Análise comparativa da viabilidade ecônomica de sistemas fotovoltaicos e eólicos para microgeração

https://doi.org/10.56238/levv15n40-034

Hugo Lima Moreira
E-mail: hugolimabr@yahoo.com.br

Carlos Alberto de Miranda Pinheiro
E-mail: Prof.mirandapinheiro@gmail.com

Edilan Silva de Sena
E-mail: edilan.sdesena@aluno.uepa.br

RESUMO
O presente trabalho apresenta um estudo comparativo de análise de viabilidade econômica e critério de decisão para escolha de sistemas de microgeração distribuída de energia elétrica entre sistemas fotovoltaicos e aerogeradores, baseada entre os métodos do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR), e do Custo Anual Equivalente (CAE). Sabe-se que hoje o montante financeiro de investimento em sistemas de microgeração distribuída é considerado de grande monta e se não for bem avaliado, o projeto pode ter índices de retorno de capital comprometidos. Portanto, são mostrados os critérios de seleção nas oportunidades de investimento dentro das opções de geração de energia elétrica entre os dois sistemas mencionados. Vários cenários econômicos são estudados para determinar qual opção é mais viável entre a geração fotovoltaica e a de aerogeradores para uma potência de até 5MW, o que caracteriza microgeração distribuída, segundo a Resolução Normativa da ANEEL 687/2015.

Palavras-chave: Fotovoltaico, Aerogeradores, Viabilidade Econômica.

1 INTRODUÇÃO

O Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através de seu caderno temático caracteriza geração distribuída como sendo a instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica. De forma geral, a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada e a diversificação da matriz energética. A microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto a minigeração distribuída diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW), para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes, (ANNEL, 2016).

A predominância de fontes renováveis na matriz energética brasileira deve se manter estável no ano de 2017, com a participação de 43,8% do total. O desempenho reflete as transformações ocorridas no setor energético nacional, que tem incentivado tanto o crescimento dessas fontes quanto a diversificação da matriz nos últimos anos. Os dados constam no Boletim Mensal de Energia – Janeiro de 2017, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia.

De acordo com a ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, entidade que representa o setor de energia solar fotovoltaica no país, existe uma grande expectativa de que o Brasil alcance ainda este ano a marca de 1GW em capacidade instalada em usinas fotovoltaicas de energia solar número registrado em pouco mais de vinte países. As expectativas poderiam ser ainda maiores, uma vez que leilões de energia solar realizados pelo país desde 2014 previam quase 2 GW em operação até agosto de 2017. Apesar dos contratempos, o país tem muito futuro investindo em energia solar. Além do crescimento por meio das grandes usinas, o potencial do Brasil para a instalação de placa solares em telhados vem ganhando destaque no mercado, segmento em que o número de adeptos disparou, com alta de mais de 300% em 2016. Em 2017 é esperado um crescimento ainda maior devido à queda do preço dos equipamentos.

O valor de um projeto depende da sua capacidade de gerar fluxos de caixa futuros, ou seja, do seu potencial de gerar renda econômica. Assim, as alternativas de investimento podem ser comparadas apenas se as consequências monetárias forem medidas em um ponto comum no tempo, e, uma vez que as operações de investimento ou financiamento se caracterizam por um espaçamento dos fluxos de caixa ao longo do tempo, os critérios de avaliação econômica devem considerar sua atualização. Dentre os critérios de decisão na análise e avaliação de investimentos de capital serão comparados os resultados dos métodos Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e do Custo Anual Equivalente (CAE).

Através da regulamentação pelo PRODIST (Módulo 3) e posteriormente pelas Resoluções ANEEL 487/2012 e 687/2015, e das subsequentes normas técnicas das concessionárias de energia em dezembro de 2012, regularizando a conexão de clientes de Micro e Minigeração distribuída dentro dos sistemas de compensação de energia, é esperado uma crescente difusão da geração fotovoltaica no Brasil.

2 METODOLOGIA

Serão apresentados os conceitos fundamentais de cada método atuariais utilizado neste trabalho, aceitos para medir a rentabilidade e em seguida será feita a análise da viabilidade econômica das alternativas de investimento. Em análise de investimentos alternativos em projetos, deve-se ter em mente que sempre há uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que servirá de referência para tomada de decisão. Essa taxa corresponde à taxa de juro disponível no mercado financeiro e é o que se deseja ganhar no mínimo ao fazer um investimento. O problema é que não existe uma fórmula para o cálculo da TMA, no entanto, alguns critérios devem ser analisados (Riba et al, 2012): rentabilidade, grau de risco e segurança da aplicação, liquidez, cenário local do investimento (estabilidade política e econômica) e inflação.

Dessa forma, uma TMA que pode ser utilizada é o rendimento da IPCA (Índice de Preço ao Consumidor). No entanto, se deve lembrar que a TMA depende do setor que se está trabalhando e do risco associado. Logo, para que qualquer investimento seja atrativo deve ter rendimento superior à taxa de referência escolhida, senão, além de estar perdendo, haveria a preocupação com riscos desnecessários (compra, transporte, instalação e manutenção). A TMA é a alma de qualquer análise de investimento, então se considerará nesse trabalho a TMA de i*=6,28% ao ano, que é taxa do IPCA acumulada em 2023.

