

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE SFCR EM UMA UNIVERSIDADE NO SUL  
DO PAÍS

por

Bruno Polydoro Cascaes

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Novembro de 2016.



Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Mecânica

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE SFCR EM UMA UNIVERSIDADE NO SUL  
DO PAÍS  
por

Bruno Polydoro Cascaes

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Energia e Fenômenos de Transporte**

Orientador: Prof. Dra. Letícia Jenisch Rodrigues

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Felipe Roman Centeno

Prof. Dr. Volnei Borges

Prof. Dra. Thamy Cristina Hayashi

Porto Alegre, 18 de Novembro de 2016.

## Agradecimentos

Primeiramente agradeço à minha orientadora Prof. Dra. Letícia Jenisch Rodrigues, pela disponibilidade, apoio e paciência ao longo deste trabalho, e ao bolsista do LabSol Victor Schneider, pelo auxílio e disposição para me ensinar a utilização dos softwares para as simulações.

Agradeço aos meus amigos, por compreenderem o motivo de minhas ausências, além de toda a ajuda compartilhando materiais, tirando dúvidas, ou simplesmente estando presentes quando precisei.

Agradeço a minha namorada Nicole, por todo o amor, compreensão e motivação ao longo de todos estes anos, por sempre estar lá por mim, mesmo quando distante, e mais todas as coisas que não digo por dizer, afinal nada mais importa.

E finalmente, agradeço ao meu pai José Carlos, por proporcionar que eu me mantivesse focado nos meus objetivos, e por acreditar no meu potencial quando até mesmo eu não acreditava.

“The man who follows the crowd  
will usually get no further than the crowd.  
The man who walks alone is likely to find  
himself in places no one has ever been before  
-Alan Ashley-Pitt”

CASCAES, B “**Avaliação do potencial de utilização de SFCR em uma universidade no sul do país**”. 2016. 22 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

## **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi a avaliação da viabilidade do uso de SFCR's, sistemas fotovoltaicos conectados à rede, nos campi da universidade federal do rio grande do sul, estudando seu potencial de geração de energia e conseqüente retorno financeiro. A partir de imagens de satélite, foram avaliadas as áreas em potencial, e a partir das orientações azimutais, com o auxílio de softwares livres, estimou-se a energia média gerada anualmente. Dentre estes valores, o campus do Vale se destacou pela área disponível e orientação favorável, tornando-se assim o alvo deste estudo. A exploração de alternativas para a matriz energética nacional, a fim de reduzir a dependência de recursos hídricos se mostra necessária em um cenário de recorrentes secas com decorrentes aumentos na tarifa. A geração avaliada no campus do Vale mostrou o potencial para gerar 13% da energia consumida por toda a universidade ao longo de um ano, com um tempo de retorno do investimento de 5,9 anos no cenário otimista, o que aponta alta viabilidade do investimento, considerando o tempo de vida útil de 25 anos fornecido pelo fabricante. Além das vantagens financeiras para o usuário, o sistema de geração distribuída permite a troca bilateral de energia entre usuário e distribuidora, reduzindo assim os gastos em infraestrutura de transmissão, que é uma das principais fontes de perda de energia. Desta forma, com os recentes incentivos fiscais esta área se torna cada vez mais viável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geração distribuída, sistema fotovoltaico conectado à rede, energia solar fotovoltaica.

CASCAES, B. **Evaluation of the potencial use of *SFCR* at a university in the South of the country**. 2016. 22 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

## **ABSTRACT**

The goal of this study was to evaluate the feasibility of using *SFCRs* in university campuses, evaluating their potential for energy generation and financial return. From satellite images, the potential areas were evaluated, and from the azimuthal orientations, using free software, the average energy generated annually was estimated. Among these values, the Vale's campus stood out for the available area and favorable orientation, thus becoming the target of this study. Exploring alternatives to the national energy matrix in order to reduce dependence on hydric resources is necessary, given a scenario of recurrent droughts with consequent rate increases. The generation evaluated at Vale's campus showed potential to generate 13% of the energy consumed by the entire university over a year, with a return of investment in 5.9 years in the optimistic scenario, which indicates high investment viability, considering the 25 years life cycle given by the manufacturer. In addition to the financial benefits to the user, the distributed generation system allows the bilateral exchange of energy between the user and the distributor, thus reducing transmission infrastructure costs, which is one of the main sources of energy loss. Additionally, with the recent tax incentives this area becomes highly viable.

**KEYWORDS:** Distributed Generation, Grid-Connected Photovoltaic System, Solar photovoltaic energy.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	2
3. ASPECTOS GERAIS .....	2
3.1. Efeito Fotovoltaico .....	2
3.2. Módulos Fotovoltaicos .....	2
3.3. Sistema de Compensação de Energia .....	3
4. ESTUDO DE CASO .....	3
4.1. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede – SFCR .....	3
4.2. Áreas Analisadas .....	3
4.3. Inclinação dos Painéis .....	4
4.4. Posicionamento dos Painéis .....	5
4.5. Irradiação .....	7
5. VIABILIDADE ECONÔMICA .....	8
5.1. Cenário Pessimista .....	9
5.2. Cenário Intermediário .....	10
5.3. Cenário Otimista .....	11
6. CONCLUSÕES .....	13
6.1. Discussão .....	13
6.2. Trabalhos Futuros .....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	14

## 1. INTRODUÇÃO

A matriz energética nacional, de acordo com o balanço energético nacional (BEN, 2016), é composta em 75,5% por fontes renováveis. Entretanto, fontes hidráulicas somam 64% de toda a energia utilizada no país, como mostra a Figura 1.1, tornando os valores altamente dependentes das condições climáticas e da incidência de chuvas. Fato este que já se mostrou prejudicial pela implementação de um sistema de tarifas baseado em bandeiras, diretamente ligadas à disponibilidade ou escassez de chuvas, o que evidencia a necessidade de uma diversificação nas fontes de energia elétrica.

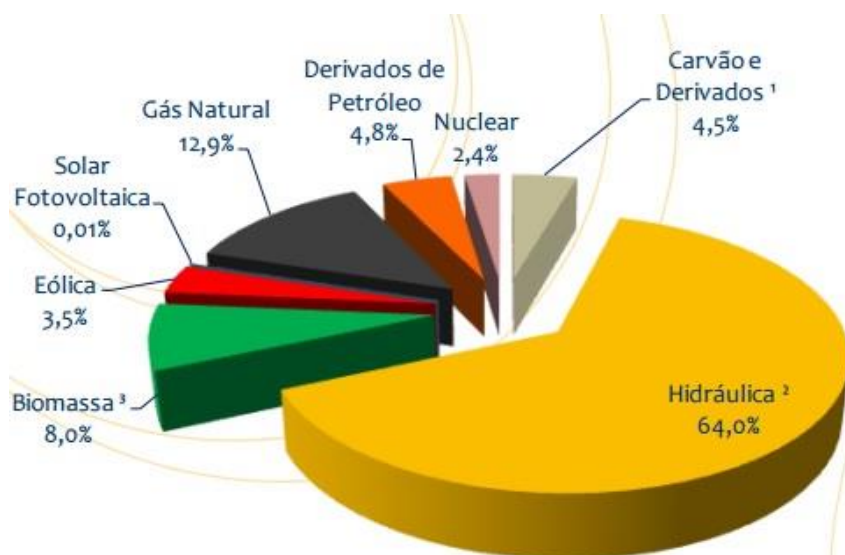


Figura 1.1 – Distribuição da matriz energética nacional. Fonte: BEN, 2016.

