



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

VITOR REZENDE FARIA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE MODELOS DE NEGÓCIO PARA A GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NO BRASIL: ESTUDOS DE CASOS EM GOIÁS
PARA CLIENTES DO GRUPO B**

Goiânia, 2020

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS**

VITOR REZENDE FARIA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE MODELOS DE NEGÓCIO PARA A GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NO BRASIL: ESTUDOS DE CASOS EM GOIÁS
PARA CLIENTES DO GRUPO B**

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG (PPGTPS - IFG) – Dissertação de Mestrado Profissional. Área de Atuação: Engenharia Elétrica. Linha de Pesquisa: Engenharia Econômica Aplicada e Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues

Coorientador: Prof. Dr. Daywes Pinheiro Neto

Goiânia, 2020.

F224v Faria, Vitor Rezende.

Viabilidade econômica de modelos de negócio para a geração distribuída fotovoltaica no Brasil: estudos de casos em Goiás para cliente no Grupo B / Vitor Rezende Faria. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2020.
80f. : il.

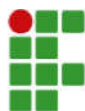
Orientador: Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues.
Coorientador: Prof. Dr. Dawyes Pinheiro Neto.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Coordenação do Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Sistema fotovoltaicos. 2. Energia solar. 3. Geração distribuída. I. Domingues, Elder Geraldo (orientador). II. Pinheiro Neto, Dawyes (coorientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. IV. Título.

CDD 621.47

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica:

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☒ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☐ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: | |

Nome Completo do(a) Autor(a): **VITOR REZENDE FARIA**

Matrícula: **20172011140200**

Título do Trabalho: **VIABILIDADE ECONÔMICA DE MODELOS DE NEGÓCIO PARA A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NO BRASIL: ESTUDOS DE CASO EM GOIÁS PARA CLIENTES DO GRUPO B**

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial:

☒ Não

☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 13/10/2020

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

GOIÂNIA, 11 DE SETEMBRO DE 2020

(Assinado eletronicamente)

VITOR REZENDE FARIA

Documento assinado eletronicamente por:

■ Vitor Rezende Faria, VITOR REZENDE FARIA - ESTUDANTE - INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS - CÂMPUS GOIÂNIA (10870883000225), em 13/10/2020 11:28:21.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/10/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 94322

Código de Autenticação: 9a30a6dced





INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

PARECER 3/2020 - GYN-CMTPS/GYN-DPPGE/CP-GOIANIA/IFG

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CÂMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS**

Vitor Rezende Faria

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE MODELOS DE NEGÓCIO PARA A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
FOTOVOLTAICA NO BRASIL: ESTUDOS DE CASO EM GOIÁS PARA CLIENTES DO GRUPO B**

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG (PPGTPS - IFG) - Dissertação de Mestrado Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa: Eficiência Energética e Engenharia Econômica Aplicada

Prof(a). Dr(a). ELDER GERALDO DOMINGUES (presidente e orientador – PPGTPS IFG)

Prof(a). Dr(a). DAYWES PINHEIRO NETO (coorientador – PPGTPS IFG)

Prof(a). Dr(a). RAPHAEL DE AQUINO GOMES (avaliador - PPGTPS IFG)

Prof(a). Dr(a). SÉRGIO BATISTA DA SILVA (avaliador externo – IFTM Ituiutaba)

Prof(a). Dr(a). REGINA CÉLIA BUENO DA FONSECA (avaliadora - PPGTPS IFG)

Aprovado em: 11/09/2020

Documento assinado eletronicamente por:

- Regina Célia Bueno da Fonseca, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/10/2020 18:08:11.
- Daywes Pinheiro Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 15/09/2020 09:13:47.
- Sergio Batista da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/09/2020 19:33:28.
- Raphael de Aquino Gomes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/09/2020 19:26:57.
- Elder Geraldo Domingues, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/09/2020 19:24:00.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/09/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 85290

Código de Autenticação: c055051e56



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110
(62) 3227-2811 (ramal: 2811)



*“Uma vez que você tenha experimentado voar, você
andarà pela terra com seus olhos voltados para o Céu,
pois lá você esteve e para lá você desejará voltar.”*

Leonardo da Vinci

Aos meus pais, Roberto e Zenaide, por serem sal e luz para mim nesta vida.