2.1 MÉTODO DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O método do valor presente líquido (VPL) tem como finalidade calcular em termos de valor presente, o impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimento. Ou seja, ele mede o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo da sua vida útil. Se não houver restrição de capital, argumenta-se que esse critério leva à escolha ótima, pois maximiza o valor do projeto (Samanez, 2010). A Eq. (1) mostra a expressão que define o VPL, onde o critério de decisão será VPL > 0 $\Rightarrow$ projeto economicamente viável.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (1)$$

O FC_t representa o fluxo de caixa no t-ésimo período, I o investimento inicial, k é o custo de capital, e o símbolo ∑, somatório, indica que deve ser realizada a soma da data 1 até a data n dos fluxos de caixa descontados ao período inicial. A regra decisória a ser seguida ao aplicar o VPL é: empreenda o projeto se o VPL for positivo.

O objetivo do VPL é encontrar alternativas de investimento que valham mais do que custam para os patrocinadores, alternativas que tenham um valor presente líquido positivo.

2.2 MÉTODO DA TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

O método da taxa interna de retorno (TIR) não tem como finalidade a avaliação da rentabilidade absoluta a determinado custo de capital (processo de atualização), como o VPL; mas objetiva encontrar uma taxa intrínseca de rendimento. Por definição a TIR é uma taxa de retorno do investimento (Samanez, 2010). Matematicamente, a TIR é uma taxa hipotética que anula o VPL, ou seja, é aquele valor de i* que satisfaz a seguinte equação:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+k)^t} = 0 \quad (2)$$

O critério de decisão: se i* > k ⇒ projeto economicamente viável. A regra decisória a ser seguida no método da TIR é empreender no projeto de investimento se a TIR exceder o custo de oportunidade do capital. Essencialmente, o método pergunta: A taxa de retorno esperada sobre o projeto de investimento excede a taxa de retorno requerida? O projeto criará valor? A princípio parece a mesma coisa que a regra do VPL, mas, isso nem sempre é verdadeiro.

2.3 MÉTODO DA ANUIDADE UNIFORME EQUIVALENTE (AUE)

Para se comparar alternativas distintas de aplicação de capital de projetos diferentes, é necessário que tais alternativas sejam comparáveis. Assim sendo, o estudo sobre investimento deverá ser realizado dentro de um horizonte de planejamento uniforme para que os projetos possam ser objeto de comparação. Embora seja uma ferramenta útil para avaliar alternativas de investimento, o VPL não responde a todas as perguntas sobre a vantagem econômica de uma alternativa em relação à outra que tenha duração prevista diferente, como é caso das alternativas aqui estudadas.

O método consiste em igualar os horizontes econômicos em alguma data futura, correspondente ao mínimo múltiplo comum dos prazos das alternativas. Esse procedimento chama-se regra da cadeia. Porém, quando se tem alternativas muito duradoras, como é o caso de painéis fotovoltaicos (25 anos) e aerogeradores (15 anos), um método alternativo e mais prático é o da anuidade uniforme equivalente (AUE). Esse indicador mostra de que modo a renda econômica gerada pelo projeto seria distribuída se tal distribuição fosse equitativa para cada ano, o que equivale a repartir o VPL ao longo da vida útil do

projeto, transformando-o em uma série uniforme equivalente, que pode ser legitimamente comparada entre projetos de duração diferente.

A anuidade equivalente pode ser calculada pela relação do Valor Presente Líquido (VPL) e o fator de valor presente de série uniforme ($a_{n,k\%}$), ou seja:

$$AE = \frac{VPL}{a_{n,k\%}} = \frac{VPL}{\left[\frac{(1+k)^n - 1}{(1+k)^n \times k}\right]} \quad (3)$$

Onde: $\alpha_{n,k\%}$ = fator de valor presente de série uniforme;

k = custo do capital; e

n = prazo da alternativa.

Escolhe-se a alternativa que cria mais valor por unidade de tempo. O método da anuidade equivalente não repete explicitamente as alternativas como o processo de substituições sucessivas, mas o faz implicitamente. Ou seja, o método supõe que as alternativas serão substituídas por outras idênticas ao término de seu prazo. Essa suposição pode ser razoável, e terá alguma consistência, se a dinâmica das mudanças tecnológicas do equipamento for lenta e as demais condições forem satisfeitas (Samanez, 2010).

2.4 MÉTODO DO CUSTO ANUAL EQUIVALENTE (CAE)

Em determinados projetos, os benefícios ou receitas dificilmente podem ser qualificados em termos monetários, entretanto, os custos podem sê-lo. Se existirem alternativas que produzam o mesmo serviço, qualificável ou não, mas a custo diferente, a receita ou o benefício pode ser conhecido, uma vez que, como é um fator comum a todas as alternativas, será irrelevante em uma análise incremental. Assim, nesses casos, bastaria conhecer os custos das alternativas e selecionar, aquela com os menores custos anualizados.

Muitas vezes, em problemas de engenharia econômica, é mais fácil determinar os fluxos de custos do que das receitas. Como no nosso exemplo, se o problema é selecionar entre os dois sistemas de microgeração distribuída, fotovoltaico ou aerogeradores, será mais fácil levantar os custos do quilowatt/hora do que estimar receitas.

O custo anual equivalente (CAE) é basicamente um rateio uniforme, por unidade de tempo, dos custos de investimento, de oportunidade e operacionais, das alternativas. Quando se tem a oportunidade de comparar alternativas tecnológicas, se leva em conta o investimento inicial, o tempo de vida útil e o custo de capital. O custo anual equivalente é relação entre o investimento no equipamento ou projeto e o fator de valor presente de série uniforme.

$$CAE = \frac{I}{a_{n,k\%}} = \frac{I}{\left[\frac{(1+k)^n - 1}{(1+k)^n \times k}\right]} \quad (4)$$

Onde: I = Investimento;

$a_{n,k\%}$ = fator de valor presente de série uniforme;

k = custo do capital; e **n** = prazo da alternativa.

