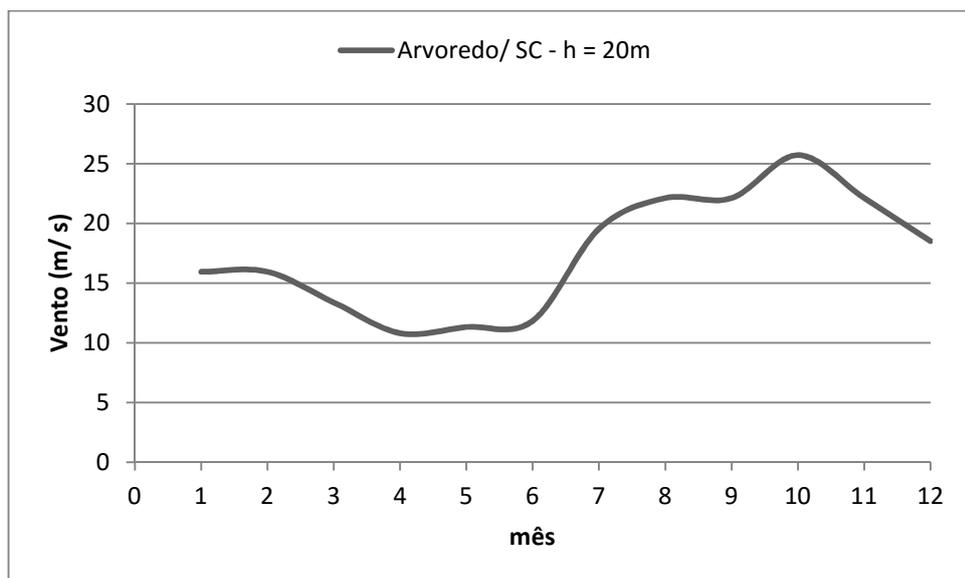
As curvas de vento foram obtidas em (WINDFINDER, 2015), sendo que os dados referentes aos meses de março, maio e novembro da Figura 17 não estavam disponibilizados no site. Dessa forma foram interpolados entre os meses antecedentes e subsequentes.

Figura 16 – Velocidade média de ventos ao longo de um ano



Fonte: adaptado de dados obtidos em (WINDFINDER, 2015)

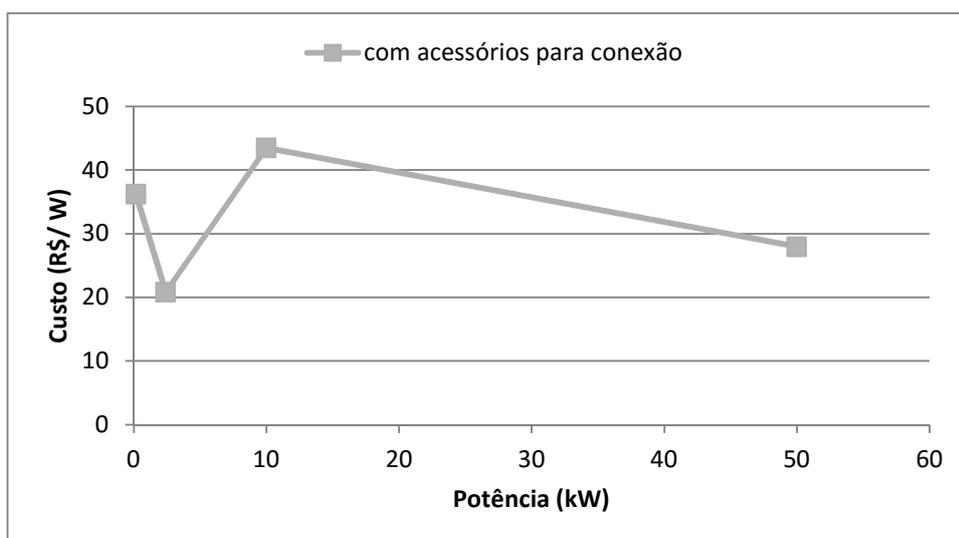
Figura 17 – Velocidade média de vento ao longo de um ano



Fonte: adaptado de dados obtidos em (WINDFINDER, 2015)

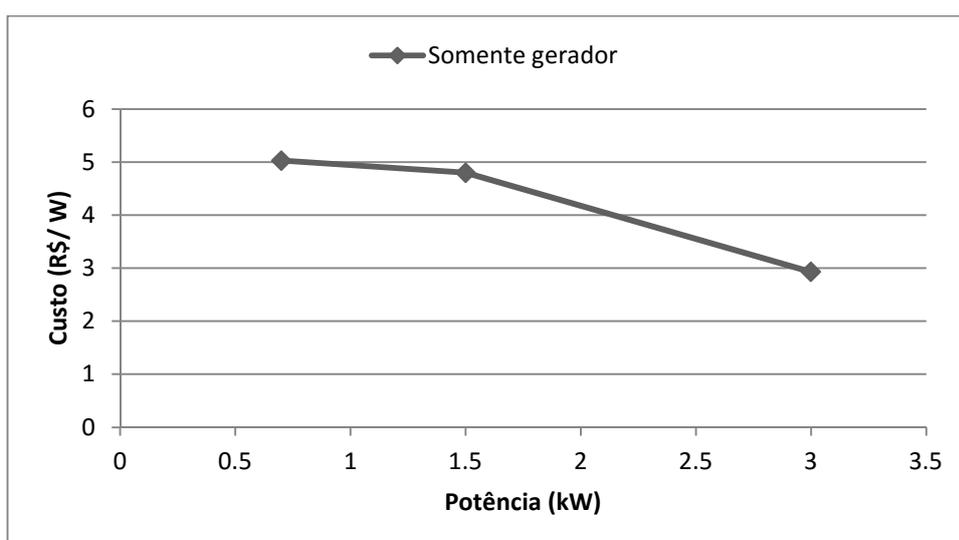
O custo dos aerogeradores é apresentado nas Figura 18 e Figura 19. Através da observação dos respectivos gráficos, verifica-se que o custo dos aerogeradores ditos prontos para a conexão com a rede é consideravelmente mais elevado que os geradores sem estes equipamentos. Para considerar qual seria mais viável é necessário um estudo de caso.

Figura 18 – Custo do aerogerador com acessórios para conexão a rede



Fonte: próprio Autor

Figura 19 – Custo de aerogeradores sem acessórios para conexão para a rede



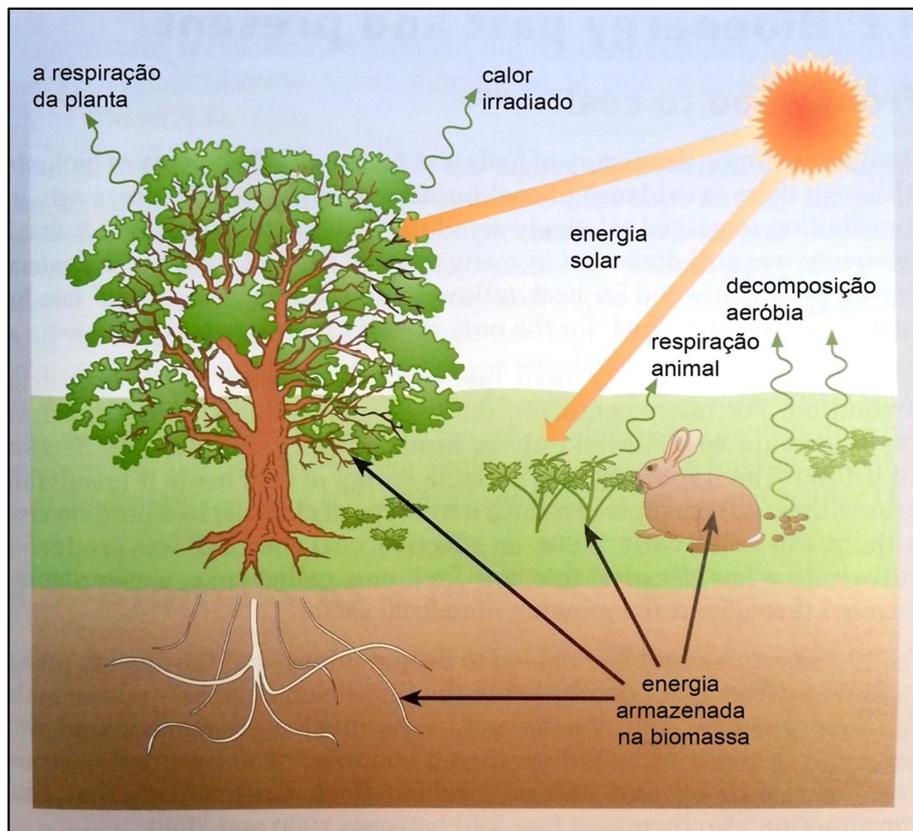
Fonte: próprio Autor

2.1.4 Biomassa

Todos os materiais que se decompõem pela ação de bactérias metanogênicas são considerados biomassa e produzem o biogás através deste processo. Esta ação depende da temperatura, pH, relação carbono/nitrogênio e a qualidade de cada uma. São exemplos de biomassa: dejetos de animais, restos culturais, aguapé, resíduos industriais, lixos urbanos, algas marinhas. A quantidade e o poder calorífico do gás estão relacionados à origem da biomassa (FARRET, 2010).

Na natureza, a energia armazenada nos hidratos de carbono em plantas é dissipada através de uma série de conversões envolvendo processos físicos e químicos na planta, solo, atmosfera circundante e outra matéria viva, até que, eventualmente é irradiada para fora da terra como calor. Alguns são perdidos em um ano, mas a biomassa pode se acumular ao longo de décadas em um bosque de árvores. Uma pequena fração pode se acumular ao longo de séculos como turfa e uma proporção pequena tornou-se combustível fóssil ao longo de milhões de anos. O significado desse processo, é que se intervir e capturar algo desta biomassa na fase de armazenamento de energia química obtém-se um combustível. Se o nosso consumo não exceder o nível natural de produção, a combustão de biocombustíveis deve gerar mais calor e não criar dióxido de carbono a mais do que teria sido formado em processos naturais. Dessa forma tem-se uma fonte de energia verdadeiramente sustentável (BOYLE, 2004). A Figura 20 mostra o ciclo energético em escala local.

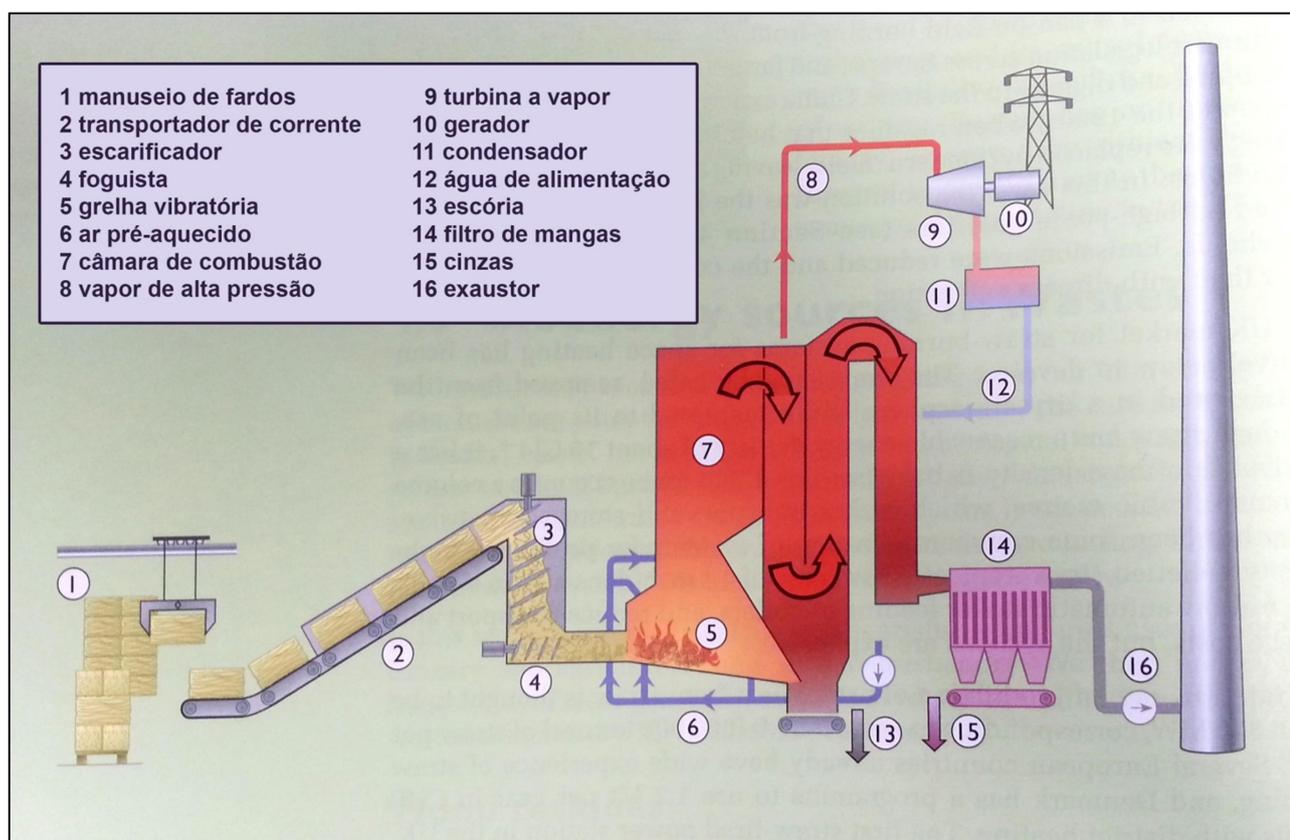
Figura 20 – Ciclo bioenergético em escala local



Fonte: BOYLE (2004)

Materiais como lenha, casca de arroz e outros resíduos oriundos de plantas ou animais, podem ser apenas queimados para gerar calor, e em vários países em desenvolvimento é o tradicional método de consumo de biomassa. Existe a extração do óleo das sementes e outras matérias orgânicas para produção de combustível. Também existe o ciclo combinado, onde ocorre a extração do combustível. O bagaço, restos orgânicos, é queimado gerando calor e o vapor pode ser utilizado para aquecimento e produção de energia elétrica (BOYLE, 2004). Um exemplo interessante para aplicação deste processo é em um hospital, onde utilizaria sistemas de aquecimentos por caldeiras. A Figura 21 mostra o processo combinado.

Figura 21–Exemplo de uma máquina com ciclo combinado



Fonte: BOYLE (2004)

O biocombustível seria qualquer combustível de origem biológica ou de plantas e que não seja de origem fóssil. Exemplos disso são: a cana-de-açúcar, mamona, soja, cânhamo, canola, babaçu, lixo orgânico, dejetos de animais. A Tabela 3 apresenta uma classificação dos biocombustíveis (FARRET, 2010).

Tabela 3 – Tipos de biocombustíveis

Tipo de biocombustível	Definição corrente
Bioetanol	Etanol produzido a partir de biomassa e/ ou da fração biodegradável de resíduos para utilização como biocombustível
Biodiesel	Éster metílico e/ ou etílico produzido a partir de óleos vegetais ou animais, com qualidade de combustível para motores diesel, para utilização como biocombustível
Biogás	Gás combustível produzido a partir de biomassa e/ ou da fração biodegradável de resíduos, que pode ser purificado até à qualidade do gás natural, para utilização como biocombustível ou gás de madeira
Biometanol	Metanol produzido a partir de biomassa para utilização como biocombustível
Bioéterdimetílico	Éter dimetílico produzido a partir de biomassa para utilização como biocombustível
Bio-ETBE (BioéterEtil-Terc-Butílico)	ETBE produzido a partir do bioetanol, sendo a porcentagem em volume de bio-ETBE considerada como biocombustível igual a 47%
Bio-MTBE(Bioéter Metil-Terc-Butílico)	Combustível produzido com base no biometanol, sendo a porcentagem em volume de bio-MTBE considerada como biocombustível de 36%
Biocombustíveis Sintéticos	Hidrocarbonetos sintéticos ou misturas de hidrocarbonetos sintéticos produzidos a partir de biomassa
Biohidrogênio	Hidrogênio produzido a partir de biomassa e/ ou da fração biodegradável de resíduos, para utilização como biocombustível
Óleo Vegetal	Puro produzido a partir de plantas oleaginosas

Fonte: FARRET (2010), pág. 123

A

Tabela 4 mostra a quantidade de dejetos por animal semiestabulado e a respectiva produção de gás.

Tabela 4 – Produção de gás por dejetos de animais semiestabulados

Material (esterco)	kg de dejetos/dia	m³ de gás/kg de dejetos	m³ de gás/animal/dia
Aves	0,09	0,055	0,0049
Bovinos	10,00	0,040	0,4000
Equinos	6,50	0,048	0,3100
Ovinos	0,77	0,070	0,0500
Suínos	2,25	0,064	0,1400

Fonte: FARRET (2010), pág. 126

As localidades agrícolas com suinocultura caracterizam-se por um grande potencial energético devido aos dejetos animais. O trabalho de Souza, Pereira e Pavan (2004) visa determinar o custo e viabilidade de produção de eletricidade gerada a partir de biogás em uma propriedade rural, avaliando o retorno do investimento. O estudo afirma que em 5,4 anos se obteria o retorno do investimento.

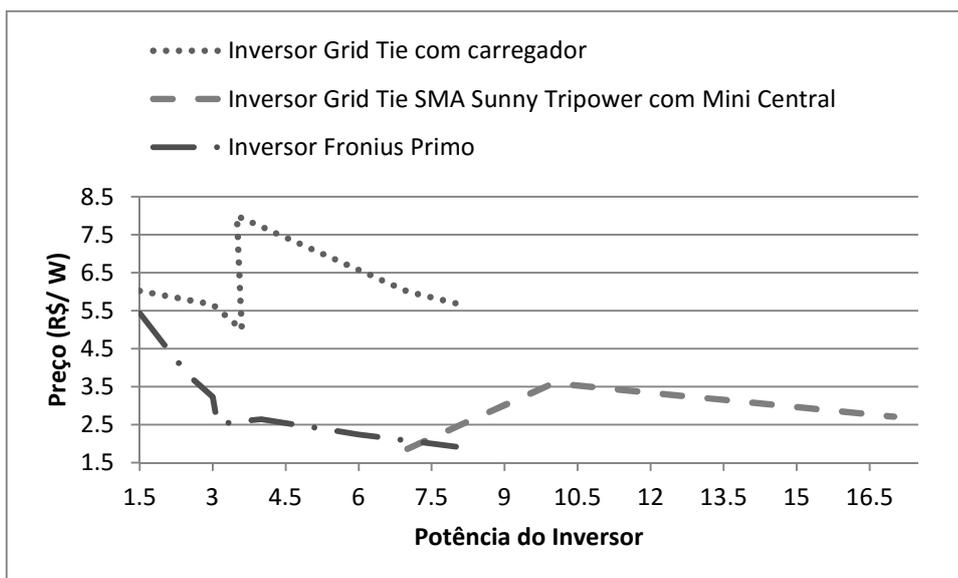
A queima desse biogás em motores de combustão adaptados para tal combustível é que permite a conversão eletromecânica para produção de energia elétrica. Todos os motores de combustão possuem baixa eficiência, na ordem de 30%. A maior parte da energia é dissipada na forma de calor. Os custos dos geradores é o mesmo custo de geradores a diesel, como visto na Figura 11.

2.1.5 Conversores

A geração de energia proveniente de diferentes fontes acarreta em níveis de tensão e frequência diferentes. De forma a padronizar e equalizar o sistema faz-se necessária a utilização de conversores. No caso de painéis fotovoltaicos, é necessário utilizar um conversor de corrente contínua/corrente alternada (CC/CA). Para geração em corrente alternada, em alguns casos, faz-se necessária a utilização de conversores de corrente alternada/corrente contínua/corrente alternada (CA/CC/CA) para compatibilizar e regular a frequência.

A utilização destes sistemas gera perdas ôhmicas, harmônicas e reduzem a eficiência do sistema. A escolha dos conversores deve ser ponderada entre a eficiência desejada e o custo do equipamento. A Figura 22 apresenta a relação de custo de conversores de energia por watt.

Figura 22 – Relação entre potências e custos de conversores de energia



Fonte: próprio Autor

3 METODOLOGIA PROPOSTA

A proposta deste trabalho é implementar uma microrrede com a utilização de fontes renováveis, buscando a utilização de sistemas sustentáveis com o aproveitamento do potencial existente no local. Existem situações onde há a impossibilidade de instalação de uma GD que utilize somente sistemas sustentáveis ou onde o seu custo é excessivamente oneroso, trataremos disso no capítulo corrente.