Embora sem uma participação expressiva na matriz energética nacional, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como alternativa na geração distribuída, através de micro e mini gerações. Em 2015, a geração distribuída produziu 34,9 GWh, com uma potência instalada de 16,5 MW, sendo destes 20 GWh gerados por fontes solares (BEN, 2016). Este tipo de geração mostra-se como uma solução promissora para os problemas da matriz energética nacional. A Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL, possibilita a troca bilateral de energia do usuário com a distribuidora. Desta forma, a energia produzida em excesso é inserida na rede, gerando créditos que o usuário pode utilizar em períodos de baixa geração ou de consumo mais elevado que a produção. Possebon, 2016 aponta os benefícios da geração distribuída, que proporciona uma independência dos recursos hídricos e traz uma robustez ao sistema, ao reduzir a necessidade de investimentos na área de transmissão.

Segundo Twidell e Weir, 2006, sistemas fotovoltaicos conectados à rede, SFCR, são os principais responsáveis pelo aumento na demanda de painéis fotovoltaicos. Programas governamentais, como os telhados solares na Alemanha e Japão, também ampliaram a procura por esta modalidade de produto. O uso da rede como bateria, armazenando a energia produzida excedente, aumenta também a confiabilidade do sistema, de acordo com Duffie e Beckman, 2013, pois as excessivas cargas e descargas nas baterias de um sistema isolado podem danificá-las.

Vanek *et al.*, 2012, apontam que políticas de incentivos fiscais à compra de sistemas fotovoltaicos trazem grandes benefícios aos governos, pois o período de verão, onde o consumo de energia elétrica tende a se elevar, é justamente o período de pico de produção fotovoltaica. Se estas medidas forem tomadas, associadas à investimentos na indústria fotovoltaica, reduções no custo de implementação do



sistema são atingidas, aumentando ainda mais a procura pelo serviço e reduzindo a necessidade de auxílio financeiro no futuro.

Atualmente, o Rio Grande do Sul é o terceiro estado em mini e micro geração de energia (ANEEL, 2016), expondo o potencial da região para este fim. Isto, aliado à inclusão do estado no sistema de compensação de energia - com isenção da tarifa de ICMS sobre a energia produzida excedente, através do Decreto nº 52.964/2016 (AIRS, 2016) - justifica a realização de estudos como este, que visem ampliar o entendimento sobre estes sistemas, expondo suas potencialidades através de análises de viabilidade.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o potencial de utilização de SFCR's nos campi da UFRGS. Para isto, são selecionadas áreas com potencial de instalação, as quais são avaliadas com o auxílio de *softwares* livres, estimando-se a energia que seria gerada em um ano. Por fim, analisa-se a viabilidade econômica desta instalação, analisando três cenários econômicos distintos, otimista, pessimista e intermediário, de acordo com as variações na tarifa de energia elétrica.

## 3. ASPECTOS GERAIS

### 3.1 Efeito Fotovoltaico

A radiação solar pode ser convertida de forma direta em energia aproveitável através de diversas formas. A observação do efeito fotovoltaico é creditada à Alexandre Edmond Becquerel, que em 1839 publicou um artigo, após observar o surgimento de uma diferença de potencial em placas metálicas expostas à luz do Sol. O efeito fotovoltaico ocorre dentro do material, consistindo, então, na absorção da energia fornecida pelos fótons, a qual possibilita a locomoção dos elétrons para as lacunas livres (Possebon, 2016). Segundo Boyle, 2004, foi apenas na década de 1950 que houve um avanço significativo no desenvolvimento de células solares de maior eficiência, quando cientistas do *Bell Laboratories* pesquisaram os efeitos da luz em materiais semicondutores.

### 3.2 Módulos Fotovoltaicos

Células fotovoltaicas consistem essencialmente na junção de duas finas camadas de materiais semicondutores, usualmente silício, sendo cada uma destas camadas dopadas com pequenas quantidades de impurezas. O lado conhecido como semicondutor tipo n, apresenta um excesso de elétrons livres, proveniente da adição de pequenas quantidades de fósforo, enquanto o lado chamado de semicondutor tipo p é dopado com uma impureza diferente, usualmente boro, o que causa um déficit de elétrons livres no material.

Tendo em vista a baixa produção de energia individual de uma célula fotovoltaica, estas são tradicionalmente agrupadas em arranjos, de no mínimo 36 células, o suficiente para prover carga para uma bateria de 12 V. Entretanto módulos mais recentes usam um número maior de células em série para obter maiores tensões, visando maior compatibilidade com inversores para SFCR. A Figura 3.1 ilustra um módulo fotovoltaico comercial de 60 células, da marca YNGLI SOLAR, modelo YL245P, cujos parâmetros elétricos foram utilizados como padrão para a avaliação feita neste trabalho.



Figura 3.1 – Módulo Fotovoltaico. Fonte: YNGLI SOLAR, 2016.

### 3.3 Sistema de Compensação de Energia

A ANEEL, através da Resolução Normativa N°687/2015 define sistema de compensação de energia elétrica como aquele no qual a unidade consumidora cede sua energia à distribuidora local, sendo compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Estes créditos gerados pela entrega da energia têm validade de 60 meses, podendo ser utilizados em outros endereços, desde que a unidade consumidora em questão seja atendida pela mesma distribuidora local.

## 4. ESTUDO DE CASO

### 4.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede - SFCR

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética, INEE, 2016, sistemas de geração distribuída são aqueles nos quais a geração ocorre próxima ao consumidor final, reduzindo investimentos em transmissão, e reduzindo as perdas nestes. SFCR's encaixam-se nessa classificação, pois a energia não consumida é retornada à rede, alimentando outros usuários. Observa-se, assim, que a adoção deste sistema impacta diretamente na matriz energética, ao reduzir a solicitação de outras fontes sujeitas a maiores perdas.

### 4.2 Áreas Analisadas

A seleção inicial das áreas deu-se pela avaliação qualitativa de imagens de satélite, bem como visita aos locais, a fim de identificar áreas livres de sombreamento, excluindo-se, também, prédios históricos ou em fase de reforma. Num segundo momento, avaliou-se quantitativamente a área disponível sobre cada telhado, para a possível instalação de painéis fotovoltaicos. Esta etapa foi realizada utilizando-se imagens de satélite, disponíveis no *Google maps*, e com o auxílio do *software Sketchup* - para estimar da área dos telhados - e do aplicativo *Compass* - para estimar a orientação azimutal com maior precisão. A Figura 4.1 ilustra a obtenção da orientação azimutal do prédio 21111, sendo esta imagem posteriormente utilizada para avaliação da área disponível do mesmo.



