

Resultados Econômicos da Geração de Energia Eólica e Fotovoltaica no Meio Rural



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
318**

**Resultados Econômicos da Geração de
Energia Eólica e Fotovoltaica no Meio Rural**

*Luiz Clovis Belarmino
Marco Siegmundo Goldmeier
Carlos Reisser Junior
Margarita Pabsdorf Navaro*

***Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
2019***

Embrapa Clima Temperado
BR 392 km 78 - Caixa Postal 403
CEP 96010-971, Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8100
www.embrapa.br/clima-temperado
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações

Presidente
Ana Cristina Richter Krolow

Vice-Presidente
Enio Egon Sosinski

Secretário-Executivo
Bárbara Chevallier Cosenza

Membros
*Ana Luiza B. Viegas, Fernando Jackson,
Marilaine Schaun Pelufê, Sonia Desimon*

Revisão de texto
Bárbara Chevallier Cosenza

Normalização bibliográfica
Marilaine Schaun Pelufê

Editoração eletrônica
Nathália Santos Fick (estagiária)

Foto da capa
Paulo Lanzetta

1ª edição
Obra digitalizada (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Clima Temperado

R436 Resultados econômicos da geração de energia eólica e
fotovoltaica no meio rural / Luiz Clovis Belarmino...
[et al.]. – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2019.
25 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento /
Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 318)

1. Energia. 2. Energia eólica. 3. Energia solar.
4. Gerador de energia. 5. Rentabilidade.
I. Belarmino, Luiz Clovis. II. Série.

CDD 333.79

Sumário

Resumo5

Abstract7

Introdução.....8

Material e Métodos17

Resultados e discussão.....19

Conclusões22

Referências23

Resultados Econômicos da Geração de Energia Eólica e Fotovoltaica no Meio Rural

Luiz Clovis Belarmino¹

Carlos Reisser Junior²

Margarita Pabsdorf Navaro³

Resumo – A energia de qualidade é essencial aos processos produtivos, porém ainda se considera escassa e inacessível em muitos estabelecimentos rurais no Brasil, em virtude da inexistência de linhas de distribuição, persistentes déficits na geração e elevados custos para instalação de sistemas adequados às necessidades socioeconômicas dos produtores rurais. Nesse sentido, entre as alternativas disponíveis no mercado, a geração distribuída (GD), que permite a compensação da produção, como as baseadas em energia fotovoltaica, eólica, hidrelétrica, biogás e alternativas mistas, apresentam possibilidades técnicas para suprir as demandas de consumo doméstico e agroindustrial. Todavia, inexistem conhecimentos suficientes sobre modelos e respectivos custos de produção, rentabilidade e viabilidade técnica ou financeira da GD, fato que limita os investimentos públicos e privados. Este trabalho realizou análises econômicas de um modelo de geração elétrica para pequenas propriedades rurais, desenvolvido pela Embrapa Clima Temperado e organizações parceiras. O modelo utilizado para produzir energia consistiu em um gerador eólico e um solar, este constituído de placas e alternador, com potencial de gerar até 160 kWh/mês, instalados no interior de Candiota-RS e avaliados conforme as métricas da concessionária oficial. Os resultados técnicos obtidos para esse modelo híbrido (eólico e solar) foram de média 120 kWh de geração de energia, os quais foram utilizados para compor as análises econômicas, que indicaram inviabilidade financeiro-econômica para esse modelo. As simulações com mudanças nos preços pagos e recebidos via aumento de tarifa da concessionária e de redução de custos, com o uso dos

¹ Engenheiro-agrônomo, mestre em Economia Rural, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

² Engenheiro agrícola, doutor em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

³ Economista, doutora, professora de Economia Internacional e Aplicada, Universidade de Granada, Espanha.

atuais geradores ou com maior capacidade de geração, indicaram a necessidade de novas avaliações de modelos, em distintas variáveis meteorológicas, e de eventuais medidas de compensação social. Concluiu-se que o modelo híbrido de energia eólica e solar não é viável, em virtude da reduzida velocidade do vento nos locais selecionados, mas os atuais modelos fotovoltaicos existentes no mercado apresentam retorno positivo em cerca de 10 anos.

Termos para indexação: Geração distribuída, energia solar, propriedades rurais, rentabilidade.

Economic Results of Wind and Photovoltaic Power Generation in a Rural Area

Abstract – Energy quality is essential to productive processes, but still is considered scarce and unaffordable in many rural establishments in Brazil, due to the lack of distribution lines, persistent deficits in generation and high costs for installation of appropriate systems to socioeconomic needs of rural producers. In this sense, among the alternatives available in the market, distributed generation (GD), which allows the compensation of production, such as photovoltaic, wind energy based, hydroelectric, biogas and mixed alternatives, represents technical possibilities to meet the demands of domestic and agroindustrial consumption. However, there is not sufficient knowledge about models and their respective costs of production, profitability and technical or financial viability regarding GD, a situation that limits public and private investments. This work conducted economic analysis of a model of electric generation for small rural properties, developed by Embrapa Temperate Agriculture and partner organizations. The model used to produce energy employed wind and solar generator, the last consisting of panels and processors, with the potential to generate up to 160 kWh/month, installed in the municipality of Candiota-RS, both were evaluated according to the metrics of the official concessionaire. The technical results obtained for this hybrid model (wind and solar) were in average 120 kWh of energy generation, used to compose the economic analysis, which indicated financial-economic infeasibility for this model. The simulations with changes in prices paid and received, via the utility's rate increase and cost reduction with the use of current generators or more generating capacity, indicated the need for further reviews of models in different weather variables and possible social compensation measures. It was concluded that the hybrid model of wind and solar energy is not feasible, because of the reduced speed of wind in the select spots, but the current photovoltaic models on the market present positive return in about 10 years.

