

Metodologia para Análise Técnica e Econômica de Geração Distribuída Aplicada em Microrrede da Universidade Federal de Santa Maria

Max Henrique G. Braunstein
Universidade Federal de Santa
Maria, Brasil
max.henrique@gmail.com

Humberto de Oliveira Trindade
Universidade Federal de Santa
Maria, Brasil
humbertotrindade@ibest.com.br

Mauricio Sperandio
Universidade Federal de Santa
Maria, Brasil
sperandio.m@gmail.com

Resumo — Esse trabalho apresenta uma metodologia para analisar a viabilidade da geração distribuída usando o conceito de microrredes em Universidades. O estudo almeja considerar a possibilidade de usar recursos alternativos naturais como etanol, biomassa e painel fotovoltaico para minimizar os custos com eletricidade. O modelo foi desenvolvido em ambiente computacional usando o software Homer que auxilia na análise, evidenciando o valor corrente do custo da implementação, operação e manutenção. Para esse caso de estudo, a Universidade Federal de Santa Maria foi analisada. Foi possível trazer soluções que reduziram 42% da energia comprada, usando fontes renováveis produzidas na própria instituição. Conseguimos também reduzir a demanda contratada em 33% durante o pico de carga. A metodologia desenvolvida pode ser aplicada em outras Universidades.

Palavras Chaves — Geração Distribuída; Fontes renováveis; Energia alternativa; Microrredes.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas convencionais de geração de energia enfrentam a depleção de recursos fósseis, energia pouco eficiente e a poluição ambiental. A maior parte da geração de energia elétrica no Brasil é proveniente de hidroelétricas, conforme [1], correspondendo a 68,6% da geração em 2013. Essa geração de energia é proveniente de fonte limpa, porém torna-se um problema em períodos de escassez de chuvas forçando a utilização de termoeletricas que elevam o custo da geração.

Dentro desse cenário, a utilização de Geração Distribuída (GD) associada à utilização de fontes alternativas de energias como geração eólica, fotovoltaica e pequenas centrais hidroelétricas é uma estratégia para solucionar esses problemas [2-4]. Dentre as vantagens de implementação de GD temos a minimização de perdas por quedas de tensão [4], redução de investimento em linhas de transmissão e redução de custos com energia. Falcao [5] apresenta um método de otimização de alocação e dimensionamento de GD com a finalidade de maximizar a relação custo/benefício. Microrredes são de pequena escala; um conjunto de GD e

cargas interconectados, geralmente a base de energias renováveis [2].

Em trabalhos como o de Dongmei [3], Khan [6], Yanhua [7] é utilizado o software Homer para auxiliar no processo de análise com relação às vantagens técnicas e econômicas de implementação de uma GD. Este trabalho apresenta uma metodologia para implementação de uma GD em universidades explorando o conceito de microrredes.

II. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para implementação de GD em universidades abordando o conceito de microrredes visando a utilização de fontes renováveis.

Para isso, é necessária uma planta contendo a definição do local que será atendido bem como o estudo prévio do mesmo. Nesse estudo deve constar as características técnicas, horários de funcionamento, tipos de atividades e as consequências que a falta de energia pode acarretar.

A partir da definição da aplicabilidade da microrrede para desenvolvimento da metodologia necessitamos ter em mente qual o objetivo principal desta implementação. Podemos ter como exemplo de objetivos: suprir a demanda total ou parcial, 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 ser *ongrid* (conectado à rede), *offgrid* (desconectado à rede) ou um sistema misto.

A próxima etapa é o levantamento da curva de carga da planta ao longo do ano. No sistema misto, é necessária a separação destas curvas, definindo o que ficará conectado a rede da concessionária de energia local e o que será atendido pelo sistema *offgrid*. 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. Nesta etapa de análise são explorados estes recursos da melhor maneira possível a fim de utilizá-los adequadamente. Um exemplo interessante 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, 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 (PV). Não podemos descartar a hipótese de se utilizar fontes complementares e sistemas de armazenamento simultaneamente em um mesmo sistema. No sistema conectado a rede, o próprio fornecimento de energia da concessionária já realiza essa complementação, no sistema ilhado é imprescindível a utilização de um banco de baterias 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 deixar o sistema *ongrid*, como, por exemplo, em uma ilha remota, e esgotados os recursos, tem-se que cortar carga. Em um sistema misto 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 *offgrid* neste sistema.