Figura 4.1 – Imagem de satélite do prédio 21111. Fonte: Google maps.

Imagens de quatro campi da Universidade foram analisadas e as áreas estimadas disponíveis para a instalação de painéis fotovoltaicos, já desconsiderados prédios históricos ou com obstruções no telhado, são sumarizadas abaixo, Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Áreas disponíveis para instalações fotovoltaicas

<b>Campus</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>
Centro	1482,5
Saúde	4740,1
Olímpico	2054,1
Vale	43182,2

### 4.3 Inclinação dos Painéis

A influência do ângulo de inclinação dos painéis fotovoltaicos no potencial de geração é alvo de diversos estudos, buscando encontrar um ângulo ótimo de geração. Para Pinho e Galdino, 2014, a geração máxima de potência é obtida quando o painel se encontra em uma inclinação igual à latitude do local da instalação, sendo possíveis pequenos desvios de até, mais ou menos, 10° sem prejuízos significativos na geração. Nesse sentido, Schneider, 2016, simulou o desempenho de um painel instalado em Porto Alegre, avaliando a geração do mesmo arranjo inclinado em 20°, 30° e 40°, onde a geração para a inclinação de 30° obteve resultados 1% maiores que a de 40°, e 0,78% maiores que a de 20°, quando se avaliou a produção anual.

Para o presente trabalho, avaliou-se ainda a geração de energia de um arranjo simples de dois painéis em série nas inclinações de 25° e 30°, obtendo-se valores até

1% superiores em geração para a inclinação de 30°, resultado este coerente com o estudo de Pinho e Galdino, 2014, dada a latitude da cidade onde o sistema será instalado, sendo esta então a inclinação escolhida para o desenvolvimento do trabalho.

#### 4.4 Posicionamento dos Painéis

Para o posicionamento dos painéis, segundo Villalva, 2012, existem duas abordagens principais, uma focada em uma maior cobertura de área de telhado, e outra que visa a maior eficiência de cada módulo, reduzindo a possibilidade de sombreamento. Esta última foi a configuração adotada neste trabalho. As medidas necessárias para o cálculo do espaçamento dos painéis podem ser vistas abaixo, Figura 4.2, onde  $L$  é o comprimento do módulo,  $\alpha$  sua inclinação,  $Z$  é a altura,  $x$  o comprimento de sua área projetada,  $d$  o afastamento entre as áreas dos módulos e  $D$  o passo entre painéis.

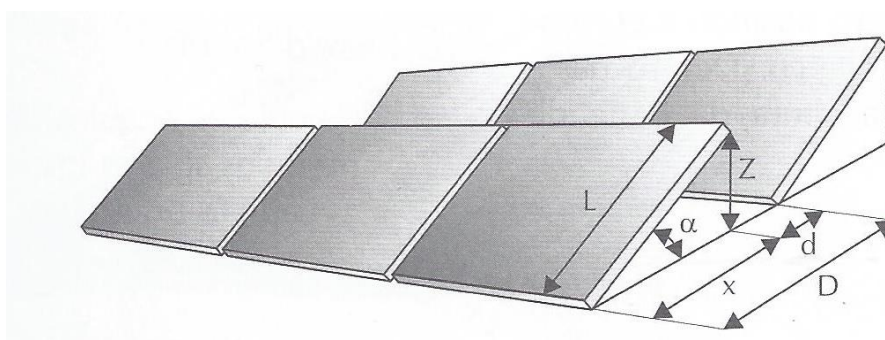


Figura 4.2 – Fileiras de módulos em instalações fotovoltaicas. Fonte: Villalva, 2012.

Conforme comentado anteriormente, neste trabalho adotou-se como modelo o painel comercial YL245P, da marca Yingli. A distância entre painéis é dada por

$$D = L * (3.5 * \sin\alpha + \cos\alpha) \quad (4.1)$$

na qual  $\alpha$  é inclinação dos painéis, cujo valor adotado foi de 30° e  $L$  o comprimento do painel, fornecido pelo fabricante, igual a 0,99 m. Assim, determina-se uma distância entre as bases dos painéis,  $D$ , de 4,32 m. A seguir, pode-se definir os maiores arranjos possíveis de painéis para as áreas disponíveis, tendo como base um preenchimento uniforme dos telhados, com arranjos simétricos e que possibilitem a instalação com estruturas simples. Os arranjos para cada prédio, ou conjunto de prédios, pode ser visto nas Tabelas 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 a seguir, nas quais o termo  $F$  faz referência ao número de fileiras de painéis no arranjo, e o termo  $C$  ao número de colunas. Ilustrando este conceito, temos na Figura 4.2 um arranjo de duas fileiras e três colunas (2F3C).

Tabela 4.2 – Arranjos de módulos fotovoltaicos, Campus Centro.

Prédio	Área [m <sup>2</sup> ]	Azimute	Arranjo
Arquitetura – L (12103)	220,7	105°	1F30C
Arquitetura – O (12103)	220,7	285°	1F30C
Arquitetura – N (12103)	508,9	15°	5F20C
FACED (12201)	210,1	10°	2F53C
Economia – NE (11109)	129,3	60°	1F36C
Economia – NO (11109)	43,4	60°	2F12C

Tabela 4.3 – Arranjos de módulos fotovoltaicos, Campus Saúde.

<b>Prédio</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Azimute</b>	<b>Arranjo</b>
Farmácia (21106)	158,6	15°	2F27C
Bioquímica (21111)	1155,1	330°	8F31C
Psicologia – L (21107)	428,2	50°	1F85C
Psicologia – O (21107)	675,7	240°	1F85C
Gráfica/RU (21113)	678,5	330°	7F21C
CPD – N (21201)	320,4	320°	2F30C
CPD – NO (21201)	163,6	320°	2F19C
Odontologia (21108)	525,3	45°	2F70C
Medicina – L (21112)	224,9	90°	2F20C
Medicina – O (21112)	279,5	270°	2F29C

Tabela 4.4 – Arranjos de módulos fotovoltaicos, Campus Vale.

<b>Prédio</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Azimute</b>	<b>Arranjo</b>
Prédio A (43111)	968	20°	11F20C
Prédios B, C (43112,43113)	2000	20°	11F20C (*2)
Prédios D-J (43121 a 43127)	8596	20°	4F62C (*7)
Prédios K-P (43131 a 43136)	5808	20°	4F48C (*6)
43311 e 43312	1936,5	20°	4F49C (*2)
43321 a 43323	3612,1	20°	4F62C (*3)
43324	1272,8	20°	4F65C
Creal – L (43300)	517,7	110°	3F40C
Creal – O (43300)	517,7	290°	3F40C
Leme – L (43436)	579,9	290°	2F62C
Leme – O (43436)	579,9	110°	2F62C
43435	1159,9	20°	14F18C
43431 a 43434	3443,2	20°	14F10C (*4)
43421 a 43427	8119,2	20°	14F18C (*7)
43411 a 43413	2723	20°	4F49C (*3)
LAMEF – N	559,8	30°	1F36C (*2)
LAMEF – S	239,7	30°	1F31C

Observação: os números entre parênteses indicam quantos prédios podem ter estes arranjos com aquele número de fileiras e de colunas instalados.

