

Universidade Federal de Juiz de Fora
Faculdade de Engenharia
Departamento de Energia

Wanessa de Oliveira Guedes

**Análise de Investimentos de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede -
Uma abordagem por Opções Reais**

Juiz de Fora, MG - Brasil
Dezembro de 2016

Wanessa de Oliveira Guedes

**Análise de Investimentos de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede -
Uma abordagem por Opções Reais**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte das exigências para a obtenção do título de engenheiro eletricista.

Orientador: Bruno Henriques Dias

Juiz de Fora, MG - Brasil

Dezembro de 2016

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Guedes, Wanessa de Oliveira.

Análise de Investimentos de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede -
Uma abordagem por Opções Reais / Wanessa de Oliveira Guedes. – De-
zembro de 2016.

42 f. : il.

Orientador: Bruno Henriques Dias

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal
de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Departamento de Energia,
Dezembro de 2016.

1. Energia Fotovoltaica. 2. Análise de Investimento. 3. Opções Reais.
I. Dias, Bruno Henriques, Análise de Investimento com Opções Reais

Wanessa de Oliveira Guedes

**Análise de Investimentos de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede -
Uma abordagem por Opções Reais**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
a Universidade Federal de Juiz de Fora, como
parte das exigências para a obtenção do título
de engenheiro eletricista.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bruno Henriques Dias - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Leonardo Willer de Oliveira
Universidade Federal de Juiz de Fora

Eng. Arthur Gonçalves Givisiez
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me ajudar nessa jornada, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Ao meu orientador, Bruno Henriques Dias, pelo suporte, incentivo, amizade, por me orientar sempre com disposição, me ensinando muito durante a minha trajetória.

Aos meus pais, minha irmã e meu namorado, pela paciência, amor, compreensão, incentivo e apoio incondicional e a todos os meus familiares que sempre estiveram ao meu lado nessa caminhada.

Aos demais professores da UFJF pelos seus ensinamentos, que durante esses anos, contribuíram para a minha formação.

Aos amigos que fiz ao longo do curso e aos amigos de longa data, que fizeram parte dessa jornada, sempre me ajudando e aconselhando quando eu mais precisava.

A todos que fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

”Há pessoas que transformam o sol numa simples mancha amarela,
mas há aquelas que fazem de uma simples mancha amarela o
próprio sol”

Pablo Picasso

RESUMO

A energia fotovoltaica, nos últimos anos, vem se destacando no cenário mundial, aparecendo entre as maiores fontes de geração de energia renovável, ficando somente atrás da energia eólica e da energia hidrelétrica. No Brasil, mesmo com todas as características naturais favoráveis, essa energia não tem muita participação na matriz energética. Com medidas para promover o uso do sol como fonte de geração de energia renovável, o Brasil começa a enxergar um aumento na exploração da energia fotovoltaica. Este estudo procurou analisar o melhor momento para investir em um sistema fotovoltaico residencial, aplicando a teoria das opções reais (TOR). As análises foram realizadas através do fluxo de caixa estimado durante o tempo de vida útil do sistema fotovoltaico e o valor do projeto foi calculado considerando duas premissas, a implantação imediata do sistema ou utilizando a opção de esperar para investir no ano seguinte, procurando assim, obter o melhor cenário para o investidor. Os métodos tradicionais de avaliação tais como o valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e *payback*, tal como a teoria das opções reais foram utilizados nesse estudo como métodos de avaliação do projeto.

Palavras-chave: Opções Reais; Energia Fotovoltaica; Análise de Investimento.

ABSTRACT

In recent years, photovoltaic energy use has been raising all the world, appearing among the largest sources of renewable energy generation, behind only wind energy and hydroelectric power. In Brazil, even with all the favorable natural characteristics, this energy does not have much participation in the energy matrix. With measures to promote the use of the sun as a source of renewable energy generation, Brazil begins to see an increase in the exploitation of photovoltaic energy. This study sought to analyze the best moment to invest in a residential photovoltaic system, applying the Real Option Theory (TOR). The analyzes were carried out through the estimated cash flow during the useful life of the photovoltaic system and the value of the project was calculated considering two premises, the immediate implantation of the system or using the option to wait to invest in the following year, searching the best scenario for the investor. Traditional valuation methods such as net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and payback, as well as the real options theory were used in this study as project valuation methods.

Key-words: Real Options; Photovoltaic Energy; Investment Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cenários globais do mercado acumulável de sistema solar fotovoltaico até 2019	16
Figura 2 – Número de conexões acumuladas	19
Figura 3 – Média anual de radiação solar no Brasil	20
Figura 4 – Potencial Técnico de geração fotovoltaica em telhados residenciais por Unidade da Federação (Gwh/dia)	20
Figura 5 – Projeção do crescimento da capacidade instalada e custos até 2050 . . .	21
Figura 6 – Modelo de Cox, Ross e Rubinstein	26
Figura 7 – Valor no processo binomial	26
Figura 8 – Distribuição de preços dos sistemas fotovoltaicos (<5kWp) instalados .	29
Figura 9 – Irradiação Solar em Juiz de Fora	30
Figura 10 – Eletricidade Consumida x Eletricidade Fornecida	31
Figura 11 – Eletricidade Consumida x Eletricidade Fornecida x Geração do Sistema	31
Figura 12 – Variação da Tarifa de Energia	35
Figura 13 – Árvore binomial para o adiamento de um ano	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico do consumo	28
Tabela 2 – Dados do sistema fotovoltaico	29
Tabela 3 – Irradiação Solar em Juiz de Fora	30
Tabela 4 – Relação entre o Consumo de Energia e a Geração do Sistema Fotovoltaico	31
Tabela 5 – Tarifa de energia sem imposto - CEMIG	32
Tabela 6 – Valor da conta de energia sem GD	32
Tabela 7 – Análise da economia da energia	33
Tabela 8 – Fluxo de Caixa - Método Tradicional	34
Tabela 9 – Resultados do Fluxo de Caixa	34
Tabela 10 – Volatilidade da tarifa de energia	36
Tabela 11 – Fluxo de Caixa para adiamento de um ano - Aumento da tarifa	37
Tabela 12 – VPL, TIR e <i>Payback</i> para adiamento de um ano - Aumento da tarifa de energia	37
Tabela 13 – Fluxo de Caixa para adiamento de um ano - Queda da tarifa	38
Tabela 14 – VPL, TIR e <i>Payback</i> para adiamento de um ano - Aumento da tarifa de energia	38

LISTA DE ABREVIACOES

ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
CDI	Certificado de Depósito Interbancário
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
kW	Quilowatt
MGB	Movimento Geométrico Browniano
MWh	Megawatt-hora
Pasep	Programa de Formação do Patrimnio do Servidor Público
PIS	Programa de Integração Social
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede
TE	Tarifas de Energia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TOR	Teoria das Opções Reais
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS	7
	LISTA DE TABELAS	8
	LISTA DE ABREVIACÕES	9
1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO	13
1.4	BREVE REVISÃO DA LITERATURA	14
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	ENERGIA FOTOVOLTAICA	16
2.1	ENERGIA FOTOVOLTAICA NO CENÁRIO BRASILEIRO	16
2.2	INCENTIVOS	17
2.3	BENEFÍCIOS DA INSTALAÇÃO PARA O SISTEMA ELÉTRICO	17
2.4	MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUIDA NO BRASIL	17
2.4.1	MICRO E MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA	19
2.5	CRÉDITOS DE ENERGIA	19
2.6	IMPOSTOS NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	21
3	MÉTODOS DE ANÁLISE DE UM INVESTIMENTO	23
3.1	MÉTODOS TRADICIONAIS DE AVALIAÇÃO	23
3.1.1	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	23
3.1.2	TAXA INTERNA DE RETORNO	23
3.1.3	<i>PAYBACK</i>	24
3.2	OPÇÕES REAIS	24
3.2.1	A abordagem das opções reais para a decisão de investir	24
3.2.2	O modelo binomial	25
4	ESTUDO DE CASO	28
4.1	SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL	28
4.2	DADOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO SFCR	28
4.3	A CAPACIDADE INSTALADA E A GERAÇÃO ANUAL	29
4.4	ANÁLISE UTILIZANDO OS MÉTODOS TRADICIONAIS	32
4.5	VALOR DO PROJETO COM OPÇÃO DE ADIAR O INVESTIMENTO	34

4.5.1	A volatilidade da tarifa de energia	35
4.5.2	Análise dos resultados	36
4.5.2.1	Opção de adiar um ano - Custo da energia	36
5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	40
5.1	TRABALHOS FUTUROS	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade se tornou uma grande necessidade da atualidade e cada vez mais o mundo se encontra dependente dela, com o crescimento das populações e dos grandes avanços tecnológicos e industriais da última década. Sendo assim, alternativas para a produção de energia são cada vez mais visadas e desenvolvidas. Nesse cenário de grande necessidade de energia elétrica, a alternativa da energia fotovoltaica vem ganhando destaque, uma fonte considerada limpa e que utiliza a energia do Sol para gerar energia elétrica.

O mundo atual é caracterizado pelo dinamismo do mercado e a flexibilidade gerencial para a avaliação de investimentos, junto a eles encontra-se um ambiente de tomada de decisões cheio de incertezas. Nesse ambiente que a análise através de opções reais ganhou destaque, visando considerar as variáveis de incerteza, tornando os projetos mais flexíveis, se adaptando ao cenário do mundo moderno.

Através de comparações será determinado a importância da utilização do método das opções reais na análise de investimentos. A análise será realizada por meio do investimento de um consumidor padrão em um sistema fotovoltaico para sua residência, a partir disso, serão realizadas comparações primeiramente com análise utilizando o método tradicional do fluxo de caixa descontado, em seguida usa-se as opções reais, com a opção de adiamento do projeto levando em consideração variações que poderão ocorrer com o preço da energia.