Para aplicar uma microrrede é necessária uma planta, definição do local que será atendido pela microrrede. Realiza-se um estudo prévio deste local, como características de funcionamento, horários, tipos de atividades, o quanto a falta de energia pode prejudicar a planta. As dimensões da planta podem variar de uma residência unifamiliar a uma cidade.

Para o desenvolvimento da metodologia necessitamos ter em mente qual o objetivo principal desta implementação, a partir da definição da planta em que será implementada a microrrede utilizando fontes renováveis e dos dados iniciais do cliente. Podemos ter como exemplo de objetivos: suprir a demanda total ou em parte, redução de custos do consumidor, atendimento de um consumidor isolado ou de difícil acesso ou até mesmo vigências normativas (portarias governamentais). Esta primeira etapa seria de levantamento de dados do cliente e a finalidade da implantação da microrrede.

A microrrede pode possuir conexão com a rede da concessionária de energia local ou funcionar de forma isolada (sistema ilhado). Podem-se combinar estas duas situações, microrrede semi-ilhada ou sistema combinado. Aqui uma parcela da carga é conectada à rede da concessionária e outra parte é atendida pela microrrede a considerar-se. Quando decidido em possuir conexão com a rede ou não, considera-se que a planta pode ainda não existir, estar em fase de projeto e análise.

A próxima etapa é o levantamento da curva de carga da planta ao longo do ano. No sistema semi-ilhado, é necessária a separação destas curvas, definindo o que ficará conectado à rede da concessionária de energia local e o que será atendido pelo sistema ilhado. A demanda energética sofre variações ao longo do ano, por necessidades de conforto (carga térmica, ex. climatizadores) e

operacionais, e é imprescindível o conhecimento destas cargas e suas variações ao longo do ano para que tenhamos uma análise mais precisa.

Cada localidade oferece uma determinada disponibilidade de recursos naturais mais abundantes. Conforme vimos no gráfico da Figura 17, em Arvoredo - SC, temos uma maior disponibilidade de recursos eólicos do que em Santa Maria - RS. Um criadouro de animais tem a possibilidade de utilizar a biomassa proveniente de dejetos. Nesta etapa de análise são explorados estes recursos da melhor maneira possível a fim de utilizá-los adequadamente. Um exemplo é a utilização de casca de arroz para geração de energia em locais de grande armazenagem do mesmo, ou seja, está sendo aproveitado algo que seria desperdiçado e trazendo renda para a empresa, ou simplesmente reduzindo custos com energia elétrica.

Baseado nos recursos disponíveis deve se optar pelas fontes que serão utilizadas, podendo ser uma ou mais. Em locais com boa radiação solar, utilizar painéis fotovoltaicos. Se utilizar aerogeradores, buscar um aerogerador em que sua curva de vento x potência seja condizente com a incidência de ventos na planta. Buscando coerência entre os tipos de fontes e as tecnologias que sejam mais adequadas para a planta.

Algumas fontes possibilitam uma geração quase constante e são de fácil controle, como geradores a biogás e pequenas centrais hidroelétricas, porém outras necessitam de sistemas de armazenamento ou serem complementadas de forma a atenderem a demanda da microrrede, como é o caso de aerogeradores e painéis fotovoltaicos. Não se descarta a hipótese de utilização de fontes complementares e sistemas de armazenamento simultaneamente em um mesmo sistema. No sistema conectado à rede, o próprio fornecimento de energia da concessionária já realiza essa complementação, no sistema ilhado é imprescindível a utilização de um sistema de armazenagem de energia ou pelo menos uma complementação que seja controlável e possa fornecer energia de uma forma rápida, segura e independente de condições climáticas, tal como um gerador a combustível (diesel, gasolina ou etanol).

No sistema ilhado, caso a energia produzida não seja suprida deve ser revisto o tipo de conexão com a rede e talvez conectar o sistema a mesma. Na hipótese da impossibilidade de conexão com a rede, como, por exemplo, em uma carga remota, e esgotados os recursos, tem-se que reduzir a carga. Em um sistema combinado

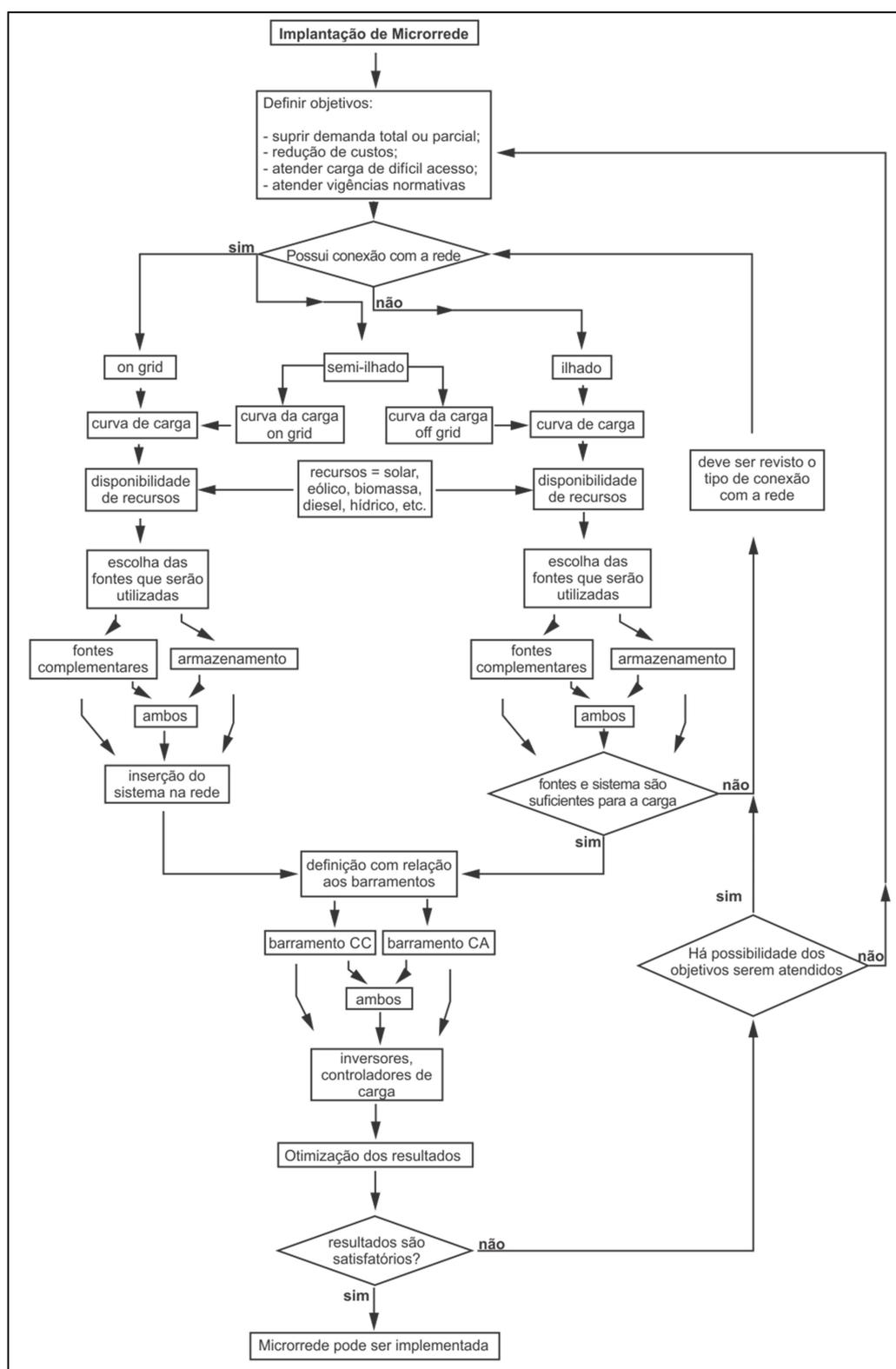
podemos transferir uma parcela da carga que ficaria na parte ilhada para a rede caso as fontes alternativas não sejam suficientes para atender a parte previamente determinada como ilhada neste sistema.

Para interconexão das fontes e as cargas deve-se definir se os barramentos serão em corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA) ou ambos. Em uma residência pode-se ter uma iluminação em barramento CC e o restante da casa em barramento CA, por exemplo.

Na microrrede, dependendo das fontes adotadas, inevitavelmente tem-se os dois barramentos com conversores. Os painéis fotovoltaicos fornecem energia na ordem de 12 V, 24 V e 48 V CC. Para conectá-los ao sistema, necessitamos de conversores CC/CA. Talvez seja necessário o uso de baterias, assim, também se faz necessário o uso de controladores de carga. Para aerogeradores, o fornecimento de energia pode ser em CC ou CA. A geração de energia através de aerogeradores tende a acompanhar as curvas de ventos, o que geram grandes oscilações nas tensões e frequências destes equipamentos, para tanto, há a necessidade de controle e estabilização da frequência e tensão, realizado através de conversores de energia. Quando se utiliza geradores a biocombustível ou a diesel, é necessário o controle e regulação da tensão. Enfim, deve-se verificar os equipamentos de conexão da microrrede que auxiliarão na proteção e conversão dos diferentes níveis de tensão e frequência.

Depois de verificadas todas as questões anteriores, os dados devem ser analisados buscando a otimização dos resultados. Serão avaliadas quais as melhores situações que satisfazem o sistema, sobre o ponto de vista técnico e econômico. Se os resultados forem satisfatórios é possível implementar a microrrede. Se os resultados não forem satisfatórios, questiona-se ainda se há possibilidade dos objetivos traçados no início da análise serem atendidos. Tendo a resposta afirmativa para esta questão, deve ser revisto o tipo de conexão, se é viável para o estudo de caso e seguem-se novamente as análises citadas anteriormente. Se não há a possibilidade dos objetivos iniciais serem atendidos, será necessário rever os objetivos para seguir com a análise. Devemos ter o cuidado para não cair em um laço infinito de revista de objetivos, pois talvez a implementação da microrrede seja inviável do ponto de vista técnico e/ ou econômico. A Figura 23 ilustra o fluxograma descrito anteriormente.

Figura 23 – Fluxograma para Implantação de uma Microrrede



Fonte: próprio Autor

Para simplificar a análise, é interessante a utilização de sistemas computacionais. Pode-se desenvolver a própria ferramenta, ou é possível utilizar ferramentas já disponíveis.

O RETScreen é uma ferramenta computacional para gerenciamento de energia limpa, destinado a analisar a viabilidade de projetos de eficácia energética, energias renováveis e de cogeração além da análise do desempenho energético de forma contínua. O RETScreen é disponibilizado no site para download (RETSCREEN, 2015).

O HOMER é outra ferramenta computacional que permite avaliar a possibilidade de implementação de gerações distribuídas utilizando fontes alternativas e convencionais, relacionar e comparar diferentes tarifas do sistema elétrico auxiliando na otimização da relação custo/benefício para o consumidor ou até mesmo a concessionária de energia elétrica. O HOMER é disponibilizado para download no site (HOMER ENERGY, 2015).

De forma a facilitar e desenvolver uma análise o mais otimizada possível será utilizado um sistema computacional já existente. Optar-se-á pelo HOMER, por ser um software já conhecido, por sua facilidade de utilização, ser gratuito¹ e possuir as funcionalidades necessárias para o estudo. É possível encontrar trabalhos que utilizaram o HOMER, conforme referenciado no capítulo 1 e em (FARRET, 2006), que possui um capítulo descrevendo e ensinando a utilizar o software. No Anexo A temos um breve exemplo de utilização do HOMER.

¹ O software HOMER possuía uma versão gratuita que foi utilizada durante o trabalho, ao final do ano de 2015 foi observado que a mesma não era mais disponibilizada e a empresa apenas fornecia a versão paga. Para estudantes ainda era possível renovar a licença gratuita por mais três meses.

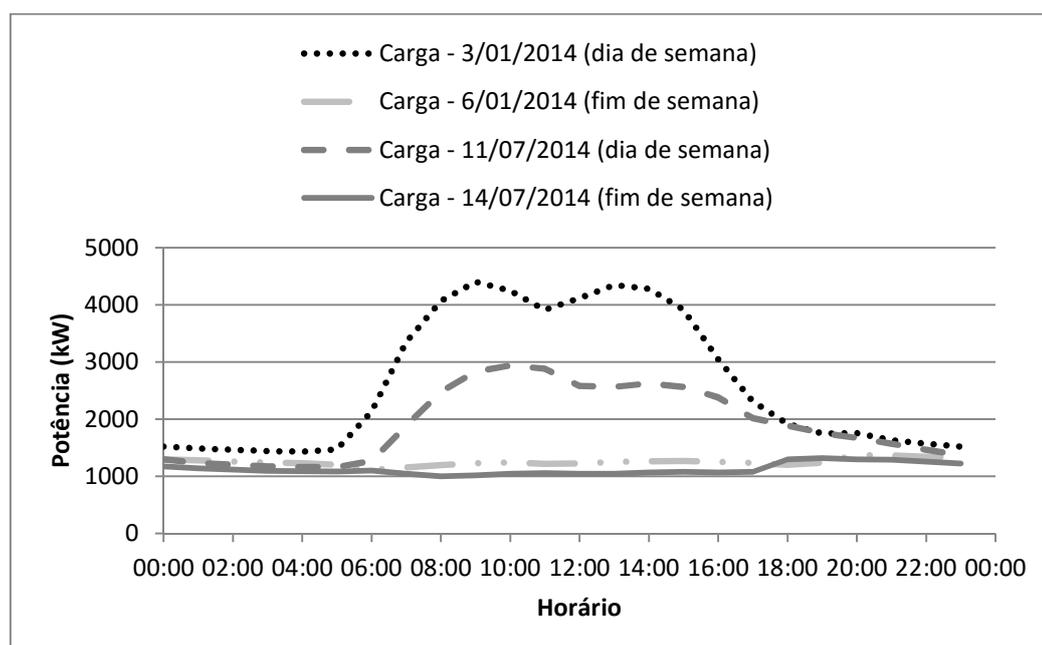
4 ESTUDO DE CASO

Esta análise baseia-se no Campus Universitário da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com sede no bairro Camobi, em Santa Maria – RS. Há a necessidade de distinção uma vez que existem outros campi com fornecimentos de energia distintos. Analisou-se o consumo de energia elétrica do ano de 2014, foram utilizados os valores médios do consumo, a fim de que o projeto atenda a demanda média do consumidor. O sistema tarifário atual contratado é o Azul A4 em 13,8 kV, onde são contratados dois valores de demanda, um para o horário de ponta (18-21h) e outra para o horário fora ponta.

A microrrede estará conectada à concessionária local, então a parcela da demanda que não for atendida pelas fontes *in loco* será atendida pelo sistema da concessionária. O estudo é realizado com a projeção de 25 anos, trazendo o custo para o Valor Presente das soluções, custo de operação anual e custo tarifário efetivo em R\$/kWh de cada solução. Conforme descrito no capítulo anterior será utilizado o software HOMER para auxiliar na análise.

As cargas da instituição são variadas, pois consistem de computadores, residências (Casa do Estudante), climatizadores, equipamentos de laboratórios e demais equipamentos específicos. A Figura 24 mostra a curva de carga da UFSM.

Figura 24 – Curvas de carga da UFSM



Fonte: próprio Autor baseado nos dados fornecidos pela concessionária de energia local, AES Sul

No ano de 2014 a demanda contratada da UFSM era de 5 MW no período fora ponta e de 3 MW no período de ponta. É possível verificar, através do gráfico, que a demanda média lida é quase 50% mais alta no verão, períodos de grande calor no Rio Grande do Sul, do que no inverno. Este fator deve-se ao fato de redução da população acadêmica no período de julho e a redução de utilização de climatizadores de ar.

Supomos inicialmente em utilizar geração a partir da biomassa proveniente de dejetos da suinocultura, painéis fotovoltaicos, geradores a combustão, e sistemas eólicos. Os sistemas eólicos foram descartados por não apresentarem resultados satisfatórios em estudos prévios (BRAUNSTEIN et al., 2015).

Neste trabalho será utilizado o painel fotovoltaico WSolar 130W Premium policristalino de alta eficiência, conforme dados disponíveis em (ENERGIA PURA, 2015). Optou-se por esse painel por ser o de menor custo por kW, pequena potência e pequenas dimensões, o que traria uma possibilidade maior de arranjo e distribuição nos telhados. A Tabela 5 apresenta as características técnicas deste equipamento.

Tabela 5 - Características técnicas do painel fotovoltaico fornecidas pelo fabricante.

Potência máxima por módulo	130 W
Tolerância da potência	0~+5W
Tensão com potência máxima (Vmp)	17,5 V
Corrente com potência máxima (Imp)	7,42 A
Corrente de curto circuito (Isc)	8,1 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	22 V
Coefficiente de temperatura Isc (α)	0,064%/K
Coefficiente de temperatura Voc (β)	- 0,33%/K
Coefficiente de temperatura de potência (γ)	- 0,45%/K
NOCT ² (Ar 20°C; Sol 0,8kw/m ² ; vento 1m/s)	45°C
Tensão máxima do sistema	700V
Custo aproximado por Watt	R\$ 4,69
Comprimento	1480mm
Largura	670mm
Espessura	35mm
Peso	12kg

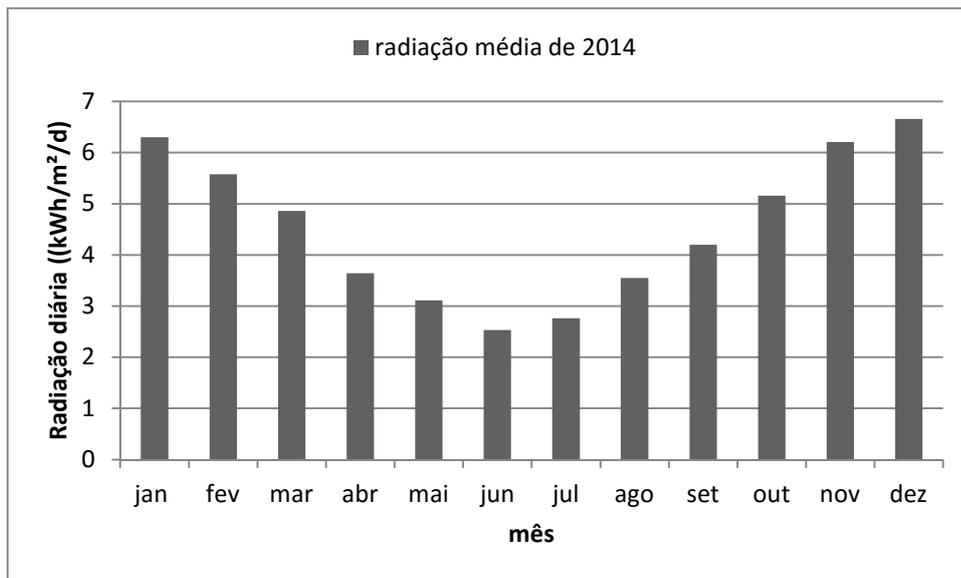
Fonte: ENERGIA PURA (2015)

² “É a temperatura que a célula atinge as condições de funcionamento nominais (irradiação 800W/qm e à temperatura de 20°C). Este dado nos mostra a capacidade da célula para dissipar o calor. À medida que a temperatura aumenta a célula produz menos, é bom escolher um valor NOCT baixo. Para áreas muito quentes, este dado é muito importante. A este respeito, também é bom verificar o coeficiente de temperatura para a potência, expressa em %/°C. É um coeficiente negativo e nos mostra a redução percentual da energia com base no aumento da temperatura ambiente. Quanto menor for o valor do coeficiente melhor é o painel.” (MPPTSOLAR, 2016)

A proposta é de que os painéis fotovoltaicos sejam instalados nos telhados das edificações da instituição. De acordo com o plano diretor da UFSM, Anexo B, temos aproximadamente 130.000 m² (cento e trinta mil metros quadrados) de área disponível para instalação dos equipamentos. Considerando um percentual de utilização médio de 60% da área que realmente pode ser usado, temos aproximadamente 78.000 m² (setenta e oitenta mil metros quadrados) disponíveis. A área de cada PV é de 0,99 m², e desta forma seria possível alocar até aproximadamente 78.787 (setenta e oito mil e setecentos e oitenta e sete) painéis de 130 W_p na instituição, ou seja, a potência máxima que pode ser alocada é de 10,2 MW_p.