Tabela 4.5 – Arranjos de módulos fotovoltaicos, Campus Olímpico.

<b>Prédio</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Azimute</b>	<b>Arranjo</b>
31108 – L	529,6	90°	3F41C
31108 – O	529,6	270°	3F41C
31109 – L	90	90°	1F19C
31109 – O	90	270°	1F19C
31102	814,9	20°	10F17C

#### 4.5 Irradiação

Posteriormente à análise de áreas disponíveis, avaliou-se a irradiação anual, com relação à posição, à inclinação e ao desvio azimutal dos painéis fotovoltaicos, com o auxílio do *software* Radiasol. O *software* baseia-se em dados meteorológicos para criar um ano médio, estimando assim a irradiação média anual a qual cada módulo está sujeito. A seguir, os dados gerados foram tratados para o formato utilizado pelo *software* Crearray, no qual foram inseridas as especificações dos módulos, bem como a disposição do arranjo, no qual os mesmos estariam dispostos, a fim de se avaliar a potência gerada por cada arranjo, ao longo do período de um ano.

A Figura 4.3 mostra a interface do *Software Crearray*, onde a esquerda é exibido o arranjo de módulos a se calcular, do lado superior direito é exibida a curva de potência do arranjo em questão e no inferior direito são exibidos os dados do painel selecionado.

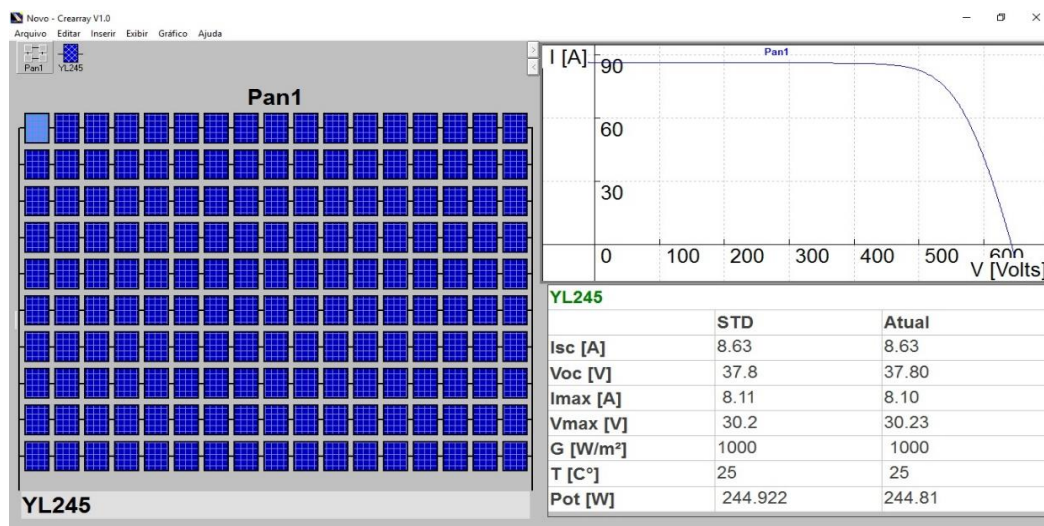


Figura 4.3 – Interface do *software* Crearray.

O potencial de geração anual de energia, dividido por Campus, pode ser visto no gráfico a seguir, Figura 4.4.

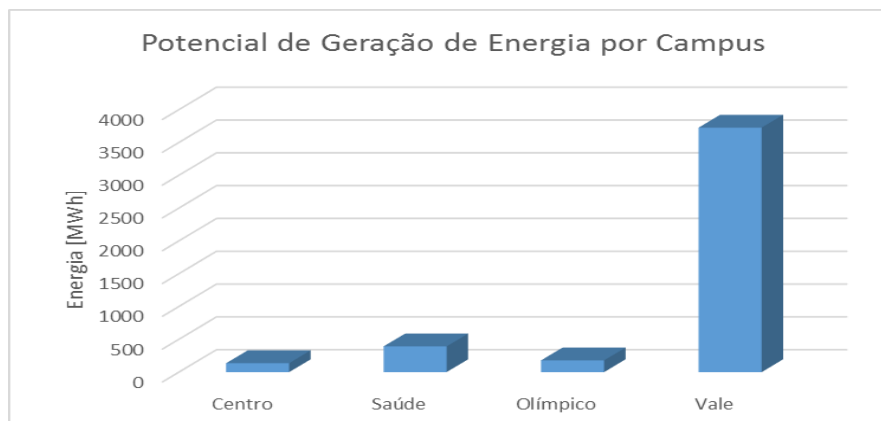


Figura 4.4 – Gráfico comparativo de geração anual entre Campi.



Com isto, observa-se que o Campus do Vale, por dispor da maior área para instalação de painéis, possui o maior potencial de geração de energia. Adicionalmente, analisa-se a proporção de energia gerada por área, Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Energia gerada por área ocupada.

<b>Campus</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Energia [10<sup>3</sup> kWh]</b>	<b>Energia/Área [kWh/m<sup>2</sup>]</b>
Centro	1482,5	136,2	91,9
Saúde	4740,1	392,3	82,8
Olímpico	2054,1	179,3	87,3
Vale	42633,6	3726,3	87,4

Com isso, pode-se observar que os resultados de geração anual de energia para os Campi do Vale e Olímpico são próximos. Entretanto, o Campus Saúde apresenta a menor geração por área, fato que se justifica pela geometria e orientação de alguns telhados, que dificultam a instalação dos arranjos. De maneira similar, o Campus Centro apresenta uma geração por área levemente superior, dado pela orientação dos telhados desviar-se pouco do Norte geográfico.

## 5. VIABILIDADE ECONÔMICA

Para avaliar o custo da instalação do sistema fotovoltaico, foi utilizado o estudo realizado pelo Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (IDEAL, 2015), intitulado “O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica – Edição 2015”. Este estudo fornece valores médios de instalações de sistemas fotovoltaicos em função da potência de pico e da faixa de potência nominal. Na Figura 5.1 podemos ver que o valor de interesse para o tipo de instalação tratado neste trabalho é de R\$ 6,22/Wp, dado que a instalação no campus do vale atinge 2.131kWp.