À Elaine, meu bem maior, pelo amor incondicional e cumplicidade.

À minha irmã Nádia, pelo exemplo e companheirismo.

A Deus, pelo dom da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Roberto Cassio Faria e Zenaide Ferreira Rezende que sempre me apoiaram e depositaram os seus melhores esforços em nós, minha irmã e eu, incluindo nossa educação, estando ao nosso lado em todos os momentos e em quaisquer situações.

À Elaine, minha companheira e fiel auxiliadora nesta jornada chamada vida.

À minha irmã Nádia por ter sido sempre um exemplo e pelo apoio incondicional desde pequenos.

Ao Professor Dr. Elder Geraldo Domingues pela orientação e apoio em todas as etapas deste projeto.

A todos os professores e colegas do programa de Mestrado Profissional em Tecnologias de processos sustentáveis do IFG Campus Goiânia pelo carinho e dedicação de cada um.

A Deus, sempre.

RESUMO

A utilização de fontes de energias renováveis vem crescendo ao longo dos anos. Dentre os principais motivos, pode-se listar: maior preocupação ambiental da população, procura por desenvolvimento socioeconômico sustentável das nações e escassez de matérias primas para fontes de energia não renovável, além da possibilidade de fornecimento de energia elétrica a clientes localizados longes das fontes de geração. Nesse cenário, a microgeração de energia elétrica a partir da energia solar surge como uma resposta. Este trabalho tem como principal objetivo identificar os principais modelos de negócio para a microgeração distribuída fotovoltaica existentes, analisar sua evolução, principais características, aplicabilidade no Brasil além de realizar estudos de caso para o estado de Goiás. É mostrado um panorama histórico da evolução dos modelos de negócios referentes a sistemas fotovoltaicos. Em seguida são apresentados os indicadores econômicos que serão utilizados nas análises de viabilidade tais como, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice de Lucratividade (IL), *Payback* Descontado (PD) e Custo Nivelado de Energia (LCOE). Posteriormente são feitas as modelagens do fluxo de caixa para os modelos de Aquisição, Aluguel e Geração Compartilhada. Como resultados, todos os indicadores econômicos foram favoráveis à execução dos projetos propostos para os dois primeiros modelos de negócios. No entanto para o modelo de Geração compartilhada o LCOE se mostrou desfavorável em dois tipos de unidades consumidoras específicas.

Palavras-chaves: Geração distribuída, modelos de negócios, sistemas fotovoltaicos, viabilidade econômica.

ABSTRACT

The use of renewable energy sources has grown over the years. Among the main reasons, one can list: greater environmental concern of the population, the search for sustainable socioeconomic development of nations and shortages of raw materials for non-renewable energy sources, in addition to the possibility of supplying electricity to customers located far from the sources of generation. In this scenario, the micro-generation of electrical energy from solar energy appears as a response. The main objective of this work is to identify the main business models for photovoltaic distributed generation, analyze their evolution, main characteristics, applicability in Brazil and to conduct case studies for the state of Goiás. It is shown a historical overview of the evolution of business models for photovoltaic systems. Next are presented the economic indicators that will be used in feasibility analysis such as, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Profitability Index (PI), Discounted Payback (DP) and Cost Level Energy (LCOE). Later, cash flow modeling are made for the Acquisition, Rental and Shared Generation models. As a result, all the economic indicators were favorable to the implementation of the projects proposed for the first two business models. However for Shared Generation model the LCOE proved unfavorable for two different consumer units.