1.1 JUSTIFICATIVA

A crise energética e a busca por energias renováveis têm voltado as atenções para novas fontes de energia, uma das mais visadas atualmente é a energia fotovoltaica. O Brasil, sendo um país em desenvolvimento, vem expandindo seu mercado e tendo uma maior demanda de energia. Com isso, inicia-se uma busca por alternativas que consigam suprir essa necessidade. Nesse contexto que são inseridas as pequenas centrais geradoras fotovoltaicas residenciais.

Todo investimento possui características de irreversibilidade, incerteza e *timing* (DIXIT e PINDYCK, 1994).

Sendo o projeto de implantação do sistema fotovoltaico um investimento ele possui essas mesmas características. Quanto a irreversibilidade, sabe-se que a implantação do sistema é irreversível, pois uma vez iniciado o projeto não haverá mais a possibilidade de retornar o capital já investido. Quanto a incerteza, essa característica está relacionada com o preço da energia no futuro, variável que não pode ser determinada, apenas pode-se fazer uma previsão do que poderá ocorrer com ela. Por fim, o *timing*, sendo essa a característica

que possibilita determinar o melhor momento de se investir em um projeto, tendo como base as outras características já mencionadas. Com isso, pode-se encontrar o momento certo para realizar o investimento (MELLO, 2015).

Segundo Brandão (2002, apud MELLO, 2015), quando existem significativas flexibilidades gerenciais como a de adiar, abandonar, expandir, suspender ou retomar um projeto com investimento irreversível em condições de incerteza, o método das opções reais pode elevar a valores de retorno substancialmente maiores que os determinados pelos métodos do fluxo de caixa descontado. A implicação disso é que os métodos tradicionais tendem a subestimar projetos que apresentem opções.

A teoria das opções reais (TOR) substituirá o fluxo de caixa descontado (FCD) como paradigma central para a decisão de investimentos uma vez que conseguem complementar o espaço deixado por esse método (COPELAND e ANTIKAROV, 2002).

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho serão os seguintes:

- Realizar a análise econômica de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica, considerando sua vida útil;
- Avaliar o modelo tradicional sem flexibilidade;
- Calcular a volatilidade do projeto considerando o preço da energia;
- Construir uma árvore binomial;
- Realizar uma análise do projeto através da teoria das opções reais;
- Analisar os resultados obtidos do projeto pelo método convencional do fluxo de caixa descontado e pelo modelo das opções reais.

1.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO

A seguir alguns pontos importantes que devem ser levados em consideração para a realização das análises do projeto.

- O estudo será realizado para uma residência, sendo assim limitado a uma microgeração;
- Realizado na rede de distribuição da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais);
- O estudo está limitado ao Estado de Minas Gerais, pois é o Estado onde se encontra a residência analisada.

1.4 BREVE REVISÃO DA LITERATURA

Um estudo utilizado como base nesse trabalho em particular, direciona os conhecimentos na área de opções reais para a geração de energia fotovoltaica residencial, enfatizando o ganho de espaço desse tipo de energia no cenário mundial, e a importância da utilização da teoria das opções reais na análise de um investimento (MELLO, 2015).

Outro estudo considerado mostra a importância da consideração do valor da flexibilidade e afirma a importância da teoria das opções reais para auxiliar na tomada de decisão (SANTOS e PAMPLONA, 2001).

Nesse estudo há uma importante abordagem através de comparação de análises realizadas através dos métodos tradicionais e análises realizadas através da teoria das opções reais (RIGOLON, 1999).

Nesse trabalho estuda-se a necessidade de se encontrar fontes alternativas de energia, focando no enorme potencial que o Brasil possui para a geração de energia elétrica através da conversão fotovoltaica da irradiação solar (RIBEIRO, 2012).

Os estudos foram complementados através de um livro que tem por finalidade não somente apresentar o que é a teoria das opções reais, mas também como aplicá-las em problemas reais (COPELAND e ANTIKAROV, 2002).

Por fim, um estudo de viabilidade econômica da instalação de micro e minigeração distribuída fotovoltaica no Brasil realizada para diferentes consumidores do mercado cativo (GIVISIEZ, 2016).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho está dividido em 7 capítulos. No capítulo 1 foi apresentado uma introdução do assunto que será discutido, os principais objetivos do estudo em questão, em seguida discute-se a relevância do tema no cenário atual brasileiro, algumas considerações que serão adotadas para a realização das análises e por fim uma análise da literatura utilizada.

No capítulo 2 serão discutidas as premissas iniciais do trabalho, há uma explicação sobre a energia fotovoltaica, introduzindo o tema no cenário brasileiro mostrando, por fim, os incentivos que a energia solar está recebendo para continuar crescendo no país.

No capítulo 3 será abordado o tema da mini e microgeração distribuída, explicitando melhor o tema, comentando sobre os créditos de energia e determinando os impostos incidentes para esse tipo de geração.

No capítulo 4 serão apresentados os métodos tradicionais de análise de investimentos, introduzindo o termo fluxo de caixa, valor presente líquido (VPL), *payback* e taxa interna

de retorno (TIR).

No capítulo 5 será abordado o tema das Opções Reais, mostrando como a consideração desse método para analisar um empreendimento pode alterar completamente a maneira de investir.

No capítulo 6 será realizado estudos de caso, cada um com uma abordagem diferente, para comparar a análise do investimento através dos métodos tradicionais e através das opções reais.

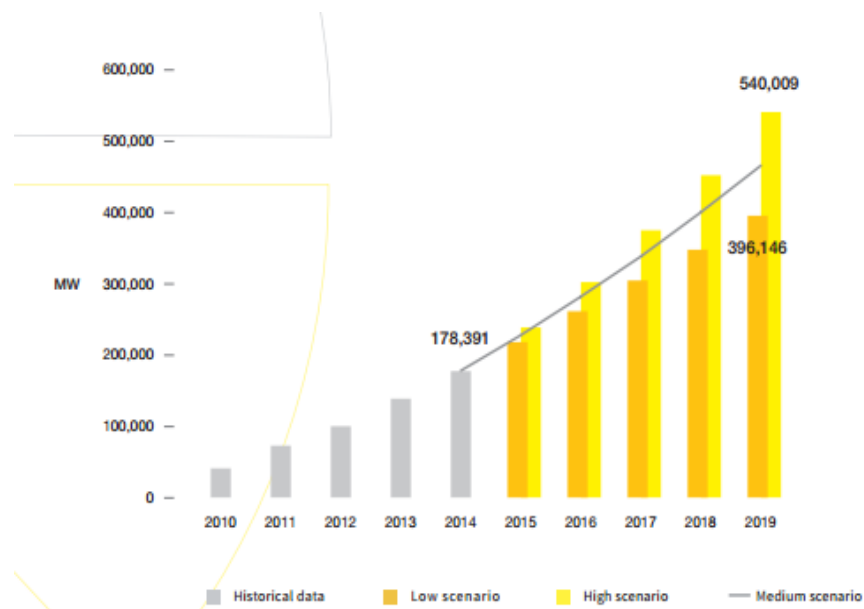
Por fim no capítulo 7, será apresentado as conclusões finais e propostas para estudos futuros.

2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica vem ganhando espaço no cenário energético mundial. Segundo relatórios da Agência Internacional de Energia (IEA), na sigla em inglês, o Sol poderá ser a maior fonte de eletricidade do mundo até 2050, sendo que os sistemas fotovoltaicos poderiam gerar até 16% da eletricidade mundial até essa data. Ao final de 2013 a implantação de sistemas fotovoltaicos no mundo chegou a 137 GW de capacidade instalada, agregando até 100 MW por dia (IEA, 2014).

Na figura 1 dados que mostram o grande aumento do uso da energia fotovoltaica no mundo.

Figura 1 – Cenários globais do mercado acumulável de sistema solar fotovoltaico até 2019



Fonte:(SOLAR POWER EUROPE, 2015)

2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO CENÁRIO BRASILEIRO

No Brasil o cenário de aproveitamento da energia fotovoltaica segue o padrão mundial, segundo dados, 2016 será o ano da expansão da energia solar no país (MME, 2015).

As previsões para a energia solar no Brasil são otimistas, em 2018 o país deverá estar entre os 20 países com maior geração de energia solar, considerando-se a potência já contratada de 2,6 GW. Estima-se que a capacidade instalada de geração solar chegue a 8.300 MW em 2024, sendo 1.300 MW de geração distribuída (EPE e MME, 2015).

Esse aumento do aproveitamento da energia solar deve-se ao acúmulo de vários fatores, sendo eles a crescente demanda de energia no Brasil, o risco de racionamento,

grande irradiação solar em todo o território nacional, preço da energia muito volátil e o aumento da preocupação com a sustentabilidade.

2.2 INCENTIVOS

Com a necessidade da exploração cada vez maior da energia solar, teve início o incentivo ao uso dessa energia. Em 17 de abril de 2012 entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL n° 482/2012 para estabelecer as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2016a).

Desde 2012, quando a ANEEL criou o Sistema de Compensação, o consumidor pode gerar sua própria energia elétrica e fornecer o excedente para a rede de distribuição (ANEEL, 2016b).

Desde 2013, o estado de Minas Gerais elimina o ICMS da geração de energia solar por um período de cinco anos. Essa redução mesmo que por tempo limitado já incentiva a implantação do sistema fotovoltaico (WWF, 2015).

Em 13 de maio de 2015 a Comissão de Serviços de Infraestrutura (CI) aprovou a isenção do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), de PIS/PASEP e da Cofins sobre painéis fotovoltaicos e outros componentes dessa modalidade de energia renovável produzidos no país (O SETOR ELÉTRICO, 2015).

Em 18 de dezembro de 2015, Minas Gerais adere ao convênio CONFAZ 157/15, eliminando o ICMS da geração de energia sem prazo de validade, juntamente com outros estados (CONFAZ, 2015).