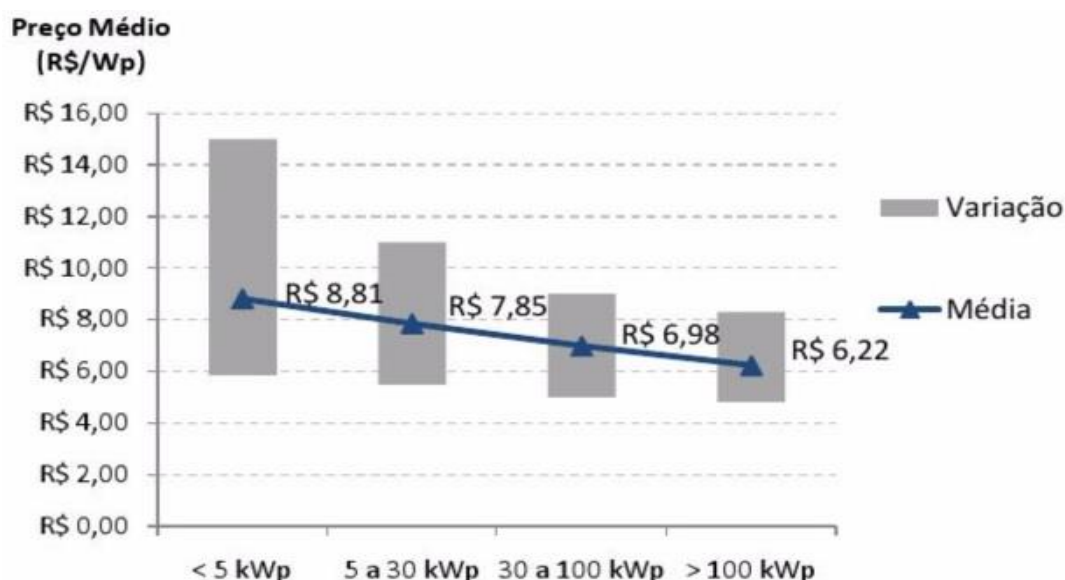


Figura 5.1 – Preço de sistemas fotovoltaicos por faixa de potência. Fonte: IDEAL, 2015.

Para o estudo da viabilidade selecionou-se apenas o Campus do Vale, visto que o mesmo apresenta a maior geração de energia. Instalando-se painéis em todos os prédios disponíveis, chega-se a um total de 8699 painéis, cada um com 245Wp, totalizando um custo inicial médio de R\$ 13.256.406,00. O valor da tarifa de energia elétrica é disponibilizado pela CEEE (CEEE, 2016), distribuidora que atende a região para a qual avaliou-se o potencial de instalação do SFCR, através de

$$\text{Preço final} = \frac{\text{preço homologado}}{(1 - \text{PIS}(\%) - \text{COFINS}(\%) - \text{ICMS}(\%))} \quad (5.1)$$

na qual o preço homologado varia de acordo com a bandeira vigente no mês, e das taxas de PIS e COFINS. No Estado do Rio Grande do Sul, o Decreto N° 52.964/2016 isentou sistemas de compensação de energia da cobrança do ICMS sobre a energia gerada. Desta forma, pode-se assumir as seguintes hipóteses para o cálculo do preço final nos três cenários:

- desconsideram-se gastos com a manutenção do sistema;
- o valor do PIS e COFINS é fixado como a média dos últimos 12 meses, de acordo com a distribuidora, 5,3%;
- o consumo é estimado utilizando a média dos anos de 2011, 2012 e 2013, disponibilizados no Relatório de Gestão 2013 (UFRGS, 2014);
- a economia mensal é calculada pela subtração da tarifa que o consumo médio geraria antes e após a instalação do SFCR;
- a classe de consumidor considerada para tarifação é “Poder Público”;
- a alíquota de ICMS para a classe considerada é de 30%;
- além da avaliação do custo inicial pelo preço médio, os extremos também serão avaliados, R\$ 4,50/Wp e R\$ 8,00 /Wp.

Uma forma para analisar a viabilidade do investimento é através do valor presente líquido (VPL), que consiste na diferença entre os custos do projeto e o valor presente das entradas de caixa. O valor presente líquido (VPL) pode ser calculado através de

$$VPL = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (5.2)$$

na qual  $VPL$  é o valor presente líquido,  $I_0$  representa o investimento inicial,  $R_t$  é a receita num dado tempo  $t$ , e  $i$  a taxa mínima de atratividade. O valor obtido no VPL pode ser traduzido de três formas diferentes:

- $VPL < 0$  – o investimento não é viável economicamente;
- $VPL = 0$  – a realização do investimento é indiferente;
- $VPL > 0$  – o investimento é viável economicamente.

### 5.1 Cenário Pessimista

Para avaliar a viabilidade financeira no cenário pessimista, aquele que leva o maior tempo para compensar o investimento, assumem-se as seguintes hipóteses:

- a tarifa considerada para a energia é a verde (mais barata);
- a taxa mínima de atratividade é a taxa SELIC de 2015, de valor anual de 14,15%, conforme disponibilizado pela Receita Federal do Brasil, (RFB, 2016);



- O valor da energia é corrigido mensalmente pela meta de inflação do ano de 2016 conforme a resolução n°4345 do Banco Central do Brasil (BCB, 2014), de 4,5 %.

A Figura 5.2 abaixo mostra o valor presente líquido para este cenário, o qual apresenta retorno do investimento entre os meses 130 e 131, equivalente a 10,8 anos.

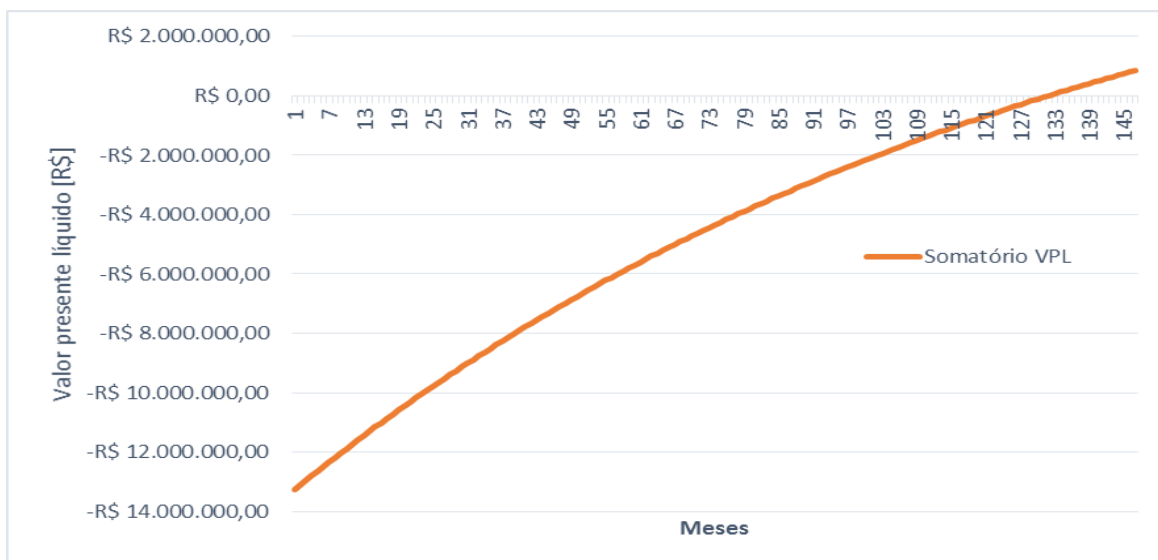


Figura 5.2 – Valor presente líquido para o cenário pessimista.