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

Na microrrede, dependendo das fontes adotadas, inevitavelmente teremos 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 necessitemos de baterias, assim, também utilizaremos controladores de carga. Devemos verificar os equipamentos de conexão da microrrede que auxiliarão na proteção e conversão dos diferentes níveis de tensão e frequência.

Após verificarmos todas as questões anteriores, os dados devem ser analisados buscando a otimização dos resultados. Serão avaliadas quais as melhores situações que são satisfatórias para o sistema, sobre o ponto de vista técnico e econômico. Se os resultados forem satisfatórios podemos implementar a microrrede. Se os resultados não forem satisfatórios, questiona-se se ainda há possibilidade dos

objetivos traçados no início da análise serem atendidos. Tendo a resposta afirmativa para esta questão, vamos rever o tipo de conexão, se é a 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 rever os objetivos, pois talvez a implementação da microrrede seja inviável do ponto de vista técnico e/ ou econômico. A Fig. 1 ilustra o fluxograma descrito anteriormente.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A nossa análise baseia-se no Campus Universitário da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). A área da UFSM chega a 1.128,6 hectares, abrigando uma grande diversidade de cursos, moradia estudantil, área de experimentos agrícolas, laboratórios de diversos tipos e edificações administrativas.

Foi analisado o consumo de energia elétrica do ano de 2014, sendo utilizados os valores médios do consumo a fim de que o projeto atenda a demanda média do consumidor. O sistema tarifário atual contratado é com valores diferenciados para o horário de ponta e fora da ponta e contratação da respectiva demanda máxima nestes horários. O horário de

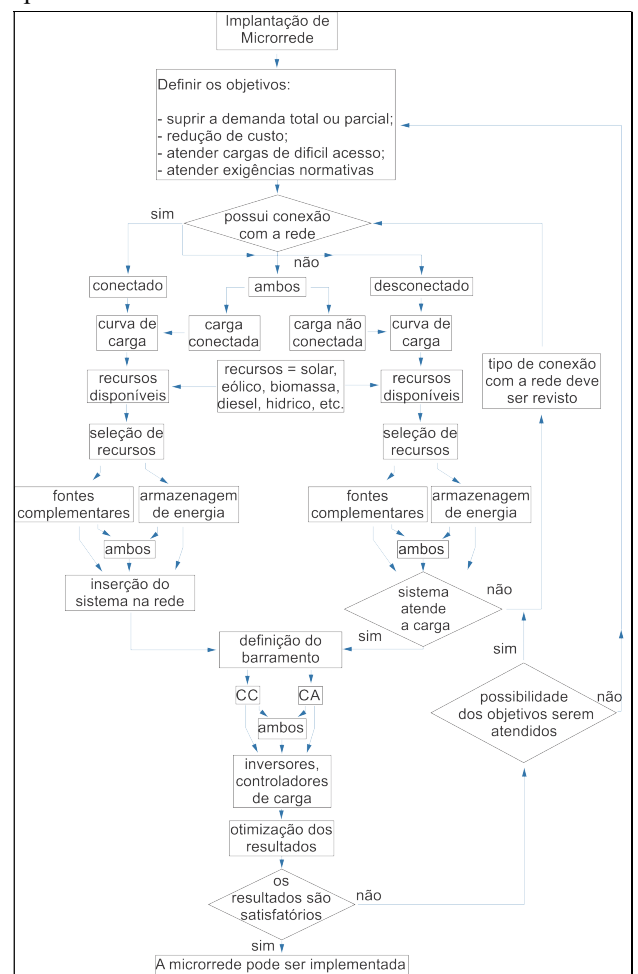


Fig. 1. Fluxograma para implantação de uma Microrrede.

ponta é composto por um período de três horas consecutivas entre às 17:00 e 22:00, incluindo feriados e excluindo sábados e domingos. O fornecimento de energia da UFSM é em 13,8 kV. Na Tabela I temos valores de tarifa.

A microrrede estará conectada à concessionária de energia local, desta forma a parcela da demanda que não for atendida pelas fontes in loco será atendida pelo sistema da concessionária de energia local. O estudo foi 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, será utilizado o software HOMER para auxiliar nessa análise.