2.3 BENEFÍCIOS DA INSTALAÇÃO PARA O SISTEMA ELÉTRICO

A utilização da energia fotovoltaica em residências traz benefícios para o sistema elétrico tais como a postergação de investimentos na expansão da geração centralizada e da transmissão, pois com as residências gerando energia mesmo com o aumento do consumo essas muitas vezes podem até suprir suas necessidades com a própria geração.

Outro ponto a se destacar é o baixo impacto ambiental da geração fotovoltaica, pois usa-se energia proveniente do Sol para gerar a energia elétrica. Mais um benefício seria a diversificação que esse sistema traz para a matriz energética do país.

2.4 MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUIDA NO BRASIL

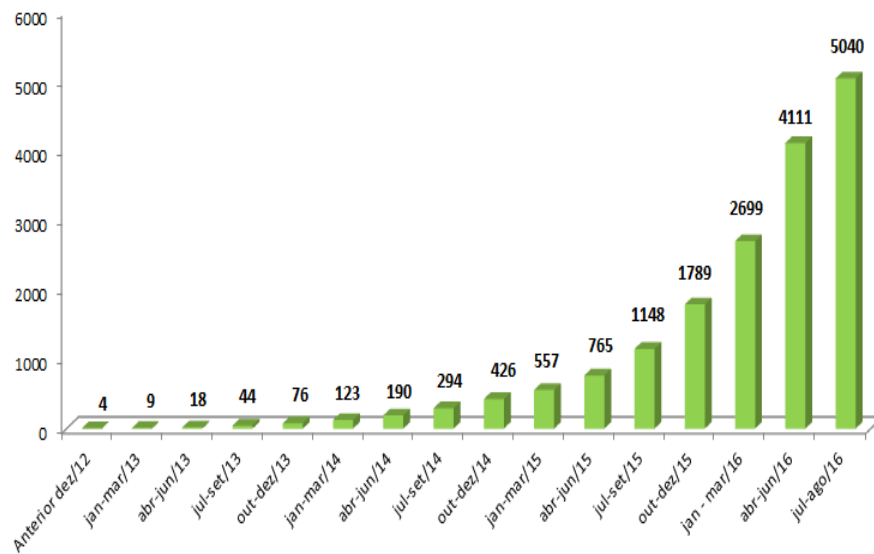
A micro e minigeração distribuída consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica

ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2016b).

A Resolução Normativa nº 687/2015 foi publicada pela ANEEL revisando a Resolução Normativa nº 482/2012. As principais inovações apresentadas por essa nova resolução foram a permissão do uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; os créditos de energia, quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, tiveram seus prazos de validade alterados de 36 para 60 meses; outra inovação da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empresendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores; a criação da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados; definiu-se que os custos da adaptação do sistema de medição e/ou adaptação do sistema de distribuição para a microgeração distribuída fica a cargo da distribuidora (ANEEL, 2016a). Se for geração compartilhada mesmo sendo microgeração a despesa fica com o consumido.

Pode-se destacar o grande aumento das conexões de micro ou minigeração distribuída depois da revisão da Resolução Normativa nº 482/2012, essa por sua vez apesar de muito importante para o desenvolvimento da geração distribuída não possuía regras que incentivavam muito os investidores (ANEEL, 2016b). O Brasil ultrapassou 5 mil conexões de micro e minigeração, em um ano o número de conexões teve um rápido crescimento, são 5040 conexões em agosto de 2016, contra 1148 ligações em setembro de 2015, como pode ser observado na figura 2(ANEEL, 2016c).

Figura 2 – Número de conexões acumuladas



Fonte:(ANEEL, 2016c)

2.4.1 MICRO E MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

O país possui um grande potencial para gerar eletricidade a partir do sol. Segundo Ruther (2010, apud NASCIMENTO, 2015), a radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha, por exemplo, que é um dos líderes no uso da energia fotovoltaica, é 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil. Diariamente incide entre 4.500 Wh/m² a 6.300 Wh/m² no país (ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL, 2000).

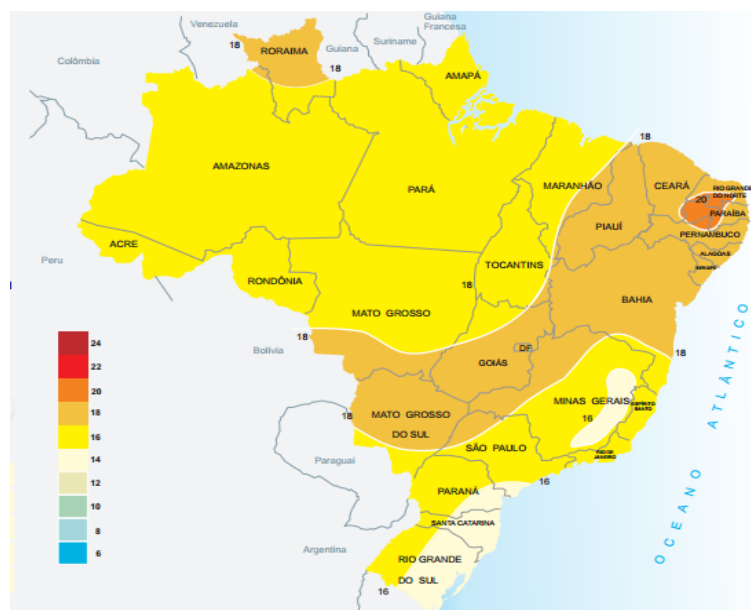
Na figura 3 mostra a média anual da radiação solar em todos os estados do Brasil e a figura 4 o potencial técnico de geração fotovoltaica em telhados residenciais.

A grande barreira enfrentada para a disseminação dessa tecnologia ainda é seu elevado preço comparado com as outras fontes de energia. Contudo dados mostram a contínua redução no preço dos painéis fotovoltaicos, como mostrado na figura 5, podendo em 2050 chegar a atingir um custo do sistema fotovoltaico residencial de US\$1000/kW (EPE e MME, 2014).

2.5 CRÉDITOS DE ENERGIA

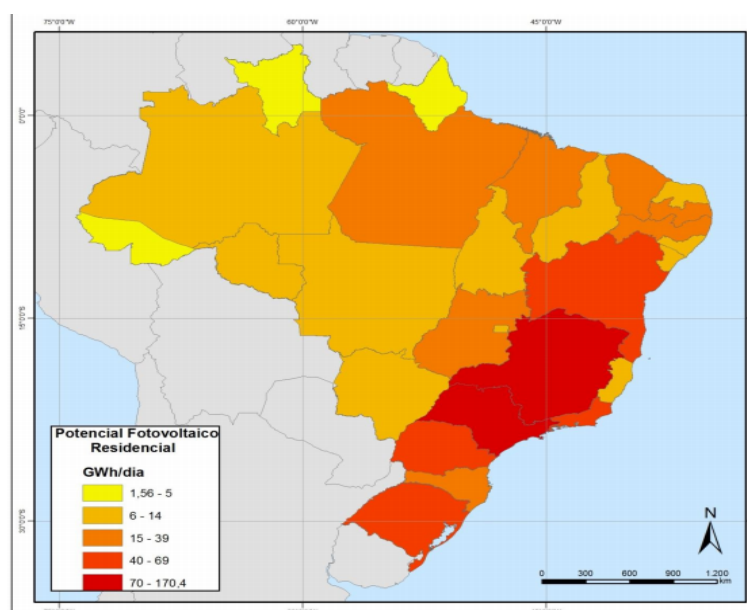
Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local,

Figura 3 – Média anual de radiação solar no Brasil



Fonte:(ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL, 2000)

Figura 4 – Potencial Técnico de geração fotovoltaica em telhados residenciais por Unidade da Federação (Gwh/dia)

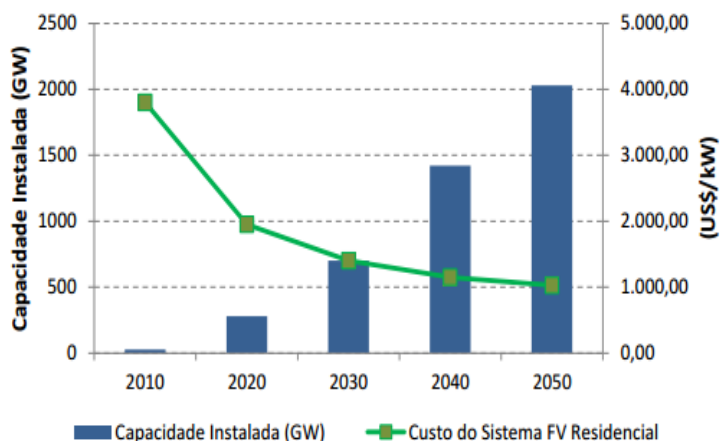


Fonte:(EPE e MME, 2014)

desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto” (ANEEL, 2016a).

É importante ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade (valor em reais equivalente a 30

Figura 5 – Projeção do crescimento da capacidade instalada e custos até 2050



Fonte:(EPE e MME, 2014)

kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico)). Já para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), a parcela de energia da fatura poderá ser zerada (caso a quantidade de energia injetada ao longo do mês seja maior ou igual à quantidade de energia consumida), sendo que a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente (ANEEL, 2016b).

Vale ressaltar também que quando a utilização dos créditos se der em posto tarifário diferente daquele no qual esses créditos foram gerados, para o caso de unidades consumidoras faturadas com tarifas horárias (tarifas azul, verde ou branca), o saldo de energia gerada deve ser multiplicado pela relação entre as TE (Tarifas de Energia) aplicáveis à unidade consumidora na qual ocorrerá a utilização dos créditos. Além disso, quando a unidade consumidora onde ocorreu a geração excedente for faturada na modalidade convencional (sem postos tarifários), os créditos gerados devem ser considerados como geração em período fora de ponta para fins de utilização em outra unidade consumidora com postos tarifários. (ANEEL, 2016b).

