

AVALIAÇÃO DA ATRATIVIDADE FINANCEIRA DA MINIGERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA DE 1 MW NA FAZENDA DA RESSACADA II DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Lucas Costa – lucas.costa.16@hotmail.com

Gustavo Xavier de Andrade Pinto – gustavoxap@gmail.com

Daniel Odílio dos Santos - daniel.odilio@gmail.com

Helena Flávia Napolini - helena@eel.ufsc.br

Ricardo Rütther – ricardo.ruther@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Universitário Trindade, Caixa Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900

Resumo. Este trabalho tem como objetivo avaliar a atratividade financeira da minigeração solar fotovoltaica de 1 MWp que poderia vir a ser instalada em solo e conectada à UC Fazenda da Ressacada II, de titularidade da UFSC. As simulações foram realizadas por meio do software PVsyst. Os resultados mostraram que a minigeração solar fotovoltaica de 1 MWp que seria inserida na UC Fazenda da Ressacada II poderia gerar aproximadamente 1.460 MWh/ano e sua produtividade seria de 1,35 MWh/kWp/ano. Os resultados mostraram ainda, para TMA de 3% e compensação da energia excedente gerada na UC Fazenda da Ressaca II em UCs da UFSC alimentadas em média tensão, VPL de aproximadamente 2,4 milhões de reais e payback de aproximadamente 12,3 anos. Para TMA de 3% e compensação da energia excedente gerada na UC Fazenda da Ressaca II em UCs da UFSC alimentadas em baixa tensão, os resultados mostraram VPL de aproximadamente 5,6 milhões de reais e payback de aproximadamente 7,95 anos.

Palavras-chave: Energia solar, geração solar fotovoltaica, atratividade financeira da geração fotovoltaica

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que os edifícios representam um percentual muito alto de consumo de energia elétrica em comparação com outros setores econômicos. Embora as porcentagens variem de país para país, os edifícios são responsáveis por cerca de 30 a 45% da demanda global de energia. Edifícios comerciais, principalmente edifícios de escritórios e universidades, são classificados entre os que apresentam o maior consumo de energia (Gul e Patidar, 2014).

Campi universitário são locais ideais para a implantação da geração solar fotovoltaica. Pela natureza das atividades realizadas; existe uma grande coincidência entre a disponibilidade solar e a demanda de energia elétrica, visto que o ar condicionado é o equipamento que apresenta o maior consumo em suas edificações, apresentando-se como uma estratégia muito interessante para redução do consumo de energia elétrica (Napolini et al., 2016, Pinto et al., 2018).

O conceito de universidade sustentável pode ser definido como uma instituição de ensino superior que envolve e promove a minimização de efeitos ambientais, econômicos e sociais gerados pelo uso de seus recursos (Velazquez et al., 2006). Sedlacek (2013) salienta que as universidades têm papel fundamental no desenvolvimento sustentável em nível regional. Uma preocupação maior com sustentabilidade energética em *campi* universitários surgiu desde a divulgação da Diretiva Européia sobre o Desempenho Energético em Edificações (EPBD) (Janssen, 2004).

Kolokotsa et al. (2016) afirmam que, no que diz respeito ao espaço físico, população e aos diversos tipos de atividades realizadas nos *campi*, as universidades podem ser consideradas como mini-cidades. Alshuwaikhat e Abubakar (2008) mostram que os impactos energéticos e ambientais causados por universidades através de suas atividades e operações de ensino e pesquisa podem ser consideravelmente reduzidas utilizando-se escolhas eficientes de medidas organizacionais e gerenciais.

No Brasil, é adotado um sistema de *net-metering*, na forma de créditos a serem utilizados pela unidade consumidora nos subsequentes períodos de faturamento. De acordo com a Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012), para as UCs participantes do Sistema de Compensação de Créditos, a compensação deve ser feita, primeiramente, no posto tarifário em que ocorreu a geração e, posteriormente, no posto tarifário em que não ocorreu geração. De acordo com a Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012), a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses. Além disso, nessa mesma resolução normativa, a compensação também pode se dar quando a unidade consumidora não se encontra no local de compensação, configurando-se, dessa forma, autoconsumo remoto. Caracteriza-se essa modalidade de compensação de energia quando uma unidade consumidora com microgeração ou minigeração de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, (incluídas matriz e filial) ou Pessoa Física esteja em local diferente de outras unidades consumidoras, desde que encontrem-se dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada.

De acordo com a (ANEEL, 2016), a publicação do Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ, o Convênio ICMS 16, de 22/4/2015, autorizou as unidades federadas a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica. Dessa forma, os estados que aderiram ao Convênio ICMS 16/2015 estão permitidos a concederem isenção do ICMS incidente sobre a energia elétrica injetada na rede de distribuição pelo consumidor. No estado de Santa Catarina, foi emitido o decreto nº 233, de 30 de agosto de 2019, que introduz as atribuições relativas à circulação de energia elétrica sujeita ao faturamento sob o sistema de compensação de créditos, aplicando-se para unidades consumidoras com potência instalada de geração menor ou igual a 1 MW.

Portanto, para o estudo de compensação de créditos decorrentes da energia injetada na rede, na composição da tarifa de compensação, não serão contabilizados a incidência do ICMS no crédito gerado. Uma questão importante abordada na Resolução Normativa nº 482 de 2012 da ANEEL (ANEEL, 2012) é a limitação da potência instalada da central geradora à potência disponibilizada para a unidade consumidora, que para o Grupo A, é a demanda contratada junto à distribuidora. No caso de aumento da potência instalada, deve-se solicitar aumento da demanda contratada.

Tendo em vista a possibilidade da geração FV e a energia excedente injetada na rede da distribuidora poder ser compensada na modalidade autoconsumo remoto e a grande demanda de energia elétrica de edificações de *campi* Universitários, torna-se muito interessante a análise da viabilidade técnica e financeira da inserção da minigeração solar fotovoltaica na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), já que a UFSC detém, em seu CNPJ, diferentes unidades consumidoras. Neste trabalho, foi escolhida, para a inserção da geração FV, a unidade consumidora Fazenda da Ressacada II, na qual se tem uma extensa área descoberta, possibilitando a instalação em solo de módulos fotovoltaicos para geração de energia elétrica.

2. METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo avaliar a atratividade financeira da minigeração fotovoltaica de 1 MWp que poderia vir a ser instalada em solo e conectada na UC Fazenda da Ressacada II. Esta UC é de titularidade da UFSC. Todas as análises foram realizadas para o ano de 2019, tendo em vista este ser um ano típico, sem os impactos da pandemia da COVID 19 no consumo de energia elétrica da UFSC (desde março de 2020 até a presente data, as atividades da UFSC estão sendo desenvolvidas de forma remota). Em 2019, o consumo de energia elétrica de todas as UCs de titularidade da UFSC foi de aproximadamente 25,4 GWh (<https://dpae.ufsc.br/monitoramento-energia/>).

2.1 Minigeração FV - Fazenda da Ressacada II

A UC Fazenda da Ressacada é uma UC alimentada em 13,8 kV (subgrupo A4), com contratação da energia elétrica junto à concessionária local (Celesc-DIS) na modalidade Horossazonal Verde. Em 2019, o consumo da UC Fazenda da Ressacada II foi de 245,44 MWh (0,97% do consumo anual da UFSC).

A UC Fazenda da Ressacada II foi escolhida para este estudo por abranger uma grande área disponível para a instalação da minigeração FV e por estar localizada na área de concessão da mesma distribuidora de energia que as outras UCs da UFSC. A abrangência em área disponível da UC Fazenda da Ressacada II torna possível a instalação de um sistema de geração solar fotovoltaico de 1MWp em solo, no qual os módulos FV possuem inclinação e orientação adequadas para máxima captação de irradiação solar.

A Fazenda Experimental da Ressacada II, localizada no Bairro da Tapera, Florianópolis-SC (distante cerca de 16 quilômetros do Campus Cidade Universitária) abrange diversas áreas destinadas a atividades didáticas distintas e ainda uma vasta área sem ocupação. Aproximadamente 233.900 m² de sua área total (183,43 ha) são áreas de vegetação nativa (Floresta Ombrófila Densa) e 288.890 m² são áreas de banhados (manchas de formações pioneiras com influência fluvial). Apenas 695.000 m² são classificadas de áreas antropizadas. A Fig. 1 apresenta a área de abrangência da UC.



Figura 1 - Abrangência da UC Fazenda da Ressacada II

A Tab. 1 apresenta, para o ano de 2019 e para o local de inserção da UC, a evolução mensal da temperatura média diária e da irradiação média diária.

Tabela 1 - Valores de irradiação e temperatura ambiente - Florianópolis.

| Mês | Irradiação Global Horizontal (kWh/m ²) | Temperatura (°C) |
|------------|--|------------------|
| Jan | 190,1 | 25,2 |
| Fev | 160,7 | 24,8 |
| Mar | 153,5 | 24,7 |
| Abr | 116,4 | 24,3 |
| Mai | 95,8 | 20,9 |
| Jun | 78,3 | 17,6 |
| Jul | 85,0 | 17,2 |
| Ago | 105,2 | 16,8 |
| Set | 110,7 | 20,5 |
| Out | 142,0 | 21,0 |
| Nov | 175,6 | 23,1 |
| Dez | 192,8 | 24,9 |
| Ano | 1.606,1 | 21,8 |

Foram utilizados dados de temperatura ambiente média diária obtidos via INMET (2020) e valores de irradiação solar global horizontal média mensal obtidos por meio do banco de dados da 2ª edição do ATLAS Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2017).

A escolha da tecnologia foi baseada em pesquisa de mercado realizado por Greener (2021). A marca do módulo selecionado é a do fabricante que tem maior importação no mercado brasileiro, sendo escolhidos módulos fotovoltaicos de silício multicristalino (p-Si). A potência FV é de 1.081 kWp, com 3.000 módulos. A Tab. 2 apresenta os valores das principais características dos módulos.

Tabela 2 - Principais características dos módulos FV.

| Potência Nominal (Wp) | V _{mpp} (V) | I _{mpp} (A) | V _{oc} (V) | I _{sc} (A) |
|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 360 | 39,6 | 9,1 | 47 | 9,67 |

A escolha dos inversores também levou em consideração a pesquisa de mercado (Greener, 2021). Foram selecionados, nove inversores da mesma marca e fabricante, com potência máxima de saída de 110 kVA.

Para avaliar a geração solar fotovoltaica do sistema FV em solo na UC Fazenda da Ressacada II foi utilizado o software PVsyst (Mermoud, 2017). Os valores utilizados para perdas padronizadas inseridos no programa estão representados na Tab. 3.

Tabela 3 - Perdas padronizadas.

| Perda ôhmica | Perda da eficiência dos módulos | Perda por mismatch | Perda por sujeira | Indisponibilidade do sistema | Perdas LID |
|--------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|------------|
| 1,50% | -0,80% | 1,00% | 3,00% | 0% | 1,30% |

A simulação da minigeração fotovoltaica de 1 MWp que poderia vir a ser instalada na Fazenda da Ressacada II tem como principais características a orientação com desvio azimutal de 0° ao norte e inclinação de 22° em relação ao solo. A Fig. 2 apresenta o modelo tridimensional utilizado na simulação. Todas as imagens aéreas estão com face orientada para o norte e fora de escala.

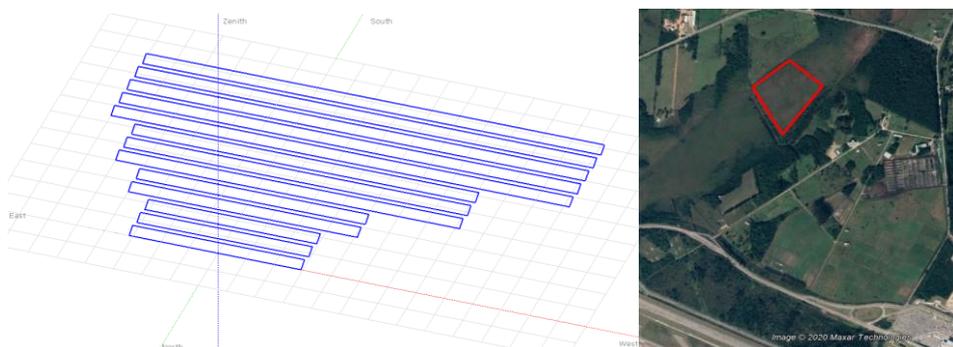


Figura 2 - Localização em solo do sistema FV

2.2 Indicadores técnicos

Para avaliar a produção efetiva do sistema FV, em base mensal e anual, foram calculados o desempenho global (*Performance Ratio*), a produtividade e o fator de capacidade.