Keywords: Business Model, Distributed Generation, Economic Feasibility, Photovoltaic Systems.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos.....	26
1.2 Estrutura do Trabalho.....	26
2 REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1 Geração Distribuída Fotovoltaica.....	27
2.2 Evolução dos Modelos de Negócios para Geração Distribuída SFCR.....	29
2.3 Modelos de Negócios.....	34
2.3.1 Modelo de Aquisição.....	34
2.3.2 Modelo de Aluguel.....	38
2.3.3 Modelo de Geração Compartilhada.....	41
2.4 Critérios de Viabilidade Econômica.....	45
2.4.1 Valor Presente Líquido (VPL).....	46
2.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	47
2.4.3 <i>Payback</i> Descontado.....	47
2.4.4 Índice de Lucratividade (IL).....	48
2.4.5 Custo Nivelado de Energia (LCOE).....	48
3 METODOLOGIA	50
3.1 Escolha dos modelos de negócios.....	51
3.2 Escolha das unidades consumidoras.....	52
3.3 Dimensionamento dos Sistemas Fotovoltaicos.....	54
4 RESULTADOS	62
4.1 Modelo de Aquisição.....	62
4.2 Modelo de Aluguel.....	65
4.3 Modelo de Geração Compartilhada.....	68
5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	71
REFERÊNCIAS	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade Global e Adições Anuais – Ger. Fotovoltaica, 2009-2019.....	21
Figura 2 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.....	22
Figura 3 – Esquema de funcionamento de SFV.....	27
Figura 4 - Gerações dos Modelos de negócios para GD.....	29
Figura 5 – Proprietário e Usuário Final Residencial.....	30
Figura 6 - Terceiro como proprietário e controlador do SFV.....	31
Figura 7 - Distribuidora como Proprietária do SFV.....	32
Figura 8 - Modelo de aquisição.....	35
Figura 9 - Custo evitado de energia no modelo de aquisição.....	36
Figura 10 - Modelo de aluguel ou terceiro.....	39
Figura 11 - Custo evitado de energia modelo de aluguel.....	40
Figura 12 – Modelo de geração compartilhada.....	43
Figura 13 - Fluxograma da metodologia de pesquisa.....	50
Figura 14 - Irradiância Anual Goiânia-GO.....	55
Figura 15 - Evolução da tarifa B1 e B3 - Enel Goiás últimos 10 anos em R\$/MWh. .	58
Figura 16 - Fluxo de Entradas do Simulador de Cooperativas.....	60
Figura 17 - Fluxo de caixa (B1) - Aquisição.....	62
Figura 18 - Fluxo de Caixa (B3) - Aquisição.....	62
Figura 19 - Fluxo de Caixa (B1) - Aluguel.....	65
Figura 20 - Fluxo de Caixa (B3) - Aluguel.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores Econômicos e Critérios de Aceitação.....	49
Tabela 2 - Quantidade de SFV no Grupo B – Enel Distribuição Goiás.....	53
Tabela 3 - Perfis de Consumidores.....	53
Tabela 4 - Dados de SFV.....	54
Tabela 5 - Irradiação Solar Diária Mensal (kWh/m ² .dia).....	56
Tabela 6 - Tarifas B1 e B3 no Estado de Goiás 2019.....	58
Tabela 7 - Valores históricos de PIS e COFINS.....	57
Tabela 8 - Valores de Receitas e Despesas ao longo do tempo para B1.....	63
Tabela 9 - Valores de Receitas e Despesas ao longo do tempo para B3.....	64
Tabela 10 - Resultados da Análise de Investimentos B1 e B3.....	65
Tabela 11 - Valores de Receitas e Despesas ao longo do tempo para B1.....	66
Tabela 12 - Valores de Receitas e Despesas ao longo do tempo para B3.....	67
Tabela 13 – Resultados da Análise de Investimentos – Aluguel.....	68
Tabela 14 - Características do Sistema de Geração Compartilhada.....	69
Tabela 15 - Resultados da Análise de Investimentos – Geração Compartilhada.....	69

LISTA DE SÍMBOLOS

- $\bar{l}$ = taxa interna de retorno modificada no período t
- t = tempo
- $VPL_{(t)}$ = valor presente líquido no período t
- R_{aqt} = Receitas em reais (R\$) no período t ;
- P_{fv} = Potência do SFV em kWp;
- $E(ima)$ = Valor esperado da irradiância média anual em horas de sol pleno;
- $E(via)$ = Valor esperado da variância interanual (percentual);
- $E(PR)$ = Valor esperado da performance ratio (percentual);
- $E(q_r)$ = Valor esperado da queda do rendimento do SFV (percentual);
- T_e = Tarifa de energia em reais (R\$);
- Rpe = Valor esperado do reajuste do preço da energia (percentual);
- $E(ifc)$ = Valor esperado da inflação (percentual).

