

# Geração Distribuída de Energia Elétrica no Meio Rural Familiar



**OBJETIVOS DE  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL**

**7** ENERGIA LIMPA  
E ACESSÍVEL



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

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
319**

**Geração Distribuída de Energia  
Elétrica no Meio Rural Familiar**

*Carlos Reisser Júnior  
Rodrigo Motta de Azevedo  
Silvio Steinmetz  
Ivan Rodrigues de Almeida  
Santiago Vianna Cuadra  
Clênio Renê Kurz Böhmer  
José Dias Vianna Filho*

**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  
*Fernando Jackson*

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

---

G354 Geração distribuída de energia elétrica no meio rural  
familiar / Carlos Reisser Júnior... [et al.]. – Pelotas:  
Embrapa Clima Temperado, 2019.  
16 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento /  
Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 319)

1. Energia. 2. Energia eólica. 3. Energia elétrica.  
4. Gerador de energia. 5. Zona rural.  
I. Reisser Júnior, Carlos. II. Série.

## Sumário

---

Introdução.....	7
Material e Métodos .....	8
Resultados e Discussão .....	12
Conclusões.....	15
Agradecimentos.....	15
Referências .....	16



## Geração Distribuída de Energia Elétrica no Meio Rural Familiar

Carlos Reisser Júnior<sup>1</sup>

Rodrigo Motta de Azevedo<sup>2</sup>

Silvio Steinmetz<sup>3</sup>

Ivan Rodrigues de Almeida<sup>4</sup>

Santiago Vianna Cuadra<sup>5</sup>

Clênio Renê Kurz Böhmer<sup>6</sup>

José Dias Vianna Filho<sup>7</sup>

**Resumo** – A energia renovável, que possui vários benefícios para a sociedade e o meio ambiente, foi beneficiada, nos últimos anos, pela Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que possibilita toda unidade consumidora de energia elétrica ser, também, uma unidade produtora de energia, quando conectada à rede de distribuição. A geração distribuída (GD) permite a compensação dos custos de energia elétrica, o que torna a rede uma solução para o novo produtor de energia elétrica. O meio urbano é onde se verifica o maior número de instalações, porém sabe-se que o meio rural é o que apresenta as melhores condições ambientais para essa tecnologia. Devido à abundância de recursos naturais, como vento, radiação solar, espaço, recursos hídricos e biomassa, esperava-se grande desenvolvimento nesse espaço. Os motivos para a baixa aceitação, no entanto, podem ser vários, mas devem-se especialmente ao desconhecimento sobre adequação, eficiência e economicidade das tecnologias atuais. Utilizando infraestrutura existente em quatro locais no Estado do Rio Grande do Sul, com geradores eólico e fotovoltaico próximos à estação meteorológica automática, determinou-se o rendimento dos equipamentos relacionando-os às variáveis meteorológicas. Conclui-se que o gerador eólico, por ser dependente das condições do vento, não é adequado ao meio rural, e que o gerador fotovoltaico apresenta bom rendimento, independentemente da região instalada, sendo adequado à geração de energia elétrica na propriedade familiar, com grande possibilidade de viabilidade econômica.

**Termos para indexação:** energia elétrica renovável; energia eólica; energia fotovoltaica; agricultura familiar.

---

<sup>1</sup> Engenheiro agrícola, doutor em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>2</sup> Engenheiro elétrico, mestre em Engenharia Elétrica, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul), Pelotas, RS.

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>4</sup> Geógrafo, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>5</sup> Meteorologista, doutor em Meteorologia Agrícola, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>6</sup> Engenheiro elétrico, doutor em Ciências, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul), Pelotas, RS.

<sup>7</sup> Engenheiro elétrico, mestre em Gestão da Inovação, analista da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

## Distributed Power Generation in Family Farming Areas

**Abstract** – Renewable energy has several benefits for society and the environment. The Resolution 482, in recent years, has increased these benefits, since it allows every electric power consumer unit to be also an energy producing unit, when connected to the distribution network. Distributed generation (GD) allows the compensation of electricity costs, which makes the network a solution for the new electricity producer. The urban environment is where the largest number of installations is verified, but it is known that the rural environment has the best environmental conditions for this technology. Due to the abundance of natural resources such as wind, solar radiation, space, water resources and biomass, a great development was expected in this space. Nevertheless, the reasons for the low acceptance may be several, but especially due to the lack of knowledge about the appropriateness, efficiency and economy of the current technologies. Using existing infrastructure in four locations in the State of Rio Grande do Sul, Brazil, with wind and photovoltaic generators near the automatic meteorological station, the performance of the equipments was determined by relating them to the meteorological variables. It is concluded that the wind generator, because it is dependent on the wind conditions, is not suitable for the rural environment, and that the photovoltaic generator presents good income wherever the installed region, being appropriate to the electric power generation in the family property, with great possibilities of economic viability.

**Index terms:** renewable energy, wind generator, photovoltaic generator, family farming.

## Introdução

---

A energia elétrica renovável ou alternativa é aquela gerada com a utilização de tecnologias não tradicionais e que são capazes de serem mantidas por longo prazo, através de recursos que se regeneram ou se mantêm ativos permanentemente. São potencialmente sustentáveis por ter um baixo impacto ambiental e possuírem aceitação cultural. Os exemplos mais comuns de fontes renováveis de energia são: a eólica, a solar, a hídrica, a biomassa, a geotérmica, a das ondas e a das marés.