A Eq. (1) apresenta o desempenho global (PR) do sistema, onde i representa o intervalo de tempo especificado; P , a potência instalada; E_i^{gerada} , a energia gerada pelo sistema FV no intervalo de tempo especificado (obtida via software PVsyst), expressa em kWh; I^{ref} , a irradiância de referência (1.000 W/m²) e Irr_i , a irradiação solar no intervalo de tempo especificado (obtido via dados BRSN), expressa em kWh/m².

$$PR_i = (E_i^{gerada} \cdot I^{ref}) / (P \cdot Irr_i) \quad (1)$$

A Eq. (2) apresenta a produtividade (*Yield*) do sistema, onde Y_i representa a produtividade no intervalo de tempo especificado, expressa em horas; i , o intervalo de tempo especificado; P , a potência instalada da usina, expressa em kW e E_i^{gerada} , a energia gerada pela usina no intervalo de tempo especificado, expressa em kWh (obtido via software PVsyst).

$$Y_i = E_i^{gerada} / P \quad (2)$$

A Eq. (3) apresenta o fator de capacidade do sistema, onde FC_i , representa o fator de capacidade no intervalo de tempo especificado; i , o intervalo de tempo especificado; P , a potência instalada da usina, expressa em kW e E_i^{gerada} , a energia gerada pela usina no intervalo de tempo especificado, expressa em kWh (obtido via software PVsyst).

$$FC_i = E_i^{gerada} / P * i \quad (3)$$

2.3 Compensação de créditos devido à energia excedente injetada na rede da concessionária

De acordo com a Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012), para as UCs participantes do Sistema de Compensação de Créditos, a compensação deve ser feita, primeiramente, no posto tarifário em que ocorreu a geração e, posteriormente, no posto tarifário em que não ocorreu geração. Tendo em vista que foi considerado, para ambas as simulações, geração somente no horário fora ponta, as compensações do consumo no horário ponta, quando houver, levarão em consideração o Fator de Ajuste.

O Fator de Ajuste é obtido pela razão entre as tarifas de energia do horário de ponta e do horário fora da ponta. A Tab. 4 apresenta os valores utilizados no cálculo de compensação para diferentes postos tarifários.

Tabela 4 – Fator de Ajuste para compensação no posto tarifário diferente ao da geração

| Fator de Ajuste | Subgrupo | TE | | | |
|-----------------|------------------|---------|-----------------|-------------|------|
| | | Ponta | Fora Ponta (FP) | Relação | |
| | | R\$/MWh | R\$/MWh | FP/P | P/FP |
| 2019/1 | A4 (2,3 a 25 kV) | 472,51 | 297,16 | 0,63 | 1,59 |
| 2019/2 | A4 (2,3 a 25 kV) | 402,27 | 233,34 | 0,58 | 1,72 |

Fonte: ANEEL (2018 e 2019).

Na compensação de créditos decorrentes da energia excedente injetada na rede, a diferença entre a energia gerada e a consumida no horário FP, depois de multiplicada pelo fator de ajuste, é utilizada na compensação local do consumo no horário P. Caso ainda haja excedente de energia gerada no horário FP, a compensação passa a ser realizada da mesma forma descrita anteriormente em outras UCs participantes do sistema de compensação de créditos de mesma titularidade da UFSC por meio da modalidade de autoconsumo remoto.

Para avaliar os benefícios proporcionados por créditos decorrentes da energia injetada na rede é necessário calcular a tarifa de compensação com impostos. Não será considerado o benefício da componente de ICMS sobre a TUSD. A Eq. (4) apresenta a tarifa com todos os impostos (ANEEL, 2016).

$$Tarifa\ final\ com\ impostos = \frac{Tarifa\ homologada}{1 - (aliquota\ PIS + aliquota\ COFINS + aliquota\ ICMS)} \quad (4)$$

Para o cálculo da tarifa de compensação de energia nos subgrupos A4 (alta tensão) e B3 (baixa tensão), foi considerado o valor de ICMS para o estado de Santa Catarina, PIS e COFINS para os respectivos meses de 2019, e as tarifas TUSD e TE de acordo com as Resoluções Homologatórias de nº 2.436 (13 de agosto de 2019) e de nº 2.593, de 20 de agosto de 2019 da ANEEL.

A Tab. 5 apresenta, para o ano de 2019 e para unidades consumidoras alimentadas em baixa tensão e em média tensão, a evolução mensal dos impostos e da TUSD e TE nos horários FP e P.

Tabela 5 – Impostos e tarifas de compensação.

| Mês | ICMS | PIS | COFINS | Tarifa Compensação BT (R\$/ kWh) | Tarifa Compensação MT (FP) (R\$/ kWh) | Tarifa Compensação MT (P) (R\$/ kWh) |
|--------|------|-------|--------|---|--|---|
| Jan/19 | 25% | 1,52% | 6,99% | 0,697 | 0,521 | 1,541 |
| Fev/19 | 25% | 0,98% | 4,52% | 0,669 | 0,499 | 1,484 |
| Mar/19 | 25% | 0,25% | 1,17% | 0,635 | 0,473 | 1,413 |
| Abr/19 | 25% | 0,00% | 0,00% | 0,624 | 0,464 | 1,390 |
| Mai/19 | 25% | 0,12% | 0,55% | 0,630 | 0,468 | 1,401 |
| Jun/19 | 25% | 0,84% | 3,89% | 0,663 | 0,494 | 1,470 |
| Jul/19 | 25% | 1,54% | 7,07% | 0,698 | 0,522 | 1,543 |
| Ago/19 | 25% | 1,65% | 7,60% | 0,621 | 0,435 | 1,503 |
| Set/19 | 25% | 0,99% | 4,56% | 0,592 | 0,413 | 1,435 |
| Out/19 | 25% | 0,58% | 2,70% | 0,575 | 0,401 | 1,397 |
| Nov/19 | 25% | 0,11% | 0,53% | 0,557 | 0,387 | 1,355 |
| Dez/19 | 25% | 0,24% | 1,10% | 0,561 | 0,391 | 1,366 |

2.4 Indicadores financeiros

As análises financeiras do retorno do investimento foram feitas por meio das simulações de cálculo do tempo de retorno de investimento, do valor presente líquido (VPL) e da taxa de retorno de investimento (TIR). Adicionalmente, foi calculado o custo da energia gerada (*Levelized Cost of Investment* - LCOE).