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
COFINS	- Contribuição para Financiamento de Seguridade Social
CSLL	- Contribuição Social sobre Lucro Líquido
EPC	- Engenharia, Gestão de Compras e Construção.
EUA	- Estados Unidos da América
FC	- Fluxo de Caixa
FCD	- Fluxo de Caixa Descontado
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IL	- Índice de Lucratividade
IPCA	- Índice de Preços ao Consumidor Amplo
IR	- Imposto de Renda
IRR	- <i>Internal Rate of Return</i>
LCOE	- <i>Levelized Cost of Energy</i> ou Custo Nivelado de Energia
MME	- Ministério de Minas e Energia
NBR	- Norma Brasileira
NVP	- <i>Net Present Value</i>
REN	- Resolução Normativa
SFV	- Sistema Fotovoltaico
SFCR	- Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SIN	- Sistema Interligado Nacional
TIR	- Taxa Interna de Retorno
TMA	- Taxa Mínima de Atratividade
UC	- Unidade Consumidora
UE	- União Europeia
VPL	- Valor Presente Líquido

1 INTRODUÇÃO

O ser humano precisa de diversas fontes de energia para a sua sobrevivência. Pode-se citar, dentre elas, desde a energia térmica, proveniente da combustão, para o cozimento de alimentos e aquecimento corporal, até a energia eólica, que ajudou as grandes nações a explorarem territórios desconhecidos no passado. Ainda hoje essas fontes de energia são utilizadas, mas a humanidade se transformou ao longo do tempo, e, assim, surgiram outras formas de obtenção de energia, como a energia proveniente do petróleo, dos elementos nucleares e até mesmo a energia das marés.

Atualmente as pessoas de diversas nações interagem-se constantemente. O mundo se tornou globalizado e a descoberta de como transformar as energias diversas em energia elétrica foi uma das principais responsáveis por essa globalização pois permitiu, por exemplo, a possibilidade de comunicação entre países com uma rapidez nunca vista antes, e, acima de tudo, a existência da internet. A energia elétrica é essencial para a vida das pessoas ao redor de todo o mundo, mas esta forma de energia precisa ser gerada de maneira sustentável e eficiente.

Segundo Soccol et al., (2016), a crescente busca por serviços e tecnologias mais eficientes, e com mínimos impactos ambientais, seja no processo de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, associados aos investimentos para o aumento da capacidade instalada no setor elétrico brasileiro, tem colocado a geração distribuída (maior contribuição à geração Eólica e à Solar) como uma possível solução aos problemas vinculados ao aumento da demanda de energia.

Thorman et al., (2017) alertam que o Brasil necessita de uma diversificação em sua matriz energética, pois existe uma concentração na geração centralizada e por meio da fonte hidráulica. Isso pode causar prejuízos para o desenvolvimento do país, principalmente em períodos de seca, quando os reservatórios esvaziam e o risco de falta de energia para suprir a demanda se torna elevado.

Nesse sentido, para Costa e Santos (2017) é de extrema importância criar e desenvolver modelos de negócios abrangentes e adequados que permitam analisar

e melhorar a situação energética, além de fornecerem informações suficientes para a tomada de decisões mais eficientes, sustentáveis e que consideram múltiplas perspectivas na criação de valor para os interessados.

O conceito de modelo de negócio é recente e se popularizou nas últimas duas décadas, particularmente no campo de *e-business*, estratégia, inovação e tecnologia (KARAKAYA *et al.*, 2016). É possível encontrar na literatura, diversas definições sobre o tema, com vários componentes elementares distintos, porém também é possível verificar características comuns nestas definições.