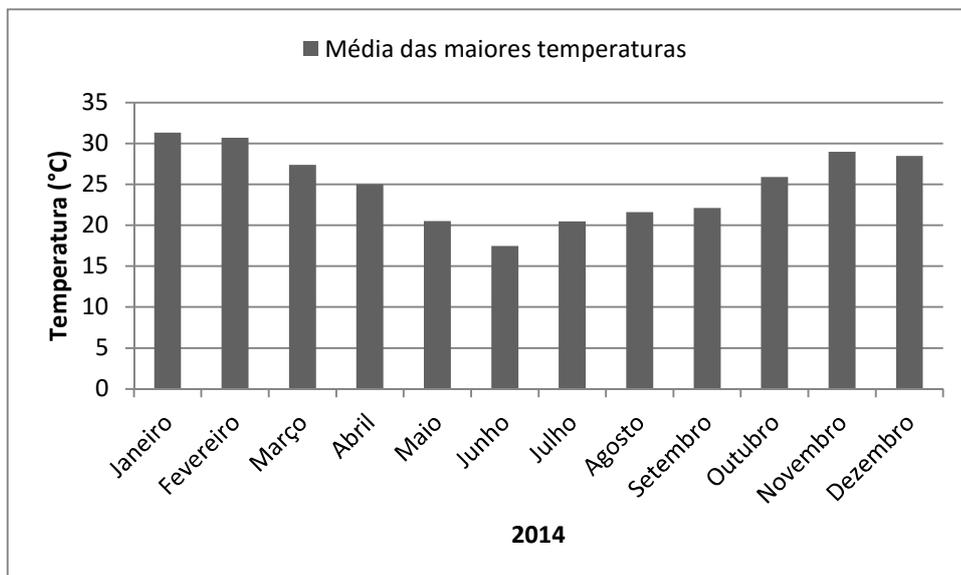
Os dados de radiação solar foram obtidos através do banco de dados disponibilizado pelo HOMER. Foram referenciados 29°43' de Latitude ao Sul do Equador e 53°42' ao Oeste do Meridiano de Greenwich. A Figura 25 mostra os dados de radiação solar nas coordenadas especificadas anteriormente de acordo com o banco de dados do HOMER. A Figura 26 mostra os dados de temperatura máxima média. Os dados de temperatura são importantes, uma vez que interferem diretamente na geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos. Para análise de sensibilidade foi levado em conta o preço do painel fotovoltaico a 50 e 75% do valor. Considerou-se que ao comprar 90 painéis, equivalente a 5,2 kW de potência instalada, haveria um desconto de pelo menos 10% no valor total dos equipamentos e na aquisição de 180 painéis, equivalente a 10,4 kW de potência, haveria um desconto de 20% do valor total na compra. A compra em grande quantidade sempre é vantajosa pela possibilidade de negociar o preço, e essa possibilidade será considerada na simulação.

Figura 25 – Dados de radiação média no ano de 2014



Fonte: próprio Autor a partir de dados obtidos da HOMER Energy

Figura 26 – Média das maiores temperaturas diárias de cada mês



Fonte: próprio Autor a partir de dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Para integração dos painéis fotovoltaicos a rede elétrica serão utilizados conversores. A Tabela 6 mostra a relação de dados inseridos no software. O inversor tem um custo significativo na utilização de painéis fotovoltaicos e aerogeradores, pois sem eles não poderemos conectar estas fontes à rede.

Tabela 6 – Dados inseridos do software referente aos inversores

Potência (kW)	Preço (R\$)	Rep. (R\$)	Manut./ h(R\$/h)
1,5	8150	8150	0
2,5	9494	9494	0
3	9686	9686	0
3,1	7766	7766	0
4	10550	10550	0
6	13430	13430	0
8	15350	15350	0

Fonte: próprio Autor com base nos dados de ENERGIA PURA (2015)

Para esta análise, foram considerados os valores dos geradores a diesel sendo os mesmos para geradores a biomassa e a etanol. Na Tabela 7 temos a relação de equipamentos utilizados na análise. A potência adotada no HOMER foi a menor potência ativa de cada equipamento.

Tabela 7 – Relação de custo dos Geradores adotados na análise

Descrição do Equipamento	Preço (R\$)	Rep. (R\$)	Manut./ h (R\$/h)
Grupo Gerador MOTORMAC/ Cummins Power Generation, modelo C500 D6, desenvolvendo a potência nominal de 500 kW (625 kVA) em regime "Standby" ou 455 kW (569 kVA) em regime "Prime Power", totalizando uma potência de 1000 kW(1250 kVA)conectado na tensão de 380/220 VAC	283.750,00	227.000,00	0,6
Grupo gerador MOTORMAC modelo C135 D6, de potência 170/157 kVA, base, tensão 380/220 VAC, alternador com raio de ação ilimitado, gerenciador eletrônico do motor, sistema de controle micro-processado modelo PCC 1.1, pré-aquecimento, sistema de resfriamento adequado ao uso à temperatura ambiente e acessórios (uma bateria 100 A/h, um flexível inox e manuais).	87.800,00	70.240,00	1,959
UM GRUPO GERADOR STEMAC, LINHA DIESEL, MONTADO EM CONTÊINER, com potência de 55/50/48 kVA - 44/40/38 kWe (Emergência/Principal/Contínua), trifásico, com fator de potência 0,8, na tensão de 380/220 VCA, em 60 Hz, para funcionamento singelo e automático	53.410,00	42.7283,00	7,182

Fonte: Próprio Autor

A capacidade de produção de etanol na UFSM por mês é de até 50 mil litros, conforme informado por Machado (2015). A capacidade anual de produção máxima seria de 600 mil litros, este dado deve ser inserido no software por ser a capacidade limite de produção da instituição. Para fins de análise de sensibilidade foram inseridos limites máximos de utilização de etanol anual de 600.000, 1.800.000 e 3.600.000 litros e o custo por litro de etanol com valores de R\$ 0,50; R\$ 0,80; R\$ 1,00; R\$ 2,00 e R\$ 3,00.

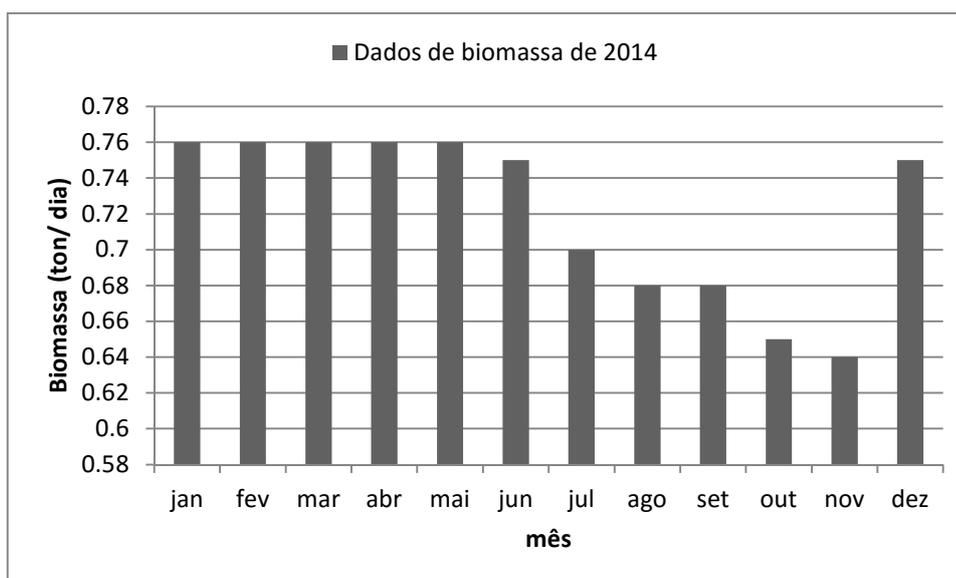
Com relação à matéria prima para biomassa, a Tabela 8 descreve quantidades de matéria prima obtida na suinocultura. Na UFSM não há uma população definida de porcos, ela pode variar de poucos até uns 200 suínos. Foi estimada uma população de aproximadamente 155 suínos de 25 a 100 kg, o que forneceria uma média de 760 kg de dejetos por dia. Para simulação foram adotados valores anuais médios diários de 721 kg, 1.500 kg e 2.500 kg. Os dados estimados ao longo do ano estão representados no gráfico da Figura 27.

Tabela 8 – Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos

Categoria	Esterco (kg/dia)	Esterco + urina (kg/dia)	Dejetos líquidos (litros/dia)
Suínos 25 a 100 kg	2,30	4,90	7,00
Porcas gestação	3,60	11,00	16,00
Porcas lactação + leitões	6,40	18,00	27,00
Cachaço	3,00	6,00	9,00
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40
Média	2,35	5,80	8,60

Fonte: Adaptado de DARTORA; TUMELERO (1998), pág. 7

Figura 27 – Gráfico de dados de biomassa estimados para a análise



Fonte: próprio Autor

Para tornar o estudo condizente com a realidade considera-se que existe custo na obtenção do biogás, uma vez que se faz necessário que exista alguém para deslocá-lo ou para a manutenção dos biodigestores. Assumiram-se os custos de R\$ 100,00; R\$ 200,00; R\$ 400,00, R\$ 500 e R\$ 1.000,00 por tonelada do estrume do porco.

Conforme valores obtidos da Tabela 9, adotou-se uma proporção de 60% de Metano e 40% de dióxido de carbono na composição do biogás, sendo o seu poder calorífico correspondente de 4.229,98 kcal/kg ou 17,7 MJ/kg, onde 1 cal = 4,186 J. Para inserir o valor no software é necessário que esteja em MJ/kg. Foi considerado um percentual de gaseificação de 50% e 75% para a simulação.

Tabela 9–Poder calorífico inferior (PCI) do biogás em função da composição química

Composição Química do Biogás	PCI (kcal/kg)
10% CH ₄ e 90% CO ₂	465,43
40% CH ₄ e 60% CO ₂	2.333,85
60% CH ₄ e 40% CO ₂	4.229,98
65% CH ₄ e 35% CO ₂	4.831,14
75% CH ₄ e 25% CO ₂	6.253,01
95% CH ₄ e 05% CO ₂	10.469,60
99% CH ₄ e 01% CO ₂	11.661,02

Fonte: Adaptado de FERNANDES (2012), pág. 112

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme visto anteriormente no fluxograma da Figura 23, é necessário um objetivo a fim de focar a análise. O objetivo desta análise é reduzir o consumo de energia elétrica visando aproveitar os potenciais de geração de energia elétrica através das fontes renováveis encontradas na instituição, além de atender aos requisitos determinados em (BRASIL, 2015).

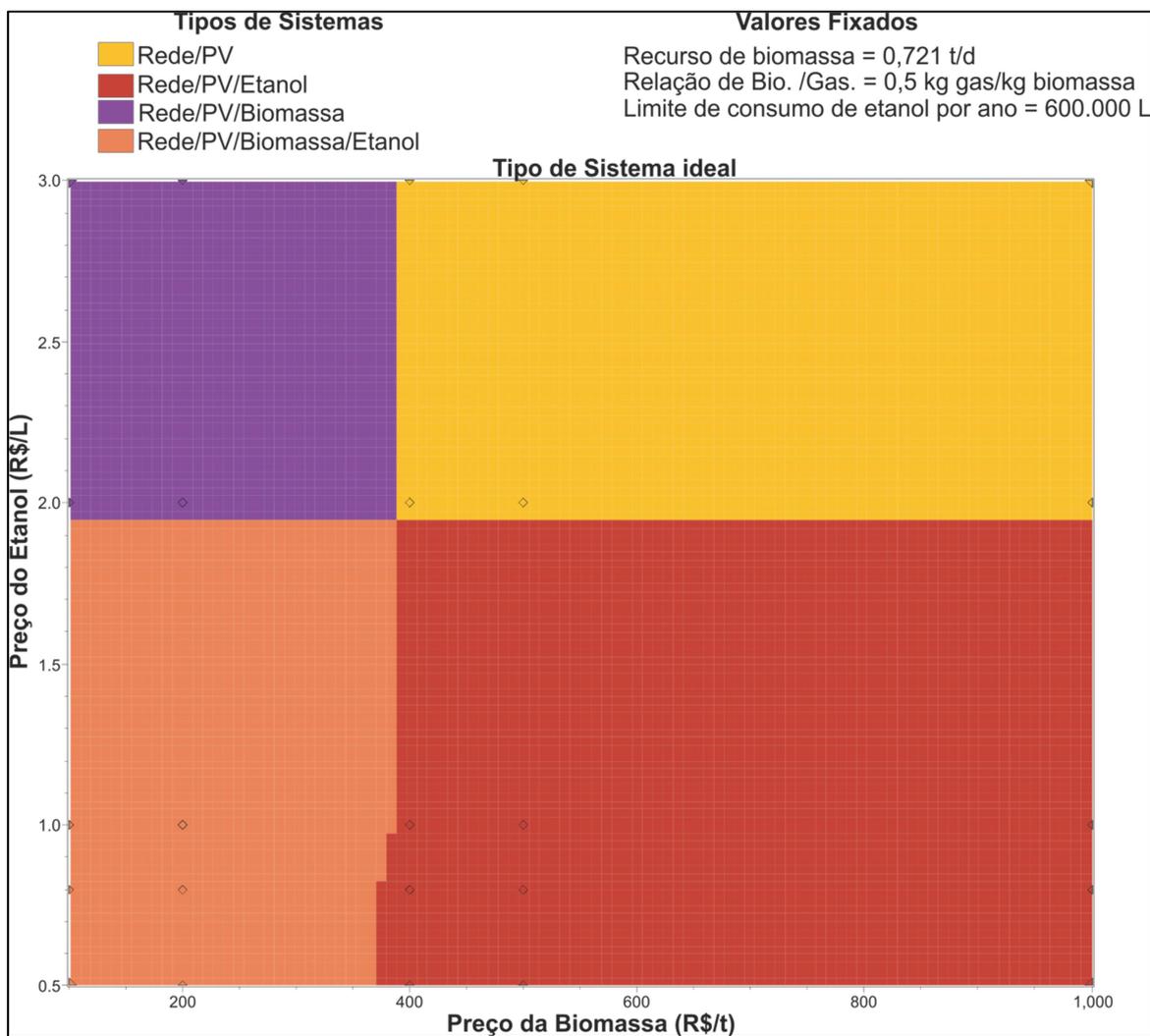
Foram realizadas duas análises, uma com 9.984 kW_p de PV instalado, aproveitando praticamente toda a área disponível dos telhados. E outra considerando 4.030 kW_p para que a geração possa ser classificada como minigeração, de acordo com a RN 482/12 da ANEEL, e se beneficiar de incentivos.

5.1 Simulação com 9 MW de PV

Na Figura 28 apresenta-se os dados otimizados para o sistema proposto aqui. Neste caso estão sendo considerados que o recurso de biomassa seria de aproximadamente 721 kg por dia, a uma taxa de gaseificação de 50%, e o limite de etanol que pode ser produzido pela UFSM (600.000 l por ano).

O gráfico da Figura 28 ilustra os limites de viabilidade econômica de utilização de cada configuração. Quando o valor da tonelada de biomassa é superior a R\$ 370,00 torna-se inviável sua utilização, se o valor do etanol for superior a R\$ 0,975 a utilização da biomassa ainda é viável até R\$ 390,00. A utilização do etanol deixa de ser viável se o custo por litro do mesmo for superior a R\$ 1,95. A utilização de painéis fotovoltaicos é viável em todos os contextos, pois temos o retorno deste investimento em qualquer um dos cenários.

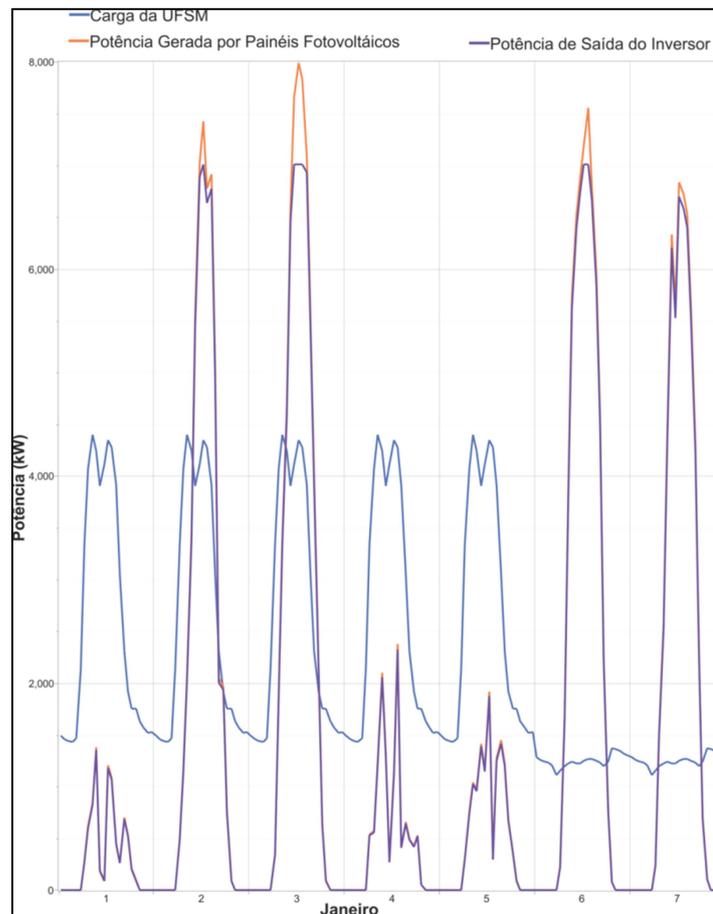
Figura 28 – Gráfico de dados otimizados para o sistema com 9,9 MW de PV instalado



Fonte: próprio Autor

Na Figura 29 e na Figura 30 temos os gráficos com as curvas de carga e a geração de energia elétrica proveniente de PV e a potência de saída dos inversores. Apesar da potência instalada ser de 9,9 MW_p, o máximo de energia gerado pelos painéis fotovoltaicos foi de 8 MW e em poucos períodos.

Figura 29 – Curvas de carga e energia gerada com PV em janeiro

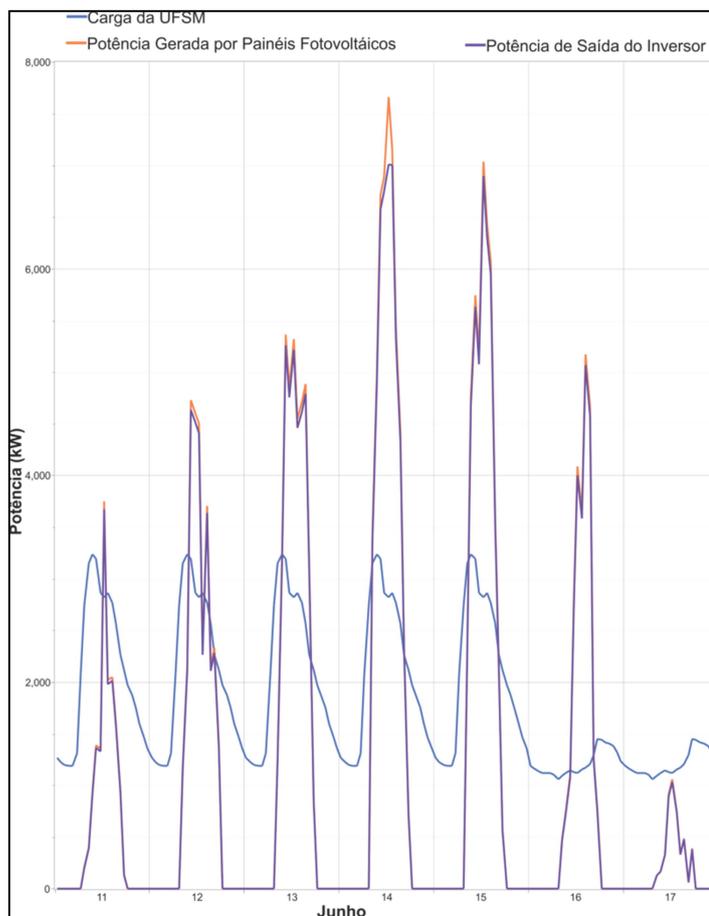


Fonte: próprio Autor

Observamos que o software utiliza conversores com capacidade abaixo da potência que será gerada pelos painéis fotovoltaicos. Isto ocorre porque o custo de instalar conversores que suportem uma potência superior não compensa os poucos períodos que serão utilizados a plena capacidade, e ao fato de a potência gerada por PV decrescer com o passar do tempo, o que também deixaria os conversores superdimensionados.