O valor presente líquido foi calculado a partir da Eq. (5), onde VPL = Valor Presente Líquido, expresso em reais, I = Investimento inicial, expresso em reais, R_j = Receita proveniente do ano j, expresso em reais, C_j = Custo proveniente do ano j, expresso em reais, i = Taxa anual de juros empregada, n = Vida útil do equipamento.

$$VPL = \sum_{j=n}^n \frac{(R_j - C_j)}{(1+i)^n} - I \quad (5)$$

A taxa interna de retorno foi calculada, a partir da Eq. (6) onde TIR = Taxa Interna de Retorno, n = Vida útil do equipamento.

$$-I + \sum_{j=n}^n \frac{(R_j - C_j)}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (6)$$

O LCOE foi calculado através da Eq. (7), onde I é o investimento inicial em reais, n é a vida útil do equipamento, i é a taxa de juros empregada, At são os custos de O&M e Mt é a energia gerada.

$$LCOE = \frac{I + \sum_{t=1}^n \frac{At}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Mt}{(1+i)^t}} \quad (7)$$

Nas análises financeiras do retorno do investimento foram considerados os custos dos equipamentos (valores de entrega final ao cliente) e suas respectivas vidas úteis: 25 anos para módulos fotovoltaicos e 15 anos para inversores. Os benefícios (custos evitados) proporcionados pela geração FV foram obtidos multiplicando a geração FV pela tarifa de energia elétrica (com impostos) no horário FP, vigente no período de janeiro a dezembro de 2019. O custo do sistema FV em solo foi de 3,97 R\$/Wp (Greener, 2021) e o custo unitário dos inversores foi de R\$ 115.000,00. Foi considerada queda de rendimento anual dos módulos FV de 0,5% e taxa anual de operação e de manutenção de 1%.

3. RESULTADOS

3.1 Geração e consumo de energia

A Tab. 6 apresenta para a UC Fazenda da Ressacada II, a inclinação/desvio azimutal, fatores de desempenho e a energia gerada.

Tabela 6- Inclinação e número de módulos, indicadores de desempenho, energia gerada.

| UC | Inclinação/ Desvio Azimutal | Potência Nominal (kWp) | Nº Módulos | PR (%) | Yf (MWh/ kWp/ ano) | Fator de Capacidade | Energia (MWh/ Ano) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|-----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Fazenda Ressacada | 22/0 | 1.081 | 3.000 | 0,789 | 1,352 | 15,41% | 1.460 |

Neste caso, os resultados mostram PR=0,79, $yield = 1,35$ MWh/kWp/ano e fator de capacidade de aproximadamente 15% e energia anual gerada de aproximadamente 1.400 MWh.

A Fig. 3 apresenta a evolução mensal da geração FV e da irradiação solar global horizontal na UC Fazenda da Ressacada II.

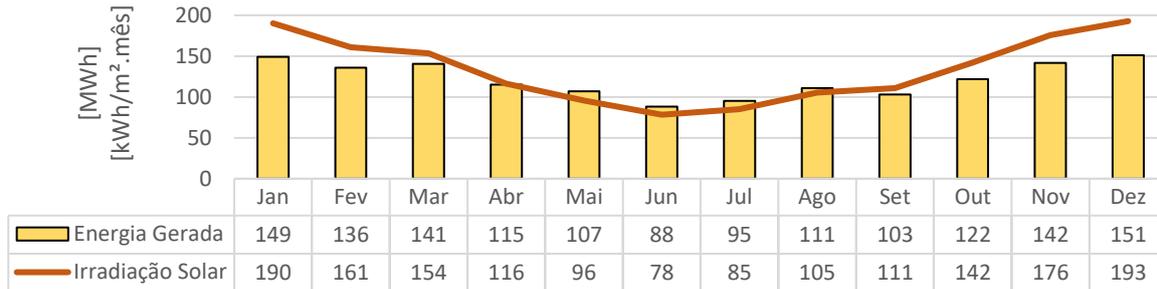


Figura 3 - Geração FV e irradiação solar global horizontal - UC Fazenda da Ressacada II.

Observa-se que a geração FV na UC Fazenda da Ressacada II acompanha a curva de irradiação solar para localização em que se encontra. Observa-se a sazonalidade da geração FV, com uma menor produção nos meses de inverno e maior nos meses de verão, tendo em vista a maior incidência de irradiação solar.

A Fig. 4 apresenta o consumo e a geração FV da UC Fazenda da Ressacada II.

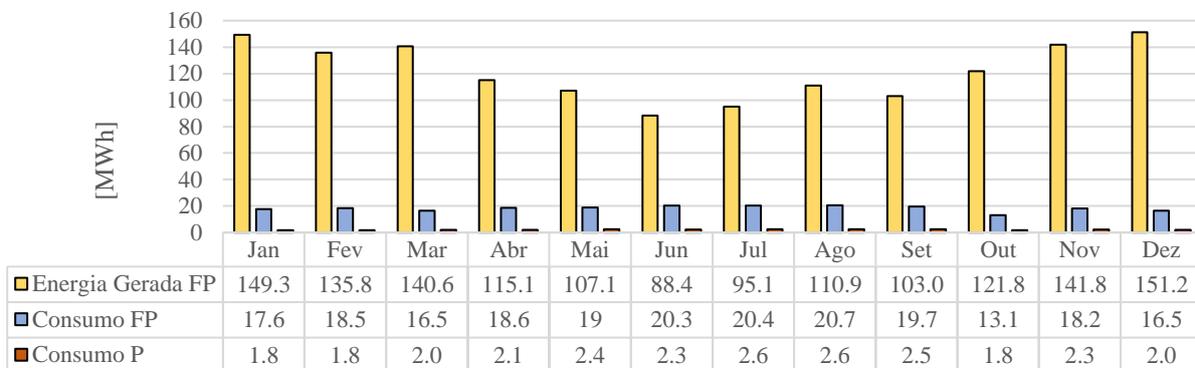


Figura 4 – Consumo e geração FV - UC Fazenda da Ressacada II.