A geração distribuída de energia elétrica (GD), nova tecnologia de distribuição dessa energia, pode ser definida como a geração próxima ao local de consumo ou, conforme Ackermann et al. (2001), como sendo a fonte de geração conectada diretamente na rede de distribuição da concessionária ao consumidor. Com a aprovação da Resolução Normativa nº 482 da Aneel em 2012, viabilizou-se a GD, possibilitando que toda unidade consumidora de energia elétrica ligada à rede de distribuição oficial se torne uma microgeradora de sua própria energia elétrica (Ministério das Minas e Energia, 2018). A energia gerada é fornecida à sua distribuidora e, por um sistema de compensação, o excedente pode ser consumido em outros períodos ou em outra unidade consumidora do mesmo proprietário. Esse processo permite a troca de kWh gerado por consumido, como crédito de energia sem que haja caracterização comercial de energia. Azevedo (2016) cita que o sistema de compensação ou *net metering*, que incentiva o aproveitamento de pequenas fontes de energia, traz como benefícios: postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição, baixo impacto ambiental, menor tempo de implantação, redução de carregamento dos condutores e consequentemente das perdas de energia nas redes, melhora dos níveis de tensão em períodos de maior carregamento, aumento da confiabilidade do sistema e a diversificação da matriz energética.

A Resolução Normativa nº 687/2015, complementar à 482/2012, estabelece que, para qualquer fonte renovável de energia elétrica, os sistemas com potências instaladas abaixo de 75 kW sejam considerados microgeração, e sistemas entre 75 kW e 5 MW sejam considerados minigeração.

Essa tecnologia aprovada pode ser considerada, para o meio rural, como uma tecnologia social, visto que se baseia na resolução de problemas da geração de renda da propriedade, que é um dos vários focos dessas tecnologias, conforme citam Rodrigues e Barbieri (2008). Além dessas características, a tecnologia, se apropriada pela comunidade, pode gerar mudanças de comportamento, atitudes e transformações sociais, além de ser, relativamente, uma nova fonte de renda pela redução de custos com energia elétrica.

Em GD, o Brasil, em 2016, possuía uma potência instalada de 376,6 MWp em um pouco mais de 31 mil unidades geradoras de várias fontes. Os estados que mais se destacam são Minas Gerais, com 6,2 mil unidades e potência instalada de 104 MWp, São Paulo com 5,9 mil unidades e potência instalada de 37,6 MWp, e Rio Grande do Sul, com 3,7 mil unidades e potência instalada de 46,5 MWp. As instalações residenciais são as mais numerosas, com mais de 23 mil unidades, seguidas pelas comerciais e rurais, que possuem 5,0 e 1,1 mil unidades, respectivamente (Aneel, 2018).

A energia solar fotovoltaica, uma das formas de transformar a energia solar em energia elétrica, é a que mais tem se adaptado às condições de GD em pequena escala. Nessa forma de geração, o Brasil possuía em 2016 potência instalada de 66,6 MWp em pouco mais de 9 mil usinas (Abgd, 2018). As outras formas de GD, que são a eólica, a térmica e a hidráulica, possuem potência instalada de 10,3, 29,7 e 43,9 MWp, respectivamente. (Aneel, 2018).

O vento, por sua vez, vem sendo utilizado há muito tempo como fonte de energia no meio rural. Normalmente, era usado para movimento mecânico de bombas de água ou para movimentação de pequenos geradores que produziam energia elétrica armazenada em baterias, semelhante ao ocorrido nos EUA nos anos 1930, e, como lá, seu aproveitamento foi reduzido com a chegada das redes elétricas rurais (Amarante; Silva, 2002). Essa energia podia ser usada como fonte de pequena escala, devido às limitações tecnológicas das baterias. Essa falsa eficiência cria uma expectativa de que hoje possa ser também utilizada como uma tecnologia moderna e que possa ser rentável e complementar a outras fontes de energia no meio rural. Exemplificando, Assis (2015) cita que um sistema de 2,4 kWp pode gerar 300 kWh/mês em regiões com incidência média de ventos de 6 m/s, independentemente de estar ou não conectado à rede. Cabe salientar, porém, que somente



uma cidade da região Sul possui velocidade média anual de ventos dessa ordem, medidos a 2 m de altura, que é a cidade de Soledade, no Rio Grande do Sul, conforme o Atlas Climático da Região Sul do Brasil (Wrege et al., 2011). Já para medições a 100 m ou 150 m de altura, conforme Amarante e Silva (2002) são seis as regiões com potencial superior às velocidades adequadas com ventos acima de 8 m/s.

Atualmente, geradores eólicos em grandes usinas utilizam tipo de tecnologia que necessita altos investimentos e, por sua vez, somente é realizado em regiões com uma base de informações de disponibilidade de vento que permita um retorno econômico desse investimento. Geradores de pequena potência são produzidos no Brasil, mas a tecnologia de GD não foi totalmente testada para determinar a viabilidade de sua adoção. No Brasil, atualmente, equipamentos certificados pelo Inmetro, como inversores de baixa potência para conexão à rede elétrica, não estão disponíveis.

O meio urbano, onde houve a maior receptividade pela GD fotovoltaica, possivelmente pelo maior custo da energia elétrica, nem sempre apresenta as melhores condições de instalação, visto que o espaço é restrito. A exposição à radiação de forma inadequada faz com que o potencial de geração dos equipamentos não seja alcançado, reduzindo o rendimento de transformação e aumentando o período de retorno do investimento realizado. Por sua vez, a energia eólica não desenvolveu equipamentos de pequeno porte adequados à GD para a maioria dos regimes de vento disponíveis. Por outro lado, a inexistência de luz durante a noite, poderia ser complementada com o aproveitamento de ventos durante esse período, nas regiões que apresentem esse potencial.

O meio rural, onde existem as melhores condições de instalação de equipamentos de geração renovável, ainda não despertou para o aproveitamento de suas fontes. O proprietário rural, por razões ainda desconhecidas, tem dúvidas sobre a possibilidade de utilizar essa forma de geração de recursos financeiros na sua propriedade. As condições de espaço disponível, insolação sem sombreamentos, sem barreiras para vento e radiação solar, e a grande disponibilidade de locais para escolha da melhor posição podem determinar um grande potencial de geração elétrica. Também é grande a possibilidade de aproveitamento da energia hídrica com a instalação de pequenas centrais hidrelétricas.