Segundo Magretta (2002), modelos de negócios são histórias que buscam explicar como uma empresa funciona. Portanto o aparecimento do computador pessoal transformou a forma como os modelos de negócios são realizados. Antes eles eram propostos mais por acidente do que pelo planejamento, eram um relato do comportamento do negócio após sua criação. Porém, após os computadores pessoais e suas planilhas eletrônicas, foi possível antecipar previsões e criar modelos de negócios antes de serem implementados na prática.

Um modelo de negócio é a forma como uma organização cria, entrega e captura valor segundo Osterwalder e Pigneur (2010). Essa definição mostra que os modelos possuem quatro áreas de sustentação formadas pela proposição de valor, interface com o consumidor, infraestrutura e modelo de receita. Os autores também são os criadores do Canvas, uma linguagem comum para descrever, visualizar, avaliar e alterar modelos de negócios.

Para Schoettl e Lehmann-Ortega (2011) um modelo de negócio é um mecanismo que permite à empresa criar valor, por meio da proposição de valor para os seus clientes em potencial para transformá-lo em benefícios e lucros. O modelo de negócios é uma figura, uma fotografia que mostra exatamente o modo pelo qual um negócio gera receita e lucro.

Os modelos de negócios são considerados como ferramentas de inovação e vantagem competitiva para uma empresa (HUIJBEN e VERBONG, 2013).

Conforme Richter (2012), a definição de Osterwalder e Pigneur tem sido extensivamente testada na prática e obteve êxito no campo de energias renováveis.

Ainda segundo a definição supracitada, a proposição de valor é o conjunto de produtos e serviços que criam riqueza para os consumidores e permite que a empresa obtenha receitas. A interface com o cliente consiste no relacionamento com o consumidor, os segmentos destes nichos e os canais de distribuição. A infraestrutura escreve a arquitetura da criação de valor da empresa, incluindo ativos, expertise e parcerias. E o modelo de receita representa a relação entre os custos para produzir a proposição de valor e as receitas que são geradas pela oferta da proposição de valor aos consumidores. Osterwalder e Pigneur (2010) mostram como esses pilares são essenciais na construção de um modelo. A ferramenta de representação visual dessa estrutura é chamada *Business Model Canvas*.

Asmus (2008) afirmou que a era de sistemas de energia centralizados em grandes centrais geradores estava chegando ao fim. O autor explora novos modelos de negócio para o desenvolvimento da energia solar nos EUA, principalmente os modelos de energia compartilhada. Segundo o autor, o primeiro Estado americano a legislar incentivos para a geração fotovoltaica foi a Califórnia (foi criado o CSI em 2006 – *California Solar Initiative program*). Para o autor uma das melhores maneiras de diminuir os custos de instalação dos sistemas é por meio de programas solares para toda uma comunidade. Um estudo de caso é apresentado para o condado de *West Marin County* – Califórnia, cujos custos iniciais são diluídos entre todos os que participam não onerando nenhum dos futuros usuários.

Segundo Kind (2013), as propriedades disruptivas da geração fotovoltaica fazem com que ela se destaque das outras fontes de energia renovável, pois há a criação de novos mercados e de uma nova rede de valor que substituirá as existentes, características que justificam, posteriormente, a necessidade de novos modelos de negócio para geração de energia fotovoltaica. Geissdoerfer (2018) afirma que a capacidade de se mover entre novos modelos de negócios de maneira rápida e assertiva é uma vantagem competitiva fundamental para desenvolver a sustentabilidade de uma organização moderna.

A Alemanha é um dos países pioneiros a buscar inovações em modelos de negócios para a utilização de energias renováveis. Segundo Richter (2013), o setor de energia elétrica passa por um processo de transformação fundamental no caminho de uma produção mais sustentável baseada em energias renováveis. Consequentemente, as concessionárias enfrentam um enorme desafio em encontrar novas maneiras de gerar, entregar e capturar valores de tecnologias aplicadas às energias renováveis. O autor estuda modelos de negócios das concessionárias alemãs por meio de entrevistas com os seus gestores. Foi concluído que as concessionárias têm tido êxito em grandes projetos de geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis, porém não conseguem ter sucesso na comercialização de energia em pequena escala. Nesse sentido, são feitas recomendações de inovação para os gestores das concessionárias e também para os elaboradores de políticas públicas no país.