As cargas da instituição são variadas abrangendo computadores, residências (Moradia Estudantil), climatizadores, equipamentos de laboratórios e demais equipamentos específicos. A Fig. 2 mostra a curva de carga da UFSM.

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, período de grande calor no Rio Grande do Sul. 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.

Na UFSM temos suinocultura, que pode chegar a ter até 300 animais, para atendimento dos cursos da própria instituição em ensino e pesquisa. Além da suinocultura, a UFSM possui uma usina piloto de etanol baseando sua produção em bebida alcoólica apreendida pela Polícia Federal e de fontes sacarídeas. Por esses fatores optamos em utilizar fontes de energia baseado em biomassa e etanol, uma vez que teremos o custo de combustível bastante reduzido. Foram considerados como R\$ 0.80 o litro do etanol e R\$ 200.00 a tonelada de biomassa.

Neste trabalho foram utilizados o painel fotovoltaico WSolar 130 W, geradores a etanol e biomassa de 500 kW, 170 kW e 55 kW. A Fig. 3 mostra a microrrede adotada para a UFSM no Homer.

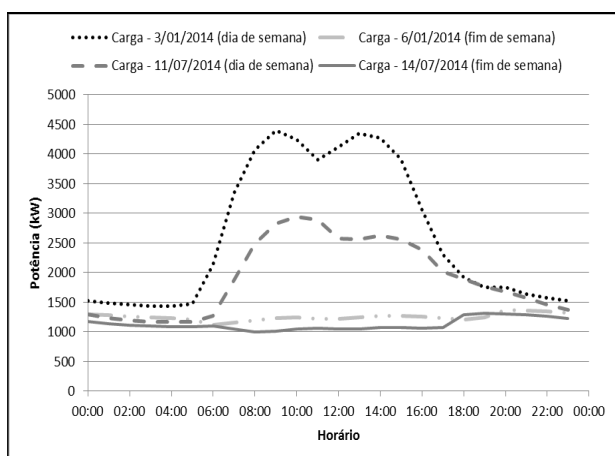


Fig. 2. Curvas de carga da UFSM.

TABELA I
TARIFAS DA CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA

tensão do fornecimento	13.8 kV	69 kV
kWh ponta (R\$)	0.31628	0.31232
kWh fora ponta (R\$)	0.19912	0.19516
kW ponta (R\$)	19,47	6.21
kW fora ponta (R\$)	12,72	5.56
ultrapassagem kW ponta (R\$)	38,94	12.42
ultrapassagem kW fora ponta (R\$)	25,44	11.12

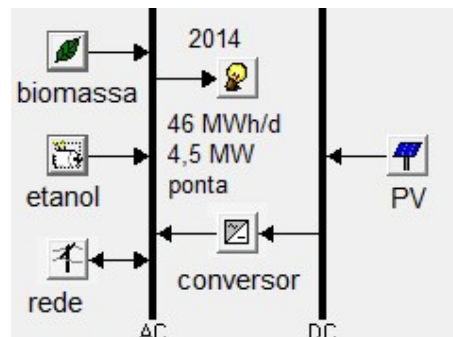


Fig. 3. Microrrede da UFSM.

Na UFSM temos uma área disponível de 129.813 m² em telhados. Foram realizadas duas análises: uma considerando a área total disponível em telhados para instalação dos painéis fotovoltaicos, onde teríamos 9.9 MW, pois além de suprir a demanda da UFSM, poderíamos compensar os gastos dos dias com pouca irradiação solar bem como a noite, retornando o excedente produzido para a concessionária de energia local.

Dessa forma, classificando o sistema analisado como minigeração de acordo com a Resolução Normativa 482/12 da ANEEL e se beneficiar de incentivos como o de não termos custos com a transmissão de energia. O sistema de PV ficou reduzido à potência instalada de 4,03 MW.

Foram obtidos como melhores resultados da simulação os dados contidos na Tabela II. Verificamos que a configuração utilizando painéis fotovoltaicos biomassa e etanol em conjunto com a rede é a mais vantajosa, por apresentar menor custo de operação e menor custo de energia apesar do investimento inicial ser um pouco maior.