Muitos podem ser os motivos para a falta de interesse do setor rural em investir em geração de energia, mas os que mais se destacam seriam: experiências negativas com antigas tecnologias ultrapassadas da relativa cobertura de distribuição de energia elétrica em grande parte do meio rural, especialmente na região Sul; dificuldades de financiamento; desconhecimento das condições rurais; falta de opções tecnológicas; preço baixo da energia; especialmente, desconhecimento das tecnologias atuais sobre adequação, eficiência e economicidade. De acordo com Biasi et al. (2018), uma das recomendações para desenvolver a tecnologia no meio rural seria elaboração de material técnico e cursos sobre o tema para os agricultores, técnicos e extensionistas.

Portanto, este trabalho visa determinar o rendimento dos geradores eólico e fotovoltaico instalados em propriedades familiares do meio rural, com conexão à rede de distribuição de energia elétrica, para subsidiar a análise da viabilidade técnica e econômica dessas fontes de energia renováveis frente a novas tecnologias existentes.

## Material e Métodos

---

A existência de quatro sistemas híbridos de geração de energia elétrica, compostos por um gerador fotovoltaico e outro eólico (Figura 1), localizados nos municípios de São Lourenço do Sul, junto a uma comunidade quilombola (Monjolo), de Candiota (Candiota), junto a um produtor de assentamento rural, de Pelotas, junto à Estação Experimental Cascata (Cascata), na Embrapa Clima Temperado, e No Campus CAVG do IFSul (CAVG), financiados pelo extinto Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), hoje Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (Sead), permitiu a implantação de experimento de avaliação técnica dos equipamentos, mediante a relação com a disponibilidade de energia, ligada às variáveis meteorológicas, junto a cada local de instalação desses sistemas.

Foto: Paulo Luis Lanzetta de Aguiar



**Figura 1.** Estação híbrida de geração de energia elétrica renovável. Estação Experimental Cascata, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2018.

Em cada local, instalou-se uma estação meteorológica automática (EMA), que monitora e registra os elementos meteorológicos a 2 metros de altura do solo (Figura 2). As medidas utilizadas foram as médias de velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ) e taxa de radiação solar ( $W m^{-2}$ ).

Cada sistema híbrido de geração foi composto por um gerador fotovoltaico de quatro ou cinco placas solares e um gerador eólico. Esses sistemas possuíam potência de pico ou instalada de 1 kWp (quatro placas de 250 Wp), e de 1,25 kWp (no sistema fotovoltaico com cinco placas); o sistema gerador eólico, de cada local, possuía potência de pico de 1 kWp. Além dos geradores, cada sistema ainda tinha um painel de comando com medidor eletrônico de energia, que registrava o total gerado pelos dois sistemas, os inversores de potência eólico e o fotovoltaico, sistema de segurança e chave de travamento do gerador eólico.

Foto: Carlos Reisser Júnior



**Figura 2.** Estação meteorológica automática (EMA). Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2018.

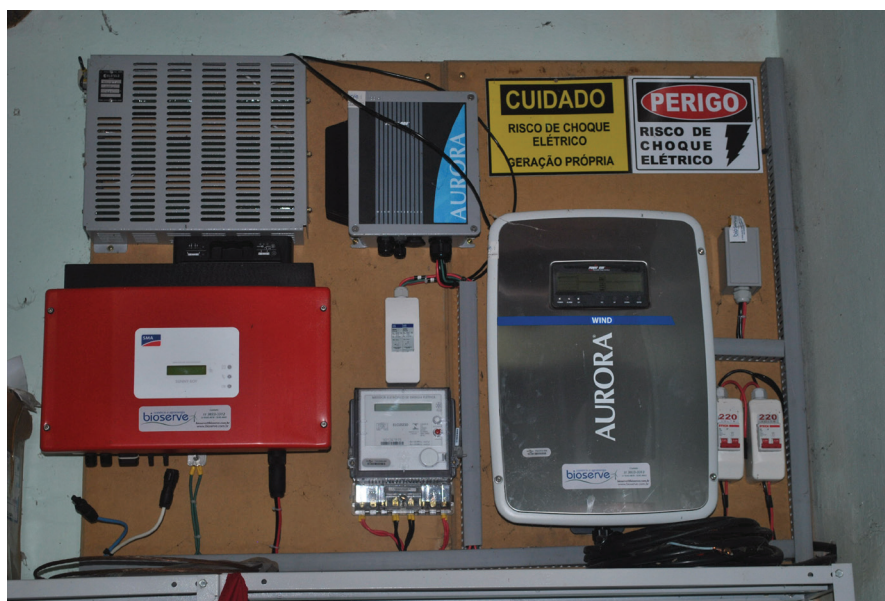


Foto: Carlos Reisser Júnior

**Figura 3.** Painel de comando dos equipamentos dos sistemas geradores híbridos nos locais de estudo. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2018.

Para que fosse realizada a análise de regressão de cada gerador individualmente, adotou-se o seguinte procedimento: para geração eólica coletavam-se dados quando a radiação solar era zero, e para a geração fotovoltaica quando a velocidade do vento era zero.