2.5 MÉTODO PAYBACK DESCONTADO (PB)

Muitas vezes precisamos saber o tempo de recuperação de um investimento, ou seja, quantos anos decorrerão até que o valor presente dos fluxos de caixa previstos se iguale ao investimento inicial. Se I representa o investimento inicial, FC_t o fluxo de caixa no período t e k o custo do capital, o método payback consiste em determinar o valor de T e k na equação abaixo:

$$I = \sum_{t=1}^{T} \frac{FC_t}{(1+i^*)^t} = \frac{FC_1}{(1+k)^1} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \ldots + \frac{FC_T}{(1+k)^T} \quad (5)$$

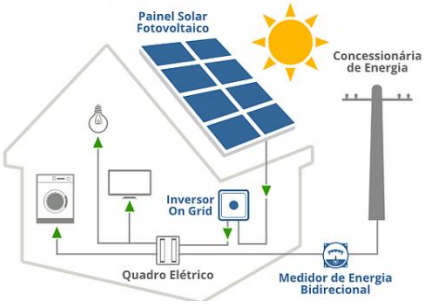
Esse indicador é usado em conjunto com os métodos VPL ou TIR para a tomada de decisão.

2.6 SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Um "Sistema Solar Fotovoltaico" diz respeito a um gerador de eletricidade cuja fonte primária de energia é a radiação solar. Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados como isolado, híbrido e conectado à rede elétrica. Este último é o objeto da nossa pesquisa, já que são interligados à rede da concessionária de energia, não necessitam de armazenamento de energia, pois a energia não consumida é entregue ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectado, sendo que a rede atua como uma grande bateria virtual. Todo arranjo é ligado em inversores de frequência e, em seguida, ligado na rede, conforme mostra a Fig. 1. Os inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada (Lopez, 2012).

Sistemas solares conectados à rede elétrica formam uma pequena usina cuja eletricidade pode ser utilizada pelo produtor ou outras instalações ligadas à rede, conforme determina as possibilidades elencadas na RES. ANEEL 687/2015. Esses sistemas tornam-se parte da rede elétrica interligada e quando há interrupções de energia pela concessionária, o sistema fotovoltaico é desligado por medidas de segurança, evitando a energização de uma rede em manutenção.

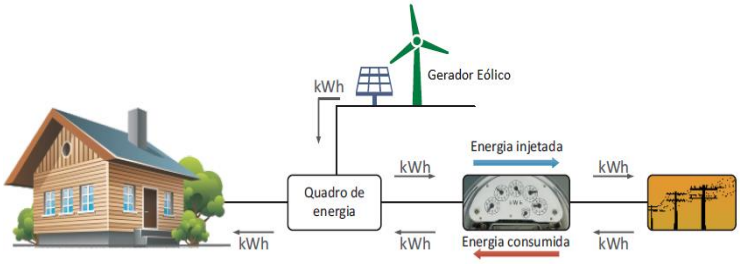
Figura 1 – Desenho esquemático do sistema fotovoltaico conectado à rede (Fonte: GreenSun, 2017).



2.7 SISTEMAS DE ENERGIA EÓLICA COM AEROGERADORES HORIZONTAIS

Os “Geradores Eólicos” são máquinas capazes de transformar a energia cinética dos ventos em energia elétrica. A energia cinética é convertida em energia mecânica rotacional pela turbina eólica. Essa energia mecânica é transmitida pelo eixo através de uma caixa de engrenagens ou diretamente ao gerador, que realiza a conversão eletro-mecânica, produzindo energia elétrica. A Fig. 2 mostra a configuração de um sistema híbrido, contemplando a inserção de um gerador eólico. A energia elétrica gerada pode ser injetada diretamente na rede elétrica convencional ou utilizada em sistemas isolados. Na composição do cálculo de investimento e custo nesta forma de energia se levam em conta diversos fatores, como a produção anual estimada, as taxas de juros, os custos de construção, de manutenção, de localização e os riscos de queda dos geradores. Sendo assim, os cálculos sobre o real custo de produção da energia eólica diferem muito, de acordo com a localização de cada usina.

Figura 2 – Desenho esquemático de um sistema híbrido com geração fotovoltaica e eólica (Fonte: ANEEL, 2016).



3 CUSTO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E EÓLICOS

3.1 CUSTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

O crescimento econômico brasileiro impõe uma demanda crescente de energia. A melhoria na qualidade de vida da população vem sendo alcançada com a evolução da renda de grande parte da população brasileira nos últimos anos, possibilitando o acesso às infraestruturas básicas como moradia, saneamento e transporte.

O preço da energia solar, a qual elimina a necessidade de complexos sistemas de transmissão e distribuição, é calculado e comparado com o valor pago pelos consumidores residenciais finais, ao invés de ser confrontado com o preço ofertado pela usina geradora. O custo de implantação da geração

solar pode chegar a 50 vezes o custo de uma pequena central hidrelétrica, entretanto o custo da energia gerada durante a vida útil do sistema, de aproximadamente 30 anos, mostra-se 10 vezes maior para sistemas isolados e 3 vezes maior para geração interligada à rede elétrica. Com a redução anual do custo dos sistemas solares e a valoração dos custos ambientais e sociais da geração centralizada, o sistema solar tende a se tornar economicamente competitivo em curto prazo (Shayani et al, 2006).