2.6 IMPOSTOS NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Os impostos existentes na geração distribuída seja ela de pequeno ou médio porte são o PIS, COFINS, PASEP e ICMS, porém alguns incentivos, já mencionados anteriormente, foram acrescidos com o objetivo de incentivar a geração distribuída.

No início os impostos eram cobrados sobre toda a energia consumida pela unidade, mesmo com a utilização, pelos consumidores, dos créditos de energia. Para fins de incentivo, o governo federal isentou o PIS e COFINS quando o consumidor estiver utilizando seus créditos (GIVISIEZ, 2016).

Atualmente o Confaz fez um convênio autorizando os estados a concederem isenção

do imposto sobre circulação de mercadorias e serviços incidente sobre a energia elétrica trocada entre consumidor e distribuidora, evitando assim que o consumidor seja tributado pela energia injetada na rede.

Fazem parte do convênio Confaz 16/2015 os estados do Acre, Alagoas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, São Paulo, Tocantins e o Distrito Federal. Além da isenção do ICMS na energia injetada na rede, o consumidor/gerador de energia também pode contar com a isenção da cobrança de PIS e Cofins. Esses benefícios não eram praticados no início de 2015 (CONFAZ, 2015).

3 MÉTODOS DE ANÁLISE DE UM INVESTIMENTO

3.1 MÉTODOS TRADICIONAIS DE AVALIAÇÃO

3.1.1 FLUXO DE CAIXA DESCONTADO

Em geral para analisar projetos são usados métodos tradicionais, como o valor presente líquido e a taxa interna de retorno.

O fluxo de caixa descontado (FCD) começou a se destacar em meados dos anos 70 como melhor prática para a avaliação de empresas, estabelecendo a técnica do valor presente líquido como importante ferramenta para análise de investimentos.

Para determinar o VPL, utilizam-se os fluxos de caixa esperados gerados pelo investimento em questão descontando-os ao tempo presente pelo custo de oportunidade de capital. Como forma de avaliar o projeto considera o VPL positivo o caso no qual deverá ser realizado o investimento.

A equação 3.1 mostra de maneira simplificada como determinar o VPL:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^T \frac{E(xt)}{(1+k)^t} \quad (3.1)$$

Sendo I o investimento inicial, T a vida útil do projeto, E(xt) o valor esperado do fluxo de caixa líquido e k o custo do capital.

Mesmo sendo a técnica mais popular para determinar a viabilidade econômica de um projeto ela vem recebendo críticas há tempos, por não considerar a flexibilidade das variáveis analisadas.

3.1.2 TAXA INTERNA DE RETORNO

A taxa interna de retorno é definida como a taxa de desconto de um investimento que torna seu valor presente líquido nulo, ou seja, que faz com que o projeto pague o investimento inicial quando considerado o valor do dinheiro no tempo, sendo assim a taxa de retorno do investimento.

Podendo ser obtida de acordo com a equação 3.2:

$$VPL = 0 = investimento + \sum_{t=1}^N \frac{Ft}{(1+TIR)^t} \quad (3.2)$$

Sendo F o fluxo de caixa de cada período e t o período em questão. Com isso, pode-se observar que a taxa interna de retorno pode ser obtida com cada fluxo de caixa sendo dividido pela TIR elevada ao seu respectivo período, sendo considerado neste caso juros compostos. Por fim, tudo é igualado a zero.

3.1.3 PAYBACK

Considerado o período de tempo necessário para se recuperar o investimento realizado. Levando em conta que quanto maior o horizonte temporal, maiores as incertezas, é interessante para as empresas determinarem o *payback*, pois com este pode-se ter uma clareza quanto ao período de tempo para o retorno do capital, determinando se esse prazo se encontra em um período razoável para a realização dos investimentos, diminuindo os riscos. Podendo também ser calculado o *payback* descontado, que possui as mesmas ideologias do *payback*, somente diferindo por ser avaliado através do fluxo de caixa descontado, ou seja, considerando-se a taxa de desconto associada.

3.2 OPÇÕES REAIS

Com a necessidade de novas maneiras de avaliação de investimentos surge a teoria das opções reais (TOR), cujo destaque está na incorporação das incertezas nas análises de investimentos. O fato de existir a flexibilidade para se adaptar as alterações futuras do mercado expande o valor da oportunidade do investimento (MINARDI, 2000).

A Teoria das Opções Reais, como toda teoria em processo de difusão e estabilização, apresenta suas limitações, o que não a impede, entretanto, de ser capaz de captar o valor da flexibilidade conseguida através de uma administração ativa, possibilitando refletir de forma mais real e precisa o processo de tomada de decisão de investimentos (SANTOS e PAMPLONA, 2001).

3.2.1 A abordagem das opções reais para a decisão de investir

Irreversibilidade, incerteza e possibilidade de adiamento são três características importantes das decisões de investimentos. Na prática, as decisões dos investidores levam em conta cada uma delas e as suas interações. Como a abordagem de opções é uma tentativa de modelar teoricamente as decisões dos investidores, o seu melhor entendimento requer, antes de tudo, uma análise mais cuidadosa daquelas características (DIXIT e PINDYCK, 1994).

Primeiramente têm-se que levar em conta a opção de irreversibilidade, essa característica da decisão de investir leva em conta se a escolha deverá seguir uma única direção, sem possibilidade de retornar à etapa anterior sem nenhum prejuízo.

Em seguida, deve-se analisar a incerteza das variáveis do projeto. A própria decisão de investir é afetada pela incerteza, essa por sua vez se dá pelo fato das variáveis que devem ser levadas em conta no projeto, como por exemplo as variações que podem ocorrer no preço da energia.

Por fim, a terceira característica é a possibilidade de adiamento do investimento. Essa possibilidade nem sempre pode ser considerada por uma empresa. Por motivos

estratégicos essa opção pode ser levada em conta.

As características de irreversibilidade, incerteza e possibilidade de adiamento podem ser sintetizadas na seguinte analogia entre a oportunidade de investimento e a opção financeira: uma firma com uma oportunidade de investimento irreversível carrega uma opção de investir no futuro (ou de esperar); ela tem o direito (mas não a obrigação) de comprar um ativo (o projeto) no futuro, a um preço de exercício (o investimento). Quando a firma investe, ela exerce a opção e paga um custo de oportunidade igual ao seu valor. O exercício da opção (o investimento) é irreversível, mas a firma sempre tem a possibilidade de preservar o valor de sua opção (adiar o investimento) até que as condições de mercado se tornem mais favoráveis (DIXIT e PINDYCK, 1994).

3.2.2 O modelo binomial

Esse modelo foi desenvolvido por Cox, Ross e Rubinstein em 1979 e tem como base a ideia de que o preço do ativo-objeto segue um processo binomial multiplicativo ao longo de sucessivos intervalos de tempos discretos (MELLO, 2015).

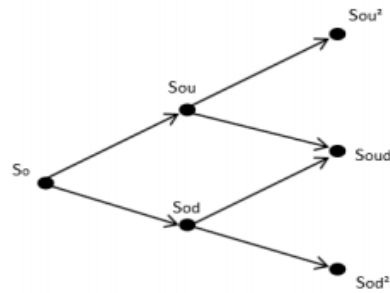
Segundo Hull (2009, apud MELLO, 2015) A árvore binomial é uma técnica muito conhecida e trata-se de um diagrama que representa os diferentes caminhos que podem ser seguidos pelo preço do ativo-objeto durante a vida da opção.

De acordo com Mikoszewski (2003, apud MELLO, 2015), o modelo binomial é considerado intuitivo, flexível e de fácil desenvolvimento, não necessitando de uma aplicação matemática muito sofisticada. O autor ressalta que o modelo pode ser aplicado tanto para opções europeias, como para as americanas, podendo ser aplicado a todos os mercados.

Segundo Macedo e Nardelli (2008, apud MELLO, 2015) por meio do modelo binomial, pode-se avaliar projetos que apresentem um grande número de períodos, sendo que, em cada um desses períodos é possível que o preço da opção real assumira somente dois valores distintos no tempo: o valor ascendente ou o valor descendente.

Segundo Cox, Ross e Rubinstein (1979, apud MELLO, 2015), a cada momento (passo temporal), são possíveis apenas dois comportamentos e o preço (S_0) é multiplicado por uma variável aleatória de subida (u) ou de descida (d), conforme representado na figura 6:

Figura 6 – Modelo de Cox, Ross e Rubinstein



Fonte:(MELLO,2015)

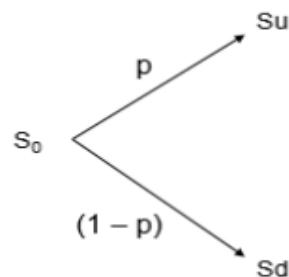
Sendo:

- S_0 = preço da ação no período inicial;
- u = “subida” da ação (sendo que “ u ” $>$ 1);
- d = “descida” da ação (sendo que “ d ” $<$ 1);
- S_{0u} = preço da ação depois de uma “subida” (sendo que “ u ” $>$ 1);
- S_{0d} = preço da ação depois de uma “descida” (sendo que “ d ” $<$ 1).

Brandão (2002 ,apud MELLO, 2015) ressalta também que para que essa representação emule uma distribuição lognormal é necessário que sejam escolhidos valores apropriados para u , d e a probabilidade p , de forma que a média e a variância dos retornos de S sejam os mesmos que os do movimento geométrico browniano (MGB) de S , $dS = \mu S dt + \sigma S dz$.

Considerando que $S_1 = S_0 e^{V \Delta t}$ e desenvolvendo algebricamente, pode-se demonstrar que S_1 assumirá o valor de S_u ou S_d com probabilidades p e $(1-p)$ respectivamente (MELLO,2015), conforme figura 7:

Figura 7 – Valor no processo binomial



Fonte:(MELLO,2015)

Onde:

- $u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$, sendo Δt = espaço de tempo;
- $d = \frac{1}{u}$;
- $p = \frac{1+r-d}{u-d}$.