Podemos verificar que a energia gerada por PV e a curva de carga não são coincidentes, devido às curvas características de radiação solar. Dias com pouca radiação (por incidência de chuva ou alta nebulosidade) como 1, 4 e 5 de janeiro de 2014 e 17 de junho 2014 reduzem drasticamente a geração de energia elétrica. Estes dois fatores fazem com que a energia fotovoltaica não possa ser utilizada como única fonte de energia sem um banco de baterias ou estar conectada à rede. Para tanto uma geração excedente da carga só se justifica perante a compensação de energia, uma vez que o excedente é fornecido à rede da concessionária.

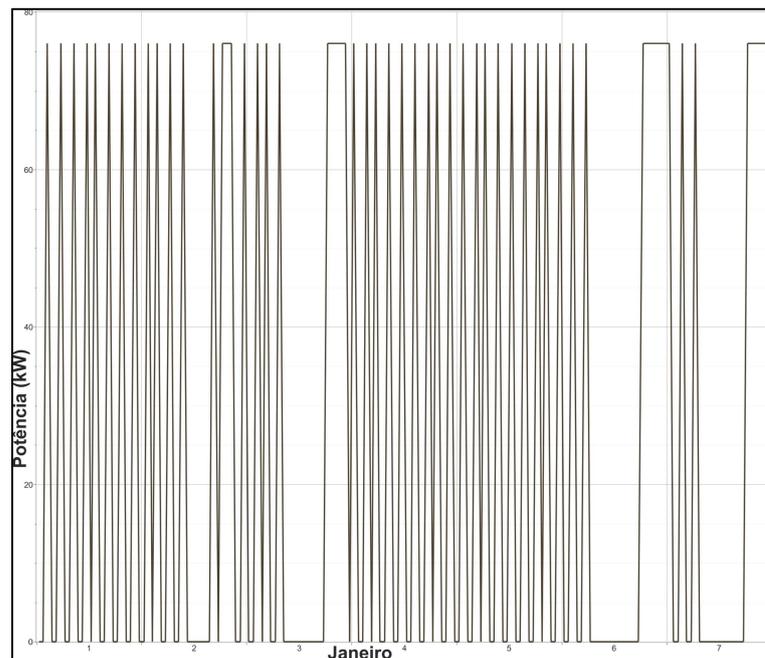
Figura 30 – Curvas de carga e energia gerada com PV em junho



Fonte: próprio Autor

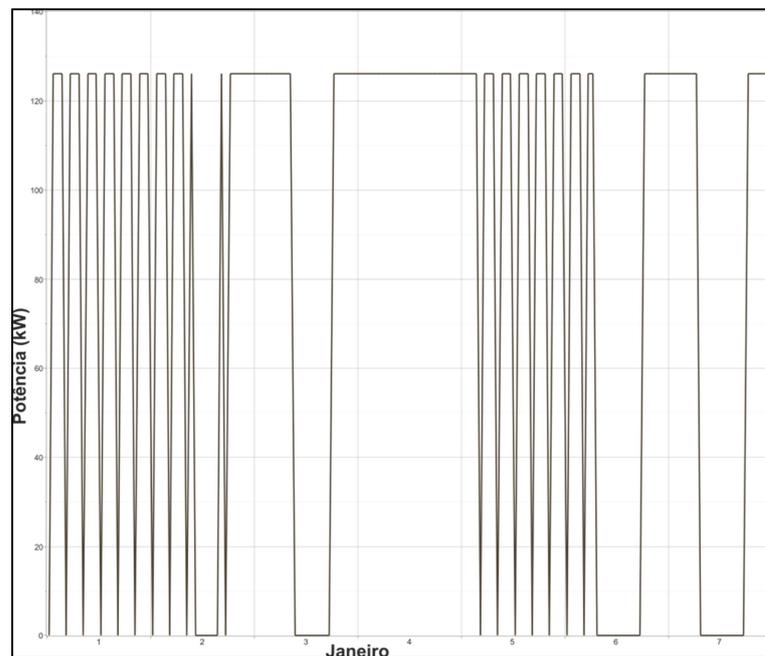
A Figura 31 e a Figura 32 ilustram a geração de energia elétrica a partir de biomassa, considerando uma taxa de gaseificação constante de 50% de gás para cada quilograma de dejetos. Na Figura 31, o custo da tonelada da biomassa sairia por R\$100,00 e foi considerada a capacidade mínima de produção, aproximadamente 0,721 t por dia. Por outro lado, na Figura 32 foi considerado que a tonelada da biomassa custaria R\$ 200,00 e a produção de matéria prima seria 2,5 t por dia.

Figura 31 – Energia gerada a partir de biomassa (R\$ 100,00/t e 0,721t/dia)



Fonte: próprio Autor

Figura 32 – Energia gerada a partir de biomassa (R\$ 200,00/t e 2,5t/dia)

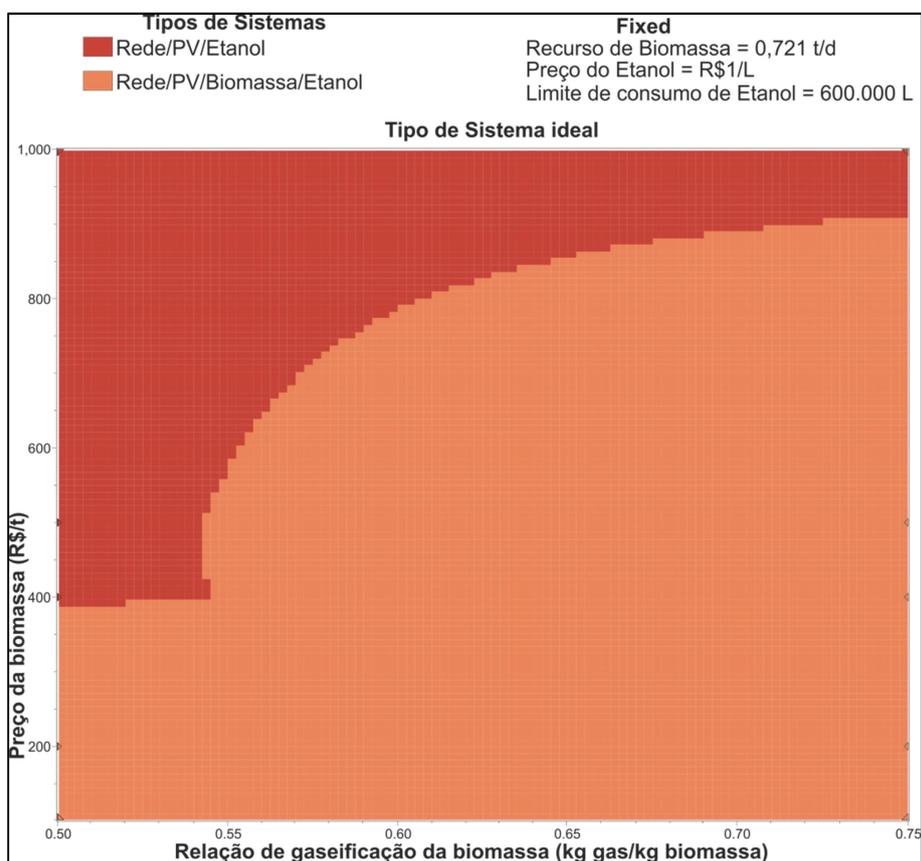


Fonte: próprio Autor

Verifica-se que o software sugere que se utilize a biomassa para geração de acordo com a disponibilidade de matéria prima, independentemente de horário, não havendo qualquer relação com as outras fontes de geração. No caso de haver uma maior produção de biomassa, o programa recomenda a instalação de um gerador de 126 kW ao invés de um de 38 kW.

Na Figura 33 observa-se a relação entre o custo da biomassa e a taxa de gaseificação da mesma. Pode-se verificar que à medida que a taxa de gaseificação aumenta a utilização da biomassa torna-se viável com custos maiores da matéria prima.

Figura 33 - Relação entre preço e taxa de gaseificação da biomassa



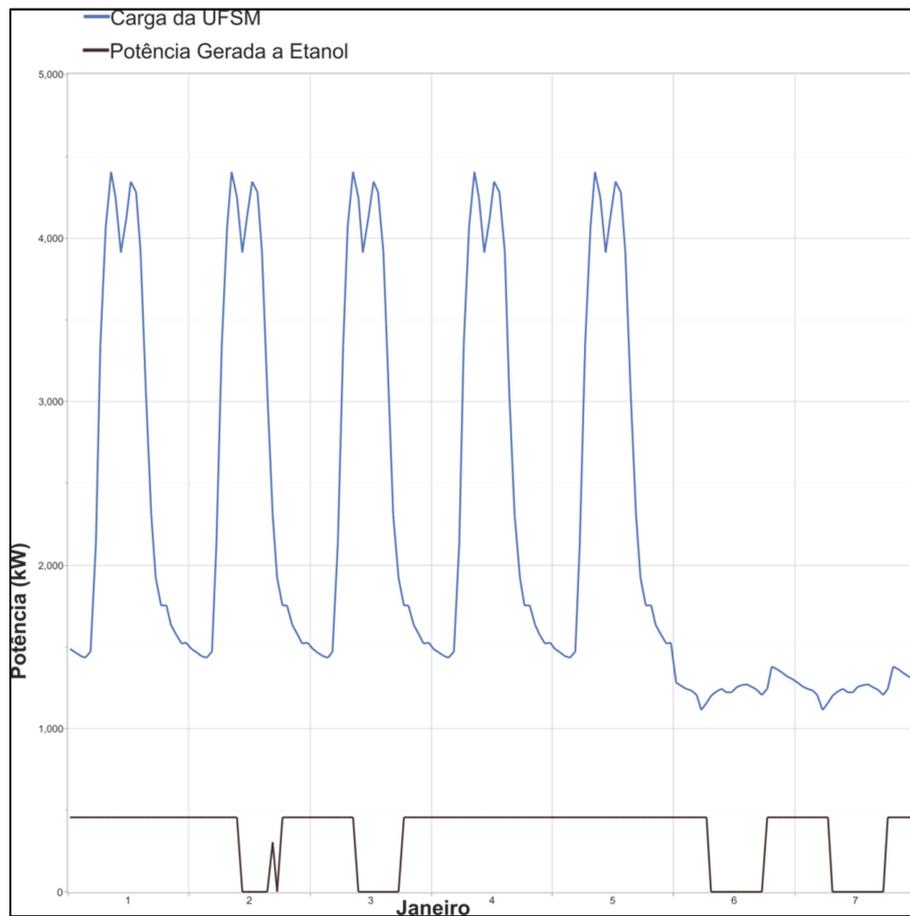
Fonte: próprio Autor

Os gráficos das Figura 34, Figura 35 e Figura 36 mostram a geração proveniente do etanol. Na Figura 34 foi considerado o custo por litro de etanol a R\$ 0,50 e a utilização máxima anual limitada em 600.000 l. Na Figura 35 o etanol custa R\$ 0,50 e com sua utilização máxima anual limitada em 3.600.000 l. Na Figura 36 com o custo do etanol no valor de R\$ 1,00 e sua utilização máxima anual limitada em 600.000 l.

Quando o custo do etanol é baixo, o software adota o gerador de mesma potência (455 kW) e gera energia de acordo com a disponibilidade de matéria prima, casos ilustrados pelas Figura 34 e Figura 35. No caso do etanol custando R\$ 1,00 o gerador adotado foi de 910 kW e utiliza essa fonte em horário de ponta, ou seja, período onde utilizar um gerador a etanol é mais barato que o pagamento da tarifa da concessionária de energia. Neste caso o programa não leva em conta a demanda

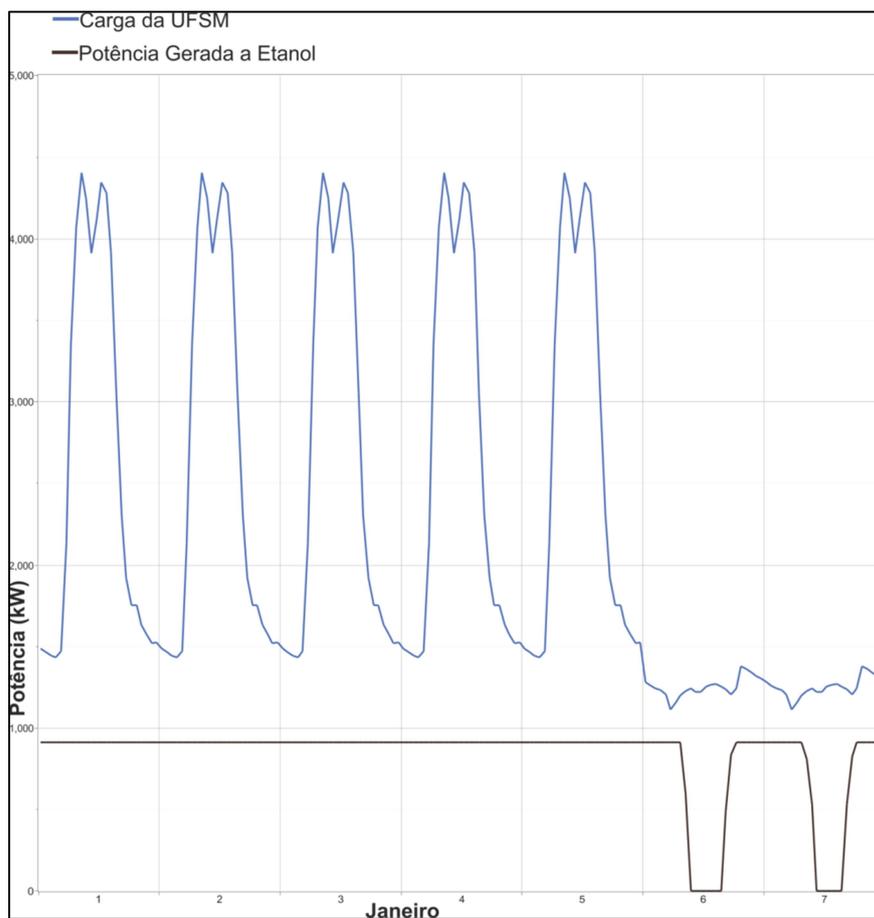
contratada, que fora ponta é quase o dobro da de horário de ponta. Uma possibilidade seria reduzir a demanda contratada e utilizar geradores a etanol neste período, quando os painéis fotovoltaicos não suprissem a demanda (dias nublados, por exemplo).

Figura 34 – Geração de energia com Etanol (Etanol = R\$ 0,50/l e cap. máx. anual = 600.000 l)



Fonte: próprio Autor

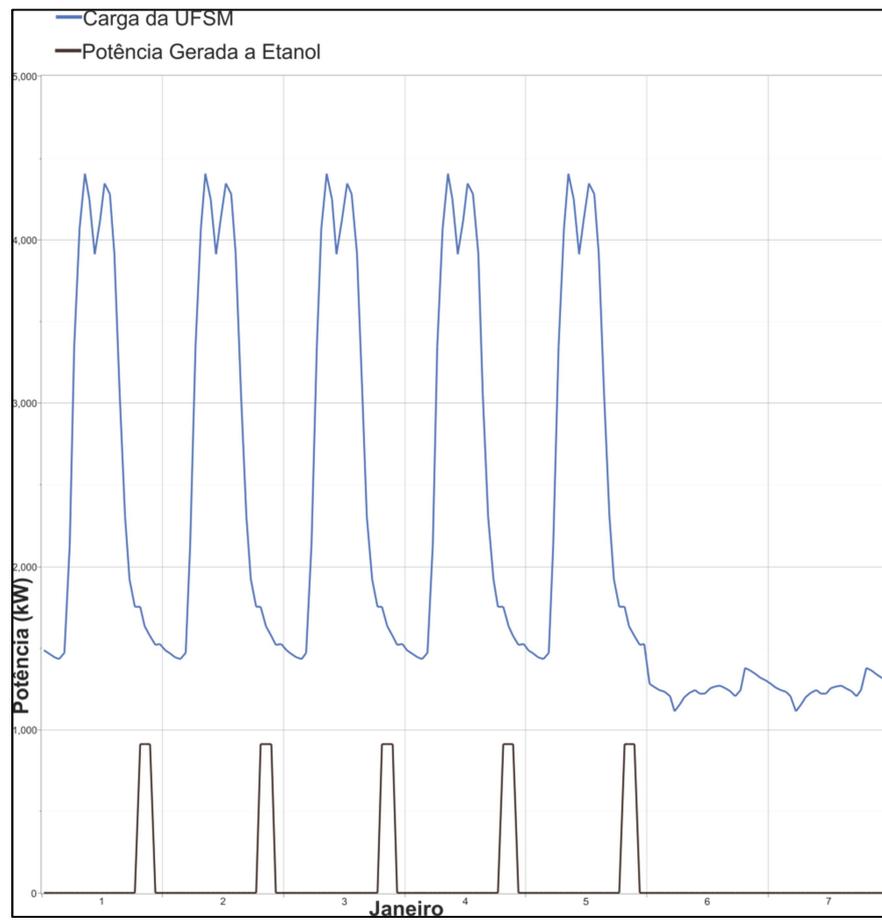
Figura 35 – Geração de energia com Etanol (R\$ 0,50/l e cap. máx. anual = 3.600.000 l)



Fonte: próprio Autor

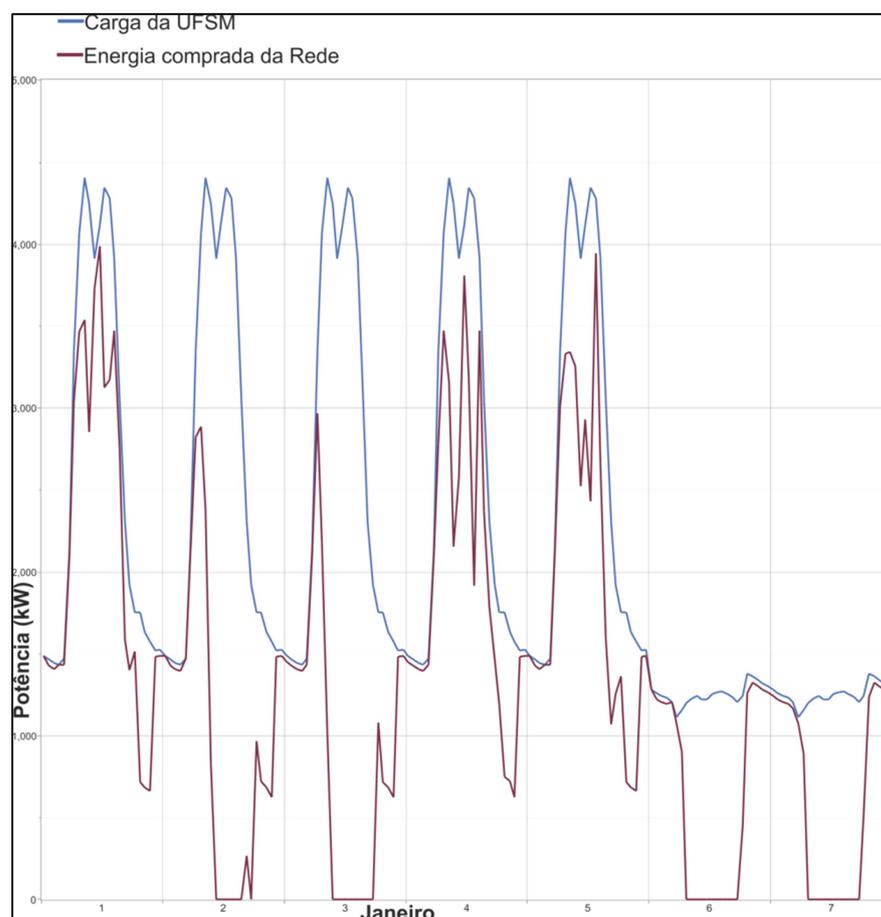
No gráfico da Figura 37 temos um comparativo entre energia consumida pela UFSM e a energia que é comprada da concessionária, caso sejam adotadas fontes alternativas de energia a etanol, solar e a biomassa. Na simulação da figura supracitada foram considerados os seguintes custos da matéria prima: R\$ 1,00/l de etanol e R\$ 200,00/t de biomassa. As quantidades limites de matéria prima foram de 721 kg/dia de biomassa e 600.000 l/ano de etanol.