As variações no VPL em função do preço da instalação do sistema podem ser observadas na Figura 5.3, onde o tempo de retorno fica no intervalo entre os meses 80 e 81, 6,7 anos, para a instalação mais barata e entre os meses 215 e 216, 17,9 anos, para a instalação mais cara.

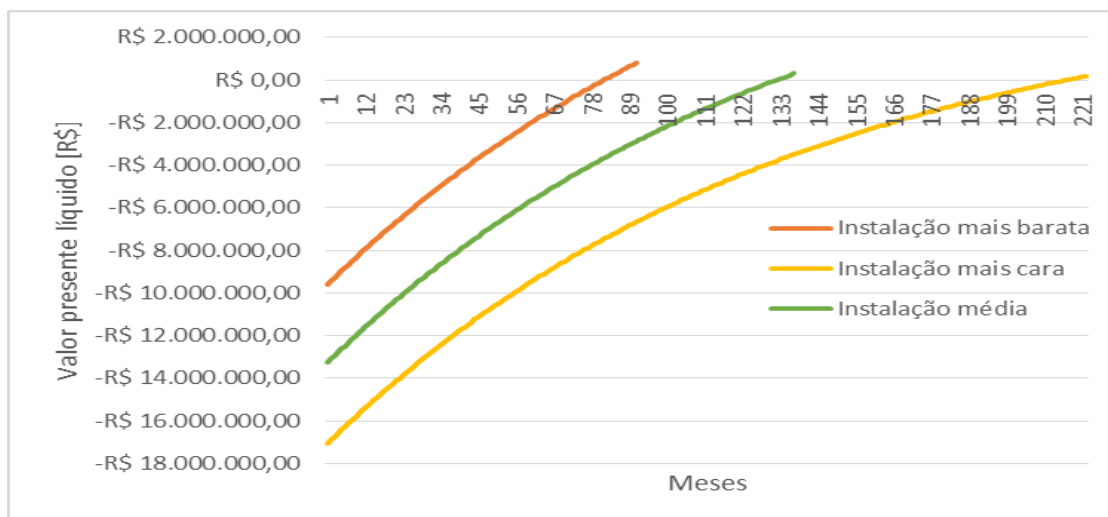


Figura 5.3 – Comparativo do VPL, cenário pessimista, em função do preço de instalação.

## 5.2 Cenário Intermediário

As hipóteses do cenário intermediário são as seguintes:

- a tarifa considerada para a energia é a amarela (valor médio);
- a taxa mínima de atratividade é a média entre os valores dos casos pessimista e otimista, 11,15%;
- o valor da energia é corrigido mensalmente segundo o valor superior do intervalo de confiança da meta de inflação do ano de 2016 conforme a resolução n°4345 (BCB, 2014), de 6,5%;

O valor presente líquido para o cenário intermediário pode ser visto na Figura 5.4, sendo o tempo de retorno de investimento neste entre os meses 95 e 96, 7,9 anos.

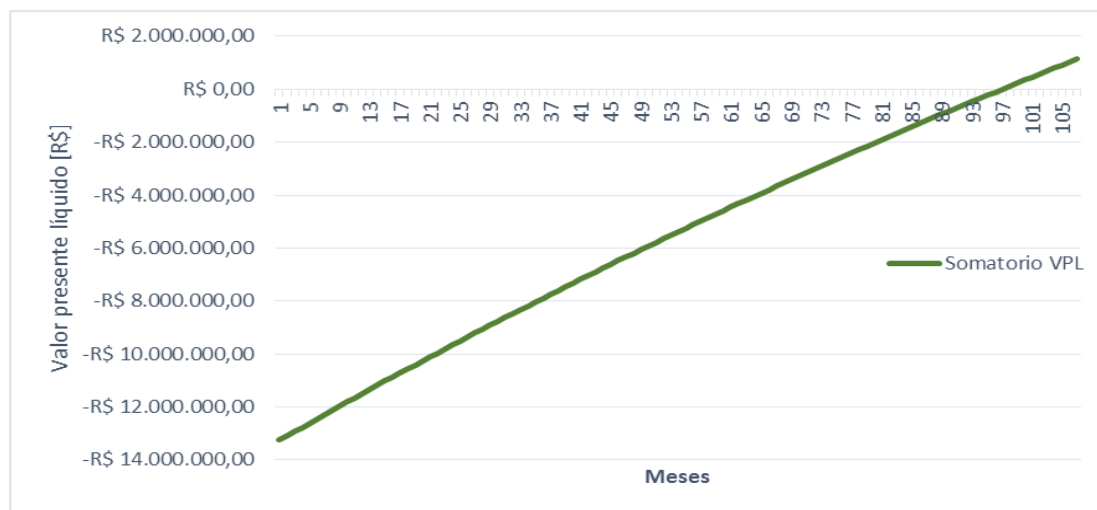


Figura 5.4 – Valor presente líquido para o cenário intermediário.

Adicionalmente, quando considerada a variação no preço de instalação, o tempo de retorno para o cenário intermediário fica entre os meses 65 e 66, 5,4 anos, para o menor custo de instalação, e entre os meses 130 e 131, 10,8 anos, para o maior custo de instalação, conforme Figura 5.5.

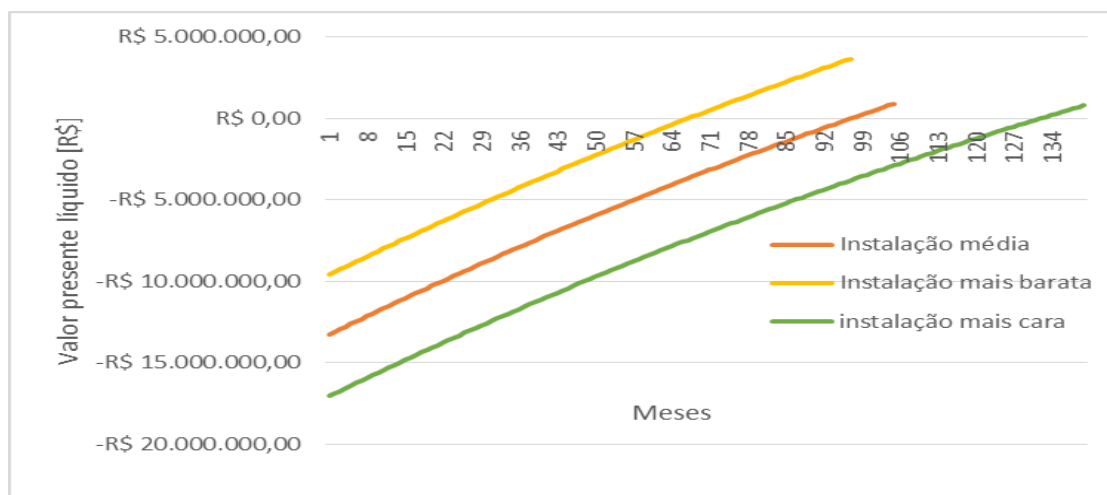


Figura 5.5 – Comparativo do VPL, cenário intermediário, em função do preço da instalação.