Sendo que:

- σ = Volatilidade da incerteza da análise;
- r = taxa livre de risco.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL

Antes de implantar um sistema fotovoltaico em uma residência é necessário realizar um estudo de viabilidade técnica e financeira. Seguindo os passos a seguir, pode-se realizar uma análise de viabilidade do investimento.

- Identificar os dados do consumidor;
- Verificar as condições climáticas do local escolhido para a implantação;
- Verificar a disponibilidade solar;
- Definir a capacidade e a quantidade de módulos fotovoltaicos a serem instalados;
- Realizar o estudo do potencial de geração do sistema fotovoltaico;
- Avaliar o custo da eletricidade na concessionária e a possível economia gerada com a instalação dos painéis;
- Análise do custo de instalação e manutenção do sistema;
- Determinar o tempo de retorno do investimento.

4.2 DADOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO SFCR

O estudo será realizado para uma residência (casa)trifásica, localizada no Estado de Minas Gerais, na cidade de Juiz de Fora. O consumo de energia foi medido ao longo do ano de 2015 e segue os resultados conforme a tabela 1:

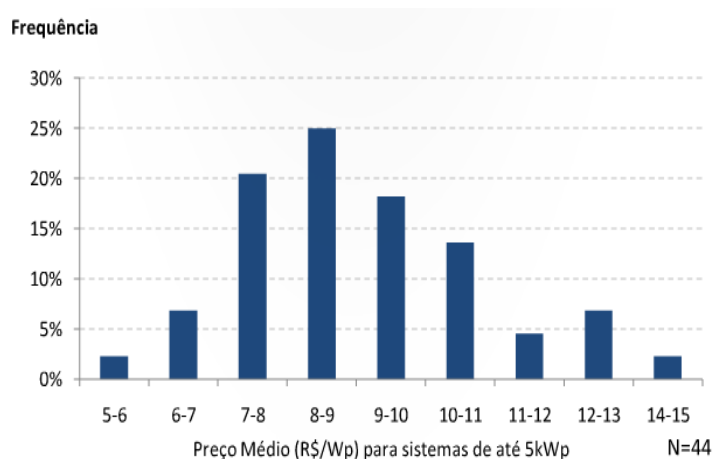
Tabela 1 – Histórico do consumo

Mês	Consumo(kWh)
Jan	400
Fev	410
Mar	355
Abr	398
Mai	363
Jun	328
Jul	355
Ago	407
Set	361
Out	361
Nov	346
Dez	340
Total	4424
Média	368,67

Fonte: Elaborado pelo autor

Outro dado importante para a implantação do sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) é o preço médio anual em 2014, cobrado por instaladores no Brasil de R\$8,69/Wp. Para sistemas de até 5kWp, os valores levantados variavam de R\$5,9/Wp a R\$ 15/Wp. Porém, como pode ser observado na figura 8, a maior frequência foi verificada entre R\$8/Wp e R\$9/Wp (IDEAL, 2015). Com esses dados, pode-se observar os preços dos SFCR estão mais viáveis, aumentando a atratividade em investimentos desse tipo.

Figura 8 – Distribuição de preços dos sistemas fotovoltaicos (<5kWp) instalados



Fonte:(IDEAL, 2015)

4.3 A CAPACIDADE INSTALADA E A GERAÇÃO ANUAL

Para definição da capacidade de um sistema fotovoltaico a ser instalado, além da localização, do espaço disponível, da insolação média anual e da demanda residencial por energia, deve-se levar em consideração as regras do sistema de compensação de energia estabelecida pela concessionária onde o sistema está implementado (MELLO, 2015).

Na tabela 2 dados importantes do sistema fotovoltaico escolhido para realizar a análise:

Tabela 2 – Dados do sistema fotovoltaico

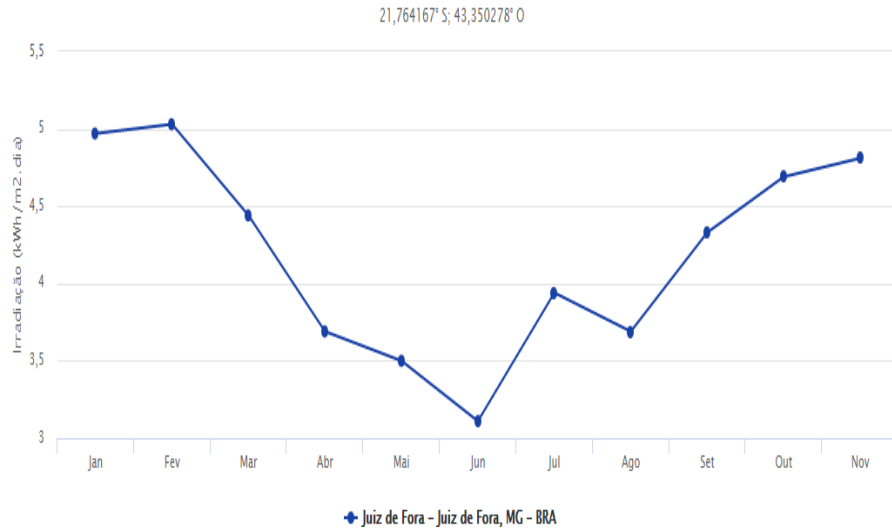
Gerador de Energia Solar 2,08 kWp - 8 painéis - até 290 kWh/mês	
Painel Solar Fotovoltaico 265Wp Canadian CSI CS6P-265P BR	
Inversor Fronius Galvo 2.0-1 (2.000W)	
Área Ocupada	12,8 m ²
Valor Total do Sistema Fotovoltaico	R\$ 15.390,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao ser determinado os dados do sistema fotovoltaico a ser utilizado, pode-se estimar sua geração mensal, através de dados do painel solar que podem ser encontrados no datasheet e através de dados da irradiação (Figura 9 e Tabela 3) na região que se deseja

instalar o sistema, no caso desse estudo, a região de Juiz de Fora no estado de Minas Gerais.

Figura 9 – Irradiação Solar em Juiz de Fora



Fonte:(CRESESB, 2016)

Tabela 3 – Irradiação Solar em Juiz de Fora

Meses	Irradiação (kWh/m ² .dia)
Janeiro	4,97
Fevereiro	5,03
Março	4,44
Abril	3,69
Mai	3,5
Junho	3,11
Julho	3,75
Agosto	3,94
Setembro	3,69
Outubro	4,33
Novembro	4,69
Dezembro	4,81

Fonte:(CRESESB, 2016)

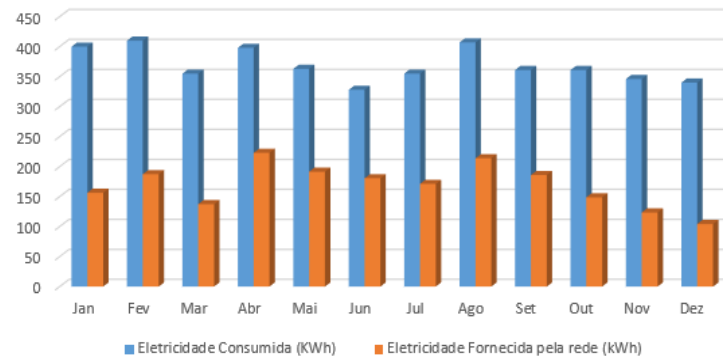
A partir desses dados pôde-se estimar a geração do sistema fotovoltaico, como observado na tabela 4 e nas figuras 10 e 11:

Tabela 4 – Relação entre o Consumo de Energia e a Geração do Sistema Fotovoltaico

Meses	Eletricidade Consumida (kWh)	Eletricidade Gerada pelo Sistema (kWh)	Eletricidade Fornecida pela rede (kWh)
Jan	400	243,60	156,40
Fev	410	222,68	187,32
Mar	355	217,63	137,37
Abr	398	175,03	222,97
Mai	363	171,55	191,45
Jun	328	147,52	180,48
Jul	355	183,81	171,19
Ago	407	193,12	213,88
Set	361	175,03	185,97
Out	361	212,23	148,77
Nov	346	222,46	123,54
Dez	340	235,76	104,24
Total Anual	4424	2400,42	2023,58

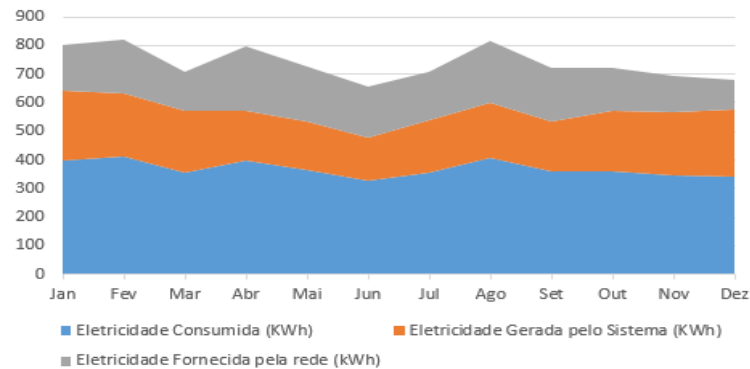
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 10 – Eletricidade Consumida x Eletricidade Fornecida



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 11 – Eletricidade Consumida x Eletricidade Fornecida x Geração do Sistema



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 ANÁLISE UTILIZANDO OS MÉTODOS TRADICIONAIS

Como o objetivo desse estudo é realizar uma avaliação do investimento da implementação de um sistema fotovoltaico residencial de geração de energia, o lucro considerado é a economia da energia dada pela implantação do SFCR.