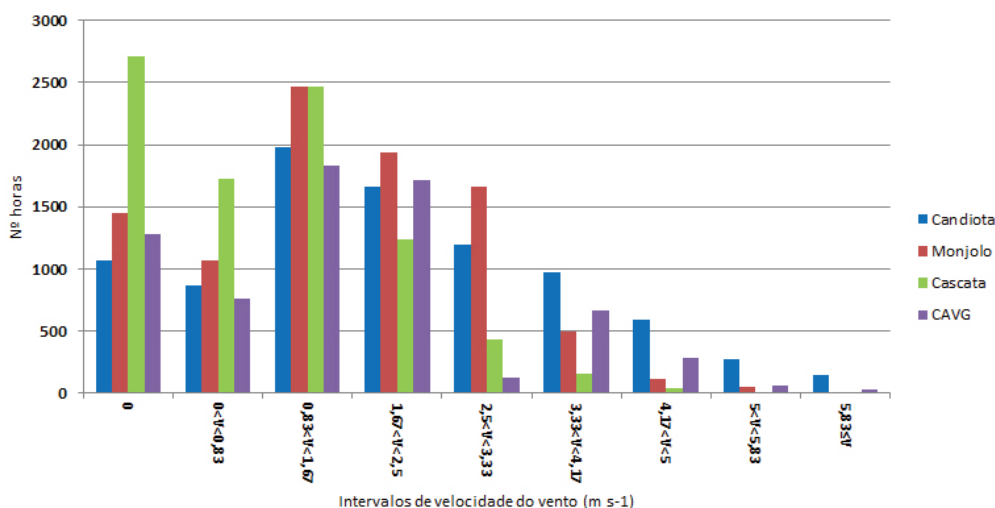
O período de coleta de dados foi durante o ano de 2017, sendo que, para períodos incompletos, ou seja, com falta de dados, utilizaram-se os disponíveis, fazendo-se uma média de geração diária. Para a frequência dos dados de geração, informou-se a quantidade de dados faltantes. Somente em duas localidades (Monjolo e Candiota) foi informada a geração medida pela distribuidora, devido a somente essas duas gerarem energia suficiente para ser avaliada nos equipamentos, pois em locais de alto consumo (Casata e IFSul), a energia gerada foi imediatamente compensada pela energia consumida, não havendo registro.

Para determinação do rendimento dos sistemas localizados em Monjolo e em Candiota, foi considerado o rendimento fotovoltaico de 1 kWp, ou seja, rendimento como se houvesse somente quatro placas em cada um desses locais. Para tal procedimento, dividiu-se a geração por 1,25. Essa metodologia permite comparar melhor a geração entre os vários locais.

Para determinação da geração total mensal e anual de energia elétrica em cada local, determinou-se o valor médio de geração diária para cada mês do ano, e, com esse valor, multiplicou-se pelo número de dias de cada mês. Essa metodologia permitiu que todos os locais ficassem com geração completa, mesmo com intervalos faltantes, devido a interrupções dos geradores ou das estações meteorológicas. Com os dados existentes, determinou-se o rendimento médio anual dos painéis solares de cada localidade, através de análise de regressão que relaciona a disponibilidade de radiação solar em  $W m^{-2}$  com a geração, em  $Wh m^{-2}$ . Para determinação do rendimento dos geradores eólicos, utilizou-se o valor da diferença entre a geração total dos dois sistemas e a geração fotovoltaica.

## Elementos climáticos medidos

A Figura 4 mostra a distribuição da velocidade média horária do vento nos locais de estudo ao longo do ano de 2017.



**Figura 4.** Distribuição da frequência do número de horas nos intervalos de velocidade do vento a 2 m de altura, nos diversos locais avaliados. Janeiro a dezembro de 2017. Obs.: Corrigido para 8.760 horas anuais. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2018.

A Figura 5 mostra a distribuição da radiação solar nos locais de estudo ao longo de 2017.

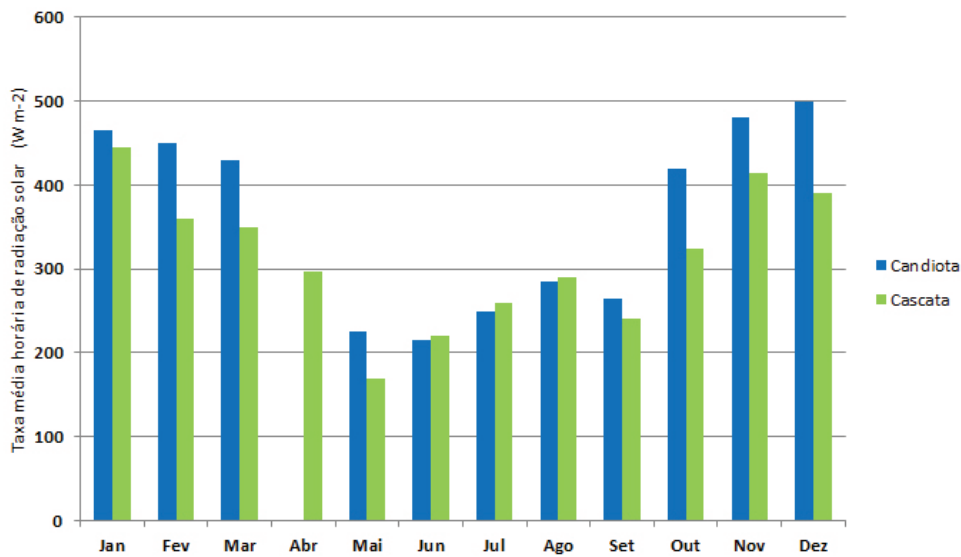


Figura 5. Taxa média horária de radiação solar na Cascata e em Candiotá, durante 2017.

## Equipamentos utilizados

Gerador eólico: Enersud.

A Figura 6 mostra a curva de rendimento do gerador eólico, disponível no manual técnico do equipamento (Enersud, 2018).