Index terms: Distributed generation, solar energy, rural properties, profitability

Introdução

Existem vários eventos que afetam a transformação da agricultura brasileira, em todas as dimensões, mas em especial nas pequenas propriedades. Muitas dessas alterações estão relacionadas ao êxodo rural, influenciado pelas políticas de desenvolvimento e industrialização, aumento e melhoria da infraestrutura das cidades e hábitos das famílias brasileiras. Independentemente de fomentar ou não esse problema, a mecanização e automação no meio rural é fundamental para a produção agrícola, visto que somente com o uso dessas práticas agrícolas é possível produzir economicamente várias das culturas extensivas, bem como as destinadas para o autoconsumo.

Paralelamente, especialmente na região Sul do Brasil, ocorre grande crescimento de cultivos dedicados aos produtos de baixa densidade de valor (menor renda por área), equivocadamente no sentido de comoditização da produção, em áreas cujos módulos não se adéquam aos cultivos temporários. Como exemplo, pode-se citar os grãos, que necessitam de média ou alta escala e módulos de produção maiores, pois 72,6% dos estabelecimentos produtores no RS tinham menos de 50 hectares em 2006 (IBGE, 2006), sendo que a renda média mensal nos últimos anos se situou em metade do salário mínimo.

A agricultura familiar baseada no uso de mão de obra, como a horticultura, muitas vezes para o consumo interno da propriedade e venda de excedentes, vem tendo dificuldades de solucionar o problema do êxodo rural, pois a saída do jovem da propriedade torna a força de trabalho disponível em muitas propriedades, envolvendo tarefas para as quais os idosos não dispõem de condições físicas para a realização, por exigir esforço físico, o que restringe o tipo de trabalho a ser desenvolvido. A mecanização nem sempre é a solução, visto que várias das tarefas necessárias na propriedade não podem ser substituídas pelo do trabalho do homem ou, quando podem, são de custo elevado. Com os custos da propriedade aumentando (impostos, energia elétrica, telefonia, contratação de serviços etc.), cada vez mais se faz necessário que o ingresso de recursos monetários seja maior para que essa se mantenha viável economicamente.

Como forma de aumentar o rendimento da propriedade, buscou-se dar melhor aproveitamento aos recursos naturais, como espaço, disponibilidade de radiação solar e vento, para a produção de energia elétrica, o que pode se tornar nova fonte de geração de renda para a propriedade rural, seja por meio da venda do excedente da produção de energia ou pela redução das taxas cobradas pela companhia fornecedora de energia elétrica, sem a necessidade de uso de recursos humanos.

Além dos problemas de redução da renda rural, aumento dos custos de produção e aumento do êxodo rural, há também o problema do aumento do consumo de eletricidade pelo setor agropecuário. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), de 2007 a 2016 houve aumento de 58,2% no consumo de energia elétrica pelo setor, ou seja, um aumento anual de 6%.

Apesar de a matriz elétrica brasileira ser uma das mais renováveis no mundo (81,7%), é projetado que a hidroeletricidade – com participação de 68,1% na geração de energia elétrica em 2016 (EPE, 2018) – não possa mais assegurar os níveis de crescimento do consumo de eletricidade nos próximos anos. Portanto, é necessária diversificação e aumento da participação das energias alternativas, como fotovoltaica, eólica e biomassa. Vale ressaltar que, apesar da hidroeletricidade ser considerada renovável, provoca uma série de impactos, como inundação de grandes áreas, desalojamento e mudança de populações ribeirinhas, além de perda da biodiversidade vegetal e animal.

Com a nova legislação brasileira, por meio da Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), todo o consumidor de energia elétrica pode gerar sua própria energia, além de injetar na rede o excedente gerado, para consumo em períodos posteriores, quando a geração própria do sistema não for capaz de gerar a demanda necessária. Apesar das restrições de tamanho e tributação, essa nova legislação cria a possibilidade de que no meio rural os recursos naturais sejam aproveitados para gerar outra fonte de renda para a propriedade. Além de converter a energia solar para a produção de alimentos, o produtor rural atualmente tem a possibilidade de transformar o estabelecimento em microusina geradora de energia elétrica.

Nos últimos anos, houve significativa queda no preço dos componentes para geração própria de energia, sobretudo nos componentes fotovoltaicos.

Além da redução dos custos, há também a oferta de linhas de crédito específicas para o financiamento de componentes ou sistemas para geração própria de energia, como os programas Pronaf Mais Alimentos e o Pronaf Eco. Porém, há poucos estudos que evidenciam a rentabilidade e a viabilidade desses sistemas, que pode variar significativamente conforme a região, a marca/modelo utilizado, a composição do sistema, o tamanho, dentre outros fatores.