Figura 36 – Geração de energia com Etanol (R\$ 1,00/l e cap. máx. anual = 600.000 l)



Fonte: próprio Autor

Figura 37 – Energia comprada da rede da concessionária de energia local



Fonte: próprio Autor

O melhor custo/benefício foi da configuração que utilizou todos os componentes para a microrrede. Seguindo os valores da Tabela 10 da configuração da planta, onde se considerou o menor valor presente líquido. Na Tabela 11 está o comparativo da melhor configuração para a microrrede com um sistema que utilize rede e PV e outro sistema que utilize apenas a rede da concessionária de energia.

Tabela 10 – Dados fixados para simulação

Recurso de biomassa	0,721 t/dia
Preço da biomassa	R\$ 200,00/t
Taxa de gaseificação da biomassa	50% (kg gás/ kg de biomassa)
Preço do etanol	R\$ 1,00/l
Limite de utilização do etanol	600.000 l/ano

Fonte: próprio Autor

Tabela 11 – Comparativo entre configurações da GD

Configuração	Investimento (R\$)	Custo de operação (R\$)	Valor presente líquido (R\$)	Custo Médio da Energia (R\$/kWh)
Rede/PV/Biomassa/Etanol	39.530.904,00	1.697.698,00	57.998.580,00	0,324
Rede/PV	38.922.748,00	1.854.918,00	59.021.652,00	0,330
Rede	0,00	6.425.012,00	68.585.568,00	0,385

Fonte: próprio Autor

A simulação foi realizada considerando vida útil do projeto de 25 anos, dessa forma pode-se verificar o retorno do investimento neste período. Uma vez que o valor presente líquido da configuração utilizando rede, PV, biomassa e etanol é menor que o valor presente líquido utilizando somente rede neste mesmo intervalo de tempo.

O custo de operação é o valor gasto com a energia elétrica, que inclui a compra de insumos e manutenção, além da energia comprada diretamente da concessionária. O projeto é mais atrativo quanto menor o seu custo de operação.

Em oito anos e cinco meses já há o retorno do investimento. A relação de custo benefício fica evidente uma vez que o valor do investimento para implementação com a configuração mencionada acima é menor que o valor presente líquido da configuração.

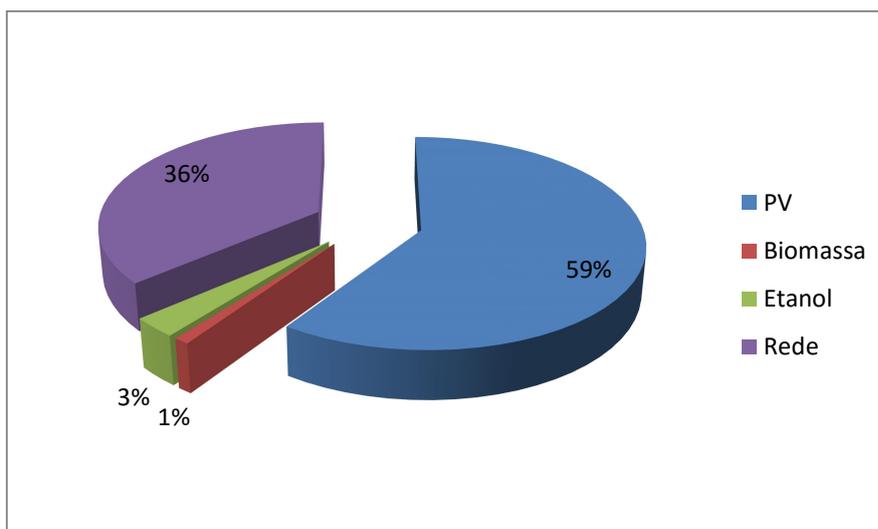
A Tabela 12 ilustra os dados de produção de energia por ano no período de 25 anos da simulação e o gráfico da Figura 38 mostra o percentual que cada fonte fornece. A Tabela 13 mostra o consumo por ano no mesmo período de simulação citado anteriormente e a Figura 39 ilustra esta proporção.

Tabela 12 – Produção de energia

Produção	kWh/ano	%
PV	13.002.616	59
Biomassa	224.942	1
Etanol	712.530	3
Comprado da Rede	7.995.101	36
Total	21.935.188	100

Fonte: próprio Autor

Figura 38 – Proporção de energia gerada e energia comprada da rede



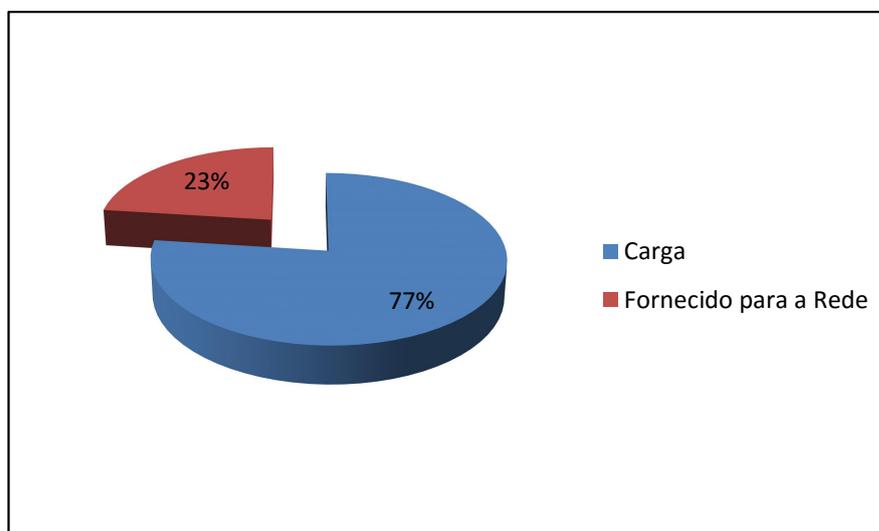
Fonte: próprio Autor

Tabela 13 – Consumo de energia

Consumo	kWh/ano	%
Carga	16.670.679	77
Fornecido para a Rede	4.954.106	23
Total	21.624.784	100

Fonte: próprio Autor

Figura 39 – Proporção de energia consumida pela carga e energia fornecida para a rede



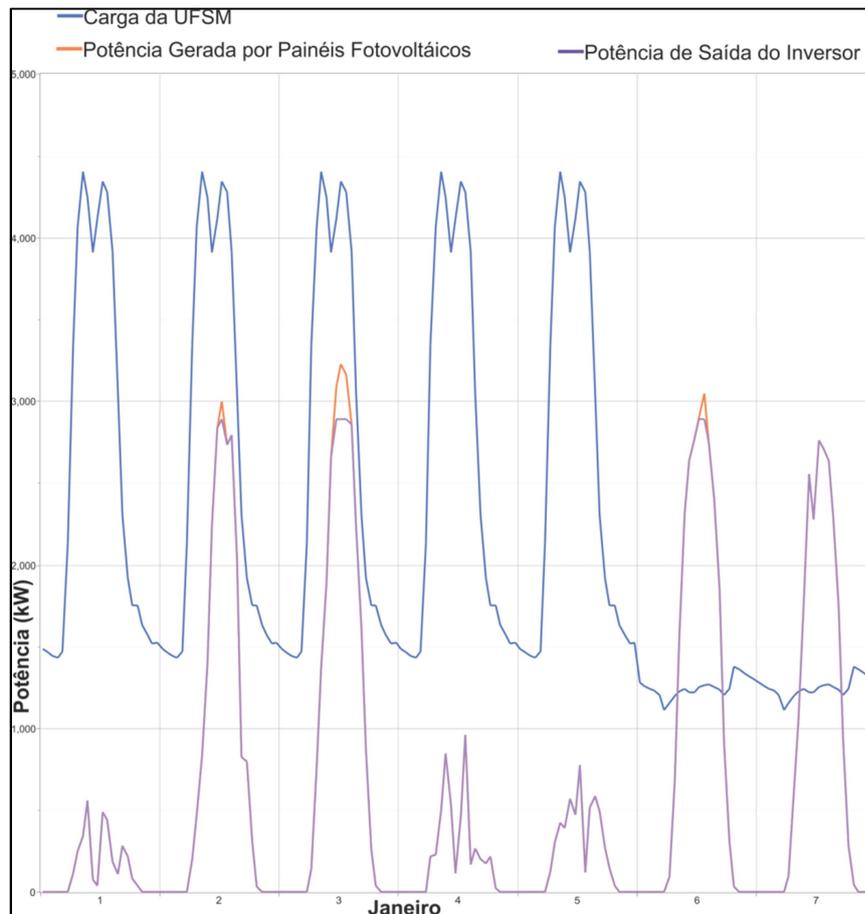
Fonte: próprio Autor

Da energia gerada por PV, apenas 62% é consumida pela UFSM. Conforme vimos na Figura 29 e na Figura 30 há períodos em que a geração por PV excede em muito a demanda da instituição. Os 38% restantes de energia gerada entram em compensação para redução de consumo junto à concessionária.

5.2 Limite de 5 MW de GD

Com o intuito de enquadrar a geração da UFSM em minigeração é necessário que a potência máxima da geração seja de 5 MW. Para tanto, a potência dos painéis fotovoltaicos que seriam instalados foi reduzida para 4,03 MW, conforme Figura 40, possibilitando a instalação de outras fontes em conjunto para atingir os 5 MW limites da resolução 482.

Figura 40 – Curvas de carga e energia gerada com PV em janeiro



Fonte: próprio Autor

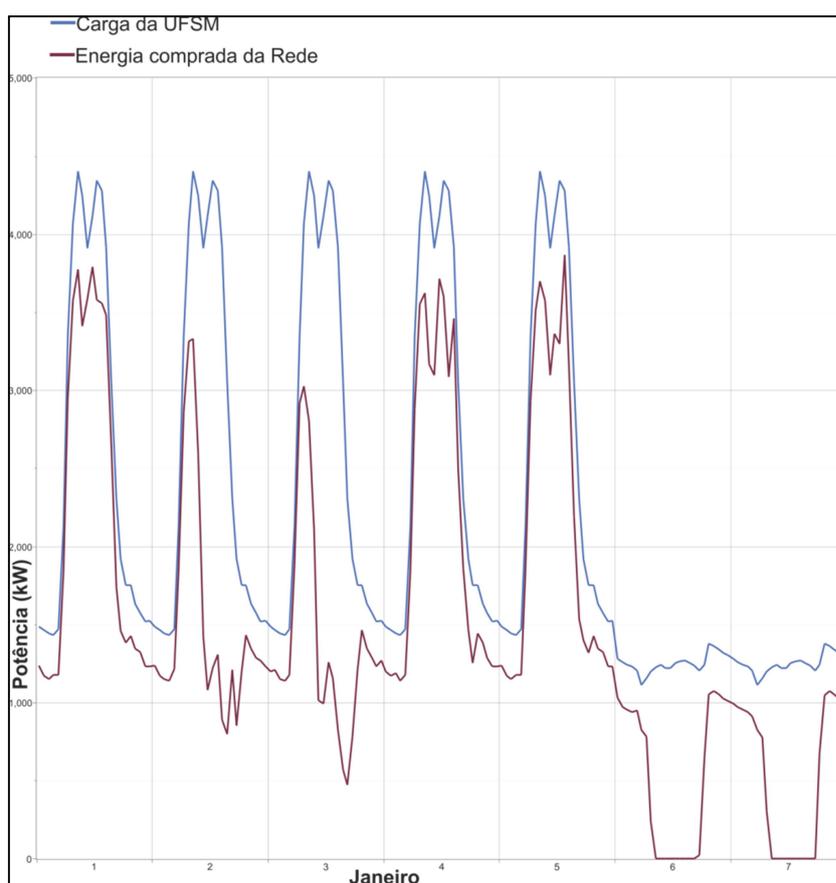
Observa-se que a potência fornecida por PV é bastante reduzida, chegando efetivamente a pouco mais que 1 MW de pico. As outras fontes não são influenciadas por esta redução. No gráfico da Figura 41 percebe-se o aumento da energia comprada pela rede.

Analisando os cenários desta simulação com base nos valores da Tabela 14, é possível verificar que a configuração de melhor custo/benefício é de PV, biomassa, etanol e rede, conforme ilustra a Tabela 15. São ainda considerados 25 anos de

simulação e verifica-se um retorno do investimento neste período, o que torna a implantação viável do ponto de vista sócio/econômico.

Comparando com a simulação anterior, onde seriam instalados 9,9 MW_p em PV, verifica-se um aumento significativo no custo de operação. Em contrapartida é necessário menos da metade do investimento para a implantação da GD.

Figura 41 – Energia comprada da rede da concessionária de energia local



Fonte: próprio Autor

Tabela 14 – Dados fixados para simulação

Recurso de biomassa	0,721 t/dia
Preço da biomassa	R\$ 200,00/t
Taxa de gaseificação da biomassa	50% (kg gás/ kg de biomassa)
Preço do etanol	R\$ 0,80/l
Limite de utilização do etanol	600.000 l/ano

Fonte: próprio Autor

Tabela 15 – Comparativo entre configurações da GD

Configuração	Investimento (R\$)	Custo de operação (R\$)	Valor presente líquido (R\$)	Custo Médio da Energia (R\$/kWh)
Rede/PV/Biomassa/Etanol	15.937.893,00	4.406.524,00	63.117.614,00	0,354
Rede/PV	15.721.638,00	4.577.657,00	64.707.768,00	0,363
Rede	0,00	6.425.012,00	68.585.568,00	0,385

Fonte: próprio Autor

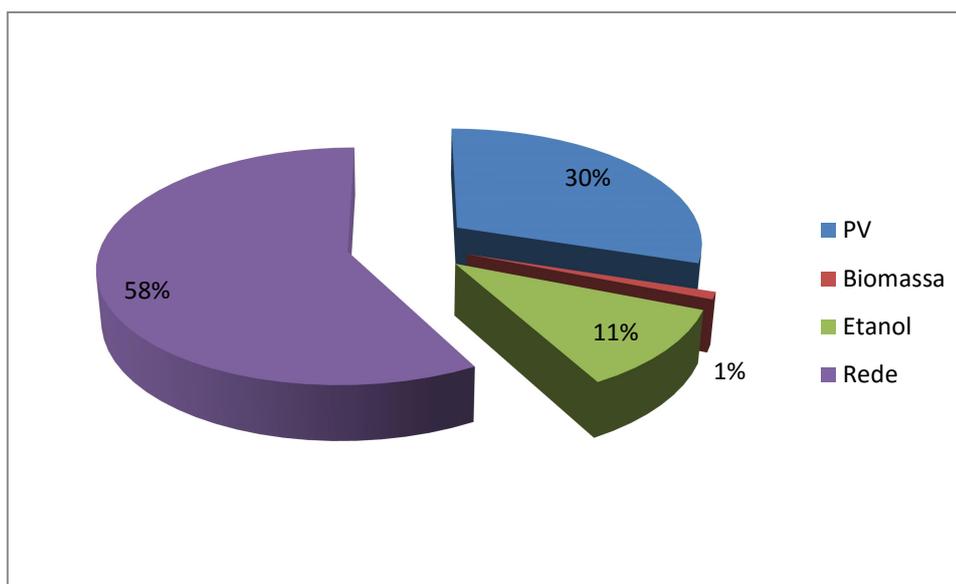
Na Tabela 16 temos a produção de energia neste novo cenário e a sua proporção representada pelo gráfico da Figura 42. Na Tabela 17 temos o consumo de energia pela UFSM comparado com o que é repassado à concessionária de energia em forma de créditos. Esta proporção é representada pelo gráfico da Figura 43.

Tabela 16 – Produção de energia

Produção	kWh/ano	%
PV	5.248.448	30
Biomassa	226.824	1
Etanol	1.817.573	11
Comprado da Rede	9.984.395	58
Total	17.277.238	100

Fonte: próprio Autor

Figura 42 – Proporção de energia gerada e energia comprada da rede



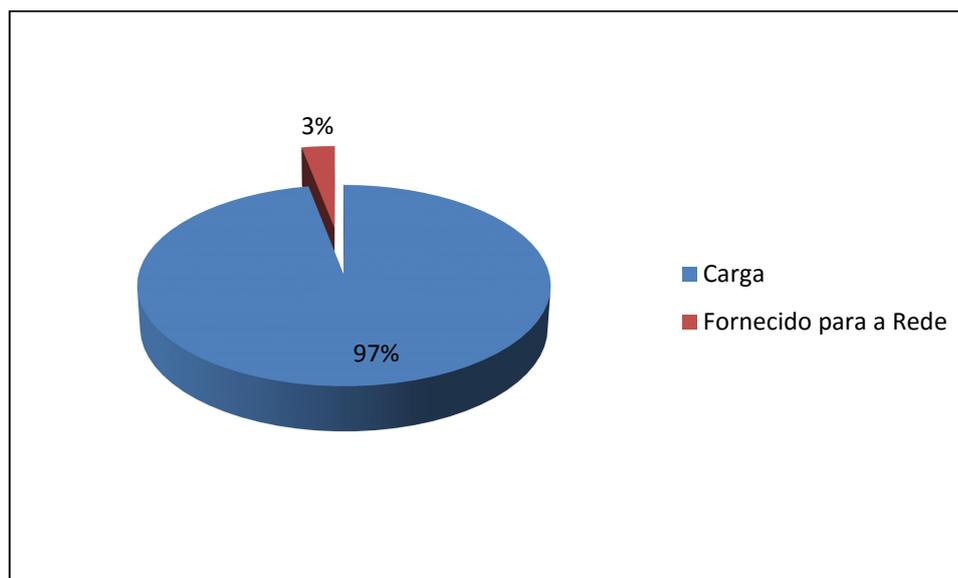
Fonte: próprio Autor

Tabela 17 – Consumo de energia

Consumo	kWh/ano	%
Carga	16.670.679	97
Fornecido para a Rede	481.770	3
Total	17.152.450	100

Fonte: próprio Autor

Figura 43 – Proporção de energia consumida pela carga e energia fornecida para a rede



Fonte: próprio Autor

Nesta configuração, apenas 9% da energia gerada por PV é excedente da demanda da UFSM, isto se deve a feriados e fins de semana onde o consumo é pequeno e há uma boa radiação solar. Como a geração por PV corresponde a 30% da carga, aproximadamente 3% do total gerado é repassado à rede.

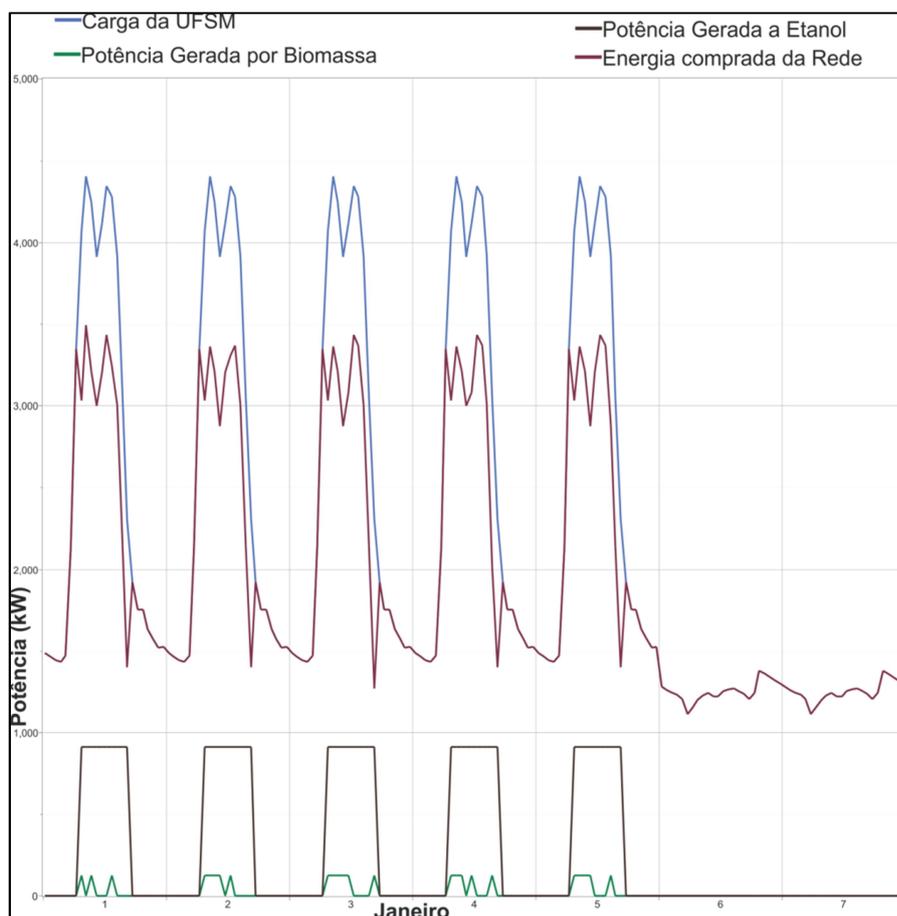
O software utiliza as outras fontes de acordo com a disponibilidade de recursos, sem regramento ou combinação com outras fontes. Exceto nos casos onde a tarifa é mais cara do que a utilização destas fontes. Na configuração atual, o custo do etanol é de R\$ 0,80/l tornando sua utilização vantajosa em qualquer horário do dia.