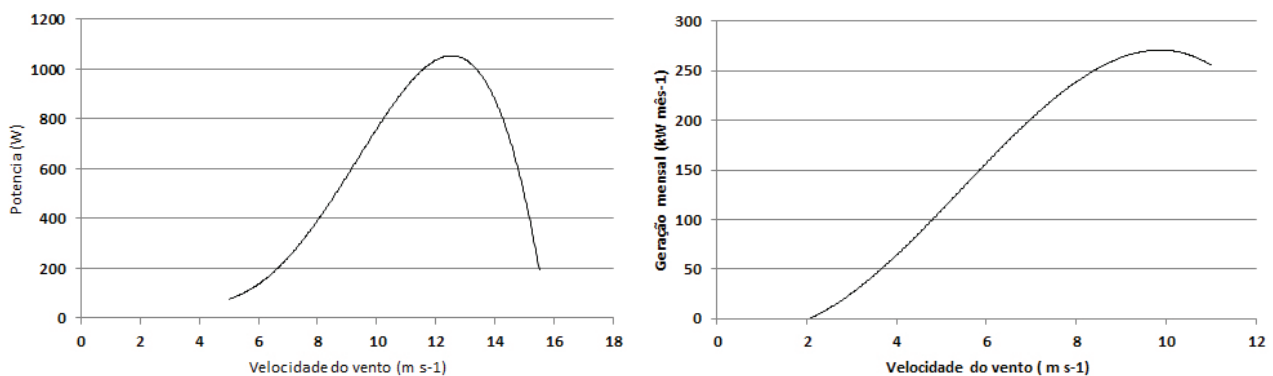


Figura 6. Curvas de potência (W) e geração de energia ( $\text{kWh mês}^{-1}$ ) fornecidas juntamente com o gerador eólico.

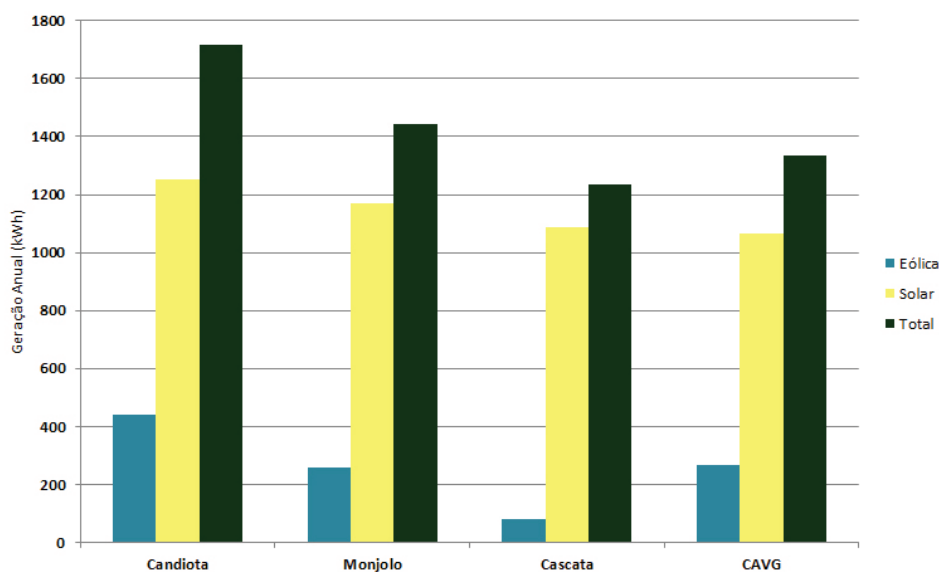
O conjunto de geração mista de energia em cada localidade possuía o seguinte conjunto de equipamentos para seu funcionamento e uma estação meteorológica automática com características relacionadas abaixo:

- Placas fotovoltaicas: Yingli Green Energy Americas; de tamanho 1.650 mm x 990 mm, e potência 250 Wp, modelo YL250P-29b.
- Inversor eólico: Aurora; saída monofásica, modelo UNO.
- Inversor solar: SMA, modelo Sunny Boy 1200.
- Medidor de energia: Elo, modelo 2132T.
- Estação Meteorológica: Davis Instruments, modelo Advantage Pro 2.

## Resultados e Discussão

### Geração de energia elétrica eólica e fotovoltaica nos vários locais de estudo

A geração anual de energia dos sistemas de geração nos quatro locais consta na Figura 7. Pode-se verificar que a geração em Candiota é a maior, com 1.716 kWh. Comparada com os outros locais, é 18%, 38% e 28% superior a Monjolo, Cascata e CAVG, respectivamente. Essas diferenças devem-se à localização dos sistemas, principalmente quanto à geração eólica do conjunto, o que também pode ser visualizado nessa mesma figura. Observa-se que onde existe mais vento, a geração é maior, pois as diferenças entre a geração fotovoltaica de Candiota para os outros locais não é tão expressiva (6%, 15% e 17%, em Monjolo, Cascata e CAVG, respectivamente).



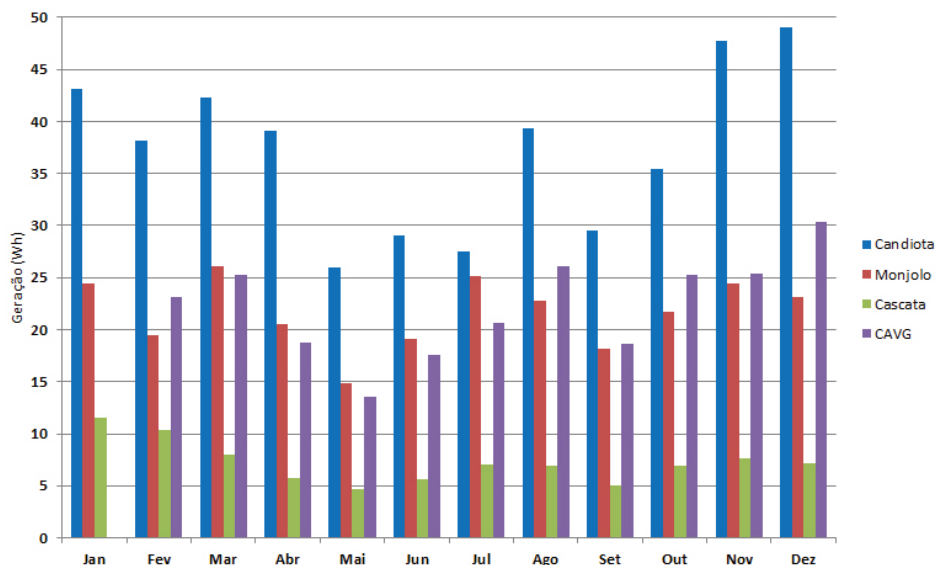
**Figura 7.** Geração total anual de energia elétrica renovável, por meio eólico e fotovoltaico, dos conjuntos geradores, em quatro locais de estudo, em 2017. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2018.