Baseados nessa nova possibilidade, pequenos agricultores familiares do Estado do Rio Grande do Sul demandaram ao Ministério do Desenvolvimento Agrário recursos para desenvolver projeto que estude a viabilidade da técnica desses sistemas. Sob a liderança da Embrapa Clima Temperado, foi financiado um projeto que deu início às pesquisas com esse objetivo. Para isso, foram instalados conjuntos de geradores eólicos e fotovoltaicos em vários locais do Estado do RS, com o objetivo de avaliar a possibilidade de ligação dos equipamentos à rede de distribuição, a operacionalização do sistema de contabilidade de energia e o rendimento dos equipamentos.

O acesso adequado e competitivo a fontes alternativas de energia é fundamental para assegurar os níveis de desenvolvimento no futuro das famílias produtoras no meio rural, pois, além da mudança na matriz energética mundial para fontes menos poluentes e com menor impacto ambiental, há também a necessidade de diminuição dos níveis de pobreza, além de melhoria da qualidade de vida.

Assim, diante da possibilidade do cidadão consumidor de eletricidade conectar fontes de geração de energia à rede de distribuição de energia elétrica, na disponibilidade de espaço, radiação solar e ventos abundantes no meio rural, os pequenos produtores rurais têm a oportunidade de se tornarem fornecedores de energia elétrica, com um melhor aproveitamento do recurso natural da propriedade, tornando-a mais eficiente e viável economicamente.

A matriz energética mundial está baseada no consumo de combustíveis fósseis, também chamados de não renováveis. Em 2015, o petróleo foi responsável por quase 33% do consumo primário de energia, seguido pelo carvão e o gás natural, com 29,2% e 23,85%, respectivamente (World Energy Council, 2016). Juntas, essas três fontes representam 86% do consumo primário mundial de energia. O consumo cada vez maior de energia pelo homem, para contemplar o crescimento populacional e o aumento individual

de consumo, está alertando a sociedade para uma mudança de atitude que busca utilizar novas fontes de energia que sejam mais sustentáveis e que não sejam finitas.

A radiação solar é a que apresenta o maior potencial, pois é ela que sustenta nosso planeta direta ou indiretamente. Toda a energia que não seja atômica é solar. Nossos estoques de petróleo são na verdade uma economia que a natureza criou ao longo de milhares de anos, e é o que mais vem sendo utilizado atualmente pela facilidade de aproveitamento e, conseqüentemente, baixo custo. O uso intensivo das fontes de origem fóssil vem modificando nossa atmosfera e, possivelmente, modificando nosso clima, podendo causar transformações prejudiciais ao homem.

Além da produção de matéria orgânica, base primária da vida no planeta, os principais fenômenos e grandes movimentos da atmosfera nada mais são que uma maneira de distribuição de energia que nosso planeta faz buscando o equilíbrio de seu sistema. Ou seja, ventos, chuvas, pressão atmosférica são sustentados e baseados principalmente na energia solar. Todas as maneiras de utilizar essas fontes são as formas de movimentar a sociedade atual.

A intensificação tecnológica de estabelecimentos rurais e o aumento no investimento em equipamentos que propiciam melhores condições de trabalho, ou que melhoram os processos de produção, fazem com que haja um aumento no consumo de energia. Uma estratégia para pequenos estabelecimentos rurais se tornarem mais competitivos é reduzir seus custos operacionais relacionados à energia e emissões de gases de efeito estufa (Houston et al., 2014). O uso de energia elétrica renovável na propriedade rural deve ser visto como parte de um processo de busca e transição para uma agricultura mais sustentável (Bardi, 2013).

Dentre as diversas fontes de energia renováveis, o uso da energia solar para o uso da sociedade ocupa um lugar importante. O estudo de sua utilização direta, juntamente com a utilização da energia do vento, vem garantindo investimentos importantes como forma de aproveitamento direto para o uso imediato. Com relação ao aproveitamento de energia solar pelo Brasil, é conhecido que o País possui valores de radiação solar muito elevados. Em regiões do nordeste brasileiro, a disponibilidade pode ser comparada às regiões mais adequadas do mundo. A variação da radiação solar no Brasil é de 8 a 22 MJ/m² dia, o que, segundo Rütther (2012), com pouco menos de 0,5%

da área do território nacional coberto com painéis fotovoltaicos, teria abastecido toda a energia consumida no ano de 2010.

A participação de energias renováveis na matriz energética brasileira em 2016 foi de 43,5%, sendo as principais a biomassa da cana e a hidráulica, com representação de 17,5% e 12,6%, respectivamente. A matriz elétrica brasileira é uma das mais renováveis do mundo (81,7%), na qual a energia hidráulica possui a maior participação, com 68,1%. O aumento da oferta de outras fontes de energia renováveis, de 2015 para 2016, foi de 46,2%, 54,9% e 44,7% para biogás, eólica e solar, respectivamente (EPE, 2017). Nas próximas décadas, espera-se um aumento de 4,0% ao ano no consumo de energia elétrica no Brasil mas, apesar do potencial de energia hidrelétrica remanescente no Brasil ser expressivo, o crescimento da demanda de energia elétrica não poderá ser atendido predominantemente por meio da geração hidráulica (Hashimura, 2012).

Diversos países adotaram políticas de fomento ao uso de energias renováveis, sendo a Alemanha um dos que mais se destaca. Em 2000, a Alemanha implantou o *German Renewable Energy Act*, conhecido como EEG (*Erneuerbare Energien Gesetz*). O plano se baseia na remuneração da eletricidade gerada a partir de fontes renováveis com venda garantida durante 20 anos. Em 2005, foram gerados 3.862, 1.282 e 27.229 GWh de energia elétrica das fontes de biogás, solar fotovoltaica e eólica, respectivamente. Em 2015, foram produzidos dessas mesmas fontes 33.073, 38.726 e 79.206 GWh, respectivamente. Nesse período, houve respectivo aumento médio de geração de energia elétrica de 8,56, 30 e 2,9 vezes das fontes de energia de biogás, solar fotovoltaica e eólica (IEA, 2018).