Shayani et al (2006), consideraram que os módulos dos sistemas fotovoltaicos invariavelmente têm um período de 25 (vinte e cinco) anos de garantia dado pelo fabricante, podendo-se acrescentar 5 (cinco) anos de vida útil, perfazendo um período de 30 (trinta) anos como expectativa de vida útil dos painéis fotovoltaicos. Os demais equipamentos do sistema fotovoltaico possuem aproximadamente os seguintes períodos de vida útil, conforme estimativa dos fabricantes: 5 anos para banco de baterias, quando o sistema é isolado, e 10 anos para controladores de carregamento e inversores de frequência. Assim, o custo de um sistema fotovoltaico durante 30 anos leva em consideração o valor inicial dos equipamentos e suas substituições ao final da vida útil: 1 × custo do painel solar, 2 × custo do inversor de frequência, 1 × custo do suporte (ferragens de sustentação), 2 × custo do quadro elétrico, 2 × custo do cabeamento e conectores. O preço de um sistema fotovoltaico de 2 kW_{Pico} é apresentado na tabela 10, cotado em outubro de 2017. A configuração selecionada é padrão e apresenta o melhor custo-benefício, pois a quantidade de painéis é dimensionada para aproveitar ao máximo a conversão de energia no inversor de frequência, reduzindo assim gastos por superdimensionamento. O custo deste sistema, para gerar energia para uma potência de 2,12 kWp, é apresentado na tabela 1. Vale ressaltar que não é levado em consideração o custo de instalação devido aos aspectos regionais difíceis de mensurar para cada região.

Tabela 1 – Custo de instalação de um sistema fotovoltaico de 2,12 kW_{Pico}*

Qtde	Item	Preço Unitário [R$]	Valor Total [R$]
8	Painel Fotovoltaicos, 265 Wp	624,00 (R$ 2,35/W)	4.992,00
1	Inversor de Frequência, 2140 W	5.034,00	5.034,00
1	Kit de Suporte para 8 painéis	1.678,00	1.678,00
1	Quadro Elétrico (Stringbox)	1.290,00	1.290,00
30	metros de Cabo Solar	4,00	120,00
2	Pares de Conectores MC4	23,80	47,60
	Valor Total: R$ 13.161,60		

*Valores coletados na internet no dia 25/10/2017.

Nota-se que este valor de R$ 13.161,60 para 2,12 kWp apresenta uma relação de 6,20 R$/W, o que corresponde a aproximadamente 4,47 US$/W, considerando o dólar do dia a R$ 3,24. Assim, o valor cotado se mostra abaixo do valor típico utilizado, isso se deve a produção em escala que os painéis fotovoltaicos estão sendo produzidos.

Como é esperada uma vida útil de 30 (trinta) anos para o sistema fotovoltaico, a tabela 2 mostra a estimativa de projeção para esse período.

Tabela 2 – Custo estimado do sistema Fotovoltaico para 30 anos

Qtde	Item	Custo [R$]
	1 × Painél	4.992,00
	2 × Inversor de Frequência	10.068,00
	1 × Kit de Suporte	1.678,00
	2 × Quadro Elétrico	2.580,00
	2 × Cabo Solar	240,00
	2 × Conectores	95,20
	Total: R$ 19.653,20	

Outro fator importante para se levar em consideração é a eficiência do sistema, composta por fatores externos e inerentes ao sistema, como por exemplo: sombreamento, sujeira, tolerância de potência, temperatura, cabeamento e conversão de energia. A média aceitável destas perdas é 50% (Tiba, 2000), assim pode-se recalcular a energia gerada por dia:

- Energia Gerada = Potência × Horas de Insolação/dia × Rendimento = 2,12 kW × 5 h × 0,50 = 5,3 kWh/dia.
- Em 30 anos essa energia corresponde à: 5,3 kWh/dia × 365 dias × 30 anos = 50.035 kWh = 50,035 MWh.
- Assim a relação custo total versus energia gerada será: R$ 13.161,60/50,035 MWh = 263,05 R$/MWh.
- Aplicando a mesma metodologia para diversas potências, obteve-se a o demonstrativo entre o custo monetário para a potência pretendida que é mostrada na tabela 3.

Tabela 3 – Demonstrativo do custo para diversas potências de Sistemas Fotovoltaicos*

Potência [kWp]	Custo Anual [R$]
2,12	13.161,60
2,92	15.719,02
3,12	20.509,00
3,38	21.609,55
4,77	29.181,64
5,83	34.647,51
6,89	40.278,63

*Valores coletados no dia 25/10/2023 na internet.

3.2 CUSTO DA ENERGIA EÓLICA

Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m² a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s (Lopez, 2012). No Brasil, o preço da energia eólica está cerca de R$ 99,58/MWh, ficando mais barato que a energia de termoelétricas a gás natural. No último leilão foi vendido mais de 1.900 MW, valor maior que o total de energia eólica instalado no país até o momento. Assim, a produção de energia eólica no país vai mais que dobrar até 2017, ano de conclusão dos projetos vendidos no leilão. A queda do preço do aço, importante para a produção das turbinas eólicas, pode

também servir de incentivo no curto prazo. Outro fator que tem propiciado esse forte crescimento é a consolidação de uma indústria especializada em geração eólica. Apesar de usar a tecnologia já consolidada nas gerações tradicionais, hidroelétrica e térmica, algumas adaptações devem ser feitas, pois a velocidade de rotação das turbinas é muito inferior a da geração tradicional, com a velocidade do vento variando na faixa de 5 a 25 m/s, para as alturas das turbinas hoje existentes.