Em parte, essas diferenças devem-se às características da localização e do ambiente onde os equipamentos estão instalados. A existência de obstáculos e diferenças de topografia influenciam sobre a intensidade e a direção do vento na propriedade, bem como obstáculos e a nebulosidade afetam a exposição dos painéis ao sombreamento. A quantidade e forma dos obstáculos existentes nas propriedades se diferenciam, tornando as diferenças de velocidade de vento mais pronunciadas do que as de radiação solar. Além disso, sabe-se que a velocidade e a direção dos ventos possuem uma variabilidade espacial maior do que a de radiação solar.

### Geração eólica

Na Figura 8 consta a geração eólica mensal de cada local ao longo do ano. Pode-se observar que em Candiota a geração é maior do que em todos os outros locais estudados, superando 1,70, 5,35 e 1,65 vezes Monjolo, Cascata e CAVG, respectivamente. A localização do gerador eólico revela a sua importância pois, em Candiota, verifica-se que a disponibilidade de ventos com velocidade maior do que nos outros locais monitorados (Figura 1). Nesse local, além de ser uma região com maior disponibilidade de vento, a existência de barreiras naturais é menor, sendo determinante para esses resultados.

Ao longo do ano, verifica-se que entre os meses de novembro e abril ocorre o período de maior geração, devido à maior velocidade do vento em todas as localidades avaliadas. Durante o período mais frio do ano é quando se tem as menores taxas de velocidade do vento, assim como de radiação solar, devido à declinação solar.

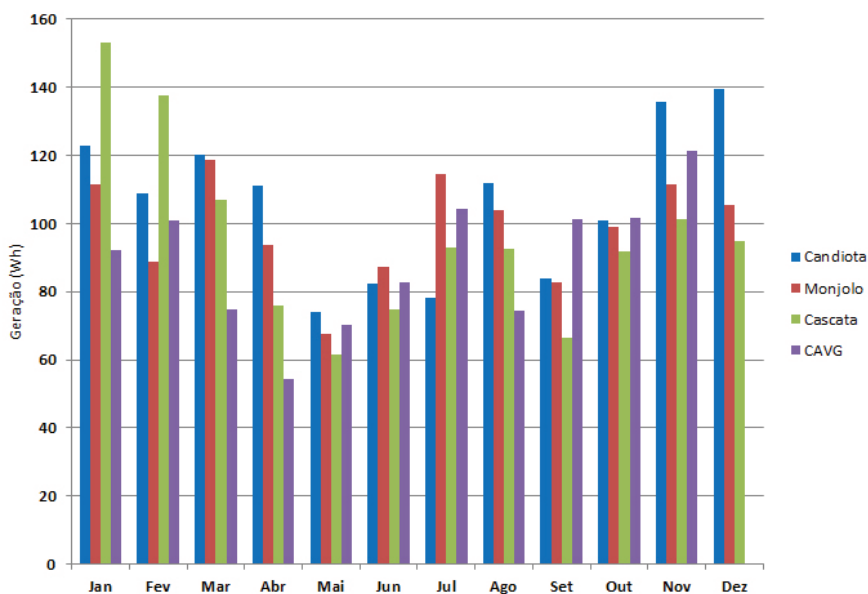


**Figura 8.** Geração eólica mensal de energia elétrica nos quatro locais de estudo durante 2017. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2018.

### Geração fotovoltaica

A geração fotovoltaica de 2017, mostrada na Figura 9, evidencia a variação mensal da geração renovável. Os meses de maior geração são os próximos ao fim do ano, quando a disponibilidade de radiação solar é maior. Pode-se observar que o mês de maio é o de menor geração, pois é quando a radiação solar diminui e o rendimento dos painéis é baixo, devido à temperatura no período. Já durante os meses de junho, julho, agosto e setembro, a geração aumenta, devido ao aumento da radiação, conforme Figura 2. Na Figura 5, pode-se observar também que a disponibilidade de energia na Cascata é semelhante à de todos os locais, como, por exemplo, em Candiota, local mais distante da Cascata. As pequenas variações nos valores das taxas mostram a pouca variação espacial dessa variável.

Comparando-se as Figuras 8 e 9, pode-se verificar que os valores da geração fotovoltaica são maiores do que os da eólica. Apesar da variação mensal de geração de energia elétrica ser proporcional entre elas, os valores absolutos mensais da geração fotovoltaica são maiores durante todos os meses do ano.