Observa-se que o consumo da UC Fazenda da Ressacada II é maior durante o horário fora da ponta. Durante esse horário, a maior parte das aulas são ministradas, tendo em vista que acontecem em horário comercial.

Levando-se em consideração o baixo consumo de energia elétrica da UC Fazenda da Ressacada II, a energia ativa gerada nesta localidade, além de abater o consumo da própria UC, tanto em horário ponta quanto fora deste, terá seu excedente injetado na rede da concessionária, gerando créditos que serão compensados em outra (s) UC(s) de titularidade da UFSC por meio do autoconsumo remoto.

3.2 Atratividade financeira

A Tab. 7 apresenta a potência e o custo de instalação do sistema FV (R\$/Wp).

Tabela 7- Potência e custo da instalação FV na UC Fazenda da Ressacada.

| Potência (kWp) | Custo (R\$/Wp) | Total (R\$) |
|----------------|----------------|--------------|
| 1.081 | 3,97 | 4.291.570,00 |

Como a demanda contratada da UC Fazenda da Ressacada, antes da inserção da geração FV, é menor do que 1 MW, após a instalação do sistema FV, seria necessário aumentar sua demanda contratada.

A Tab. 8 apresenta a evolução mensal da demanda contratada, da nova demanda a ser contratada, do acréscimo da demanda a ser contratada devido à inserção da geração FV, e dos acréscimos nas despesas com energia elétrica da UC devido ao acréscimo da demanda contratada para atender a instalação do sistema FV na UC Fazenda da Ressacada II. Todos os valores da tarifa (com impostos) foram retirados da fatura Celesc-DIS.

Para o período analisado, observa-se que o acréscimo anual nas despesas devido à nova demanda contratada seria de R\$ 198.939,12.

A Tab. 9 apresenta a evolução mensal da despesa evitada devido à geração FV que seria inserida na UC Fazenda da Ressacada II. Todos os valores (com impostos) foram retirados da fatura Celesc-DIS.

Nas análises dos benefícios gerados pela injeção da energia na rede da concessionária, foram consideradas as compensações dos créditos gerados tanto em UCs de média (MT) como em UCs de baixa tensão (BT). Observa-se que, no período analisado, a despesa total evitada com energia proporcionada pela geração FV seria de R\$ 144.941,55.

Tabela 8 - Evolução mensal da nova demanda a ser contratada e do acréscimo das despesas devido à nova demanda contratada - UC Fazenda da Ressacada.

| Mês | Demanda Contratada (kW) | Demanda Faturada (kW) | Nova Demanda a ser contratada (kW) | Acréscimo na Demanda Contratada (kW) | Tarifa de demanda (R\$/kW) | Acréscimo despesas da UC devido à nova Demanda a ser contratada (R\$) |
|--------|-------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---|
| Jan/19 | 100,00 | 100,00 | 990 | 890 | 18,49 | 16.464,13 |
| Fev/19 | 50,00 | 60,92 | 990 | 940 | 17,69 | 16.442,71 |
| Mar/19 | 50,00 | 50,00 | 990 | 940 | 16,71 | 15.713,51 |
| Abr/19 | 50,00 | 50,00 | 990 | 940 | 16,40 | 15.416,00 |
| Mai/19 | 50,00 | 50,00 | 990 | 940 | 16,54 | 15.554,95 |
| Jun/19 | 50,00 | 50,00 | 990 | 940 | 17,50 | 16.453,68 |
| Jul/19 | 50,00 | 50,00 | 990 | 940 | 18,52 | 17.415,27 |
| Ago/19 | 50,00 | 50,00 | 990 | 940 | 18,84 | 17.717,61 |
| Set/19 | 50,00 | 50,00 | 990 | 940 | 18,74 | 17.622,46 |
| Out/19 | 50,00 | 50,00 | 990 | 940 | 18,15 | 17.064,70 |
| Nov/19 | 50,00 | 50,00 | 990 | 940 | 17,50 | 16.458,85 |
| Dez/19 | 50,00 | 50,00 | 990 | 940 | 17,67 | 16.615,26 |
| Total | - | - | - | - | - | 198.939,12 |

Tabela 9- Evolução mensal da despesa evitada com energia elétrica da UC devido à inserção da geração FV.

| Mês | Consumo Fora Ponta (kWh) | Tarifa Fora Ponta (R\$/kWh) | Consumo Ponta (kWh) | Tarifa Compensação P (R\$/kWh) | Despesa total evitada devido ao consumo evitado pela geração FV na UC (R\$) |
|--------|--------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|---|
| Jan/19 | 17.592,40 | 0,55 | 1.847,77 | 1,54 | 12.523,86 |
| Fev/19 | 18.479,38 | 0,53 | 1.807,06 | 1,48 | 12.475,94 |
| Mar/19 | 16.532,32 | 0,49 | 1.979,20 | 1,41 | 10.897,68 |
| Abr/19 | 18.591,27 | 0,48 | 2.147,16 | 1,39 | 11.908,39 |
| Mai/19 | 18.950,34 | 0,49 | 2.398,87 | 1,40 | 12.646,05 |
| Jun/19 | 20.284,48 | 0,51 | 2.308,37 | 1,47 | 13.738,74 |
| Jul/19 | 20.420,45 | 0,54 | 2.569,00 | 1,54 | 14.991,83 |
| Ago/19 | 20.738,25 | 0,54 | 2.612,06 | 1,50 | 15.124,15 |
| Set/19 | 19.656,33 | 0,44 | 2.542,84 | 1,43 | 12.298,62 |
| Out/19 | 13.144,00 | 0,42 | 1.818,00 | 1,39 | 8.060,06 |
| Nov/19 | 18.202,63 | 0,41 | 2.288,60 | 1,35 | 10.563,64 |
| Dez/19 | 16.494,46 | 0,42 | 2.039,18 | 1,36 | 9.712,58 |
| Total | 219.086,31 | - | 26.358,11 | - | 144.941,55 |

A Tab. 10 apresenta a evolução mensal dos os valores mensais da geração de créditos decorrentes da energia injetada na rede pelo sistema simulado na UC Fazenda da Ressacada II para a compensação em faturas de UCs alimentadas em baixa e média tensão.