Para fins de análise, será considerada a primeira configuração da Tabela II, onde são utilizadas todas as fontes propostas (PV de 4,03 MW, Biomassa de 252 kW e Etanol de 910 kW) e é o sistema mais vantajoso. O rendimento do painel fotovoltaico é de 10% e dos demais equipamentos 75%. A Tabela III mostra a proporção de energia produzida na GD e a energia que é necessária comprar da rede. Temos ainda uma pequena quantidade de energia que é produzida nos PV em horário de pico de irradiação solar que pode ser vendida para a concessionária. Este excedente corresponde a 9% do total da energia gerada por PV.

O gráfico da Fig. 4 mostra a curva de carga da UFSM e a energia comprada da rede no período de uma semana, verifica-se uma diminuição significativa do consumo de energia. Verificamos que 42% da energia que é consumida pela Universidade pode ser gerada na própria instituição. Os picos de maior geração de energia dos dias 2 e 3 de janeiro devem-se a maior irradiação solar.

Foi observado que o software de simulação utiliza os geradores a etanol e a biomassa sem uma determinação específica de horário ou combinação com a geração por PV para otimizar o consumo de demanda contratada. Visando analisar a possibilidade de redução de contratação de demanda em horário de ponta e fora ponta, foram criados dois cenários, onde forçamos a geração por etanol e biomassa nos horários de ponta e no horário fora ponta. A Fig. 5 mostra os geradores a etanol e a biomassa funcionando das 5:00 pm às 10:00 pm. Na Fig. 6 temos os geradores funcionando das 7:00 am às 5:00 pm. Como a análise é para redução da demanda, não foi considerada a energia proveniente de PV, por não podermos ter uma geração mínima estabelecida por essa fonte. Tratando-se de uma instituição pública sua maior demanda é em dias de semana, o que fica evidente nos gráficos das Fig. 4, 5 e 6.

TABELA II
RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Configuração	Investimento (R\$)	Custo de Operação (R\$)	Custo Presente Líquido (R\$)	Custo Médio da Energia (R\$/kWh)
Grid/PV/Biomassa/Etanol	15.937.893	4.406.524	63.117.614	0.354
Grid/PV	15.721.638	4.577.657	64.707.768	0.363
Grid	0	6.425.012	68.585.568	0.385

TABELA III
PROPORÇÃO DE ENERGIA PRODUZIDA E CONSUMIDA DA REDE

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

Primeiramente para análise, a demanda foi reajustada para o ponto ótimo de contratação, onde chegamos nos valores de 2,55 MW no horário de ponta e 4,5 MW no horário fora ponta. Devemos observar que é fácil fazer uma análise retroativa de demanda uma vez que já foi utilizada. A Fig 7 ilustra a proporção de energia comprada e gerada pela UFSM. Dessa energia gerada temos a fornecida por PV e por não se adotar a utilização de sistemas de armazenamento de energia, nos períodos excedentes de geração a mesma é repassada para a concessionária, conforme mostra a Fig. 8.