Dentre as formas de geração de energia elétrica, a que vem recebendo maior incentivo do governo, por meio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), é a eólica, baseada no potencial eólico nacional, que é de 143 GW, o que, em médio prazo, pode ser importante fonte complementar de energia acoplada à rede elétrica (Pereira et. al. 2006).

No Brasil, estima-se aumento de demanda de 20% de energia em 2026, frente ao consumo de 2016 (MME, 2017). Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (MME, 2017), são esperados investimentos da ordem de R\$ 1,4 trilhões no período 2017-2026, com destaque na expansão

para as fontes eólica e solar-fotovoltaica, com 11,8 e 7 GW, respectivamente. Estima-se que em 2026 a parcela renovável da matriz energética atingirá 48%, ao passo que 87% da produção de energia elétrica será oriunda de fontes renováveis (MME, 2017).

A geração brasileira de energia elétrica, que, no início do século XX, era descentralizada e gerada perto do consumidor, foi desestimulada a partir da década de 1940, com o aparecimento das grandes centrais, o que reduziu o custo da energia elétrica, desencorajando a geração distribuída (INEE, 2015). A partir de 1995, houve mudanças na legislação, estabelecendo novas normas e criando o conceito de Consumidor Livre. Também foi regulamentada, nesse período, a produção de energia elétrica por Produtores Independentes de Energia e por Autoprodutores de Energia. A Lei nº 9.074/1995, que regulamentou esses tipos de produtores, também assegurou a esses produtores o acesso aos sistemas de transmissão e distribuição de concessionários, mediante ressarcimento do custo de transporte envolvido.

A partir de 1998, com a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica, várias resoluções e regulamentações foram criadas para formar o atual marco regulatório brasileiro. Em 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa nº 482, da Aneel, que 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 outras providências (Aneel, 2017). Os estímulos à GD se justificam pelos benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico, com o adiantamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, baixo impacto ambiental, redução no carregamento das redes, minimização das perdas e diversificação da matriz energética brasileira (Aneel, 2017). Espera-se, com a geração distribuída, a redução dos custos envolvidos na energia fotovoltaica, possibilitando assim a sua difusão no meio rural e maior participação na matriz energética mundial, além de oferecer energia tecnicamente viável, confiável e acessível sob o ponto de vista financeiro (Oliveira, 2002).

Em 2016, o número de instalações quadruplicou-se, terminando o ano com 81 MW instalados, distribuídos em 7.700 unidades geradoras (Aneel, 2017). Apesar do crescimento recente, essa modalidade de geração ainda é insignificante no Brasil, havendo espaço para se desenvolver muito mais na próxima década (MME, 2017). Em 2026, estima-se cerca de 770 mil ado-

tantes de sistemas fotovoltaicos, sob o regime da REN 482, totalizando 3,3 GWp, suficientes para atender 0,6% do consumo total nacional (MME, 2017).

A geração fotovoltaica de energia elétrica diretamente de energia solar deve-se à utilização da luz convertida através de efeito fotovoltaico por dispositivos especiais, que criam uma diferença de potencial em semicondutores, pela liberação e movimentação de elétrons. Esse fenômeno tem como grande vantagem a geração silenciosa e sem emissão de gases e utiliza somente a componente luminosa da energia solar (fótons). A parte da radiação infravermelha da radiação, utilizada para aquecimento, também pode gerar energia elétrica em sistemas termosolares com concentradores de radiação.

A tecnologia fotovoltaica feita mediante a utilização de placas não se desenvolveu em grande escala inicialmente, devido ao custo dessas células, que era de US\$ 600 por Watt produzido. Com o aumento das pesquisas e o interesse de uso em alta escala, os custos foram diminuindo até próximo a US\$ 5 no ano 2000, e em 2011 custava próximo a US\$ 1,5 por Watt. A redução do custo de geração com essa tecnologia vem ocorrendo rapidamente, proporcionando maior velocidade do crescimento do número de instalações, que chegou a 40% de crescimento médio ao ano desde 2000 na potência instalada, e que mundialmente atingiu 27 GW em 2010 (Photon-Internacional, 2015).

A capacidade de geração de energia na região Sul do Brasil, conforme o Atlas Climático da Região Sul (2011), é de, na média anual, 12,5 MJ/m² dia até 18 MJ/m² dia, quantidades acima das normais na Europa e Estados Unidos, onde o incentivo ao uso da técnica é intenso. Além dessa vantagem, o Brasil vem experimentando um aumento de consumo, devido em grande parte à conscientização dos usuários de que se deve mudar o padrão de consumo de energia elétrica, visto que os custos ainda não são competitivos como poderiam ser. No Brasil, de acordo com MME (2012), o custo de microgeração fotovoltaica residencial de até 4 KW custaria próximo a R\$ 15,32 por W, sendo R\$ 2,50 dos inversores, R\$ 9,76 dos painéis e R\$ 3,06 da instalação (modificado de MME, 2012). O mesmo autor ainda informa que, desse total, 35% dos custos são relacionados a impostos.