Tabela 10 - Evolução mensal da energia excedente injetada na rede da concessionária devido à inserção da geração FV na UC e respectivos créditos financeiros gerados para a UFSC (titular da UC) para compensações em UCs alimentadas tanto em BT como em MT.

| Mês | Geração FV (kWh) | Energia excedente injetada na Rede (kWh) | Tarifa de Compensação UC BT (R\$/kWh) | Créditos gerados para compensação em UCs BT (R\$) | Tarifa de Compensação UC MT (R\$/kWh) | Créditos gerados para compensação em UCs MT (R\$) |
|--------|------------------|--|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|
| Jan/19 | 149.300 | 128.774,63 | 0,697 | 89.908,50 | 0,521 | 67.205,64 |
| Fev/19 | 135.800 | 114.452,27 | 0,669 | 76.698,74 | 0,499 | 57.208,77 |
| Mar/19 | 140.600 | 120.926,09 | 0,635 | 76.918,61 | 0,473 | 57.295,28 |
| Abr/19 | 115.100 | 93.100,53 | 0,624 | 58.193,50 | 0,464 | 43.272,09 |
| Mai/19 | 107.100 | 84.341,92 | 0,630 | 53.225,75 | 0,468 | 39.539,13 |
| Jun/19 | 88.400 | 64.451,44 | 0,663 | 42.803,95 | 0,494 | 31.893,14 |
| Jul/19 | 95.100 | 70.601,77 | 0,698 | 49.363,81 | 0,522 | 36.916,78 |
| Ago/19 | 110.900 | 85.658,19 | 0,621 | 53.506,51 | 0,435 | 37.480,40 |
| Set/19 | 103.000 | 78.959,46 | 0,592 | 47.029,81 | 0,413 | 32.809,64 |
| Out/19 | 121.800 | 105.521,57 | 0,575 | 60.921,30 | 0,401 | 42.485,99 |
| Nov/19 | 141.800 | 119.651,51 | 0,557 | 66.933,92 | 0,387 | 46.505,25 |
| Dez/19 | 151.200 | 131.189,71 | 0,561 | 73.879,35 | 0,391 | 51.491,67 |
| Total | 1.460.100 | 1.197.629,08 | - | 749.383,74 | - | 544.103,80 |

No período analisado, os resultados mostram que o benefício anual proporcionado pelos créditos de energia que seriam gerados na UC Fazenda da Ressacada II seria de R\$ 749.383,74, caso todos os créditos fossem utilizados em UCs de baixa tensão, e de R\$ 544.103,80 para compensação em UCs de média tensão.

A Tab. 11 apresenta a evolução mensal das despesas evitadas devido à compensação da energia excedente na UC Fazenda da Ressacada, despesas evitadas devido à compensação da energia excedente em UCs de MT, despesas evitadas devido à compensação da energia excedente em UCs de BT, do acréscimo nas despesas devido à nova demanda a ser contratada, das despesas com operação e manutenção do sistema FV e do benefício à UFSC devido à inserção da geração FV na UC Fazenda da Ressacada.

Tabela 11 - Despesas evitadas, acréscimos de despesas devido à nova demanda contratada e benefícios da inserção da geração FV na UC Fazenda da Ressacada.

| Mês | Despesas evitadas na UC Fazenda da Ressacada (R\$) | Despesas evitadas (compensação da energia excedente em UCs de MT) (R\$) | Despesas evitadas (compensação da energia excedente em UCs de BT) (R\$) | Acréscimo de despesa devido à nova contratação da Demanda (R\$) | Despesas com operação e manutenção do sistema FV (R\$) | Benefício (compensação em UCs de MT) (R\$) | Benefício (compensação em UCs de MT) (R\$) |
|--------|--|---|---|---|--|--|--|
| Jan/19 | 12.523,86 | 67.205,64 | 89.908,50 | 16.464,13 | 3.576,31 | 59.689,06 | 82.391,92 |
| Fev/19 | 12.475,94 | 57.208,77 | 76.698,74 | 16.442,71 | 3.576,31 | 49.665,69 | 69.155,66 |
| Mar/19 | 10.897,68 | 57.295,28 | 76.918,61 | 15.713,51 | 3.576,31 | 48.903,14 | 68.526,47 |
| Abr/19 | 11.908,39 | 43.272,09 | 58.193,50 | 15.416,00 | 3.576,31 | 36.188,17 | 51.109,58 |
| Mai/19 | 12.646,05 | 39.539,13 | 53.225,75 | 15.554,95 | 3.576,31 | 33.053,92 | 46.740,54 |
| Jun/19 | 13.738,74 | 31.893,14 | 42.803,95 | 16.453,68 | 3.576,31 | 25.601,89 | 36.512,70 |
| Jul/19 | 14.991,83 | 36.916,78 | 49.363,81 | 17.415,27 | 3.576,31 | 30.917,03 | 43.364,06 |
| Ago/19 | 15.124,15 | 37.480,40 | 53.506,51 | 17.717,61 | 3.576,31 | 31.310,63 | 47.336,74 |
| Set/19 | 12.298,62 | 32.809,64 | 47.029,81 | 17.622,46 | 3.576,31 | 23.909,49 | 38.129,66 |
| Out/19 | 8.060,06 | 42.485,99 | 60.921,30 | 17.064,70 | 3.576,31 | 29.905,04 | 48.340,35 |
| Nov/19 | 10.563,64 | 46.505,25 | 66.933,92 | 16.458,85 | 3.576,31 | 37.033,73 | 57.462,40 |
| Dez/19 | 9.712,58 | 51.491,67 | 73.879,35 | 16.615,26 | 3.576,31 | 41.012,68 | 63.400,36 |
| Total | 144.941,55 | 544.103,8 | 749.383,74 | 198.939,12 | 42.915,70 | 447.190,49 | 652.470,47 |

Observa-se que o benefício gerado é o resultado das receitas oriundas do custo evitado da energia que seria consumida da rede no horário fora ponta, somado aos créditos gerados decorrentes da injeção de energia na rede da concessionária, diminuído do custo de manutenção do sistema e do aumento da despesa devido à nova demanda a ser contratada.