Os valores de tarifa de energia cobrados pela concessionária de energia da região CEMIG para o grupo B1 sem considerar os impostos pode ser observada na tabela 5, porém no presente estudo os impostos serão considerados, sendo assim a tarifa utilizada será de R\$ 0,86006202/kWh (bandeira vermelha) com um reajuste de 5,5% a.a., acompanhando aproximadamente o valor da inflação. Destacando que para efeito de estudo, o cenário utilizado foi de bandeira vermelha ao longo de todo período de análise. Essa premissa foi adotada, levando em consideração o histórico do período de teste.

Tabela 5 – Tarifa de energia sem imposto - CEMIG

B1 - Residencial Normal	Verde	Amarela	Vermelha Patamar 1	Vermelha Patamar 2
Consumo (R\$/kWh)	0,53122	0,54622	0,56122	0,57622

Fonte:(CEMIG, 2016)

Sendo assim, considerando a eletricidade consumida ao longo do ano de 2015, ainda sem a implantação do painel fotovoltaico e utilizando os valores de tarifa, temos que a conta do consumo de energia anual da residência em questão é R\$ 4.181,95, como pode ser observado pela tabela 6.

Tabela 6 – Valor da conta de energia sem GD

Mês	Eletricidade Consumida (KWh)	Valor da conta sem GD (R\$)
Janeiro	400	R\$ 375,44
Fevereiro	410	R\$ 384,05
Março	355	R\$ 336,74
Abril	398	R\$ 373,72
Maio	363	R\$ 343,62
Junho	328	R\$ 313,52
Julho	355	R\$ 336,74
Agosto	407	R\$ 381,47
Setembro	361	R\$ 341,90
Outubro	361	R\$ 341,90
Novembro	346	R\$ 329,00
Dezembro	340	R\$ 323,84
Total Anual	4424	R\$ 4.181,95

Fonte: Elaborado pelo autor

Realizando todas as considerações necessárias para a residência, comparando os cenários com e sem a utilização do painel fotovoltaico, observamos na tabela 7 a economia que será alcançada.

Tabela 7 – Análise da economia da energia

Mês	Eletricidade Consumida (kWh)	Eletricidade Gerada pelo Sistema (kWh)	Eletricidade fornecida pela rede (kWh)	Créditos gerados (kWh)	Eletricidade a pagar (kWh)	Valor da conta sem GD (R\$)	Valor a pagar com GD (R\$)	Economia (R\$)
Janeiro	400	243,60	156,40	0	156,40	R\$ 375,44	R\$ 165,93	R\$ 209,51
Fevereiro	410	222,68	187,32	0	187,32	R\$ 384,05	R\$ 192,52	R\$ 191,52
Março	355	217,63	137,37	0	137,37	R\$ 336,74	R\$ 149,57	R\$ 187,17
Abril	398	175,03	222,97	0	222,97	R\$ 373,72	R\$ 223,19	R\$ 150,54
Mai	363	171,55	191,45	0	191,45	R\$ 343,62	R\$ 196,08	R\$ 147,54
Junho	328	147,52	180,48	0	180,48	R\$ 313,52	R\$ 186,65	R\$ 126,88
Julho	355	183,81	171,19	0	171,19	R\$ 336,74	R\$ 178,66	R\$ 158,08
Agosto	407	193,12	213,88	0	213,88	R\$ 381,47	R\$ 215,37	R\$ 166,09
Setembro	361	175,03	185,97	0	185,97	R\$ 341,90	R\$ 191,37	R\$ 150,54
Outubro	361	212,23	148,77	0	148,77	R\$ 341,90	R\$ 159,37	R\$ 182,53
Novembro	346	222,46	123,54	0	123,54	R\$ 329,00	R\$ 137,67	R\$ 191,33
Dezembro	340	235,76	104,24	0	104,24	R\$ 323,84	R\$ 121,07	R\$ 202,77
Total Anual	4424	2400,42	2023,58	0	2023,58	R\$ 4.181,95	R\$ 2.117,44	R\$2.064,51

Fonte: Elaborado pelo autor

Resumindo o cenário previsto de consumo da residência no ano 0 (2016):

- Custo da implantação do painel: R\$ 15.390,00;
- Energia total consumida: 4.424 kWh;
- Energia total gerada pelo sistema: 2.400,42 kWh;
- Eletricidade total fornecida pela rede: 2.023,58 kWh;
- Valor da conta sem a GD: R\$ 4.181,95;
- Valor da conta com a GD: R\$ 2.117,44;
- Economia obtida: R\$ 2.064,51.

Esse projeto terá um custo de implantação não muito elevado, sendo assim para título de conhecimento o trabalho levará em consideração que o investidor usará de capital próprio e a taxa a ser utilizada levará em conta o custo de oportunidade para o investidor. Sendo assim, a taxa será de 13% a.a., seguindo análises realizadas através da taxa Selic e do CDI .

Considerando premissas já descritas, um tempo de vida útil de 25 anos para os painéis, com uma degradação anual de 0,8%, e um tempo de vida útil de 10 anos para o inversor, realiza-se uma análise de viabilidade econômica do projeto pelos métodos tradicionais, como demonstrado na tabela 8 e o resultado dessa análise pode ser observado na tabela 9:

Tabela 8 – Fluxo de Caixa - Método Tradicional

Ano	Economia	Investimento	Fluxo de caixa	Fluxo de Caixa ajustado	VPL
2016	R\$ 2.064,51	-R\$ 15.390,00	-R\$ 13.325,49	-R\$ 13.325,49	-R\$ 13.325,49
2017	R\$ 2.160,63	R\$ 0,00	R\$ 2.160,63	R\$ 1.912,07	-R\$ 11.413,42
2018	R\$ 2.261,23	R\$ 0,00	R\$ 2.261,23	R\$ 1.770,88	-R\$ 9.642,55
2019	R\$ 2.366,52	R\$ 0,00	R\$ 2.366,52	R\$ 1.640,11	-R\$ 8.002,43
2020	R\$ 2.476,70	R\$ 0,00	R\$ 2.476,70	R\$ 1.519,01	-R\$ 6.483,43
2021	R\$ 2.592,02	R\$ 0,00	R\$ 2.592,02	R\$ 1.406,84	-R\$ 5.076,58
2022	R\$ 2.712,70	R\$ 0,00	R\$ 2.712,70	R\$ 1.302,96	-R\$ 3.773,62
2023	R\$ 2.839,00	R\$ 0,00	R\$ 2.839,00	R\$ 1.206,75	-R\$ 2.566,88
2024	R\$ 2.971,19	R\$ 0,00	R\$ 2.971,19	R\$ 1.117,64	-R\$ 1.449,23
2025	R\$ 3.109,53	-R\$ 8.490,00	-R\$ 5.380,47	-R\$ 1.791,08	-R\$ 3.240,31
2026	R\$ 3.254,31	R\$ 0,00	R\$ 3.254,31	R\$ 958,68	-R\$ 2.281,63
2027	R\$ 3.405,83	R\$ 0,00	R\$ 3.405,83	R\$ 887,89	-R\$ 1.393,74
2028	R\$ 3.564,40	R\$ 0,00	R\$ 3.564,40	R\$ 822,33	-R\$ 571,41
2029	R\$ 3.730,36	R\$ 0,00	R\$ 3.730,36	R\$ 761,61	R\$ 190,19
2030	R\$ 3.904,05	R\$ 0,00	R\$ 3.904,05	R\$ 705,37	R\$ 895,56
2031	R\$ 4.085,82	R\$ 0,00	R\$ 4.085,82	R\$ 653,28	R\$ 1.548,85
2032	R\$ 4.276,05	R\$ 0,00	R\$ 4.276,05	R\$ 605,05	R\$ 2.153,89
2033	R\$ 4.475,15	R\$ 0,00	R\$ 4.475,15	R\$ 560,37	R\$ 2.714,26
2034	R\$ 4.683,51	R\$ 0,00	R\$ 4.683,51	R\$ 518,99	R\$ 3.233,25
2035	R\$ 4.901,57	-R\$ 8.490,00	-R\$ 3.588,43	-R\$ 351,90	R\$ 2.881,36
2036	R\$ 5.129,79	R\$ 0,00	R\$ 5.129,79	R\$ 445,18	R\$ 3.326,53
2037	R\$ 5.368,63	R\$ 0,00	R\$ 5.368,63	R\$ 412,30	R\$ 3.738,84
2038	R\$ 5.618,60	R\$ 0,00	R\$ 5.618,60	R\$ 381,86	R\$ 4.120,69
2039	R\$ 5.880,20	R\$ 0,00	R\$ 5.880,20	R\$ 353,66	R\$ 4.474,36
2040	R\$ 6.153,98	R\$ 0,00	R\$ 6.153,98	R\$ 327,55	R\$ 4.801,90

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 9 – Resultados do Fluxo de Caixa

VPL	R\$ 4.801,90
TIR	17,583%
Payback	14 anos

Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser observado, o projeto apresenta viabilidade se considerar o cenário tradicional, pois a taxa interna de retorno está acima da taxa média de atratividade escolhida de 13% e o valor presente líquido possui um valor positivo, porém existem variáveis que possuem caráter incerto e por consequência podem alterar toda a viabilidade do projeto.

4.5 VALOR DO PROJETO COM OPÇÃO DE ADIAR O INVESTIMENTO

A possibilidade de adiamento do investimento no SFCR com o objetivo de maximizar o retorno, será analisado através da teoria de opções reais. Para isso, será necessário estimar a volatilidade do projeto considerando a variável de incerteza que mais se destaca, o preço da energia elétrica. Vale ressaltar que a tarifa de energia no Brasil é regulada e leva em conta diversas variáveis relacionadas aos custos da distribuidora e aos custos da energia, sendo assim, o cálculo de volatilidade da tarifa pode não ser muito preciso para determinar as probabilidades de aumento e de queda do preço da energia. Uma segunda ressalva, seria uma premissa adotada que ainda não foi comentada e vale ser destacada, o fato de mesmo adiando o projeto em um ano, não foi considerado rendimento sobre o valor

do investimento inicial, sendo a análise iniciada no ano de 2017, essa situação foi adotada para que se pudesse comparar as duas metodologias, tanto o modelo tradicional quando a abordagem através das opções reais, em tempos iguais, ou seja, ambos as análises ocorrem de acordo com o tempo de vida útil do SFCR (25 anos).