### 5.3 Cenário Otimista

Para o cálculo no cenário otimista assumem-se as seguintes hipóteses:

- a tarifa considerada para a energia é a vermelha (mais cara), de 0,52817 R\$/KWh;
- a taxa mínima de atratividade é o rendimento da poupança no ano de 2015, que segundo o Banco Central (BCB, 2016), foi de 8,15%;
- o valor da energia é corrigido mensalmente segundo o valor da inflação no ano de 2015 (BCB, 2016), de 10,67%.

A Figura 5.6 ilustra o valor presente líquido para o cenário otimista, cujo retorno do investimento é dado entre os meses 71 e 72, 5,9 anos.

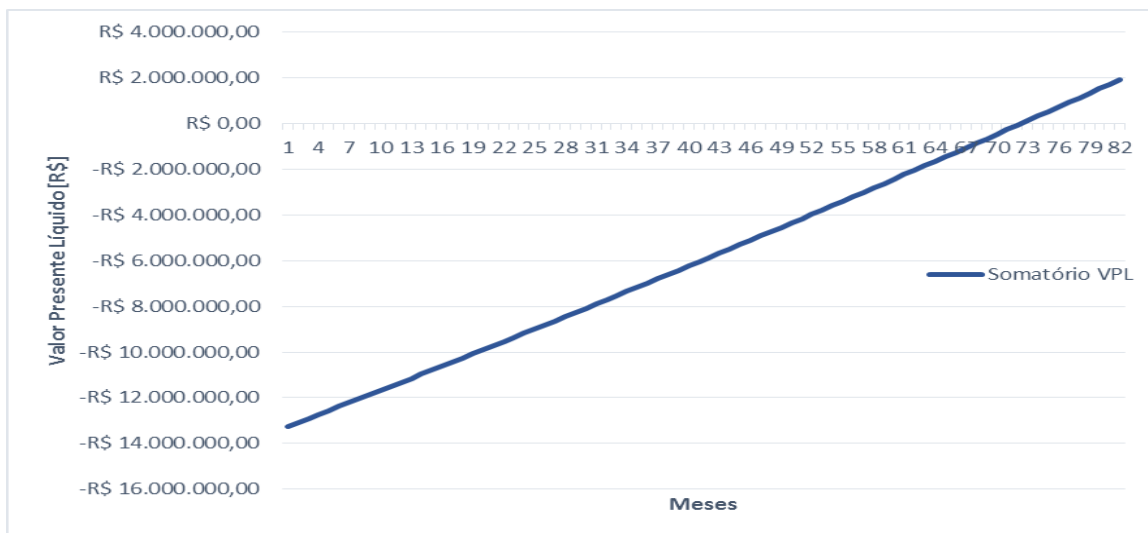


Figura 5.6 – Valor presente líquido para o cenário otimista.

Já quando considerada a variação do preço da instalação, o tempo de retorno fica entre os meses 52 e 53, 4,3 anos, para o menor custo de instalação e entre os meses 90 e 91, 7,5 anos, para o maior custo de instalação, visto no gráfico da Figura 5.7.

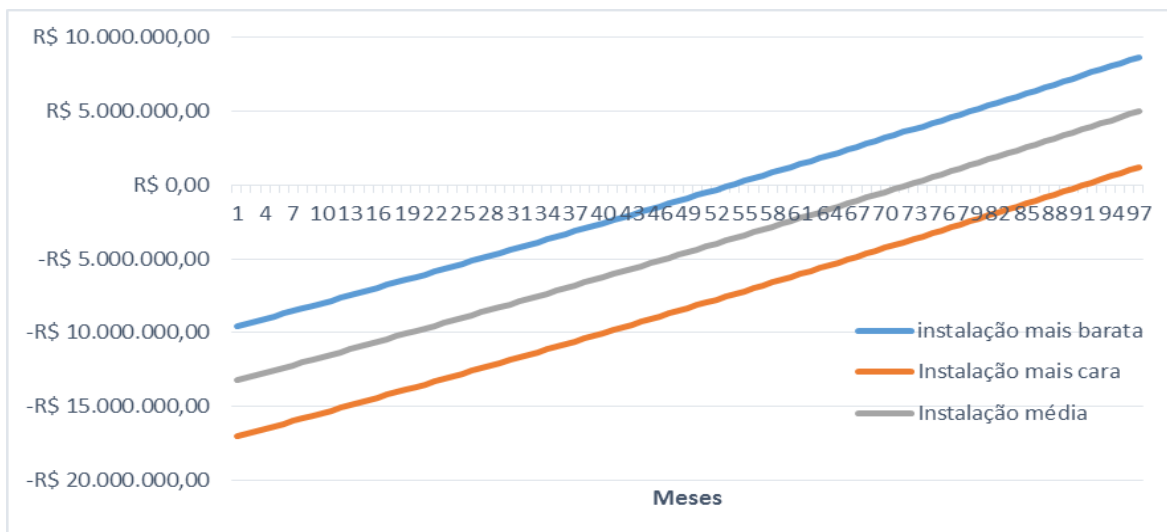


Figura 5.7 – Comparativo do VPL, cenário otimista, em função do preço de instalação.

Adicionalmente, analisam-se as três curvas médias de cada cenário. Pode-se perceber que o comportamento da curva que representa o cenário otimista se difere

dos cenários intermediários e pessimista, não apresentando a amortização esperada de uma análise financeira, em função da baixa taxa de atratividade mínima em relação à inflação, que corrige os valores da tarifa energética, mudando o sentido da inflexão da curva.

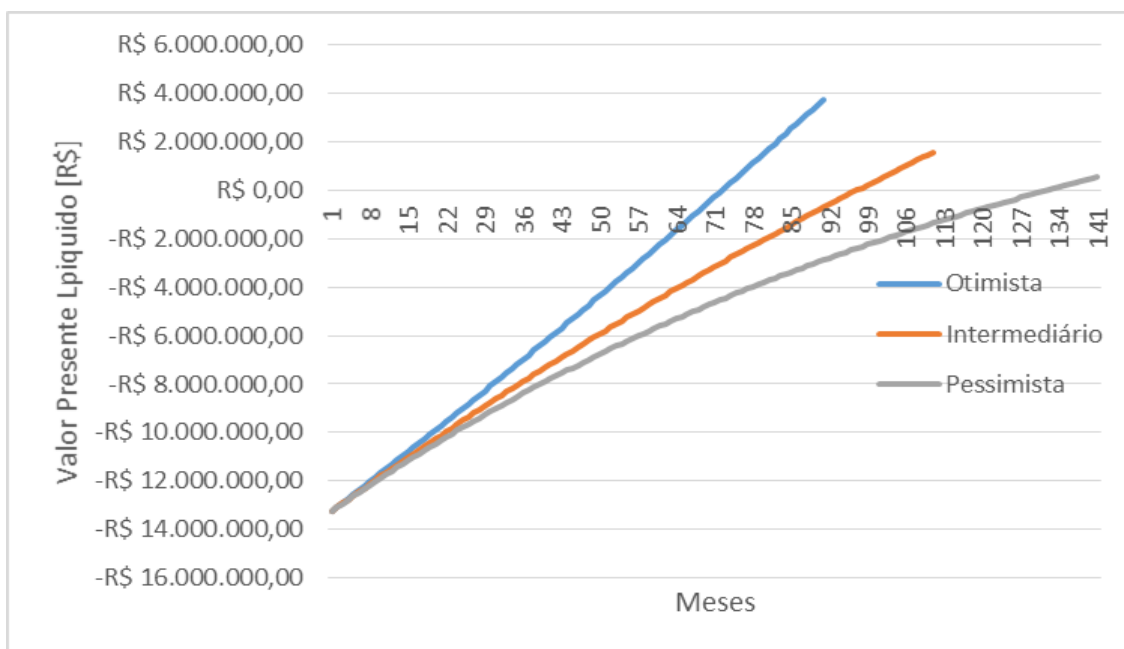


Figura 5.8 – Comparativo do VPL para o valor médio de instalação para todos os três cenários.