No período analisado, o benefício total gerado pela minigeração FV que seria inserida na UC Fazenda da Ressacada seria de R\$ 652.470,47 (para créditos de energia excedente abatidos em UCs de BT) e de R\$ 447.190,49 (para créditos de energia excedente abatidos em UCS de MT).

A Fig. 5 apresenta a evolução anual do VPL em função da TMA considerando a compensação da energia excedente gerada na UC Fazenda da Ressaca II em UCs alimentadas em média tensão. Observa-se que o VPL atinge zero para TMA de 8%. O VPL máximo é de aproximadamente 5,3 milhões de reais (TMA de 0%).

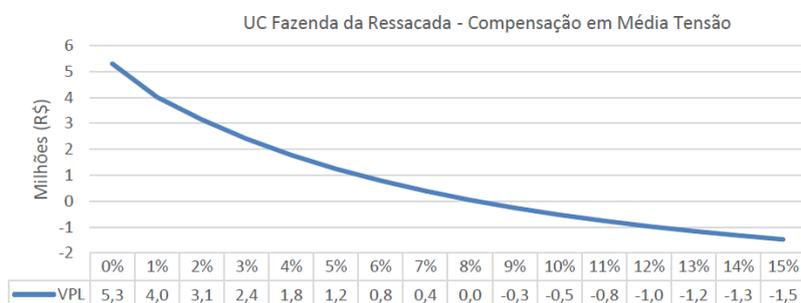


Figura 5 - Evolução anual do VPL em função da TMA - Compensação da energia excedente gerada na UC Fazenda da Ressaca II em UCs da UFSC alimentadas em MT.

A Fig. 6 apresenta a evolução anual do *payback* em função da variação da TMA considerando a compensação da energia excedente gerada na UC Fazenda da Ressaca II em UCs alimentadas em média tensão. Para TMA maior do que 7% a.a., observa-se que o *payback* atinge valores maiores do que 25 anos (tempo de vida útil do sistema), indicando viabilidade do projeto para taxas de juros menores do que este valor.

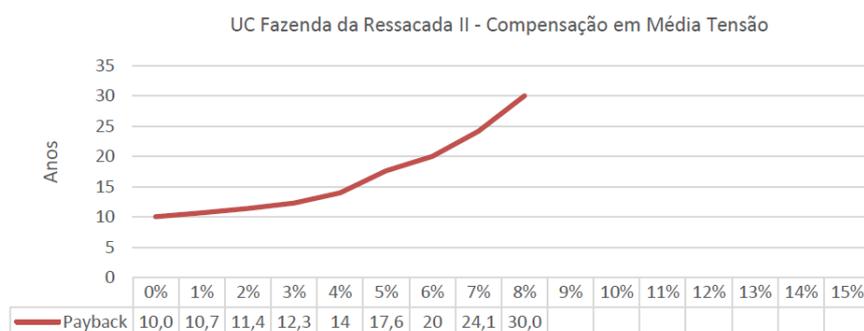


Figura 6 - Evolução anual do *payback* descontado em função da TMA – Compensação da energia excedente gerada na UC Fazenda da Ressaca II em UCs da UFSC alimentadas em MT.

A Fig. 7 apresenta a evolução anual do VPL em função da TMA considerando a compensação da energia excedente gerada na UC Fazenda da Ressaca II em UCs da UFSC alimentadas em BT. Observa-se que o VPL atinge zero para TMA entre 13 e 14%. O VPL máximo é de 10,6 milhões de reais (TMA de 0%).

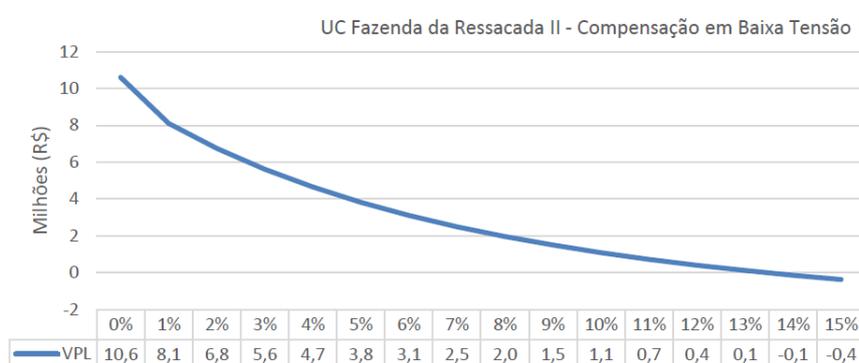


Figura 7 - Evolução anual do VPL em função da TMA - Compensação da energia excedente gerada na UC Fazenda da Ressaca II em UCs da UFSC alimentadas em BT.

A Fig. 8 apresenta a variação do *payback* descontado em função da variação da TMA. Para uma TMA maior do que 11% a.a., observa-se que o *payback* descontado passa a ser maior do que 25 anos (tempo de vida útil do sistema), indicando viabilidade do projeto para taxas de juros menores do que este valor.

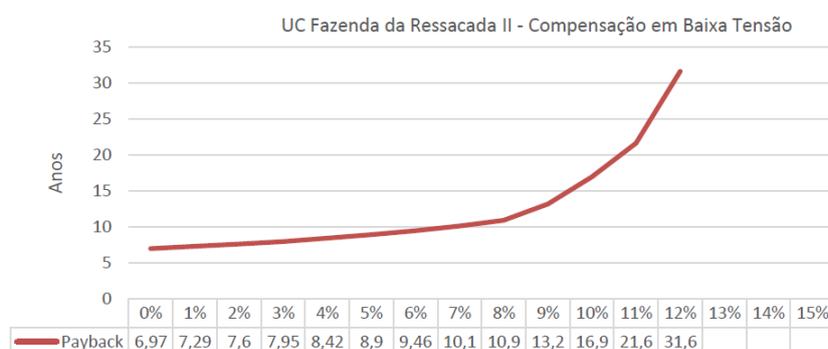


Figura 8 - Evolução anual do *payback* descontado em função da TMA – Compensação da energia excedente gerada na UC Fazenda da Ressaca II em UCs da UFSC alimentadas em BT.