Os sistemas ora estudados, fotovoltaico e eólico, tem a mesma configuração, diferenciando apenas com o acréscimo do aerogerador, conforme mostram as figuras 1 e 2, respectivamente. Assim, na precificação do segundo sistema serão considerados os mesmos preços dos sistemas fotovoltaicos substituindo apenas o custo dos painéis. Seguindo a mesma metodologia empregada no item anterior o sistema eólico pode ser precificado da seguinte forma:

Tabela 4 – Custo de instalação de um sistema Eólico de 2 kW_{Pico}*

Qtde	Item	Preço Unitário [R$]	Valor Total [R$]
1	Aerogerador, 2 kWp	10.290,00 (R$ 5,145/W)	10.290,00
1	Inversor de Frequência, 2140 W	5.034,00	5.034,00
1	Quadro Elétrico (Stringbox)	1.290,00	1.290,00
30	Metros de Cabo Solar	4,00	120,00
	Valor Total: R$ 16.734,00		

*Valores coletados na internet no dia 25/10/2023.

Verifica-se que o valor de R$ 16.734,00 para 2 kWp apresenta uma relação de 8,36 R$/W, o que corresponde a aproximadamente 3,80 US$/W, considerando o dólar do dia a R$ 3,24. Assim, o valor cotado encontra-se compatível com o valor típico utilizado.

Foi considerado que o aerogerador dos sistemas eólicos tem um período de 15 (quinze) anos de garantia dado pelo fabricante. Os demais equipamentos do sistema eólico são os mesmos do sistema fotovoltaico e foram considerados os mesmos períodos de vida útil, conforme estimativa dos fabricantes: 10 anos para controladores de carregamento e inversores de frequência. Assim, o custo do sistema eólico durante 15 anos leva em consideração o valor inicial dos equipamentos e suas substituições ao final da vida útil: 1 × custo do aerogerador, 1 × custo do inversor de frequência, 1 × custo do quadro elétrico, 1 × custo do cabeamento e conectores. O preço de um sistema fotovoltaico de 2 kW_{Pico} é apresentado na tabela 5, cotado em outubro de 2017. Como é esperada a vida útil de 15 (quinze) anos para o sistema eólico, a tabela 5 mostra a estimativa de projeção para esse período.

Tabela 5 – Custo estimado do sistema Eólico para 15 anos

Item	Custo [R$]
1 × Aerogerador	10.290,00
1 × Inversor de Frequência	5.034,00
1 × Quadro Elétrico	1.290,00
1 × Cabo Solar	120,00

Total: R$ 16.734,00

O máximo teórico que um aerogerador pode extrair é de 0.59 (i.e. não mais do que 59% da energia do vento pode ser extraída por um gerador eólico). Mas quando se juntam mais alguns requisitos de engenharia - principalmente força e durabilidade - os valores reais atingidos estão bastante abaixo do limite de Betz com valores entre os 0.35 - 0.45 a serem usados mesmo entre os mais bem desenhados aerogeradores. Se a isto juntarmos outras ineficiências de todo o sistema de um gerador eólico - o aerogerador, transmissão, inversor etc. - só cerca de 10-30% da energia eólica é convertida em energia eléctrica que se possa usar.

- Energia Gerada = Potência × Horas de Funcionamento/dia × Rendimento = 2 kW × 20 h × 0,30 = 12 kWh/dia.
- Em 15 anos essa energia corresponde à: 12 kWh/dia × 365 dias × 15 anos = 65.700 kWh = 65,7 MWh.
- Assim a relação custo total versus energia gerada será: R$ 16.734,00/65,7 MWh = 254,70 R$/MWh.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises procedimentais aplicadas em ambos os sistemas, fotovoltaico e eólico, versam sobre os diversos métodos e critérios para indicar qual sistema é mais rentável durante sua vida útil. O fluxo de caixa em cada ano diz respeito às doze faturas mensais que compõe o desembolso anual, o investimento em cada sistema se configura nos preços de mercado cobrados pelos mesmos. As análises foram feitas para potência de 2 kWp, investimento inicial de R$ 19.653,20 para o sistema fotovoltaico, R$ 16.734,00 para o sistema eólico conforme demostrado pela precificação no item anterior, aplicando uma inflação energética de 10% aa. Vale ressaltar que este percentual que foi admitido está aquém do percentual praticado pelas concessionárias de energia devido à aplicação das bandeiras tarifárias. A Tab. 6 mostra os dados simulados na plataforma EES (Engineering Equation Solver) para o Fluxo de Capital, VPL, TIR e AE para os dois sistemas tomando como dados de entrada os valores acima.