Conforme citado, a demanda contratada da UFSM em 2014 era de 3.000 kW em horário de ponta e 5.000 kW em horário fora de ponta. Desta forma será simulado para que os geradores a biomassa e etanol atuem em períodos

determinados, para verificar se há a possibilidade de redução da demanda contratada pela UFSM.

A Figura 44 mostra o comportamento das fontes operadas no período de 7:00 da manhã até 17:00 da tarde nos dias de semana com as configurações da Tabela 14. Durante o período de um ano é utilizado todo o combustível disponibilizado, que esgota-se em outubro, causando interrupção de geração a etanol nos meses subsequentes. Na realidade o limite de produção é diário, porém o software considera o limite anual, desta forma a escassez de combustível se daria ao longo do dia ou da semana.

Figura 44 – Curvas de carga e fontes com geradores trabalhando no período FP de maior demanda



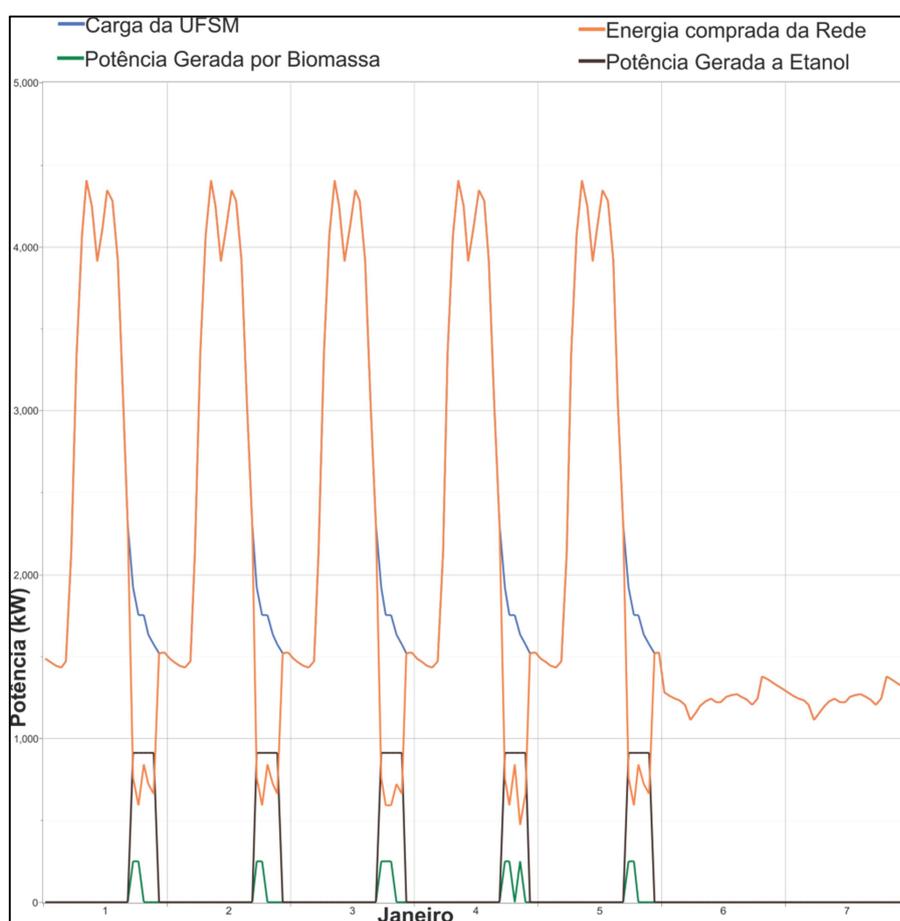
Fonte: próprio Autor

O software adota um gerador a biomassa com potência de 126 kW e um gerador a etanol com potência de 910 kW. Neste caso faz-se necessária a utilização de outra fonte em conjunto com o gerador a etanol. Se utilizarmos em conjunto com energia fotovoltaica, com um sistema de controle de forma a acionar o gerador a etanol (mais significativo) quando os painéis fotovoltaicos não suprirem a demanda

que desejamos reduzir, não faltará combustível para os meses de outubro, novembro e dezembro.

A Figura 45 mostra o comportamento das fontes forçadas para funcionar no período das 17:00 da tarde até as 22:00 da noite nos dias de semana com as configurações da Tabela 14. Durante o período de um ano são utilizados 391.895 l, ou seja, não é utilizado todo o limite disponibilizado e não há prejuízos para a geração. É adotado um gerador a biomassa de 252 kW e a etanol de 910 kW.

Figura 45 – Curvas de carga e fontes com geradores trabalhando no período ponta



Fonte: próprio Autor

As composições dos custos referentes à demanda contratada do ano de 2014 estão descritos na Tabela 18. Na Tabela 19 estão as composições dos custos com os valores de demanda em horário de ponta de 2.550 kW e horário fora ponta de 3.950 kW que gerariam menor custo para instituição. Destaca-se que é simples fazer uma análise retroativa, uma vez que temos todos os valores de consumo. Na prática

temos uma estimativa e só podemos alterar os valores da demanda contratada após 18 meses de realizada uma alteração dos valores de contratação.

Ao utilizarmos os geradores em períodos determinados verificamos uma constância do gerador a etanol e uma inconstância no gerador a biomassa. Devido à inconstância do gerador a biomassa ele será desconsiderado na análise de demanda contratada. Tanto em horário de ponta como em horário fora de ponta o gerador a etanol adotado foi o de 910 kW. A Tabela 20 apresenta uma redução de 550 kW na demanda contratada no período FP, sendo as novas demandas que gerariam menor custo para a instituição: 2.550 kW P e 3.950 kW FP. A Tabela 21 apresenta uma redução de 850 kW no período P, sendo as novas demandas que gerariam menor custo para a instituição: 1.700 kW P e 4.500 kW FP.

Tabela 18 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 13,8kV – Demanda contratada em horário de ponta = 3.000 kW e horário fora ponta = 5.000 kW

MÊS	PONTA (kW)	F PONTA (kW)	Ult P (kW)	Ult FP (kW)	Custo P (R\$)	Custo FP (R\$)	Custo Ult P (R\$)	Custo Ult FP (R\$)
jan/14	2592	5546	0	546	63.337,67	68.965,51	0,00	15.062,07
fev/14	2722	5696	0	696	63.337,67	68.965,51	0,00	19.200,00
mar/14	2751	4583	0	0	63.337,67	68.965,51	0,00	0,00
abr/14	2630	4912	0	0	63.337,67	68.965,51	0,00	0,00
mai/14	2972	5201	0	0	63.337,67	68.965,51	0,00	0,00
jun/14	2446	4025	0	0	63.337,67	68.965,51	0,00	0,00
jul/14	2572	4106	0	0	63.337,67	68.965,51	0,00	0,00
ago/14	2504	4207	0	0	63.337,67	68.965,51	0,00	0,00
set/14	2289	3656	0	0	63.337,67	68.965,51	0,00	0,00
out/14	2529	4191	0	0	63.337,67	68.965,51	0,00	0,00
nov/14	2995	6512	0	1512	63.337,67	68.965,51	0,00	41.710,34
dez/14	2717	5741	0	741	63.337,67	68.965,51	0,00	20.441,38
TOTAL PARCIAL					760.052,04	827.586,12	0,00	96.413,79
TOTAL ANUAL					1.684.051,95			

Fonte: próprio Autor

Tabela 19 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 13,8 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 2.550 kW e horário fora ponta = 4.500 kW

MÊS	PONTA (kW)	F PONTA (kW)	Ult P (kW)	Ult FP (kW)	Custo P (R\$)	Custo FP (R\$)	Custo Ult P (R\$)	Custo Ult FP (R\$)
jan/14	2592	5546	0	1046	53.837,02	62.068,96	0,00	28.855,17
fev/14	2722	5696	0	1196	53.837,02	62.068,96	0,00	32.993,10
mar/14	2751	4583	0	0	53.837,02	62.068,96	0,00	0,00
abr/14	2630	4912	0	0	53.837,02	62.068,96	0,00	0,00
mai/14	2972	5201	422	701	53.837,02	62.068,96	17.819,00	19.337,93
jun/14	2446	4025	0	0	53.837,02	62.068,96	0,00	0,00
jul/14	2572	4106	0	0	53.837,02	62.068,96	0,00	0,00
ago/14	2504	4207	0	0	53.837,02	62.068,96	0,00	0,00
set/14	2289	3656	0	0	53.837,02	62.068,96	0,00	0,00
out/14	2529	4191	0	0	53.837,02	62.068,96	0,00	0,00
nov/14	2995	6512	445	2012	53.837,02	62.068,96	18.790,17	55.503,44
dez/14	2717	5741	0	1241	53.837,02	62.068,96	0,00	34.234,48
TOTAL PARCIAL					646.044,24	744.827,52	36.609,17	170.924,12
TOTAL ANUAL					1.598.405,05			

Fonte: próprio Autor

Tabela 20 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 13,8 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 2.550 kW e horário fora ponta = 3.950 kW

MÊS	PONTA (kW)	F PONTA (kW)	Ult P (kW)	Ult FP (kW)	Custo P (R\$)	Custo FP (R\$)	Custo Ult P (R\$)	Custo Ult FP (R\$)
jan/14	2592	4636	0	686	53.837,02	54.482,75	0,00	18.924,14
fev/14	2722	4786	0	836	53.837,02	54.482,75	0,00	23.062,07
mar/14	2751	3673	0	0	53.837,02	54.482,75	0,00	0,00
abr/14	2630	4002	0	0	53.837,02	54.482,75	0,00	0,00
mai/14	2972	4291	422	0	53.837,02	54.482,75	17.819,00	0,00
jun/14	2446	3115	0	0	53.837,02	54.482,75	0,00	0,00
jul/14	2572	3196	0	0	53.837,02	54.482,75	0,00	0,00
ago/14	2504	3297	0	0	53.837,02	54.482,75	0,00	0,00
set/14	2289	2746	0	0	53.837,02	54.482,75	0,00	0,00
out/14	2529	3281	0	0	53.837,02	54.482,75	0,00	0,00
nov/14	2995	5602	445	1652	53.837,02	54.482,75	18.790,17	45.572,41
dez/14	2717	4831	0	881	53.837,02	54.482,75	0,00	24.303,45
TOTAL PARCIAL					646.044,24	653.793,00	36.609,17	111.862,07
TOTAL ANUAL					1.448.308,48			

Fonte: próprio Autor

Tabela 21 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 13,8kV – Demanda contratada em horário de ponta = 1.700 kW e horário fora ponta = 4.500 kW

MÊS	PONTA (kW)	F PONTA (kW)	Ult P (kW)	Ult FP (kW)	Custo P (R\$)	Custo FP (R\$)	Custo Ult P (R\$)	Custo Ult FP (R\$)
jan/14	1682	5546	0	1046	35.891,34	62.068,96	0,00	28.855,17
fev/14	1812	5696	0	1196	35.891,34	62.068,96	0,00	32.993,10
mar/14	1841	4583	0	0	35.891,34	62.068,96	0,00	0,00
abr/14	1720	4912	0	0	35.891,34	62.068,96	0,00	0,00
mai/14	2062	5201	362	701	35.891,34	62.068,96	15.285,49	19.337,93
jun/14	1536	4025	0	0	35.891,34	62.068,96	0,00	0,00
jul/14	1662	4106	0	0	35.891,34	62.068,96	0,00	0,00
ago/14	1594	4207	0	0	35.891,34	62.068,96	0,00	0,00
set/14	1379	3656	0	0	35.891,34	62.068,96	0,00	0,00
out/14	1619	4191	0	0	35.891,34	62.068,96	0,00	0,00
nov/14	2085	6512	385	2012	35.891,34	62.068,96	16.256,67	55.503,44
dez/14	1807	5741	0	1241	35.891,34	62.068,96	0,00	34.234,48
TOTAL PARCIAL					430.696,08	744.827,52	31.542,16	170.924,12
TOTAL ANUAL					1.377.989,88			

Fonte: próprio Autor

A Tabela 22 é uma equivalência da Tabela 18, porém com 69 kV de fornecimento de energia. Da mesma forma observa-se uma equivalência de análise de contratação da Tabela 23, Tabela 24 e Tabela 25, apresentando a mesma contratação de demanda que a Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21, respectivamente, porém com fornecimento em 69 kV. Verifica-se uma redução de custo significativo ao utilizarmos 69 kV, que são comparados na Figura 46, esta redução é melhor expressada na Figura 47 e na Figura 48.

A Figura 48 ilustra a mesma redução de custo que na Figura 47, porém em percentuais. Dessa forma, verifica-se que o custo de contratação de demanda pode ser reduzido em até 15,25 % em 69 kV e até 18,17 % em 13,8 kV.

Tabela 22 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 69 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 3.000 kW e horário fora ponta = 5.000 kW

MÊS	PONTA (kW)	F PONTA (kW)	Ult P (kW)	Ult FP (kW)	Custo P (R\$)	Custo FP (R\$)	Custo Ult P (R\$)	Custo Ult FP (R\$)
jan/14	2592	5546	0	546	18.630,00	27.800,00	0,00	6.071,52
fev/14	2722	5696	0	696	18.630,00	27.800,00	0,00	7.739,52
mar/14	2751	4583	0	0	18.630,00	27.800,00	0,00	0,00
abr/14	2630	4912	0	0	18.630,00	27.800,00	0,00	0,00
mai/14	2972	5201	0	0	18.630,00	27.800,00	0,00	0,00
jun/14	2446	4025	0	0	18.630,00	27.800,00	0,00	0,00
jul/14	2572	4106	0	0	18.630,00	27.800,00	0,00	0,00
ago/14	2504	4207	0	0	18.630,00	27.800,00	0,00	0,00
set/14	2289	3656	0	0	18.630,00	27.800,00	0,00	0,00
out/14	2529	4191	0	0	18.630,00	27.800,00	0,00	0,00
nov/14	2995	6512	0	1512	18.630,00	27.800,00	0,00	16.813,44
dez/14	2717	5741	0	741	18.630,00	27.800,00	0,00	8.239,92
TOTAL PARCIAL					223.560,00	333.600,00	0,00	38.864,40
TOTAL ANUAL					596.024,40			

Fonte: próprio Autor

Tabela 23 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 69 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 2.550 kW e horário fora ponta = 4.500 kW

MÊS	PONTA (kW)	F PONTA (kW)	Ult P (kW)	Ult FP (kW)	Custo P (R\$)	Custo FP (R\$)	Custo Ult P (R\$)	Custo Ult FP (R\$)
jan/14	2592	5546	0	1046	15.835,50	25.020,00	0,00	11.631,52
fev/14	2722	5696	0	1196	15.835,50	25.020,00	0,00	13.299,52
mar/14	2751	4583	0	0	15.835,50	25.020,00	0,00	0,00
abr/14	2630	4912	0	0	15.835,50	25.020,00	0,00	0,00
mai/14	2972	5201	422	701	15.835,50	25.020,00	5.241,24	7.795,12
jun/14	2446	4025	0	0	15.835,50	25.020,00	0,00	0,00
jul/14	2572	4106	0	0	15.835,50	25.020,00	0,00	0,00
ago/14	2504	4207	0	0	15.835,50	25.020,00	0,00	0,00
set/14	2289	3656	0	0	15.835,50	25.020,00	0,00	0,00
out/14	2529	4191	0	0	15.835,50	25.020,00	0,00	0,00
nov/14	2995	6512	445	2012	15.835,50	25.020,00	5.526,90	22.373,44
dez/14	2717	5741	0	1241	15.835,50	25.020,00	0,00	13.799,92
TOTAL PARCIAL					190.026,00	300.240,00	10.768,14	68.899,52
TOTAL ANUAL					569.933,66			

Fonte: próprio Autor

Tabela 24 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 69 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 2.550 kW e horário fora ponta = 3.950 kW

MÊS	PONTA (kW)	F PONTA (kW)	Ult P (kW)	Ult FP (kW)	Custo P (R\$)	Custo FP (R\$)	Custo Ult P (R\$)	Custo Ult FP (R\$)
jan/14	2592	4636	0	686	15.835,50	21.962,00	0,00	7.628,32
fev/14	2722	4786	0	836	15.835,50	21.962,00	0,00	9.296,32
mar/14	2751	3673	0	0	15.835,50	21.962,00	0,00	0,00
abr/14	2630	4002	0	0	15.835,50	21.962,00	0,00	0,00
mai/14	2972	4291	422	0	15.835,50	21.962,00	5.241,24	0,00
jun/14	2446	3115	0	0	15.835,50	21.962,00	0,00	0,00
jul/14	2572	3196	0	0	15.835,50	21.962,00	0,00	0,00
ago/14	2504	3297	0	0	15.835,50	21.962,00	0,00	0,00
set/14	2289	2746	0	0	15.835,50	21.962,00	0,00	0,00
out/14	2529	3281	0	0	15.835,50	21.962,00	0,00	0,00
nov/14	2995	5602	445	1652	15.835,50	21.962,00	5.526,90	18.370,24
dez/14	2717	4831	0	881	15.835,50	21.962,00	0,00	9.796,72
TOTAL PARCIAL					190.026,00	263.544,00	10.768,14	45.091,60
TOTAL ANUAL					509.429,74			

Fonte: próprio Autor

Tabela 25 – Gastos anuais com a demanda energética – Fornecimento em 69 kV – Demanda contratada em horário de ponta = 1.700 kW e horário fora ponta = 4.500 kW

MÊS	PONTA (kW)	F PONTA (kW)	Ult P (kW)	Ult FP (kW)	Custo P (R\$)	Custo FP (R\$)	Custo Ult P (R\$)	Custo Ult FP (R\$)
jan/14	1682	5546	0	1046	10.557,00	25.020,00	0,00	11.631,52
fev/14	1812	5696	0	1196	10.557,00	25.020,00	0,00	13.299,52
mar/14	1841	4583	0	0	10.557,00	25.020,00	0,00	0,00
abr/14	1720	4912	0	0	10.557,00	25.020,00	0,00	0,00
mai/14	2062	5201	362	701	10.557,00	25.020,00	4.496,04	7.795,12
jun/14	1536	4025	0	0	10.557,00	25.020,00	0,00	0,00
jul/14	1662	4106	0	0	10.557,00	25.020,00	0,00	0,00
ago/14	1594	4207	0	0	10.557,00	25.020,00	0,00	0,00
set/14	1379	3656	0	0	10.557,00	25.020,00	0,00	0,00
out/14	1619	4191	0	0	10.557,00	25.020,00	0,00	0,00
nov/14	2085	6512	385	2012	10.557,00	25.020,00	4.781,70	22.373,44
dez/14	1807	5741	0	1241	10.557,00	25.020,00	0,00	13.799,92
TOTAL PARCIAL					126.684,00	300.240,00	9.277,74	68.899,52
TOTAL ANUAL					505.101,26			

Fonte: próprio Autor

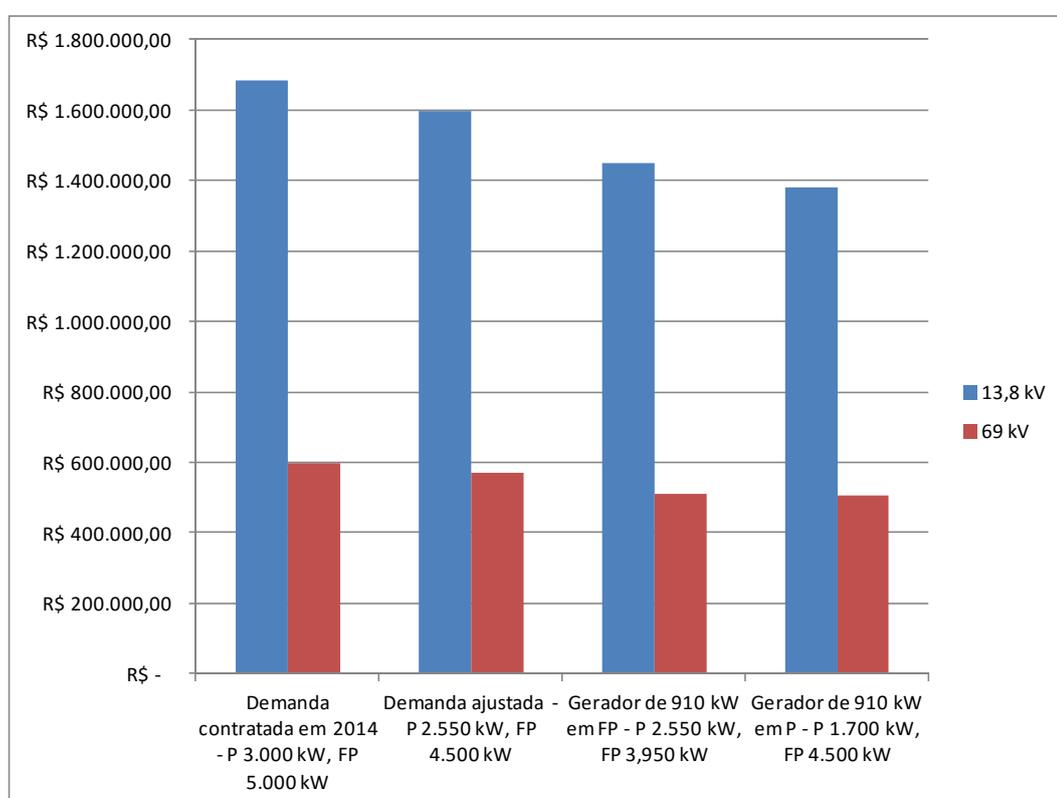
A Tabela 26 apresenta os valores de demanda que foram adotados na análise de possibilidade de redução de custos através de redução de demanda contratada.