Sabe-se que, para esses valores serem reduzidos, o aumento do consumo é uma das condições favoráveis. Outro fator é a nacionalização de alguns componentes que já são pesquisados e que somente não estão no mercado

devido ao baixo consumo e à autorização das normas de funcionamento pelo Inmetro.

Aparentemente, o governo brasileiro preocupa-se com esses aspectos, pois vem criando e modificando normas e a legislação a favor do aumento desses tipos de geração. Mundialmente, os programas de incentivo são muitos, especialmente na Europa, EUA e Japão. No Brasil, programas vêm sendo criados, como Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (Prodeem, 1994), bem como o 'Luz para todos' desde 2005. Esses, porém, não estão sendo suficientes para que a demanda permita a industrialização de painéis fotovoltaicos. Outros incentivos estão sendo criados, como o 'Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos', para estudar propostas que facilitem a utilização de sistemas conectados a redes urbanas, encomenda de estudos para a inovação tecnológica do Brasil na utilização do silício, e, em 2012, a Aneel aprovou a Resolução Normativa nº 482, que estabelece condições para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, com o sistema de compensação.

Diversos estudos apontam viabilidade do sistema, sobretudo para localização residencial urbana. Lacchini (2017) analisou a viabilidade de implantação de sistemas fotovoltaicos em cinco cidades brasileiras: Belo Horizonte, Porto Alegre, Brasília, Fortaleza e Manaus. O autor observou que a melhor cidade para investir em um sistema fotovoltaico foi Belo Horizonte, devido a dois fatores principais: a alta irradiação e a alta tarifa cobrada pela distribuidora de energia elétrica. Nakabayashi (2015) analisou simulação de Monte Carlo para avaliar a viabilidade de implantação de sistema solar fotovoltaico nas 27 capitais brasileiras, e observou que a viabilidade da microgeração passa de 62,1% em 2015 para 90,1% em 2020. O mesmo autor ponderou ainda que a viabilidade da microgeração depende de condições diversas como, por exemplo, investimento necessário, desempenho do sistema, nível de irradiação solar, energia gerada, perfil da curva de carga do microgerador e, além disso, das condições vigentes nas tarifas de energia elétrica para o grupo em questão. Uma das formas para viabilizar a tecnologia fotovoltaica é a expansão de mercado por ganho de escala e avanço tecnológico, além de monitoramento dos índices de irradiação solar em diferentes localidades brasileiras, objetivando a comparação entre dimensionamento teórico e o comportamento dos sistemas na prática (Torres, 2012).

Alguns fatores que contribuem positivamente para a expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil nos próximos anos são: (i) alteração da REN 482/2012, que amplia as possibilidades de negócios em geração distribuída, permitindo a adoção por uma maior parcela da população; (ii) isenções tributárias, de PIS/COFINS e ICMS (em 23 unidades federativas) sobre a energia compensada pela unidade consumidora, o que aumenta a viabilidade financeira do investimento; (iii) reajuste das tarifas de eletricidade acima da inflação nos últimos dois anos; (iv) redução no preço dos sistemas fotovoltaicos (MME, 2017).

Desde os primórdios da sociedade o uso da energia do vento foi fundamental para o desenvolvimento humano. A utilização de moinhos transformando energia cinética em mecânica vem sendo aproveitada há 3 mil anos para moagem de grãos e bombeamento de água em atividades agrícolas. No início da Idade Média, a humanidade passou a usar o vento para a locomoção de navios e para a navegação, influenciando o nascimento da era dos descobrimentos. Na Holanda, no século XIV, houve grandes avanços com o uso da técnica para a moagem de grãos, serrarias e bombeamento de água, difundindo o uso desses equipamentos para o restante da Europa até a invenção e difusão das máquinas a vapor.

Após seu declínio do uso na Europa, houve grande desenvolvimento dos cata-ventos, na América do Norte, após o fim da escravidão, para o bombeamento da água, surgindo uma grande indústria de produção desses equipamentos, culminando em aerogeradores para o carregamento de baterias elétricas. (Amarante et al. 2001).

Outro fator importante para essa fonte renovável de energia foi a crise do petróleo e o surgimento de movimentos ambientais contra o uso de combustíveis fósseis. Isso forçou vários governos a incentivar fontes novas de energia. A energia eólica ganhou destaque como fonte limpa e iniciaram-se os investimentos em projetos no mundo todo.

No Brasil, após mudanças nos setores político e técnico, criou-se a Aneel e, num cenário de dinamismo do setor, desenvolveu-se o setor de energia eólica, com destaque ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa). Esse programa buscou aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos com base em várias fontes alternativas, como eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

Com o incentivo governamental de financiamento por parte do BNDES e abertura de leilões para esse tipo de energia, criou-se uma expectativa de grandes investimentos até o ano de 2019. Pela projeção de crescimento das diversas fontes de energia até 2019, estima-se que a geração eólica de energia será a de maior crescimento, atingindo quatro vezes o existente em 2011 (de 1,5 para 6 MW).

Apesar dos estudos serem focados em grandes usinas, os fatores que trazem benefícios podem ser considerados para pequenas instalações também. Para Nascimento et al. (2012), é evidente a necessidade de estímulos governamentais para o fortalecimento do setor no Brasil, para fortalecer sua dinâmica, dando ao País posição de destaque internacional. Os autores concluem ainda que seria interessante desenvolver estudos que avançassem no sentido de estabelecer categorias analíticas em torno de uma maior compreensão sobre o desenvolvimento tecnológico do setor.