Tabela 6 – Dados obtidos de simulação em Plaforma EES

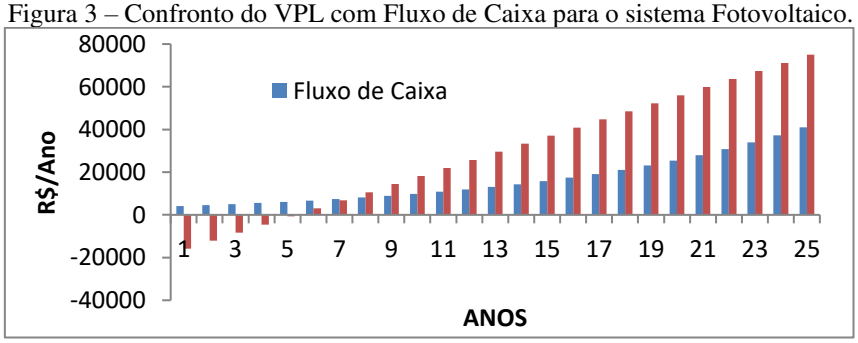
Anos	Ambos Sist. FC [R$/Ano]	Sist. Solar VPL [R$/Ano]	Sist. Solar TIR [%]	Sist. Solar CAE[R$/Ano]	Sist. Eólico VPL [R$/Ano]	Sist. Eólico TIR [%]	Sist. Eólico CAE[R$/Ano]
1	4164	-15869	-0,7881	-1748	-12949	-0,7512	-1702
2	4580	-12083	-0,3869	-1331	-9163	-0,591	-1205
3	5038	-8298	-0,1206	-914,1	-5378	-0,04919	-707
4	5542	-4512	0,04997	-497,1	-1592	0,1228	-209,3
5	6097	-726,7	0,1667	-80,06	2193	0,2401	288,4
6	6706	3059	0,2531	337	5979	0,3275	786
7	7377	6844	0,3222	754	9764	0,3987	1284
8	8114	10630	0,3818	1171	13550	0,4616	1781
9	8926	14415	0,4367	1588	17335	0,5212	2279

10	9818	18201	0,4903	2005	21121	0,5807	2777
11	10800	21986	0,5449	2422	24906	0,6427	3274
12	11880	25771	0,6024	2839	28691	0,7088	3772
13	13068	29557	0,664	3256	32477	0,7805	4270
14	14375	33342	0,7311	3673	36262	0,8589	4768
15	15813	37128	0,8044	4090	40048	0,9449	5265
16	17394	40913	0,885	4507	------	------	------
17	19133	44699	0,9735	4924	------	------	------
18	21047	48484	1,071	5341	------	------	------
19	23151	52270	1,178	5758	------	------	------
20	25467	56055	1,296	6175	------	------	------
21	28013	59841	1,425	6593	------	------	------
22	30815	63626	1,568	7010	------	------	------
23	33896	67411	1,725	7427	------	------	------
24	37286	71197	1,897	7844	------	------	------
25	41014	74982	2,087	8261	------	------	------

4.1 ANÁLISE PELO VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

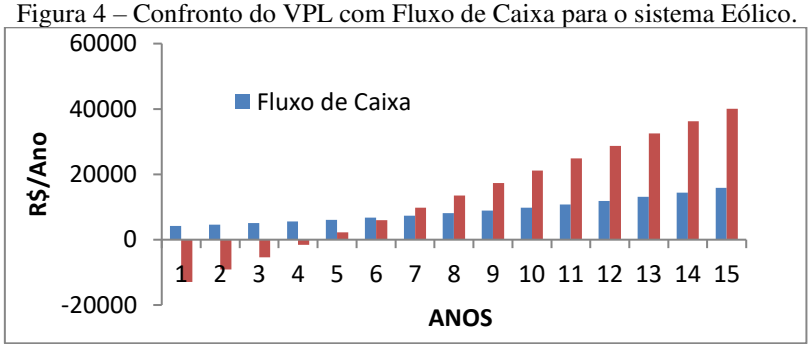
A opção pelo critério do VPL se justifica, pois o método faz a consideração sobre a diferença dos retornos obtidos nos fluxos de caixa líquidos, descontados dos períodos futuros em relação ao investimento inicial. Dessa forma, fornece a indicação de quanto o projeto vai melhorar a posição do capital investido pelo empreendedor ou os rendimentos do projeto em relação ao custo de capital. Conforme mostra a Fig. 3, o sistema fotovoltaico passa a ser viável a partir do sexto ano, e no ano oitavo ano o VPL começa a superar o fluxo de caixa de forma constante e progressiva.

Figura 3 – Confronto do VPL com Fluxo de Caixa para o sistema Fotovoltaico.



Para o sistema composto com aerogerador o VPL se torna viável a partir do quinto ano e supera o desembolso do fluxo de caixa no sétimo ano, também de forma constante e progressiva, conforme mostra a Fig. 4. Em ambos os sistemas se constata que são projetos viáveis por apresentar VPL positivo na maioria dos anos.

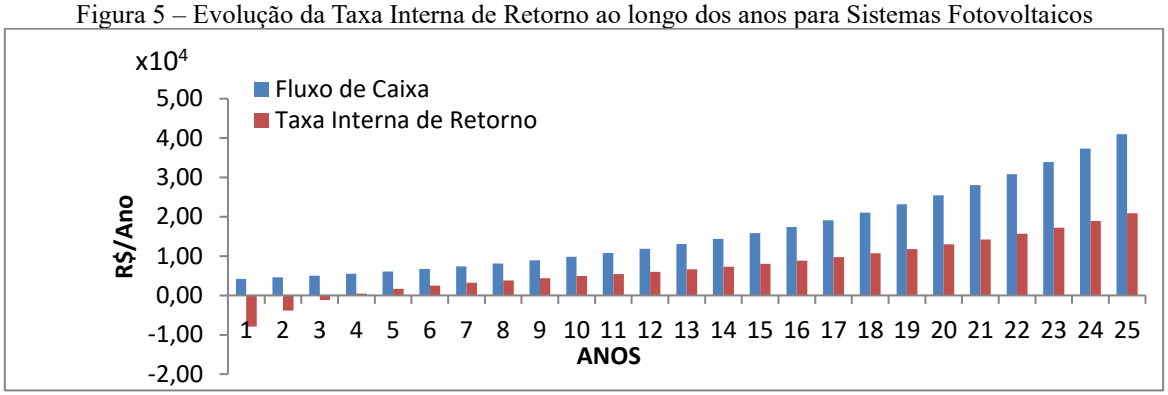
Figura 4 – Confronto do VPL com Fluxo de Caixa para o sistema Eólico.