Burguer (2017) apresenta uma nova análise empírica dos modelos de negócios mais comuns nos Estados Unidos da América (EUA) e na União Europeia (EU) para a implantação de sistemas de resposta à demanda e gerenciamento de energia, armazenamento de energia elétrica, térmica e solar fotovoltaica distribuída. O autor classifica os fluxos de receita, segmentos de clientes e serviços de eletricidade fornecidos. É utilizada essa avaliação para identificar um conjunto de “arquétipos” de modelo de negócios de cada categoria de recursos. Destaca que, os regulamentos e políticas têm um papel fundamental na formação dos modelos de negócio e, portanto, na viabilidade destes para a prestação de serviços de energia elétrica. Assim, os reguladores e políticos devem avançar para estruturas que considerem as implicações de suas políticas para estrutura de modelo de negócios sustentáveis e alerta que a dependência regulatória e política é um risco real e substancial para negócios nascentes.

O estudo dos modelos de negócios e sua aplicação em empreendimentos do setor elétrico brasileiro é de extrema importância para uma reestruturação e modernização da matriz energética, mas é preciso compreender o mercado interno e suas principais características também.

O relatório de *status* global de energias renováveis publicado pela *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* - REN 21 (2020) mostrou que em 2019 o mercado de geração fotovoltaica adicionar a sua maior capacidade até hoje, quais sejam, aproximadamente 115 GW, conforme Figura 1. O aumento expressivo foi puxado pelos Estados Unidos e também pela União Europeia (EU) e países emergentes entorno de todo o globo. No entanto, os mercados, na maioria dos locais, continuam a ser impulsionados por incentivos do governo ou regulatórios e não por modelos de negócios inovadores.

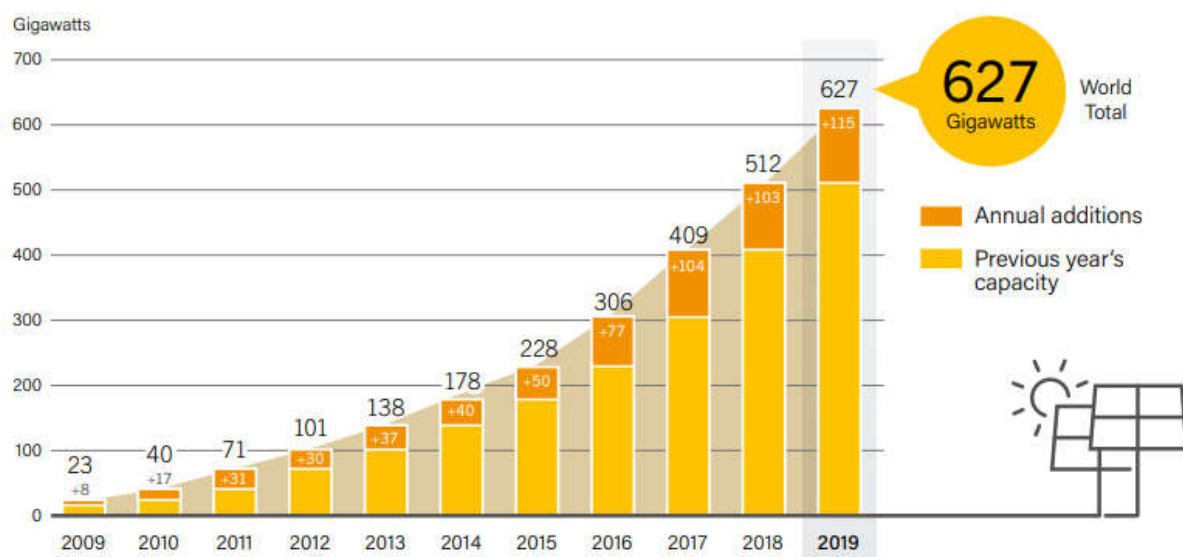


Figura 1 - Capacidade Global e Adições Anuais – Geração Fotovoltaica, 2009-2019

Fonte: REN21 (2020)