Tabela 26 – Valores de demanda

	13,8 kV	69 kV
Ponta	R\$ 21,11	R\$ 6,21
Fora Ponta	R\$ 13,79	R\$ 5,56
Ultrapassagem Ponta	R\$ 42,22	R\$ 12,42
Ultrapassagem Fora Ponta	R\$ 27,58	R\$ 11,12

Fonte: próprio Autor baseado nos dados acessados em (AES SUL, 2015)

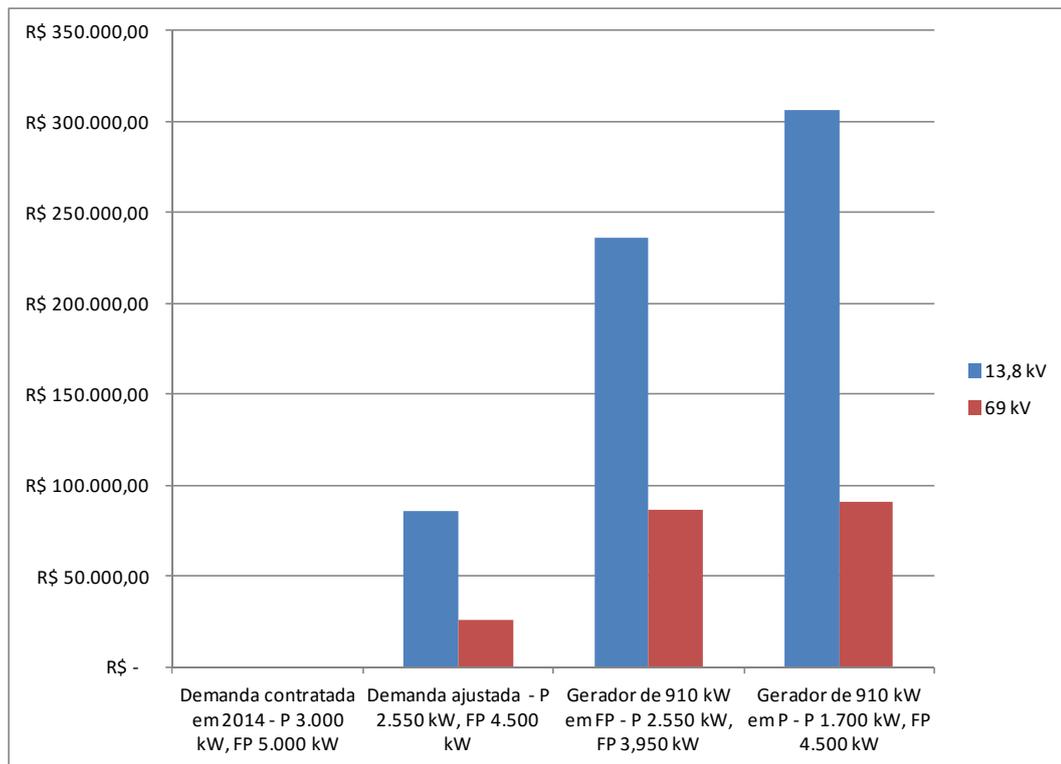
Figura 46 – Comparativo de custos com demanda sem ICMS



Fonte: próprio Autor

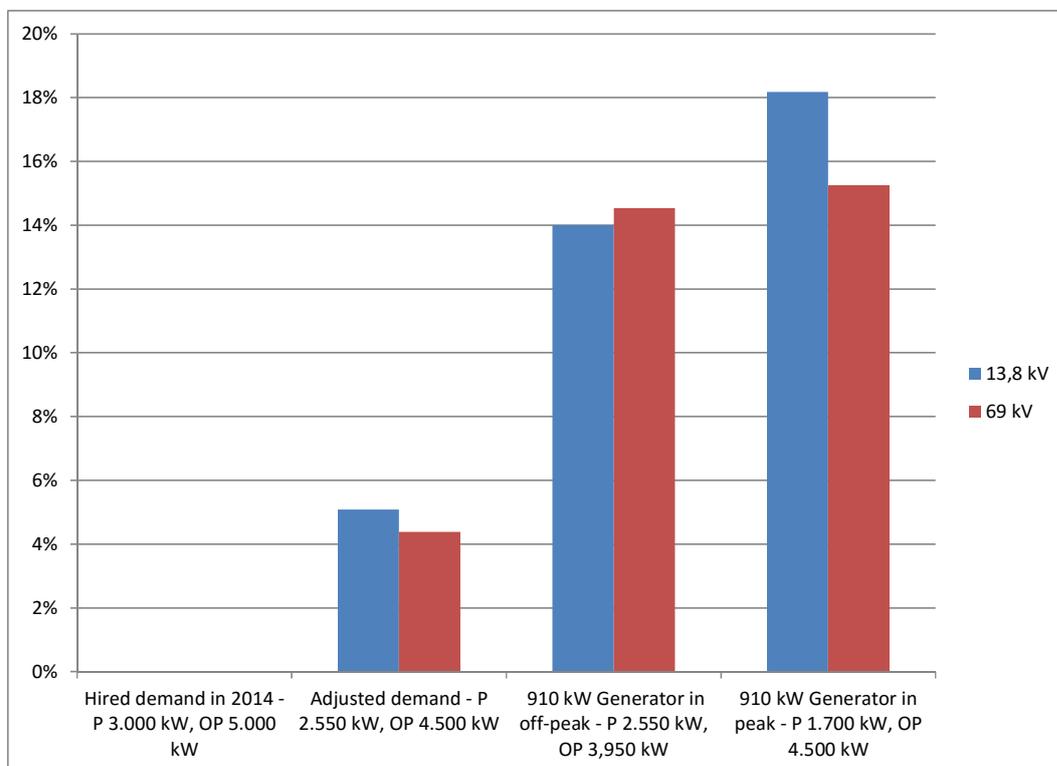
Ao utilizarmos 69 kV de fornecimento de tensão, o custo relativo à demanda contratada se torna quase um terço comparado com fornecimento a 13,8 kV. Desta forma já é possível verificar que a utilização de fornecimento de energia em 69 kV deve ser melhor analisado para fins de redução de custos da instituição.

Figura 47 – Comparativo da possibilidade de economia com análise da Demanda sem ICMS



Fonte: próprio Autor

Figura 48 – Comparativo da possibilidade de economia com análise da Demanda sem ICMS



Fonte: próprio Autor

Seguindo apenas a análise do software verifica-se a possibilidade de redução de consumo. Essa análise serve tanto para 13,8 kV como para 69 kV, uma vez que o custo da tarifa é praticamente o mesmo. Na análise de possibilidade de redução de demanda contratada podemos verificar que é muito mais significativa em 13,8 kV, mas por sua vez não pode ser desconsiderada em 69 kV.

6 CONCLUSÕES

A utilização de GD tende a aumentar por tornar-se mais atrativa com a redução de custos de implementação. Apesar do custo elevado, com a utilização do software é possível avaliar o retorno do investimento e perceber a viabilidade técnico-econômica.

Neste estudo foi possível verificar um retorno bastante rápido para o investimento. Ainda, à medida que há uma demanda de mercado, deve haver um aumento no número de fornecedores, o que irá reduzir ainda mais os custos.

Com a utilização de GD também é possível reduzir a demanda contratada e auxiliar a evitar a ultrapassagem da mesma. Como são realizados reajustes tarifários periodicamente, temos mais um motivo para a implementação de GD.

Esta metodologia pode ser adotada em qualquer outra instituição com a variação dos recursos naturais disponíveis em loco que vão tornar a implementação de uma fonte ou outra mais vantajosa.

A geração de energia elétrica pode ser uma parte de todo um processo de tratamento adequado de resíduos, sejam eles quais forem. É interessante analisar em casos onde é necessário o aquecimento de água, como em hospitais, é interessante utilizar a cogeração, aproveitando o calor proveniente da queima do biogás.

Não foi analisada uma possibilidade de redução de demanda maior no período fora ponta, onde se utilizaria um gerador a etanol de maior potência e que atuaria somente quando a energia fotovoltaica não fosse suficiente. Esta é uma sugestão para trabalho futuro.

Na análise de 25 anos, que é o período onde os fabricantes de painéis fotovoltaicos garantem 80% da geração de sua potência máxima, temos a viabilidade da implementação, por uma redução de consumo de energia elétrica e redução de contratação de demanda.

São atendidas as portarias para as instituições federais para utilização de energia renovável.

A redução de demanda contratada no período de ponta é mais vantajosa do que no período fora ponta até pela quantidade de demanda contratada que é reduzida.

6.1 Sugestão para Trabalhos Futuros

- Análise de ações de eficiência energética com impacto na contratação de demanda;
- Analisar a possibilidade de uma redução maior de demanda no horário fora ponta utilizando a energia gerada por PV e a etanol quando a energia por PV não for suficiente;
- Ações de redução de custos com substituição de luminárias por outras de melhor eficiência energética;
- Estudo de possibilidade de melhorias em arquiteturas de edificações novas visando um maior conforto térmico, reduzindo o consumo em climatizadores de ar;
- Análise de utilização de aquecimento de água em painéis fotovoltaicos, com a finalidade de minimizar o efeito da temperatura na eficiência em PV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AES SUL. **Tarifas A4 em 6/10/2015**. Disponível em: <https://www.aessul.com.br/grandesclientes/site/content/informacoes/tarifas_e_taxas.aspx>. Acesso em: 6 out. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, DF. 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 18 out. 2015

_____. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição**. Revisão 4 de 19 de abril de 2012., ed.

_____. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acessado em: mar. 2015.

_____. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acessado em: jan. 2016.

_____. **Sistema de bandeiras tarifárias**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acessado: mai. 2015.

BECKMAN, J. A. D. W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**, 4° ed. New Jersey and Canada, 2013.

BERNARDON, D. P.; PFISTER, L. L.; CANHA, L. N. MELLO, A. P. C. de; ABAIDE, A. da R.; SPERANDIO, M.; GARCIA, V. J.; RAMOS, M. J. S. **Sistemas de Distribuição no Contexto das Redes Elétricas Inteligentes: uma abordagem para reconfiguração de redes**. 1° ed., AGEPOC, Santa Maria - RS, 2015.

BIODIESELBR. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-etanol.htm>>. Acesso em: 6 nov. 2015.

BONHAGEN, S. **Parâmetros comparativos de células fotovoltaicas para geração de energia**. Eletricidade Moderna. 2013.

BORGES, L. B.; Ávila, M. T. de; RALISCH, R.; INNOCENTINI, M. D. de M. **Emissão de material particulado por misturas ternárias compostas de biodiesel, etanol e óleo vegetal: uma comparação com o óleo diesel convencional**, Seminário Ciências Agrárias, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1667-1676, 2011. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/4310/9126>>. Acessado: set. 2015.

BOYLE, G. **Renewable Energy: Power for a Sustainable Future**, 3° ed., Oxford: Oxford University Press, Oxford in association with The Open University, Milton Keynes, 2004.

BRASIL. **Portaria nº 23, de 12 de fevereiro de 2015**. Estabelece boas práticas de gestão e uso de Energia Elétrica e de Água nos órgãos e entidades da administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dispõe sobre o monitoramento de consumo desses bens e serviços. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, nº 31, 13 fev. 2015. Seção 1, p. 67,68.

BRAUNSTEIN, M. H. G.; MACHLINE, M. M.; BERNARDON, D. P.; SPERANDIO, M. **METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NA REDE ELÉTRICA DA UFSM**, Santa Maria/ RS: 9° Seminário de Eletrônica de Potência - SEPOC 2015, 2015.

BURGER, B.; RÜTHER, R. **Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature**. Solar Energy, vol. 80, pp. 32-45, 1// 2006.

CÂMARA, C. F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**, Labras - MG: Universidade Federal de Lavras, 2011. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/monografia-Carlos-Fernando-Camara.pdf>>. Acessado: out. 2015.

CARRIJO, D. R.; FERREIRA, R. S.; JR, S. C. G.; CAMACHO, J. R. **UMA PROPOSTA DE TÉCNICA DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO**, apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Automática, 2010. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2010/Artigos/65743_1.pdf>. Acessado: out. 2015.

CASTRO, R. M. G. Castro. **Introdução à Energia Fotovoltaica**, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa – Portugal, 2002. Disponível em: <http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf>. Acesso em: 15 set. 2015.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SUINOS E AVES – EMBRAPA e ASSOCIAÇÃO RIOGRANDENSE DE EMPREENDIMIENTOS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – EMATER/RS. **Manejo de Dejetos Suínos**, Boletim Informativo – BIPERS, mar. 1998. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjVuN_O3bLOAhVBF5AKHZPgAHAQFggjMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cnpsa.embrapa.br%2Fdown.php%3Ftipo%3Dpublicacoes%26cod_publicacao%3D186&usg=AFQjCNH_20qrNaGJg9UcB8RN4UVn3vIFig&sig2=dbzLD8wezG_MWjNoHC2cbA&cad=rja>. Acesso em: 23 set. 2015.

CHANT, T. I.; SHAFIULLAH, G. M.; OO, A. M. T.; HARVEY, B. E. **Impacts of increased photovoltaic panel utilization on utility grid operations - a case study**, in Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT), 2011 IEEE PES, 2011, pp. 1-7.

CHOWDHURY, S. P.; CHOWDHURY, P. C. S. **Microgrids and Active Distribution Networks**. Herts: IET, 2009.

COUTURE, T.; GAGNON, Y. **An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment**, in Energy Policy, vol. 38, pp. 955-965, 2// 2010.

DAMIA SOLAR. Disponível em:

<http://www.damiasolar.com/produtos/placas_solares/placa-solar-flexivel-ecosolar-100w-monocristalina_da0096_34>. Acesso em: 13 nov. 2015.

DONGMEI, Z.; YAFEI, L.; YANHUA L. **Optimal design and sensitive analysis of distributed generation system with renewable energy sources**, in Electricity Distribution (CICED), 2014 China International Conference on, 2014, pp. 456-460.

ELETRÓNICA. Disponível em: <<http://www.electronica-pt.com/painel-solar-fotovoltaico>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

ENERGIA PURA. Disponível em: <<https://www.energiapura.com>>. Acesso em: 11 out. 2015.

FALCAO, D. M.; TARANTO, G. N.; HINCAPIE, C. C. O. **Chronological simulation of the interaction between intermittent generation and distribution network**, in Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013 IEEE PES Conference On, 2013, pp. 1-8.

FARRET, F. A.; SIMÕES, M. G. **Integration of Alternative Sources of Energy**, IEEE Press, Jan. 2006.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**, 2° ed. rev. e ampl. Ed. UFSM, 2010.

FERNANDES, D. M. **Biomassa e Biogás da Suinocultura**, Unioeste, Cascavél/Paraná, 2012. Disponível em: <http://projetos.unioeste.br/pos/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Dangela_M_Fernandes.pdf>. Acessado: nov. 2015.

FOCUSOLAR. **Potencial Solar Brasileiro - Introdução**. Disponível em: <<http://focusolar.com.br/potencial-solar-brasileiro/>>. Acesso em: 20 out. 2015.

GNOATTO, E.; DALLACORT, R.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. de L.; FERRUZI, Y. **Determinação da curva característica de um painel fotovoltaico em condições reais de trabalho**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 191-196, Jul./Dez., 2005. Disponível em: <http://www2.unemat.br/rivanildo/docs/artigos/2005_04.pdf>. Acesso em: 17 set. 2015.

HOMER Energy. Disponível em: < www.homerenergy.com >. Acesso em: 10 mar. 2015.

IJUMBA, N. M.; WEKESAH, C. W. **Application potential of solar and mini-hydro energy sources in rural electrification**, in AFRICON, 1996., IEEE AFRICON 4th, 1996, pp. 720-723 vol.2.

INFOESCOLA. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/educacao/diferencas-entre-universidades-e-faculdades>>. Acessado: fev. 2015.

JESUS, J. M. F. de; CASTRO, R. M. G. **Equipamento Eléctrico dos Geradores Eólicos**, Universidade Técnica de Lisboa, 1º Parte - Princípio de funcionamento, Lisboa - Portugal, 2004. Disponível em: <http://esa.ipb.pt/~jpmc/ArquivoEA/Equipamento_ed0.pdf>. Acessado: mai. 2015.

KARLIS, A.; DOKOPOULOS, P. **Small power systems fed by hydro, photovoltaic, wind turbines and diesel generators**, in Electronics, Circuits, and Systems, 1996. ICECS '96., Proceedings of the Third IEEE International Conference on, 1996, pp. 1013-1016 vol.2.

KHAN, M. R. B.; JIDIN, R.; PASUPULETI, J.; SHAYA, S. A. **Optimal combinations of PV, wind, micro-hydro and diesel systems for a seasonal load demand**, in Power and Energy (PECon), 2014 IEEE International Conference on, 2014, pp. 171-176.

KHODAEI, A. **Provisional Microgrids**, Smart Grid, IEEE Transactions on, vol. 6, pp. 1107-1115, 2015.

MACHADO, A. **Culturas adequadas ao Etanol**, Correio do povo Rural vol. 1680, ed: 09/27/2015.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**, Rio de Janeiro - RJ, 2012.

_____. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, 2001.

MME, Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014**. Rio de Janeiro - RJ, 2014.

MPPTSOLAR. **Os Melhores Painéis Solares Fotovoltaicos**. Disponível em: <<http://www.mpptsolar.com/pt/melhores-paineis-solares-fotovoltaicos.html>>. Acesso em: 11 out. 2015.

MITSUBISHI ELECTRIC. Disponível em: <<https://www.mitsubishielectricsolar.com/>>. Acessado: nov. 2015.

NASCIMENTO, L. R.; RUTHER, R. **Fifteen years and counting: The reliable long-term performance of the first grid-connected, building-integrated, thin-film photovoltaic installation in Brazil**, in Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 2014 IEEE 40th, 2014, pp. 3372-3377.

NEOSOLAR ENERGIA. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-galvo-1-5-1.html>>. Acesso em: 7 jan. 2016.

PEREZ, E. P.; CARVALHO JR., J. A.; CARROCCI, L. R. **Substituição do óleo diesel por álcool etílico hidratado na queima direta, uma comparação.** 6º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200042&lng=en&nrm=abn>. Acessado: nov. 2015.

PORTAL SOLAR. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html>>. Acesso em: 9 nov. 2015 (2015, 11/09/2015)

PRAJAPAT, K. K.; KATARIYA, A.; KUMAR, A.; SHUKLA, S. **Simulation and Testing of Photovoltaic with Grid Connected System**, in Computational Intelligence and Communication Networks (CICN), 2011 International Conference on, 2011, pp. 692-697.