Material e Métodos

O modelo selecionado para este estudo constou da instalação de um sistema híbrido de geração de energia elétrica, composto por um gerador fotovoltaico e outro eólico, localizados no município de Candiota. Essa estação experimental serviu para a realização de uma avaliação técnica dos equipamentos, pela relação com a disponibilidade de energia, ligada às variáveis meteorológicas do local de instalação, com o uso de uma estação meteorológica automática (EMA). As leituras de velocidade do vento (m/s^{-1}) e taxa de radiação solar (W/m^2) permitiram obter médias para as determinações de eficiência do modelo.

O período de coleta de dados foi durante o ano de 2017. Montou-se um sistema híbrido de geração, composto por um gerador fotovoltaico de cinco placas solares e um gerador eólico. Os sistemas fotovoltaicos possuíam potência instalada de 1,32 kWp, ambos localizados próximos ao gerador eólico de 1 kWp.

Além dos geradores, o sistema ainda possuía um painel de comando com medidor eletrônico de energia, para registrar o total gerado, bem como de inversores de potência eólico e fotovoltaico, mais os sistemas de segurança e a chave de travamento do gerador eólico. As leituras do medidor de energia

foram da quantidade de energia elétrica dos dois tipos de geradores e, para a análise individual de cada gerador, separaram-se os dados da geração eólica coletada quando a radiação solar era zero, enquanto que, os dados específicos de geração fotovoltaica foram obtidos quando a velocidade do vento era zero.

O valor total da estação financiada pelo do Sistema Embrapa de Projetos foi R\$ 92.540,00, sendo que R\$ 81.490,00 foi destinado para a aquisição dos equipamentos, R\$ 6.400,00 para a obra civil, R\$ 2.350,00 para logística e R\$ 2.300,00 para a execução do projeto elétrico. Considerou-se a produção média mensal de 120 kWh, com perda de eficiência de geração de 1% ao ano. Além disso, adotou-se o aumento médio nas tarifas de energia de 5% ao ano. Após a análise de compensação anual de energia elétrica, realizou-se a análise de viabilidade do sistema solar fotovoltaico.

Além disso, fez-se a análise comparativa deste modelo acima descrito com um sistema solar fotovoltaico com preços atuais de mercado, para a mesma faixa de geração de energia do sistema instalado pela Embrapa.

Segundo Galesne et al. (1999), os critérios de rentabilidade baseados em fluxos de caixa descontados têm duas importantes características. Por um lado, supõem a consideração de todos os fluxos de caixa (positivos e negativos) associados a determinado projeto de investimento ao longo de sua vida útil e, por outro lado, fazem uso do princípio do desconto. No presente trabalho, usou-se os indicadores econômicos denominados de Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

O VPL de um projeto de investimento é igual à diferença entre o valor presente das entradas líquidas de caixa associadas ao empreendimento e o investimento inicial necessário, com o desconto dos fluxos de caixa feito a uma taxa “k”. No âmbito da avaliação de um projeto de investimento, a taxa de desconto “k” tem outra interpretação, pois é entendida como sendo a taxa mínima de rentabilidade exigida do projeto, também chamada de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (GALESNE et al., 1999). O VPL pode ser também entendido pela seguinte equação:

$$VPL = I.I. + \frac{FC1}{(1+k)^1} + \frac{FC2}{(1+k)^2} + \frac{FC3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{FCn}{(1+k)^n}$$

Onde “I.I.” é o investimento inicial, “FC” é o fluxo de caixa de cada ano e “k” é a taxa mínima de atratividade.

A TIR é a taxa de desconto que torna nulo o valor atual líquido do investimento. Quanto maior a TIR, mais desejável é o investimento, ou seja, só se escolhem projetos que apresentem TIR superior à TMA (Woiler; Mathias, 2015). Pode ser representada pela seguinte fórmula:

$$0 = I.I. + \frac{FC1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FC2}{(1 + TIR)^2} + \frac{FC3}{(1 + TIR)^3} + \dots + \frac{FCn}{(1 + TIR)^n}$$

Onde “I.I.” é o investimento inicial e “FC” o fluxo de caixa de cada ano.

Por fim, fez-se a análise de *Payback*, que é o número de períodos necessários para que o fluxo de caixa acumulado se torne positivo. Realizou-se a mensuração do *Payback* simples e *Payback* descontado, em que a diferença entre os dois é que o *Payback* simples não leva em consideração o valor do dinheiro no tempo.

Resultados e discussão

Na Tabela 1, é possível observar o valor que o empreendedor deixará de desembolsar para pagamento de energia elétrica, em razão da instalação do sistema de geração solar e eólico associado ao sistema convencional. Para tal, considerou-se o aumento médio da tarifa de 5% ao ano e perda de eficiência de geração das placas de 1% ao ano. Caso se adotasse esse sistema de energia alternativa como fonte única para a geração na propriedade, o custo por kWh ao final da vida útil seria de cerca de R\$ 35,00 após 25 anos de vida útil.

Tabela 1. Geração mensal e valor gerado (R\$) por ano para a energia solar.