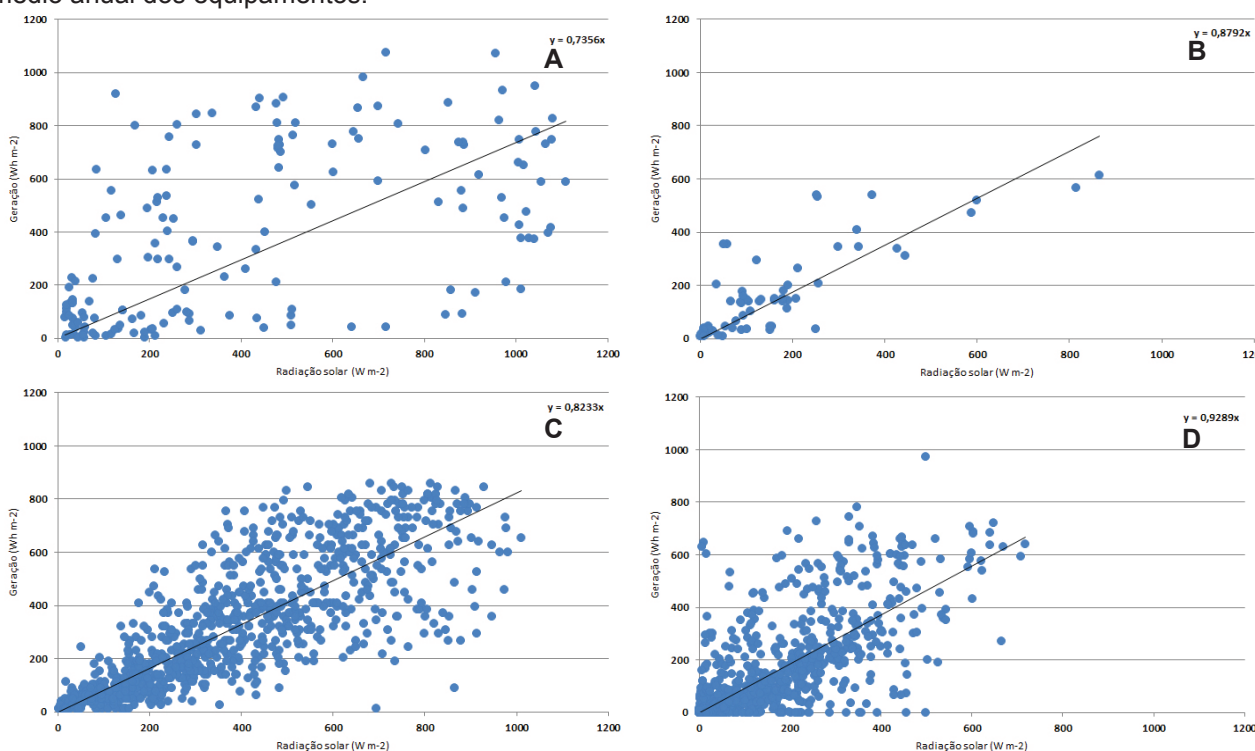
**Figura 9.** Geração fotovoltaica de energia elétrica nos quatro locais de estudo durante 2017. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2018

## Rendimento da geração eólica e fotovoltaica nos locais estudados

### Geração Fotovoltaica

A análise de regressão que relaciona os valores de radiação solar e geração de energia elétrica do sistema fotovoltaico, nos quatro locais, mostra que o rendimento de cada sistema apresenta diferenças entre si. Nas Figuras 10A, 10B, 10C e 10D, pode-se observar as curvas com suas equações, as quais mostram o rendimento de cada sistema através de seu coeficiente angular. Candiota, Cascata, CAVG e Monjolo apresentam os valores 0,7356, 0,9289, 0,8792 e 0,8233, respectivamente. Essas diferenças podem haver devido à localização e a instalação de cada equipamento. Sabe-se que o correto direcionamento do painel, bem como obstáculos que sombreiam, influem sobre esse rendimento.

A diferença do número de pontos entre um local e outro é causada por falhas nos equipamentos. É importante salientar que esses pontos são relativos a dados de todo o ano e que representam um rendimento médio anual dos equipamentos.



**Figura 10.** Curvas de regressão da relação entre os valores de energia elétrica gerados e a disponibilidade de energia solar nos locais estudados. A - Candiota; B - Cascata; C - CAVG; D - Monjolo, 2017.

Pelos valores dos coeficientes de regressão da curva, verifica-se onde a geração fotovoltaica é mais importante e possui rendimento maior. Pode-se afirmar que a energia gerada pelos sistemas, considerando-se quatro placas fotovoltaicas por local, apresenta rendimento médio de aproximadamente 84% em todos os locais estudados.

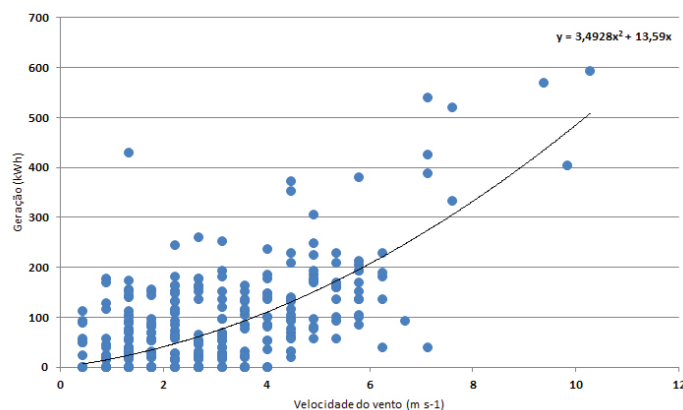
Se analisado o rendimento de cada placa, dividindo-se o valor gerado pela área das placas de 6,47 m<sup>2</sup>, pode-se inferir que o rendimento individual de cada placa é de 12,98%. O manual técnico das placas cita que o rendimento máximo pode chegar a 15,9%. O mesmo manual também cita que o rendimento pode baixar para 91,2%, em relação ao rendimento máximo inicial, nos primeiros 10 anos, e 80,7% nos próximos 25 anos.

### Geração eólica

A análise do rendimento do sistema eólico somente foi possível com o equipamento localizado em Candiota, pela disponibilidade de vento ser a maior dentre os locais estudados. Com os dados dessa localidade, determinou-se uma curva de potência (Figura 11), semelhante à curva do manual técnico do equipamento. A potência gerada observada em Candiota é menor do que a mostrada no manual do gerador, porém as diferenças

não são tão acentuadas. Para a melhor condição de vento em Candiota,  $10 \text{ m s}^{-1}$ , observou-se que a geração horária chega a 500 a 600 W, enquanto que no manual técnico deveria gerar 700 W a cada hora com essa intensidade de vento (Figura 3).