4.5.1 A volatilidade da tarifa de energia

Caso o investidor escolha por adiar a implementação do sistema fotovoltaico em sua residência, existirá a possibilidade de variação dos valores da tarifa de energia elétrica. Essa variação poderá ser tanto para aumento quanto para queda da tarifa cobrada, essa possibilidade de variação cria a flexibilidade na decisão.

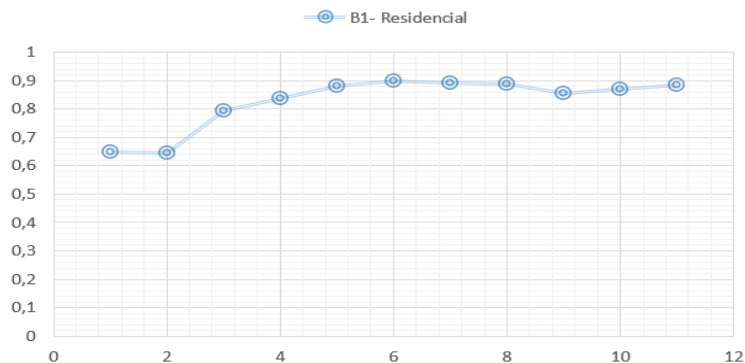
Sendo assim, a primeira medida a ser tomada é determinar a volatilidade da tarifa de energia, nesse estudo para realizar essa análise foram utilizados dados reais de contas de energia ao longo do ano de 2015 que podem ser observados na figura 12. De acordo com Castro (2000) para o cálculo da volatilidade utiliza-se a equação 6.1 e em seguida calcula-se o desvio padrão dos resultados obtidos através da equação 6.1, para que se possa determinar sua probabilidade de aumento e de queda, como mostra a tabela 10.

$$\frac{X_{n+1} - X_n}{X_n} \quad (4.1)$$

Sendo:

- X_n = Tarifa de energia no ano n;
- X_{n+1} = Tarifa de energia no ano n+1;

Figura 12 – Variação da Tarifa de Energia



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 10 – Volatilidade da tarifa de energia

Tarifa com imposto (R\$)	Variação	Volatilidade
0,64780761	0	7,43%
0,64618882	-0,00250	
0,79546205	0,23101	
0,83838965	0,05397	
0,88020574	0,04988	
0,89898122	0,02133	
0,89047619	-0,00946	
0,88808422	-0,00269	
0,85621238	-0,03589	
0,86949843	0,01552	
0,88447066	0,01722	

Fonte: Elaborado pelo autor

4.5.2 Análise dos resultados

Os estudos realizados a seguir, tem como objetivo analisar se o investimento deve ser realizado momentaneamente, ou se deve ser postergado para um período na qual a variável o faça obter melhores resultados.

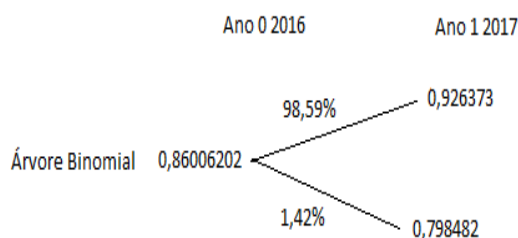
4.5.2.1 Opção de adiar um ano - Custo da energia

Analisando essa opção por um período de um ano, tendo como referência apenas o custo da energia (considerando as outras variáveis constantes), observa-se que existirá uma possibilidade de variação de aumento ou de queda desse custo. A tarifa poderá tanto subir 7,71% ($u=1,0771$), quanto cair 7,16% ($d=0,9284$) no próximo ano, tendo como base a volatilidade já calculada ($\sigma=7,43\%$). Após esse período a energia poderá variar entre 0,926373 R\$/kWh e 0,798482 R\$/kWh, gerando assim novos fluxos de caixa. A probabilidade de aumento da tarifa de energia foi calculada em 98,59% ($p=0,9858$) e a probabilidade de queda foi calculada em 1,42% ($1-p=0,0142$).

Sendo a árvore binomial das hipóteses esquematizada na figura 13:

Considerando que daqui a um ano somente o preço da energia irá alterar, o novo fluxo de caixa considerando o aumento da tarifa poderá ser observado na tabela 11 e a VPL, a TIR e o *Payback* obtidas se encontram na tabela 12:

Figura 13 – Árvore binomial para o adiamento de um ano



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 11 – Fluxo de Caixa para adiamento de um ano - Aumento da tarifa

Ano	Economia	Investimento	Fluxo de caixa	Fluxo de Caixa ajustado	VPL
2017	R\$ 2.223,68	-R\$ 15.390,00	-R\$ 13.166,32	-R\$ 13.166,32	-R\$ 13.166,32
2018	R\$ 2.327,22	R\$ 0,00	R\$ 2.327,22	R\$ 2.059,49	-R\$ 11.106,83
2019	R\$ 2.435,57	R\$ 0,00	R\$ 2.435,57	R\$ 1.907,41	-R\$ 9.199,42
2020	R\$ 2.548,97	R\$ 0,00	R\$ 2.548,97	R\$ 1.766,57	-R\$ 7.432,85
2021	R\$ 2.667,65	R\$ 0,00	R\$ 2.667,65	R\$ 1.636,12	-R\$ 5.796,73
2022	R\$ 2.791,86	R\$ 0,00	R\$ 2.791,86	R\$ 1.515,31	-R\$ 4.281,42
2023	R\$ 2.921,85	R\$ 0,00	R\$ 2.921,85	R\$ 1.403,42	-R\$ 2.878,00
2024	R\$ 3.057,89	R\$ 0,00	R\$ 3.057,89	R\$ 1.299,79	-R\$ 1.578,21
2025	R\$ 3.200,27	R\$ 0,00	R\$ 3.200,27	R\$ 1.203,81	-R\$ 374,40
2026	R\$ 3.349,27	-R\$ 8.490,00	-R\$ 5.140,73	-R\$ 1.711,27	-R\$ 2.085,67
2027	R\$ 3.505,21	R\$ 0,00	R\$ 3.505,21	R\$ 1.032,59	-R\$ 1.053,07
2028	R\$ 3.668,42	R\$ 0,00	R\$ 3.668,42	R\$ 956,35	-R\$ 96,73
2029	R\$ 3.839,22	R\$ 0,00	R\$ 3.839,22	R\$ 885,73	R\$ 789,00
2030	R\$ 4.017,97	R\$ 0,00	R\$ 4.017,97	R\$ 820,33	R\$ 1.609,33
2031	R\$ 4.205,05	R\$ 0,00	R\$ 4.205,05	R\$ 759,75	R\$ 2.369,08
2032	R\$ 4.400,84	R\$ 0,00	R\$ 4.400,84	R\$ 703,65	R\$ 3.072,74
2033	R\$ 4.605,74	R\$ 0,00	R\$ 4.605,74	R\$ 651,69	R\$ 3.724,43
2034	R\$ 4.820,18	R\$ 0,00	R\$ 4.820,18	R\$ 603,57	R\$ 4.328,01
2035	R\$ 5.044,61	R\$ 0,00	R\$ 5.044,61	R\$ 559,00	R\$ 4.887,01
2036	R\$ 5.279,49	-R\$ 8.490,00	-R\$ 3.210,51	-R\$ 314,84	R\$ 4.572,17
2037	R\$ 5.525,30	R\$ 0,00	R\$ 5.525,30	R\$ 479,50	R\$ 5.051,67
2038	R\$ 5.782,56	R\$ 0,00	R\$ 5.782,56	R\$ 444,09	R\$ 5.495,76
2039	R\$ 6.051,79	R\$ 0,00	R\$ 6.051,79	R\$ 411,30	R\$ 5.907,06
2040	R\$ 6.333,56	R\$ 0,00	R\$ 6.333,56	R\$ 380,93	R\$ 6.287,99
2041	R\$ 6.628,45	R\$ 0,00	R\$ 6.628,45	R\$ 352,80	R\$ 6.640,79

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 12 – VPL, TIR e *Payback* para adiamento de um ano - Aumento da tarifa de energia

VPL	R\$ 6.640,79
TIR	19,312%
Payback	13 anos

Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 13 pode-se acompanhar o fluxo de caixa para o caso em que se tem uma queda no preço da energia e na tabela 14 a VPL, a TIR e o *Payback* da análise:

Tabela 13 – Fluxo de Caixa para adiamento de um ano - Queda da tarifa

Ano	Economia	Investimento	Fluxo de caixa	Fluxo de Caixa ajustado	VPL
2017	R\$ 1.916,69	-R\$ 15.390,00	-R\$ 13.473,31	-R\$ 13.473,31	-R\$ 13.473,31
2018	R\$ 2.005,93	R\$ 0,00	R\$ 2.005,93	R\$ 1.775,16	-R\$ 11.698,15
2019	R\$ 2.099,33	R\$ 0,00	R\$ 2.099,33	R\$ 1.644,08	-R\$ 10.054,06
2020	R\$ 2.197,07	R\$ 0,00	R\$ 2.197,07	R\$ 1.522,68	-R\$ 8.531,38
2021	R\$ 2.299,37	R\$ 0,00	R\$ 2.299,37	R\$ 1.410,25	-R\$ 7.121,13
2022	R\$ 2.406,43	R\$ 0,00	R\$ 2.406,43	R\$ 1.306,11	-R\$ 5.815,02
2023	R\$ 2.518,47	R\$ 0,00	R\$ 2.518,47	R\$ 1.209,67	-R\$ 4.605,35
2024	R\$ 2.635,73	R\$ 0,00	R\$ 2.635,73	R\$ 1.120,35	-R\$ 3.485,00
2025	R\$ 2.758,45	R\$ 0,00	R\$ 2.758,45	R\$ 1.037,62	-R\$ 2.447,39
2026	R\$ 2.886,89	-R\$ 8.490,00	-R\$ 5.603,11	-R\$ 1.865,19	-R\$ 4.312,58
2027	R\$ 3.021,30	R\$ 0,00	R\$ 3.021,30	R\$ 890,04	-R\$ 3.422,54
2028	R\$ 3.161,97	R\$ 0,00	R\$ 3.161,97	R\$ 824,32	-R\$ 2.598,22
2029	R\$ 3.309,19	R\$ 0,00	R\$ 3.309,19	R\$ 763,45	-R\$ 1.834,77
2030	R\$ 3.463,27	R\$ 0,00	R\$ 3.463,27	R\$ 707,08	-R\$ 1.127,69
2031	R\$ 3.624,52	R\$ 0,00	R\$ 3.624,52	R\$ 654,87	-R\$ 472,83
2032	R\$ 3.793,28	R\$ 0,00	R\$ 3.793,28	R\$ 606,51	R\$ 133,68
2033	R\$ 3.969,89	R\$ 0,00	R\$ 3.969,89	R\$ 561,72	R\$ 695,41
2034	R\$ 4.154,73	R\$ 0,00	R\$ 4.154,73	R\$ 520,25	R\$ 1.215,65
2035	R\$ 4.348,17	R\$ 0,00	R\$ 4.348,17	R\$ 481,83	R\$ 1.697,48
2036	R\$ 4.550,62	-R\$ 8.490,00	-R\$ 3.939,38	-R\$ 386,31	R\$ 1.311,17
2037	R\$ 4.762,50	R\$ 0,00	R\$ 4.762,50	R\$ 413,30	R\$ 1.724,47
2038	R\$ 4.984,24	R\$ 0,00	R\$ 4.984,24	R\$ 382,78	R\$ 2.107,26
2039	R\$ 5.216,31	R\$ 0,00	R\$ 5.216,31	R\$ 354,52	R\$ 2.461,77
2040	R\$ 5.459,18	R\$ 0,00	R\$ 5.459,18	R\$ 328,34	R\$ 2.790,11
2041	R\$ 5.713,36	R\$ 0,00	R\$ 5.713,36	R\$ 304,09	R\$ 3.094,21

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 14 – VPL, TIR e *Payback* para adiamento de um ano - Aumento da tarifa de energia

VPL	R\$ 3.094,21
TIR	15,971%
Payback	16 anos

Fonte: Elaborado pelo autor

Para a situação de aumento da tarifa de energia temos a seguinte situação:

$$F_{1u} = \max(V_{1u}, 0) = \max(R\$6.640, 79, 0) = R\$6.640, 79 \quad (4.2)$$

Já para o caso de queda de energia temos:

$$F_{1d} = \max(V_{1d}, 0) = \max(R\$3.094, 21, 0) = R\$3.094, 21 \quad (4.3)$$

Dessa forma fica estabelecido que:

$$F_1 = p.F_{1u} + (1 - p).F_{1d} = (0, 9858 \times R\$6.640, 79) + (0, 0142 \times R\$3.094, 21) = R\$6590, 43 \quad (4.4)$$

Como a análise através do método tradicional foi realizada entre 2016 e 2040 e a análise com adiamento foi realizada entre 2017 e 2041 precisa-se realizar uma correção no

valor calculado na segunda análise citada, para que todas estejam no mesmo ano e assim pode-se comparar os resultados.

$$F_0 = \frac{6.590,43}{1,13} = R\$5.832,24 \quad (4.5)$$

Portanto, nas condições apresentadas, caso o investidor opte por adiar o investimento em um ano ele obterá um valor de oportunidade de R\$ 5.832,24, enquanto que, se ele optar por investir imediatamente o VPL calculado será de R\$ 4.801,90, através dos valores obtidos pode-se esperar do investimento de maior valor de oportunidade uma taxa interna de retorno maior e um *payback* mais atrativo, ou seja, em menor tempo o investimento terá retorno, sendo assim, nessas configurações a melhor opção para o investidor seria esperar e investir em 2017.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este estudo apresentou uma avaliação da implementação de um sistema fotovoltaico residencial considerando o modelo tradicional e a teoria das opções reais. Com essas avaliações distintas pôde-se observar a importância da consideração da incerteza de algumas variáveis fundamentais para a escolha de realizar ou não o investimento. Nesse caso, a variável abordada foi o preço da energia que vem sofrendo grandes variações ao longo dos anos, devido a diversos fatores externos, sendo então uma escolha apropriada para a análise do investimento.

Por fim, chegou-se a conclusão de que ao se considerar as variações que o preço da energia poderia sofrer ao longo de um determinado período de tempo, pôde-se concluir que a melhor opção seria realmente esperar um ano ao invés de investir imediatamente, com isso comprova-se a importância do uso da teoria das opções reais, que permite determinar a melhor opção e/ou o melhor momento para se investir.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Várias outras abordagens podem ser adotadas para ampliar os resultados obtidos neste estudo. A seguir, serão apresentadas algumas idéias:

- Propor o adiamento do projeto por mais tempo;
- Considerar outras variáveis de incerteza, tal como o preço do sistema fotovoltaico;
- Utilizar modelos de opções reais mais realísticos. Com opções de investimentos rentáveis para o valor que será empregado no SFCR antes dele ser construído.

REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2016a. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false. Acesso em: 14 Outubro 2016.
- [2] ANEEL. Micro e Minigeração Distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, p. 34. 2016b.
- [3] ANEEL, . Brasil Ultrapassa 5 mil Conexões de Micro e Minigeração. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2016c. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-5-mil-conexoes-de-micro-e-minigeracao/656877?inheritRedirect=false. Acesso em: 25 Outubro 2016.
- [4] ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos. Ed. Universitária da UFPE. Recife, p. 116. 2000.
- [5] CASTRO, A. D. L. Avaliação de Investimento de Capital em Projetos de Geração Termoeleétrica no Setor Elétrico Brasileiro usando Teoria das Opções Reais. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 113. 2000.
- [6] CONFAZ. CONFAZ - Ministério da Fazenda, 2015. Disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv016_15. Acesso em: 14 Outubro 2016.
- [7] COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. Opções reais: Um novo paradigma para reinvestir a avaliação de investimentos. [S.l.]: Campus, 2002.
- [8] CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito - CRESESB, 2016. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 03 Dezembro 2016.
- [9] DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. Investment under Uncertainty. Princeton: Princeton University Press, 1994.
- [10] EPE; MME . Plano Decenal de Expansão de Energia 2024. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, p. 467. 2015.
- [11] EPE; MME. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil - Condicionantes e Impactos. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 64. 2014.
- [12] EUROPE, S. P. Global Market Outlook For Solar Power/ 2015-2019, 2015. Disponível em: http://helapco.gr/pdf/Global_Market_Outlook_2015_-2019_lr_v23.pdf. Acesso em: 1 Dezembro 2016.
- [13] GIVISIEZ, A. G. Gerenciamento pelo lado da demanda e micro e minigeração distribuída. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 73. 2016.
- [14] IDEAL, O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica. O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica, Florianópolis, n. 2015, p. 11, Setembro 2015.

- [15] IEA, International Energy Agency. How solar energy could be the largest source of electricity by midcentury, 2014. Disponível em: <http://www.iea.org/newsroom/news/2014/september/how-solar-energy-could-be-the-largest-source-of-electricity-by-mid-century.html>. Acesso em: 20 Novembro 2016.
- [16] MELLO, M. B. C. D. Avaliação de Projetos de Investimentos com Opções Reais: Cálculo do Valor da Opção de Espera de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 78. 2015.
- [17] MINARDI, A. M. A. F. Teoria das Opções Aplicada a Projetos de Investimento. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 74-79, Abril/Junho 2000.
- [18] MME, Ministério de Minas e Energia. Energia solar fotovoltaica cresceu quase 30% no mundo em 2014. Ministério de Minas e Energia, 2015. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/energia-solar-fotovoltaica-cresceu-quase-30-no-mundo-em-2014. Acesso em: 26 Outubro 2016.
- [19] NASCIMENTO, A. D. S. Energia Solar Fotovoltaica: Estudo e Viabilidade no Nordeste Brasileiro. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 147. 2015.
- [20] O SETOR ELÉTRICO. Comissão de Infraestrutura do Senado aprova incentivo para energia solar. Revista o setor elétrico, n. 112, p. 172, Maio 2015. ISSN ISSN 1983-0912.
- [21] RIBEIRO, U. G. V. Estudo de Viabilidade Econômica de Instalação de Fontes de Energia Renováveis Baseadas em Células Fotovoltaicas Para o Uso Residencial. Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 58. 2012.
- [22] RIGOLON, F. J. Z. Opções reais, análise de projetos e financiamentos de longo prazo. Revista do BNDES, v. 6, n. 11, p. 137-166, 1999.
- [23] SANTOS, E. M.; PAMPLONA, E. O. Teoria das Opções Reais: Uma abordagem estratégica para análise de investimentos. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Salvador, p. 9. 2001.
- [24] SOLAR POWER EUROPE. Global Market Outlook For Solar Power / 2015 - 2019. Solar Power Europe, 2015. Disponível em: http://helapco.gr/pdf/Global_Market_Outlook_2015_-2019_1r_v23.pdf. Acesso em: 1 Dezembro 2016.
- [25] WWF, World Wildlife Fund. Isenção do ICMS incentiva a energia solar doméstica. WWF, 2015. Disponível em: http://www.wwf.org.br/informacoes/sala_de_imprensa/?uNewsID=45522. Acesso em: 26 Outubro 2016.