Ano	Produção (kWh/mês)	Valor da tarifa – R\$ (aumento de 5% a.a.)	Valor total gerado por ano (R\$)
I	120,0	0,33	498,96
II	118,8	0,35	518,67
III	117,6	0,36	539,10
IV	116,4	0,38	560,28

Ano	Produção (kWh/mês)	Valor da tarifa – R\$ (aumento de 5% a.a.)	Valor total gerado por ano (R\$)
V	115,3	0,40	582,23
VI	114,1	0,42	604,97
VII	113,0	0,44	628,53
VIII	111,8	0,46	652,94
IX	110,7	0,49	678,22
X	109,6	0,51	704,39

Considerando-se uma taxa de desconto de 2,5% ao ano, que é o estipulado na linha de crédito do Pronaf Eco, o VPL do projeto do sistema misto da Embrapa é R\$ -95.858,93. Note-se que se trata de valor negativo e, além disso, com *Payback* superior à vida útil do sistema. O fato de ser inviável do ponto de vista econômico-financeiro, fundamentalmente, deve-se ao alto custo do investimento, ao valor da tarifa reduzida praticado neste ano de 2017, determinando que o tempo de retorno total do investimento é superior aos 25 anos, ou seja, acima da vida útil do sistema. Logo, esse modelo misto estudado no presente projeto não se mostrou viável.

Ao se analisar os resultados para essa capacidade de geração para o sistema com preços praticados no mercado, é possível observar que o Valor Presente Líquido é R\$ -2.542,57 e TIR de 0,37%, com estimativa de *Payback* acima de 20 anos. Nesse último caso, considerou-se o sistema com preços atualizados, com a mesma capacidade de geração do sistema Embrapa, em que o investimento inicial é inferior, de R\$ 11.808,94 (Tabela 2).

O tamanho do sistema é um dos fatores que contribui para a inviabilidade, pois é possível obter economia de escala com sistemas maiores. Ao se fazer a simulação com preços fornecidos por uma empresa para a geração de 100, 300, 500 e 1.000 kWh por mês (Tabela 3), é possível observar que o *Payback* diminui conforme há aumento de geração.

Tabela 2. Comparação do fluxo de caixa no sistema gerador da Embrapa e com o sistema a preços comerciais atuais (setembro 2018), em reais (R\$).

	Ano 0	Ano I	Ano V	Ano X	Ano XV	Ano XX
Sistema híbrido Embrapa						
Entradas	-	498,96	582,23	731,48	849,60	1.021,29
Saídas	92.540,00	925,40	925,40	925,40	925,40	925,40
Fluxo de Caixa	-92.540,00	- 426,44	-343,17	-193,92	-75,80	95,89
Fluxo de Caixa descontado	-92.540,00	- 416,04	-303,31	-151,49	-52,34	58,52
Acumulado	-92.540,00	-92.956,04	-94.335,98	-95.435,07	-95.933,45	-95.858,93
Sistema comercial fotovoltaico						
Entradas	-	498,96	582,23	731,48	849,60	1.021,29
Saídas	11.808,94	118,09	118,09	118,09	118,09	118,09
Fluxo de Caixa	-11.808,94	380,87	464,14	613,39	731,51	903,20
Fluxo de Caixa descontado	-11.808,94	371,58	410,23	479,18	505,08	551,19
Acumulado	-11.808,94	-11.437,36	-9.854,29	-7.638,37	-5.206,77	-2.542,57

Tabela 3. Indicadores de viabilidade financeiro-econômica, em reais (R\$), para a geração de 100, 300, 500 e 1.000 kWh/mês.

Geração (kWh)	Custo do sistema (R\$)	VPL (R\$)	TIR (%)	Payback (anos)
100	13.666,63	-6.541,08	-2,85	-
300	23.134,33	1.027,42	2,90	19,27
500	34.731,63	6.134,34	4,05	17,39
1.000	64.603,85	17.885,62	4,87	16,19

Outro fator que contribui para a viabilidade do sistema a ser eleito é o valor da tarifa, que pode variar conforme a concessionária e respectiva localização, pois, geralmente, no meio rural pode alcançar a metade do valor da tarifa urbana, sinalizando assim para indicadores de viabilidade mais favoráveis, se comparados com o meio rural.

Para projetos *off-grid*, ou seja, quando o consumidor não está conectado à rede, deve-se verificar o custo para a implantação de linhas de distribuição, o qual geralmente é elevado, além de acrescentar o valor das baterias. Além do custo de implantação, há também o custo de manutenção, orçado em 1% do valor do sistema.

Conclusões

O presente projeto de geração híbrida no sistema denominado Embrapa se mostra inviável, porém vale lembrar que o objetivo desse estudo foi gerar dados sobre a insolação regional e medir a eficiência técnica dos equipamentos selecionados no mercado local. Destacam-se que os principais itens influenciadores desse resultado negativo foram o alto custo de instalação do sistema Embrapa, delineado conforme as informações disponíveis à época, as tarifas menores em vigência para o meio rural, se comparadas com o meio urbano, a ineficiência da geração eólica, e a reduzida dimensão do sistema estruturado, visto que sistemas geradores de energia mais potentes ou de

maior escala de produção costumam apresentar menor custo por unidade gerada.

Reiteram-se os inúmeros benefícios do uso de fontes alternativas de energia, como geração de empregos, redução dos impactos ambientais, ganhos em logística, melhoria na comunicação, impactos socioeconômicos, como a possibilidade de aumento da renda no meio rural e outros efeitos positivos na diminuição do esforço no trabalho rural e geração de oportunidades de agroindustrialização, como o processamento e armazenamento de alimentos.