4.2 ANÁLISE PELA TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

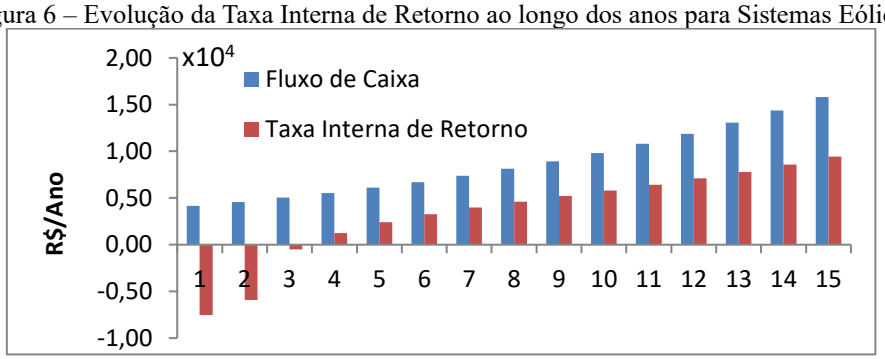
A Taxa Interna de Retorno é quando o VPL é igual a zero, assim sendo o Fig. 5 apresenta a evolução da TIR, mostrando que a partir do quinto ano os sistemas fotovoltaicos passam a ter uma TIR positiva, portanto viável, e que entre o quarto e o quinto ano a TIR supera a Taxa Mínima de Atratividade (TMA = 6,28%aa).

Figura 5 – Evolução da Taxa Interna de Retorno ao longo dos anos para Sistemas Fotovoltaicos



Para o sistema eólico a viabilidade se verifica no quarto ano, assim como a partir do quarto a TIR supera a Taxa Mínima de Atratividade. Percebe-se que em ambos sistemas a TIR supera a TMA no mesmo período no decorrer do tempo.

Figura 6 – Evolução da Taxa Interna de Retorno ao longo dos anos para Sistemas Eólicos



4.3 ANÁLISE PELA ANUIDADE UNIFORME EQUIVALENTE (AE)

O método da Anuidade Equivalente se configura num indicador de como a renda econômica gerada num projeto seria distribuída e se tal distribuição fosse equitativa para cada ano, o que equivale a distribuir o VPL ao longo da vida útil do projeto, transformando-o em uma série uniforme equivalente, que pode ser comparada entre projetos de duração diferente. Assim, basta fazer uso da Eq. 3 para os sistemas fotovoltaicos com duração de 25 anos e para os sistemas eólicos com duração de 15 anos, para investimentos de R$ 19.653,20 e R$ 16.734,00 respectivamente, com taxa da inflação energética de 10%, lembrando que o VPL de cada sistema é calculado pela Eq. 1, logo:

$$AE_{Fotovoltaico} = \frac{VPL_{Fotovoltaico}}{a_{n,k\%}} = \frac{VPL_{Fotovoltaico}}{\left[\frac{(1+k)^n - 1}{(1+k)^n \times k}\right]} = \frac{74.982}{\left[\frac{(1+0,1)^{25} - 1}{(1+0,1)^{25} \times 0,1}\right]} = 8.261 R\$ / Ano$$

$$AE_{Aerogerador} = \frac{VPL_{Aerogerador}}{a_{n,k\%}} = \frac{VPL_{Aerogerador}}{\left[\frac{(1+k)^n - 1}{(1+k)^n \times k}\right]} = \frac{40.048}{\left[\frac{(1+0,1)^{15} - 1}{(1+0,1)^{15} \times 0,1}\right]} = 5.265 R\$ / Ano$$

Como $AE_{Fotovoltaico}$ é maior que $AE_{Aerogerador}$ a primeira alternativa é preferível, pois o sistema fotovoltaico cria mais valor por unidade de tempo.

4.4 ANÁLISE PELO CUSTO ANUAL EQUIVALENTE (CAE)

O Custo Anual Equivalente sendo um rateio por unidade de tempo dos custos de investimento, assim se aplica a Eq. 4 para os devidos custos e se obtém os custos anualizados para os referidos sistemas em estudo, logo:

$$CAE_{Fotovoltaico} = \frac{I_{Fotovoltaico}}{a_{n,k\%}} = \frac{I_{Fotovoltaico}}{\left[\frac{(1+k)^n - 1}{(1+k)^n \times k}\right]} = \frac{19.653,20}{\left[\frac{(1+0,1)^{25} - 1}{(1+0,1)^{25} \times 0,1}\right]} = 2.165,00 R\$ / \text{A}no$$

$$CAE_{Aerogerador} = \frac{I_{Aerogerador}}{a_{n,k\%}} = \frac{I_{Aerorador}}{\left[\frac{(1+k)^n - 1}{(1+k)^n \times k}\right]} = \frac{16.734,00}{\left[\frac{(1+0,1)^{15} - 1}{(1+0,1)^{15} \times 0,1}\right]} = 2.200,00 R\$ / \text{A}no$$

O custo anual equivalente do sistema fotovoltaico é menor, mesmo exigindo um investimento maior, pois esse investimento será rateado economicamente em um período maior.