Adicionalmente, através da Eq. (7) foi calculado o valor do LCOE. Para TMA de 3% aa., o custo médio da geração FV (LCOE) apresentou o valor de 208,74 R\$/MWh.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a atratividade financeira, por meio de simulações, da instalação da minigeração FV de 1 MWp na UC Fazenda Ressacada II, de titularidade da Universidade Federal de Santa Catarina.

Os resultados mostraram que a minigeração solar fotovoltaica de 1 MWp que seria inserida na UC Fazenda da Ressacada II geraria aproximadamente 1.460 MWh/ano e sua produtividade seria de 1,35 MWh/kWp/ano.

Observou-se ainda, para TMA de 3% aa. e compensação da energia excedente gerada na UC Fazenda da Ressaca II em UCs da UFSC alimentadas em MT, VPL de aproximadamente 2,4 milhões de reais e *payback* de aproximadamente

12,3 anos. Para TMA de 3% aa. e compensação da energia excedente gerada na UC Fazenda da Ressaca II em UCs da UFSC alimentadas BT, os resultados mostraram VPL de aproximadamente 5,6 milhões de reais e payback de aproximadamente 7,95 anos.

Para a UFSC, observou-se que o sistema FV de 1 MWp a ser inserido na UC Fazenda da Ressacada II com compensação da energia excedente em UCs da UFSC alimentadas em BT apresentaria atratividade financeira maior do que para a compensação da energia excedente em UCs da UFSC, alimentadas em MT. A diferença significativa encontrada pode ser justificada pela compensação dos créditos de energia. Como a tarifa de energia monomial para UCs alimentadas em BT é superior à tarifa binomial FP para UCs alimentadas em MT, é mais atraente optar por compensar os créditos da energia excedente em UCs pertencentes à UFSC, alimentadas em baixa tensão.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2012. Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012.
- Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2016. Por dentro da conta de luz: informação de utilidade pública, 7ª Ed., Brasília.
- Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2018. Resolução Homologatória n° 2.436 de 13 de agosto de 2018.
- Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2019. Resolução Homologatória n° 2.593, de 20 de agosto de 2019.
- Alshuwaikhat, H.M., Abubakar, I., 2008. An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices, *Journal of Cleaner Production*, 16, 1777-1785.
- Greener, 2021. Estudo Estratégico Geração Distribuída – Mercado Fotovoltaico - 1 Semestre 2021 – Brasil.
- Gul, M. S., Patidar, S., 2014. Understanding the energy consumption and occupancy of a multi-purpose academic building. *Energy and Buildings*. J. Elsevier. *Energy and Buildings*. 87, 155-165
- INMET. 2020. Banco de dados de irradiação solar e temperatura ambiente para a estação Florianópolis. Disponível em <http://www.inmet.gov.br>
- Janssen, R., 2004. Towards Energy Efficient Buildings in Europe, EuroACE.
- Kolokotsa, D., Gobakis, K., Papantoniou, S., Georgatou, C., Kampelis, N., Kalaitzakis, K., Vasilakopoulou, K., Santamouris, M., 2016. Development of a web based energy management system for University Campuses: The CAMP-IT platform. *Energy and Buildings*, 123, 119-135.
- Mermoud, A. PVsyst: Software for the Study and Simulation of Photovoltaic Systems. 1993-2017.
- Naspolini, H.F., Boing Neto, J., Pinto, G.X.A., Rüther, R., 2016, Estimativa da produção energética e de desempenho de um sistema fotovoltaico integrado ao complexo aquático da Universidade Federal de Santa Catarina, VI CBENS, Belo Horizonte.
- Pereira, E.B., Martins, F.R., Gonçalves, A.R., Costa, R.S., Lima, F.J.L., Rüther, R., Abreu, S.L., Tiepolo, G.M., Pereira, S.V., Souza, J.G. 2017. 2ª Edição Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, São José dos Campos, Brazil. ISBN: 978-85-17-00089-8.
- Pinto, G., Neto, J., Custódio I., Naspolini N., Rüther R., 2018, Impactos da geração solar fotovoltaica nas despesas com energia elétrica em campus universitário, VIII CBENS, Fortaleza.
- Sedlacek, S., 2013. The role of universities in fostering sustainable development at the regional level, *Journal of Cleaner Production*, 48, 74 -84.
- Velazquez, L., Munguia, N., Platt, A., Taddei, J., 2006. Sustainable university: what can be the matter?, *Journal of Cleaner Production*, 14, 810-819.

EVALUATION OF TECHNICAL FEASIBILITY AND FINANCIAL ATTRACTIVENESS OF A 1MWp SOLAR PHOTOVOLTAIC GENERATOR ON GROUND AND BUILDING ROOFTOPS AT THE FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA CATARINA – BRAZIL

Abstract. *This work aims to evaluate the technical and financial viability of the 1 MWp photovoltaic solar mini-generation, to be installed on the ground and connected to Consumer Unit (CU) Fazenda da Ressacada II, owned by UFSC. The simulations were performed using the PVsyst software and the results show that the 1 MWp photovoltaic solar mini-generation to be inserted in CU Fazenda da Ressacada II could generate approximately 1,460 MWh / year and its productivity would be 1.35 MWh/kWp/year. The results also showed, for MARR of 3% and compensation of the surplus PV energy generated at CU Fazenda da Ressaca II in UFSC CUs fed in medium voltage, NPV of approximately 2.4 million reais and payback of approximately 12.3 years. For MARR of 3% and compensation of the surplus PV energy generated at CU Fazenda da Ressaca II in UFSC CUs fed in by low voltage, the results showed an NPV of approximately 5.6 million reais and a payback of approximately 7.95 years.*

Key words: *Solar energy, photovoltaic solar generation, technical and financial feasibility of photovoltaic generation.*