Por fim, avaliando-se o sistema Embrapa como um todo, talvez o modelo de geração de energia elétrica híbrida poderia se justificar em áreas onde o custo para construir linhas de transmissão fosse superior ao do projeto, em áreas de preservação ambiental, ou em áreas onde é possível explorar a máxima geração de sistemas eólicos. De qualquer forma, recomenda-se a continuidade dos estudos e avaliações desse sistema em outras localidades, com diferentes tarifas de distintas concessionárias, variações de radiação e de cenários de apoio ao desenvolvimento da agroenergia, como eventual forma de comprovar a eficiência técnica e econômica.

Referências

AMARANTE, O. C.; CAMARGO, A. do; BROWER, M. Z. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás; 2001. 45 p.

ÁVILA, A. F. D.; RODRIGUES, G. S.; VEDOVOTO, G. L. (Ed.). **Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa**: metodologia de referência. Brasília, DF: Embrapa, 2008. 189 p.

BARDI, U.; ASMAR, T. E.; LAVACCHI, A. Turning electricity into food: the role of renewable energy in the future of agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v. 53, p. 224-231, 2013.

BRASIL. **Plano decenal de expansão de energia 2019**. Brasília, DF: MME/EPE, 2010.

FAO. **Competitividad de la agricultura en América Latina y Caribe. Matriz de Análisis de Política: Ejercicios de Cómputo**. Santiago de Chile: FAO-RLC, 2007. 112 p. Disponível em: <<http://www.rlc.fao.org/uploads/media/map.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2018.

GALESNE, A.; FENSTERSEIFER, J. E.; LAMB, R. **Decisões de investimentos da empresa**. São Paulo: Atlas, 1999.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. Tradução Antonio Zoratto Sanvicente. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2004. 841 p.

GUIDUCCI, R. C. N.; LIMA FILHO, J. R.; MOTA, M. M. **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudo de caso**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 535 p.

HOUSTON, C.; GYAMFI, S.; WHALE, J. Evaluation of energy efficiency and renewable energy generation opportunities for small scale dairy farms: A case study in Prince Edward Island, Canada. **Renewable Energy**, v. 67, p. 20-29, 2014.

IEA (International Energy Agency). **Statistics**. Disponível em: <https://www.iea.org/statistics/>. Acesso em: 20 ago. 2017.

INEE (Instituto Nacional de Eficiência Energética). **O que é geração distribuída**. Disponível em: <www.inee.org.br>. Acesso em: 15 ago. 2018.

LACCHINI, C. **Análise econômica de sistemas fotovoltaicos residenciais no contexto brasileiro, com foco nos indicadores financeiros e nas tarifas locais de energia elétrica**. 2017. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis.

LOPES, M. de R.; BELARMINO, L. C.; OLIVEIRA, A. J. de; LIMA FILHO, J. R.; TORRES, D. A. P.; TALAMINI, D. J. D.; MARTINS, F. M. **Matriz de análise de política**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 227 p.

MME (Ministério de Minas e Energia). EPE Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**: nota técnica EPE. Rio de Janeiro: EPE, maio de 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2018.

MME (Ministério de Minas e Energia). EPE Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2011**: Ano base 2010. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2011a.

MME (Ministério de Minas e Energia). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. MME/EPE, 2011b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde>. Acesso em: 15 ago. 2018.

MONKE, E.; PEARSON, S. R. **The Policy Analysis Matrix for Agricultural Development**. Ithaca: Cornell University Press, 1989. 279 p.

NAKABAYASHI, R. **Microgeração fotovoltaica no Brasil**: viabilidade econômica. Instituto de Energia e Ambiente da USP, 2015. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mifoto.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

NASCIMENTO, T. C.; MENDONÇA, A. T. B. B. de; CUNHA, S. K. da. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. **Cadernos EBAPE.BR**, Fundação Getúlio Vargas., v. 2, n. 1, p. 1-14, 2004.

OLIVEIRA, S. H. F. de. **Geração distribuída de eletricidade; inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo**. 2002. Tese (Doutorado) - Faculdade de Economia e Administração. Instituto de Eletrotécnica e Energia e Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. v. 1. 60 p.

PHOTON-INTERNATIONAL. **The Photovoltaic Magazine. Survey on cell production 2010**. Março de 2011. Aachen, Germany, 2011. Disponível em: <www.photon-international.com/download/photovoltaic_cell_production_2010.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2018.

ROSS, S. A. **Princípios de Administração Financeira**. São Paulo: Atlas, 1998. 432 p.

RÜTHER, R. **A importância das instituições acadêmicas para o desenvolvimento do setor fotovoltaico no Brasil**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina: Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina (IDEAL), 2012.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, USP, São Carlos.

VERAS, L. L. **Matemática financeira**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 259 p.

VIEIRA, R. C.; TEIXEIRA FILHO, A. R.; OLIVEIRA, A. J.; LOPES, M. R. (Ed.). **Cadeias produtivas no Brasil: análise da competitividade**. Brasília: EMBRAPA: FGV, 2001. 469 p

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. **Projetos: planejamento, elaboração, análise**. 2. ed. 6. reimp. São Paulo: Atlas, 2011.

WORLD ENERGY COUNCIL . Recursos Energéticos Globais 2016. Disponível em: <<https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2018.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012.