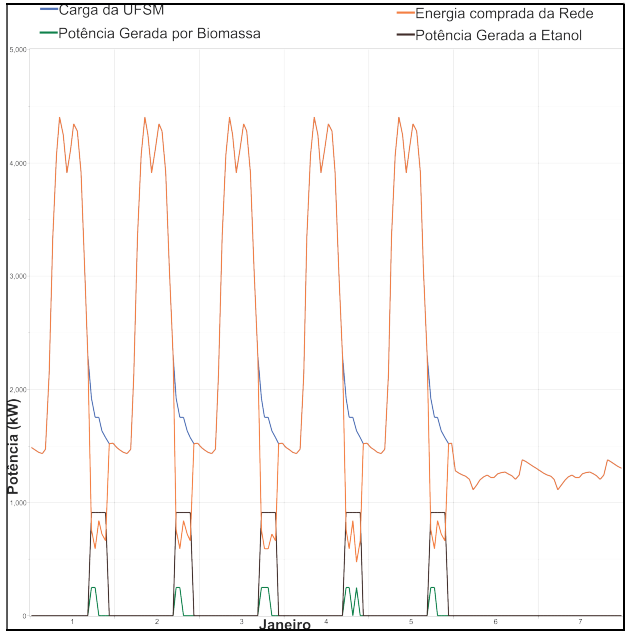


Fig. 5. Curva de carga e fontes trabalhando no período de ponta

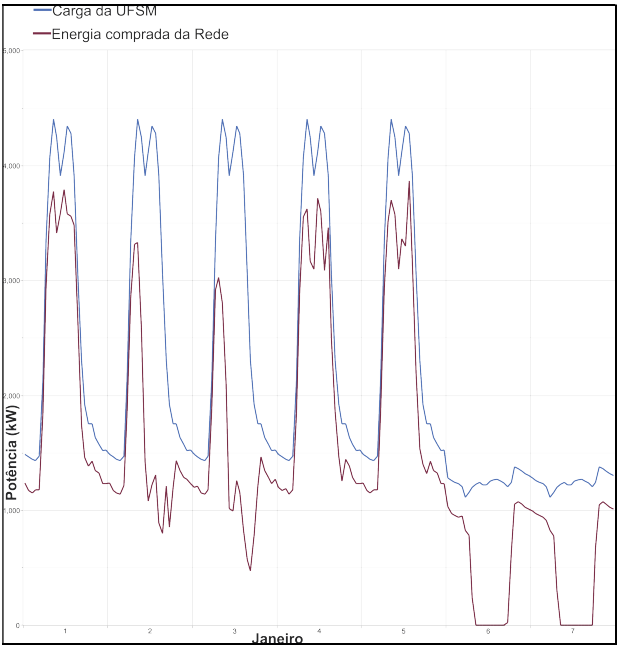


Fig. 4. Curva de carga da UFSM e energia comprada da rede.

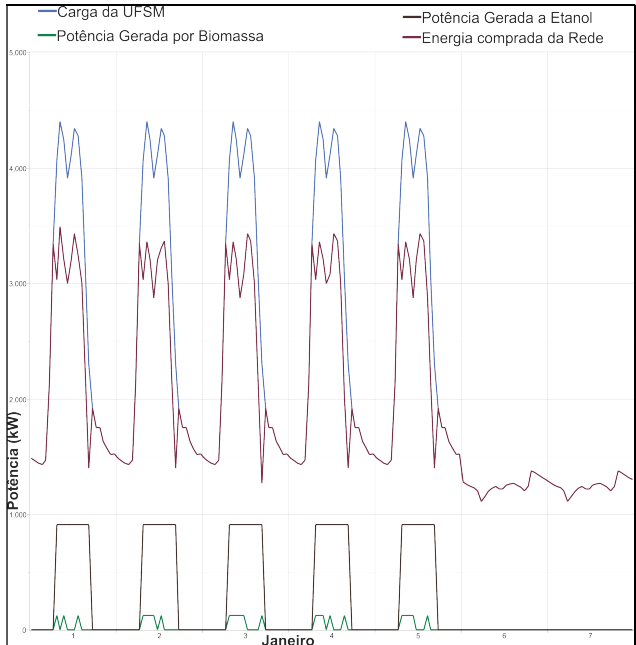


Fig. 6. Curva de carga e fontes trabalhando no período de fora ponta

IV. CONCLUSÕES

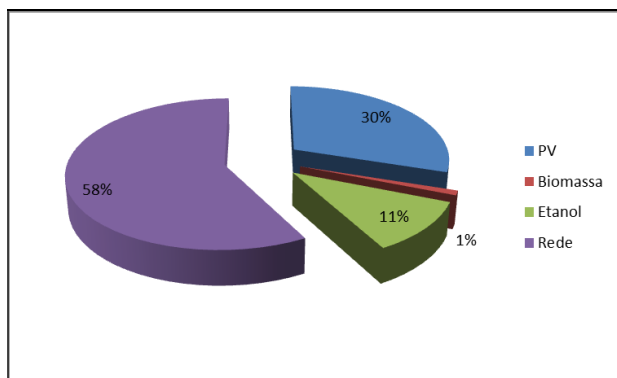


Fig. 7. Proporção de energia gerada e comprada da rede

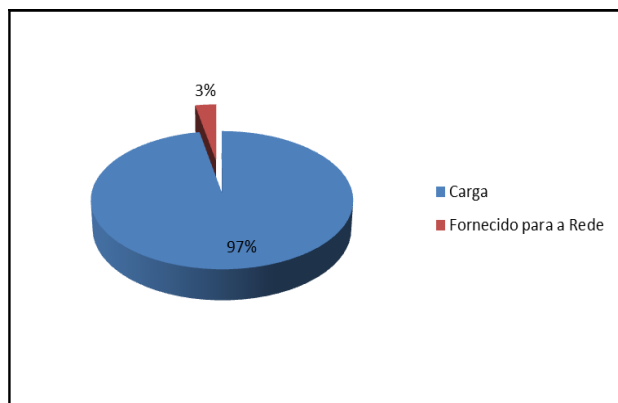


Fig. 8. Proporção de energia gerada pela UFSM que é consumida e fornecida para a rede