RETSscreen. Disponível em: <<http://www.retscreen.net/pt/home.php>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

RIO GRANDE DO SUL, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação. **Avança projeto de produção de etanol no Estado.** Disponível em: <http://www.agricultura.rs.gov.br/conteudo/5710/?Avan%C3%A7a_projeto_de_produ%C3%A7%C3%A3o_de_etanol_no_Estado>. Acesso em: 4 nov. 2015.

SIGNIFICADOS. Disponível em: <<http://www.significados.com.br/universidade>>. Acessado: fev. 2015.

SOLARGIS. Disponível em: <http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/dni/SolarGIS-Solar-map-DNI-Brazil-en.png>. Acesso em: 9 nov. 2015.

SOUZA, S. N. M. de; PEREIRA, W. C.; PAVAN, A. A. **CUSTO DA ELETRICIDADE GERADA EM CONJUNTO MOTOR GERADOR UTILIZANDO BIOGÁS DA SUINOCULTURA**, apresentado no 5º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, , 2004. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000100042&script=sci_arttext>. Acessado: set. 2015.

SS SOLAR. Disponível em: <<http://www.sssolar.com.br/Noticias/detail/230-queda-de-preco-aumenta-interesse-por-paineis-fotovoltaicos>>. Acesso em: 9 nov. 2015.

TESSARO, A. R.; SOUZA, S. N. M. de; Ricieri, R. P. **Desempenho de um painel fotovoltaico acoplado a um rastreador solar**, apresentado no Encontro de Energia no Meio Rural, 2006, Campinas, SP, 2006. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v1/046.pdf>>. Acessado: out. 2015.

VANDOORN, T. L.; VASQUEZ, J. C.; KOONING, J.; GUERRERO, J. M. **Microgrids: Hierarchical Control and an Overview of the Control and Reserve Management Strategies**, Industrial Electronics Magazine, IEEE, vol. 7, pp. 42-55, 2013.

WINDFINDER. Disponível em: <<http://www.windfinder.com/>>. Acesso em: 3 out. 2015.

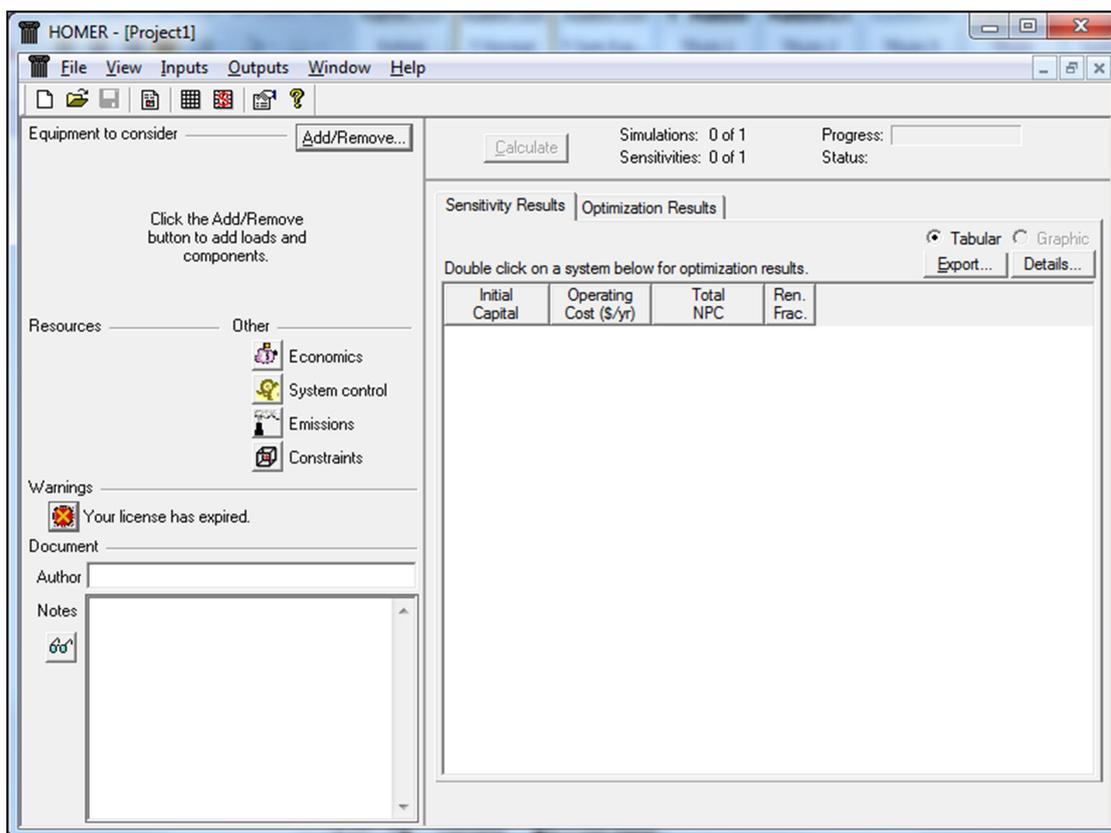
YANHUA, L.; YAFEI, L.; DONGMEI, Z. **Research on influencing factors of distributed generation system**, in Electricity Distribution (CICED), 2014 China International Conference on, 2014, pp. 1357-1362.

ZERO HORA. Parque eólico do Cerro Chato é inaugurado oficialmente em Santana do Livramento. (16/06/2012). Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/economia/noticia/2012/06/parque-eolico-do-cerro-chato-e-inaugurado-oficialmente-em-santana-do-livramento-3792942.html>>. Acesso em: 18 mai. 2015.

ANEXO A – Exemplo de simulação no HOMER

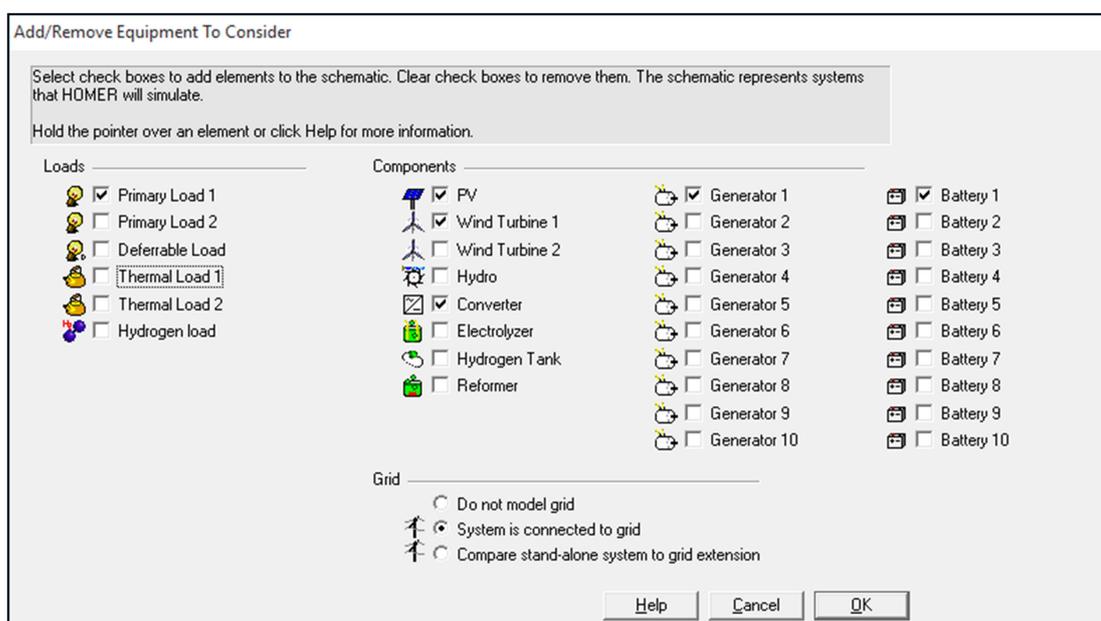
A proposta deste anexo é uma descrição básica da inserção de dados e uma simples simulação no HOMER. Serão utilizados dados aleatórios para facilitar a ilustração das etapas do programa. A Figura 49 ilustra a tela inicial, onde se tem uma ideia inicial das opções que o programa apresenta. Clicando no botão “Add/Remove” abriremos outra tela, Figura 50, que permite a escolha das componentes da microrrede. É possível optar pelas fontes que serão adotadas, as cargas e se o sistema estará conectado à rede nesta tela.

Figura 49 – Tela inicial do HOMER



Fonte: próprio Autor a partir da HOMER Energy

Figura 50 – Tela de equipamentos do HOMER



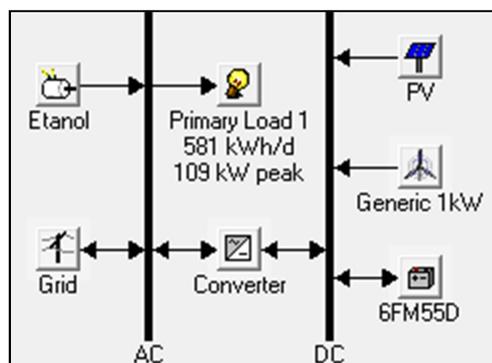
Fonte: próprio Autor a partir da HOMER Energy

Neste exemplo, opta-se por inserir uma carga, um painel fotovoltaico no sistema, um conversor, um gerador a combustão e um banco de baterias. A geração distribuída (GD) estará conectada a rede.

São necessários que sejam inseridos os dados de cada componente individualmente. O programa já apresenta componentes pré-estabelecidos (potência e modelo de fontes, por exemplo), também é possível acrescentar componentes que não estejam inclusos no banco de dados do HOMER. O programa avalia o custo de energia e o valor presente líquido total em um intervalo de tempo determinado pelo usuário.

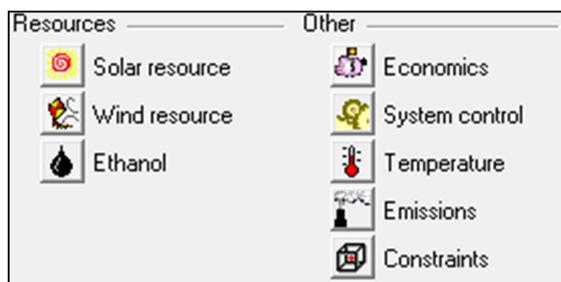
Após as definições das componentes da GD, o software mostra na tela inicial o(s) barramento(s) com as componentes da GD no HOMER, conforme ilustra a Figura 51. Também na tela inicial o programa apresenta outras configurações necessárias para a simulação, Figura 52. No exemplo, são necessários os dados referentes aos índices de vento, radiação solar e valores do combustível. Para radiação solar o software busca os dados na internet através das coordenadas geográficas do local estabelecido pelo usuário ou pode se utilizar outra fonte de dados que não seja a pré-definida.

Figura 51 – Componentes da GD no HOMER



Fonte: próprio Autor a partir da HOMER Energy

Figura 52 – Dados de configuração da simulação



Fonte: próprio Autor a partir da HOMER Energy

Foi definido que a simulação teria uma taxa anual juros de 5% e o tempo de vida útil da GD seria de 20 anos. Não foram delimitados custos para instalação e manutenção nem penalidade por capacidade de armazenamento. A Figura 53 mostra a tela de entrada dos dados supracitados.

A Figura 54 mostra outra tela de configuração, onde é definido o passo da simulação. Como os dados são informados de hora em hora, o passo ideal é de 60, que corresponde a sessenta minutos. Se for aumentado o passo perde-se resolução do gráfico e da análise. Quanto maior este número, menor a precisão da simulação, porém ela se torna mais rápida para ser processada. Na concessionária de energia os dados são adquiridos a cada 15 minutos, é interessante realizar uma análise mais precisa, porém o software não aceita entrada de dados em intervalos de tempos menores do que 60 minutos, portanto, como mencionado anteriormente, o passo ideal é de 60.

Figura 53 – Entrada de dados financeiros no HOMER

Economic Inputs

File Edit Help

HOMER applies the economic inputs to each system it simulates to calculate the system's net present cost.
Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Annual real interest rate (%) (.)

Project lifetime (years) (.)

System fixed capital cost (\$) (.)

System fixed O&M cost (\$/yr) (.)

Capacity shortage penalty (\$/kWh) (.)

Help Cancel OK

Fonte: próprio Autor a partir da HOMER Energy

Figura 54 – Entrada do sistema de controles do HOMER

System Control Inputs

File Edit Help

The system control inputs define how HOMER models the operation of the battery bank and generators. The dispatch strategy determines how the system charges the battery bank.
Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Simulation _____

Simulation time step (minutes) (.)

Dispatch strategy _____

Load following

Cycle charging

Apply setpoint state of charge (%) (.)

Generator control _____

Allow systems with multiple generators

Allow multiple generators to operate simultaneously

Allow systems with generator capacity less than peak load

Other settings _____

Allow systems with two types of wind turbines

Allow excess electricity to serve thermal load

Limit excess thermal output (% of load) (.)

Help Cancel OK

Fonte: próprio Autor a partir da HOMER Energy

É necessário inserir os limites de aquisição de combustíveis disponíveis, e a delimitação da área para instalação das fontes no próprio software. Em algumas simulações o próprio HOMER sugere a verificação deste limites.

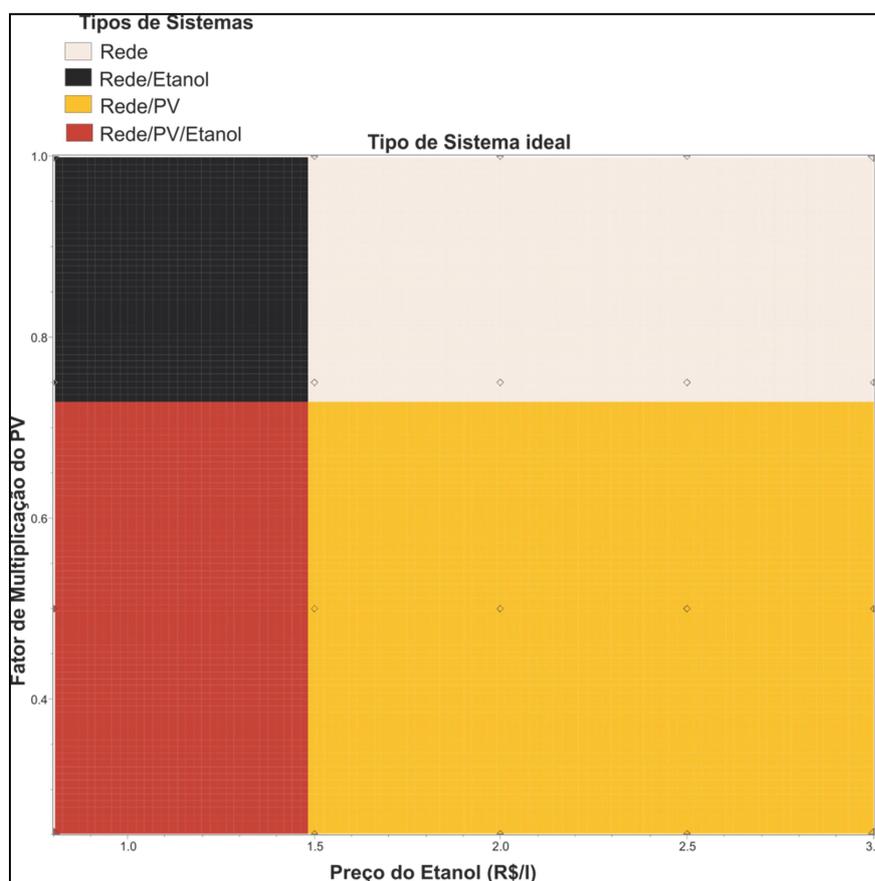
Após a simulação ser processada, o programa apresenta resultados para análise em ordem de importância, ou seja, viabilidade econômica. Na entrada de valores de dados, é possível inserir diversos valores que são significativos para auxiliar no processo de escolha das componentes simuladas. Um exemplo desta situação é entrar com valores diversos do preço do combustível, desta forma podemos avaliar o quanto este fator influencia na escolha do gerador elétrico a combustão e o quanto isto interfere no custo da GD. A Figura 55 mostra a tela com os resultados otimizados da simulação. A Figura 56 mostra os resultados com análise de sensibilidade.

Figura 55 – Tela de resultados otimizados da simulação no HOMER

	PV (kW)	G1	Et (kW)	6FM55D	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Ethanol (L)	Et (hrs)
<input checked="" type="checkbox"/>	2.50		88		1.5	1000	\$ 69,500	16,087	\$ 269,982	0.102	0.00	254,416	8,760
<input checked="" type="checkbox"/>	2.50		88	1	1.5	1000	\$ 69,950	16,109	\$ 270,708	0.102	0.00	254,416	8,760
<input checked="" type="checkbox"/>			88			1000	\$ 60,000	17,129	\$ 273,464	0.103	0.00	254,416	8,760
<input checked="" type="checkbox"/>	2.50	1	88		1.5	1000	\$ 76,500	16,043	\$ 276,432	0.105	0.00	254,416	8,760
<input checked="" type="checkbox"/>			88	1	1.5	1000	\$ 62,450	17,188	\$ 276,650	0.105	0.00	254,416	8,760
<input checked="" type="checkbox"/>	2.50	1	88	1	1.5	1000	\$ 76,950	16,065	\$ 277,158	0.105	0.00	254,416	8,760
<input checked="" type="checkbox"/>		1	88		1.5	1000	\$ 69,000	17,098	\$ 282,079	0.107	0.00	254,416	8,760
<input checked="" type="checkbox"/>		1	88	1	1.5	1000	\$ 69,450	17,120	\$ 282,806	0.107	0.00	254,416	8,760
<input checked="" type="checkbox"/>	2.50				1.5	1000	\$ 9,500	78,692	\$ 990,180	0.375	0.02		
<input checked="" type="checkbox"/>	2.50			1	1.5	1000	\$ 9,950	78,714	\$ 990,906	0.375	0.02		
<input checked="" type="checkbox"/>						1000	\$ 0	79,734	\$ 993,662	0.376	0.00		
<input checked="" type="checkbox"/>	2.50	1			1.5	1000	\$ 16,500	78,648	\$ 996,630	0.377	0.02		
<input checked="" type="checkbox"/>				1	1.5	1000	\$ 2,450	79,793	\$ 996,848	0.377	0.00		
<input checked="" type="checkbox"/>	2.50	1		1	1.5	1000	\$ 16,950	78,670	\$ 997,356	0.377	0.02		
<input checked="" type="checkbox"/>		1			1.5	1000	\$ 9,000	79,703	\$ 1,002,277	0.379	0.00		
<input checked="" type="checkbox"/>		1		1	1.5	1000	\$ 9,450	79,725	\$ 1,003,003	0.380	0.00		

Fonte:próprio Autor a partir da HOMER Energy

Figura 56 – Análise de sensibilidade no HOMER



Fonte: próprio Autor a partir da HOMER Energy

Na análise de sensibilidade verificam-se as situações que são viáveis na utilização da GD com relação ao custo do etanol e o custo dos painéis fotovoltaicos. O eixo x corresponde ao preço do etanol em Reais (no HOMER os dados são representados na moeda que se deseja, no nosso caso o Real) e o eixo y corresponde ao percentual do valor total do painel fotovoltaico na escala de 0 a 1, sendo 1 o valor integral.

A partir do gráfico nota-se que a utilização de gerador a etanol torna-se viável quando o valor do litro do etanol é inferior a R\$ 1,50 (um Real e cinquenta Centavos). No caso da instalação dos painéis fotovoltaicos a sua instalação passa a ser viável economicamente quando o valor do painel é inferior a 75% do valor atual.

Os dados auxiliam no processo de implementação da GD, para verificar quais as fontes são viáveis para o estudo de caso. É importante salientar que o software não realizará todo o trabalho é apenas um instrumento de auxílio. Através do fluxograma descrito anteriormente, focado nos objetivos estabelecidos, a análise de sensibilidade torna-se criteriosa do ponto de vista técnico e econômico.

Nesta simulação, como não foram inseridos valores de área disponível para alocação dos equipamentos no HOMER, ele sugere que o espaço para instalação de alguns componentes pode ser insuficiente. A análise de sensibilidade auxilia a verificar valores limites onde haja viabilidade de utilização de um determinado equipamento. Por exemplo, em uma determinada simulação a análise de sensibilidade pode nos mostrar que a utilização de aerogeradores é viável somente se o seu custo cair a 56% do valor atual. Dessa forma, quanto maior a quantidade de dados mais complexa fica a simulação, e conseqüentemente são necessários sistemas computacionais com um maior poder de processamento. Para tanto é necessário que haja uma ponderação entre a quantidade de dados para a análise de sensibilidade e o tempo que será gasto para o processamento da simulação.