A análise das curvas mostra que a instalação se mostra viável nos três cenários, por apresentar tempo de retorno inferior à vida útil do equipamento indicada pelo fabricante, de 25 anos, mesmo no pior cenário avaliado, o pessimista de alto custo de instalação, que apresentou tempo de retorno de 215 a 216 meses, 17,9 anos.

## 6. CONCLUSÕES

### 6.1 Discussão

Neste trabalho procurou-se avaliar o potencial de geração de energia fotovoltaica nos Campi da UFRGS, bem como a viabilidade financeira deste investimento. Para isto, foram selecionadas áreas com potencial de instalação, as quais foram avaliadas com o auxílio de *softwares* livres, estimando-se a energia que seria gerada em um ano.

Analisando-se os resultados obtidos fica perceptível o potencial de geração de energia dos Campi, em especial o Campus do Vale, caso estudado detalhadamente. Por possuir a maior área, de 42633 m<sup>2</sup>, este se mostra a opção mais atraente para a instalação de um SFCR. Esta instalação, contando com 8699 painéis, seria capaz de fornecer 13% do consumo médio da universidade. Um fator que influencia neste resultado é o fato de os prédios do campus terem sido projetados de forma a melhor aproveitar a iluminação solar, tornando assim sua orientação favorável para a instalação de SFCR's.

Quanto à viabilidade financeira, todos os cenários analisados mostraram-se promissores, tendo em vista que mesmo em hipóteses ditas pessimistas o investimento se mostra viável, por apresentar o retorno do investimento em tempo inferior à vida útil dos equipamentos. Entretanto, deve-se observar que são assumidas diversas hipóteses sobre atratividade do investimento, e correções utilizando a inflação

como base, e a instabilidade econômica do Brasil acaba por gerar incertezas nestes parâmetros.

SFCR's apresentam diversos benefícios, não apenas para quem adere a este sistema, como para a rede à qual este será inserido, pois através da geração distribuída, estes descentralizam a produção de energia, fato que contribui para a redução de perdas nos sistemas de transmissão, além de gerar economia para o usuário. Esta área tem recebido atenção do governo, através de incentivos fiscais, visando tornar este investimento atrativo, de forma que não se façam necessários investimentos diretos na ampliação e diversificação da matriz energética, bem como melhorias nas redes de distribuição e transmissão. Assim, este estudo fornece uma base para futuras instalações, provendo uma ideia do impacto que a mesma teria sobre o consumo energético da universidade e tempos de retorno do investimento, provando com isso sua viabilidade econômica e importância para a matriz energética nacional.

## 6.2 Trabalhos Futuros

Um tópico importante a se estudar para a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede é o uso de inversores de frequência, necessários a fim de adequar a corrente gerada à disponibilizada na rede. Igualmente importante são as estruturas que sustentam o sistema, que devem ser dimensionadas de forma a não prejudicar a superfície na qual foram instaladas, e ainda assim apresentar robustez suficiente para resistir às ações do vento e demais intempéries.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; “**Geração distribuída**”, disponível em: <http://www.aneel.gov.br/pt/informacoes-tecnicas/>. Acesso em: 28/09/2016
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; “**Resolução Normativa N°687/2015**”. Brasil, 2015.
- AL-RS - Assembléia Legislativa, Estado do Rio Grande do Sul; “**Decreto N°52.964/2016**” Rio Grande do Sul, 2016.
- BCB – Banco Central do Brasil; “**Relatório da Inflação**”, <http://www.bcb.gov.br/?RI> acesso em: 04/11/2016
- BCB – Banco Central do Brasil; “**Resolução N°4.345/2014**”, Brasília, 2014.
- BCB – Banco Central do Brasil; “**Remuneração dos Depósitos de Poupança**” <http://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp> acesso em: 04/11/2016
- Boyle, G.; “**Renewable Energy**”. Oxford, 2<sup>nd</sup> Edition, 2004.
- CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica, “**Tarifas e Custos**” [http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/Tarifas/Tarifas\\_Grupo\\_B\\_2016.pdf](http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/Tarifas/Tarifas_Grupo_B_2016.pdf) acesso em: 08/11/2016
- Duffie, J.A., Beckman, W.A.; “**Solar Engineering of Thermal Processes**”. Wiley, 4<sup>th</sup> Edition, 2013
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética; “**Balanco Energético Nacional – BEN - 2016**”. Brasília, 2016.

- IDEAL – Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina; **“O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica – Edição 2015”**. Brasil 2015
- INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética; **“Geração Distribuída e Cogeração”** [http://www.inee.org.br/forum\\_sobre\\_gd\\_cg.asp?Cat=qd](http://www.inee.org.br/forum_sobre_gd_cg.asp?Cat=qd) acesso em: 03/11/2016
- Pinho, J.T., Galdino, M.A.; **“Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”**. Rio de Janeiro, 2014
- Possebon, R.; **“Avaliação do Desempenho de um Arranjo Fotovoltaico Para Uma Residência Típica no Sul do País”**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Energia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- RFB – Receita Federal do Brasil; **“Taxa de Juros Selic”** <http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxa-de-juros-selic> acesso em: 04/11/2016
- Schneider, Victor; **“Influência do ângulo de incidência da radiação solar em módulos fotovoltaicos usando softwares livres”**. LABSOL – UFRGS, 2016
- UFRGS ; **“Relatório de Gestão 2013”**. Porto Alegre, 2014
- Twidell, J.W., Weir, A.D.; **“Renewable Energy Resources”**. Taylor, 2<sup>nd</sup> Edition, 2006.
- Vanek, F.M., Albright, L.D., Angenent, L.T.; **“Energy Systems Engineering”**. McGrawHill, 2012.
- Villalva, M.G.; **“Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações”**. Érica, São Paulo, 1<sup>a</sup> Edição, 2012.
- YNGLI SOLAR. **“Datasheet YGE 60 Cell 40mm SERIES”**. [http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/YGE\\_60\\_Cell\\_Series\\_EN.pdf](http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/YGE_60_Cell_Series_EN.pdf) acesso em: 11/10/2016