Verificando as Fig. 5 e 6 vemos a redução de demanda contratada em diferentes horários, devido à utilização forçada dos geradores à etanol e biomassa. A Fig. 9 mostra o percentual de redução de consumo apenas reduzindo a contratação de demanda, conforme mostram as Fig. 5 e 6.

Dessa forma, observamos que foi possível uma redução significativa na demanda contratada nas duas análises (13,8 kV e 69 kV). Apesar do maior consumo da instituição ser em horário fora ponta, economicamente é viável a utilização dos geradores em horário de ponta. Esse fato deve-se pelo custo da tarifa de horário de ponta ser maior que fora ponta.

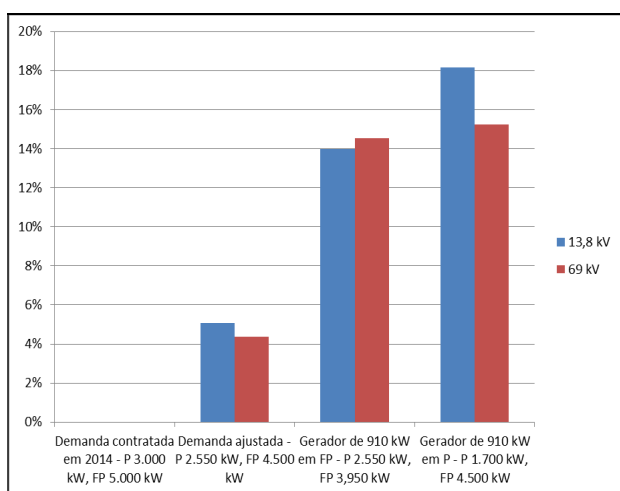


Fig. 9. Possibilidades de redução de demanda contratada

A utilização de GD tende a aumentar por se tornar 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.

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 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.

O tempo de retorno do investimento é de 8 anos, onde são levados em consideração os custos de manutenção. A análise de 25 anos é baseada no período que os fabricantes de painéis fotovoltaicos garantem que os mesmos possam gerar com pelo menos 80% da sua potência (de 130 Wp para 104 Wp, por célula). Os demais equipamentos tem durabilidade diferenciada, não sendo o foco da análise feita. Temos a viabilidade da implementação, por uma redução de consumo de energia elétrica e redução de contratação de demanda. Dessa maneira, ainda é garantido que o custo de kWh da energia fica R\$ 0,354, ou seja, mais barato que o pago a concessionária de energia (ver Tabela II).

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.

Apesar do fornecimento de energia elétrica da UFSM ser em 13,8 kV – Azul Horária A4, já temos estudo para enquadrar o recebimento de energia para 69 kV – Azul Horária A3, aproveitando da redução de custos devido ao novo enquadramento. Por essa razão, torna-se viável uma análise nessas duas classes de tensão.

A análise da utilização de fontes renováveis associada à análise de demanda contratada, utilização consciente de energia elétrica e soluções de equipamentos com menor consumo é uma possibilidade de trabalho. Dessa forma teríamos o panorama ideal.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. d. P. Energética, "Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014," ed. Rio de Janeiro, 2014.
- [2] S. P. C. a. P. C. S. Chowdhury, *Microgrids and Active Distribution Networks*. Herts: IET, 2009.
- [3] Z. Dongmei, L. Yafei, and L. Yanhua, "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.
- [4] P. Chiradeja, "Benefit of Distributed Generation: A Line Loss Reduction Analysis," in *2005 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, 2005, pp. 1-5.
- [5] D. M. Falcao, G. N. Taranto, and C. C. O. Hincapie, "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.
- [6] M. R. B. Khan, R. Jidin, J. Pasupuleti, and S. A. Shaaya, "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.
- [7] L. Yanhua, L. Yafei, and Z. Dongmei, "Research on influencing factors of distributed generation system," in *Electricity Distribution (CICED), 2014 China International Conference on*, 2014, pp. 1357-1362.