Nos locais estudados, a quantidade de horas de vento com velocidade adequada ao equipamento é baixa, o que torna inviável sua instalação em propriedades rurais comumente encontradas no sul do RS. Portanto, a baixa geração eólica nos vários locais deve-se principalmente às condições de vento e do sistema de conexão, visto que, em condições adequadas, o equipamento funciona bem, tecnicamente.



**Figura 11.** Curva de regressão da relação entre os valores de velocidade do vento e a geração de energia em Candiota, 2017.

## Conclusões

A geração renovável de energia elétrica distribuída (GD) eólica e fotovoltaica é possível no meio rural. Com os equipamentos disponíveis e em sistemas híbridos de geração, a quantidade gerada varia entre as localidades, principalmente devido às condições de vento e do relevo do local.

O rendimento dos equipamentos de geração eólica de energia conectados na rede de distribuição são tecnicamente eficientes, porém os geradores são muito dependentes das condições do vento no local; portanto, não são adequados a propriedades localizadas no meio rural que não tenham as condições de vento necessárias.

A geração fotovoltaica distribuída é adequada à propriedade familiar rural, devido às condições de insolação existentes não dependerem da localização e, também, pelo maior rendimento do sistema.

Nas condições estudadas, o sistema de geração de energia fotovoltaica é adequado para geração distribuída no meio rural, tendo boas possibilidades de ser economicamente viável ao produtor rural familiar.

## Agradecimentos

Agradecemos a todos que auxiliaram na realização deste trabalho, especialmente: ao Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), hoje Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (Sead); ao Movimento dos Pequenos Agricultores; ao Senhor Jerri Eliano Quevedo (Comunidade Quilombola Monjolo); ao Senhor Erich Lagemann; aos vários bolsistas e estagiários que nos ajudaram no desenvolvimento do trabalho.



## Referências

---

- ABGD (Associação Brasileira de Geração Distribuída). Disponível em: <https://www.geracaodistribuida.org/copia-mapa-do-mercado-3> Acesso em: 12 set. 2018.
- ACKERMANN, T.; ANDERSON, G.; SÖDER, L. Distributed Generation: a definition. **Electric Power Systems Research**, Bologna, v. 57, n. 3, p. 195-204, 2001.
- AMARANTE, O. A.; SILVA, F. J. L. da. **Atlas eólico**: Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Camargo Schubert Engenharia Eólica: Secretaria de Energia Minas e Comunicações do Estado do Rio Grande do Sul, 2002.
- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Geração distribuída**. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD\\_Fonte.asp](http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp) Acesso em: 12 set. 2018.
- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Outorgas e Registros de geração**. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset\\_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_mJhnKli7qcJG%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-2%26p\\_p\\_col\\_pos%3D1%26p\\_p\\_col\\_count%3D2](http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qcJG%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2) Acesso em: 12 set. 2018.
- ASSIS, A. de. **A energia eólica para consumo residencial**. 2015. 33 f. Monografia (Especialização em Economia e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Paraná, Departamento de Economia Rural e Extensão, Curitiba.
- AZEVEDO, R. M. de. **Impactos operacionais da complementariedade de fontes de geração solar fotovoltaica e a biogás em sistemas de distribuição**. 2016. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- BIASI, C. A. F.; MARIANI, L. F.; PICINATTO, A. G.; ZANK, J. C. C. **Energias renováveis na área rural da Região Sul do Brasil**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2018. 202 p.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Energia solar no Brasil e no mundo**: ano de referência 2016. [Brasília, DF], 2016. Boletins de Energia, edição de 16 out. 2017. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/boletins-de-energia?p\\_p\\_id=20&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&\\_20\\_struts\\_action=%2Fdocument\\_library%2Fview\\_file\\_entry&\\_20\\_redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpublicacoes-e-indicadores%2Fboletins-de-energia%3Fp\\_p\\_id%3D20%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26\\_20\\_entryEnd%3D20%26\\_20\\_displayStyle%3Ddescriptive%26\\_20\\_viewEntries%3D1%26\\_20\\_viewFolders%3D1%26\\_20\\_expandFolder%3D0%26\\_20\\_folderStart%3D0%26\\_20\\_action%3DbrowseFolder%26\\_20\\_struts\\_action%3D%252Fdocument\\_library%252Fview%26\\_20\\_folderEnd%3D50%26\\_20\\_entryStart%3D0%26\\_20\\_folderId%3D3580498&\\_20\\_fileEntryId=3918533](http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/boletins-de-energia?p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fview_file_entry&_20_redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpublicacoes-e-indicadores%2Fboletins-de-energia%3Fp_p_id%3D20%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26_20_entryEnd%3D20%26_20_displayStyle%3Ddescriptive%26_20_viewEntries%3D1%26_20_viewFolders%3D1%26_20_expandFolder%3D0%26_20_folderStart%3D0%26_20_action%3DbrowseFolder%26_20_struts_action%3D%252Fdocument_library%252Fview%26_20_folderEnd%3D50%26_20_entryStart%3D0%26_20_folderId%3D3580498&_20_fileEntryId=3918533) Acesso em: 16 ago. 2018.
- ENERSUD. **Manual técnico da empresa**. Disponível em: <http://www.enersud.com.br/downloads/todos.pdf> Acesso em: 16 ago. 2018.
- RODRIGUES, I.; BARBIERI, J. C. A emergência da tecnologia social: revisitando o movimento da tecnologia apropriada como estratégia de desenvolvimento sustentável. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 6, p. 1069-1094, 2008.
- SOLACITY INC. **The Truth About Small Wind Turbines**. Disponível em: <https://www.solacity.com/small-wind-turbine-truth/> Acesso em: 16 ago. 2018.
- WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas climático da Região Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa florestas, 2011. 333 p.



**Embrapa**

---

***Clima Temperado***

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

CGPE 15297