4.5 ANÁLISE PELO PAYBACK

Como esse indicador é usado em conjunto com o VPL e a TIR se utiliza a Eq. 5, sendo o tempo T um valor inteiro e positivo e é mais fácil tomar o ano corresponde ao investimento e comparar com o valor inicial investido. Para o sistema fotovoltaico o investimento foi R$ 19.653,20 e para o quinto e sexto ano obtendo-se o seguinte resultado:

$$I = \sum_{t=1}^{T} \frac{FC_t}{(1+i^*)^t} = \frac{FC_1}{(1+k)^1} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \frac{FC_3}{(1+k)^3} + \frac{FC_4}{(1+k)^4} + \frac{FC_5}{(1+k)^5} = R\$18.927,00$$

$$I = \sum_{t=1}^{T} \frac{FC_t}{(1+i^*)^t} = \frac{FC_1}{(1+k)^1} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \frac{FC_3}{(1+k)^3} + \frac{FC_4}{(1+k)^4} + \frac{FC_5}{(1+k)^5} + \frac{FC_6}{(1+k)^6} = R\$22.713,00$$

Logo o payback desse será atingido entre o 5º e o 6º ano.

Para o sistema eólico o investimento foi R$ 16.734,00 e se fez a análise para o quarto e o quinto ano com os seguintes resultados:

$$I = \sum_{t=1}^{T} \frac{FC_t}{(1+i^*)^t} = \frac{FC_1}{(1+k)^1} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \frac{FC_3}{(1+k)^3} + \frac{FC_4}{(1+k)^4} = R\$15.142,00$$

$$I = \sum_{t=1}^{T} \frac{FC_t}{(1+i^*)^t} = \frac{FC_1}{(1+k)^1} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \frac{FC_3}{(1+k)^3} + \frac{FC_4}{(1+k)^4} + \frac{FC_5}{(1+k)^5} = R\$18.927,00$$

Então o payback do sistema com aerogeradores seria atingido entre o quarto e o quinto ano.

5 CONCLUSÕES

A partir da análise dos dados obtidos com a simulação de dois projetos com potência pico de 2 kW foi possível em conjunto com precificação praticada pelo mercado brasileiro de energia sustentável foi possível determinar os índices de critérios econômicos para estabelecer qual sistema de microgeração distribuída de energia elétrica é mais viável. Pelo critério do Valor Presente Líquido (VPL) o sistema fotovoltaico apresentou melhor desempenho ao longo de sua vida útil mostrando que a partir do sexto ano o sistema se torna viável, tendo ainda, dezenove anos de acumulação de valoração monetária. Vale ressaltar que o estudo foi feito durante o tempo de garantia do sistema, podendo acrescentar a esse período pelo menos mais cinco que perfaz trinta anos de utilização em média. Já o sistema com aerogerador teria apenas onze anos de acumulação de valor devido sua vida útil ser bem mais reduzida. Pelo critério da Taxa Interna de Retorno (TIR) em ambos os sistemas essa taxa anula o VPL entre o terceiro e quarto ano, porém para o sistema eólico nessa data a TIR (12,28%) supera o

custo de capital (10%), enquanto no sistema fotovoltaico isso só acontece no quinto ano (16,67%) e nessa data o sistema com aerogerador já acumula 24%.

Pelo critério da Anuidade Uniforme Equivalente (AUE) o sistema fotovoltaico se mostrou uma alternativa mais viável porque gera mais valor ao longo do tempo. O mesmo acontece quando se utiliza o critério do Custo Anual Equivalente (CAE) em que o sistema fotovoltaico se mostrou menos, apontando-o como alternativa mais viável.

E por último, pelo método do Payback descontado vê-se uma proximidade de apena um ano, já que o sistema fotovoltaico recupera o capital investido entre o quinto e o sexto ano e o eólico entre o quarto e o quito ano, atribuído ao sistema fotovoltaico maior tempo valoração com os fluxos de caixa correspondente. Por conseguinte, pelos critérios analisados se verifica que o sistema fotovoltaico para baixa potência é mais viável.

REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência de Nacional de Energia Elétrica (Brasil), 2016. Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação elétrica, 2ª. Edição. Brasília – DF.

Greensun, 2017. Site: <www.greensundobrasil.com>, Acessado em 30/10/2017.

Lopez, R. A., 2012. Energia Solar para Produção de Eletricidade. Artliber Editora Ltda. São Paulo – SP.

Lopez, R. A., 2012. Energia Eólica. Artliber Editora Ltda. São Paulo – SP.

Riba, A., Lenzi, E. K., Lenzi, M. K., 2012. Elementos de Engenharia Econômica. Editora Intersaberes. São Paulo – SP.

Samanez, C. P., 2010. Engenharia Econômica, Pearson Education do Brasil. São Paulo – SP.

Shayani, R. A., Oliveira, M. A. G, Camargo, I. M. T., 2006. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais, V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Brasília – DF.

Connecting Expertise Multidisciplinary Development For The Future. Seven Publicações. Disponível em: <https://www.sevenpubli.com/livro/connecting-expertise-multidisciplinary-development-for-the-future>. Acesso em: 22 jan. 2024.