Segundo o estudo da *Bloomberg News Energy Finance* – BNEF (2020), a fonte solar fotovoltaica foi a mais adicionada à rede elétrica do mundo em 2019. Com recorde de aproximadamente 118 GW construídos (número ligeiramente superior ao do REN21). Segundo o relatório *Power Transition Trends 2020*, 81 países construíram pelo menos 1 GW de energia solar em 2019 e a fonte foi responsável por quase metade (45%) de toda a nova capacidade de geração de energia construída em todo o mundo. Ainda se espera um forte crescimento até 2022, segundo o mesmo relatório.

Conforme aponta Martiniano (2017), o Brasil é uma potência se tratando de recursos que possam ser utilizados para a produção de energia elétrica, principalmente os renováveis. O avanço tecnológico e o aperfeiçoamento das técnicas de fa-

bricação dos módulos fotovoltaicos a tem tornado cada vez mais acessível aos interessados e os incentivos financeiros para sua aquisição estão cada vez maiores.

Sob essa perspectiva nacional, o Brasil possui, em sua grande maioria, uma matriz energética constituída por energias renováveis. Segundo os dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2020), em 2019 a oferta total de energia elétrica foi de 626 TWh, sendo 82,9% de fontes renováveis, conforme Figura 2, com a seguinte composição: hidráulica (64,9%); biomassa (8,4%); eólica (8,6%) e solar (1%). Por outro lado, as fontes não renováveis ficaram com as seguintes participações: derivados de petróleo (2%); carvão e derivados (3,3%); nuclear (2,5%) e gás natural (9,3%).

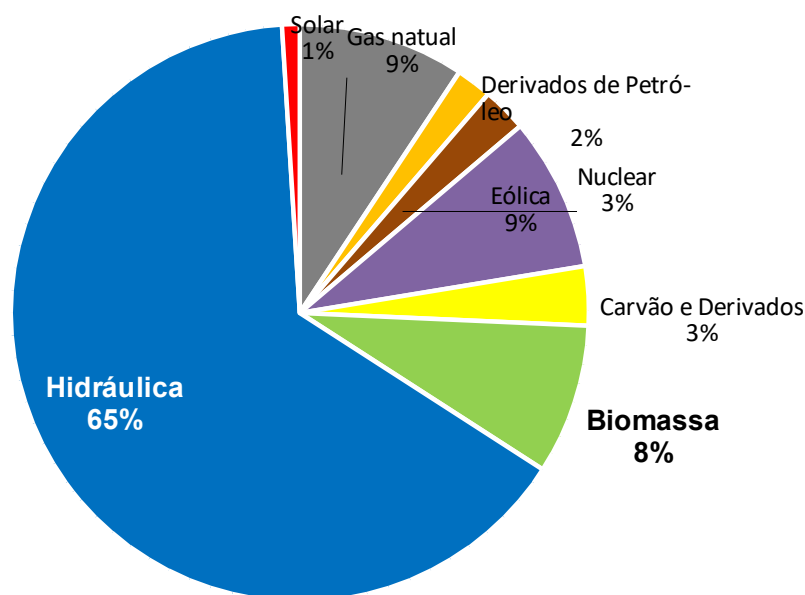


Figura 2 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte

Fonte: EPE (2020)

Observa-se que a energia solar fotovoltaica quase não está presente na composição da matriz energética brasileira, visto que sua parcela de contribuição pequena quando comparamos com o restante. Apesar de termos uma forte parcela da geração de energia por meio de fontes renováveis, ainda é preciso desenvolver a geração fotovoltaica. Segundo a Nota Técnica PR 04/18 da EPE – Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050, no Brasil existe uma superioridade do potencial ante o consumo que varia de aproximadamente 1,4 a quase 4 vezes, em deter-

minados Estados. Considerando todo o país, o potencial é 2,3 vezes maior que o consumo (EPE, 2018).

Em um cenário a curto prazo, segundo o Ministério de Minas e Energia (2020), até o fim de 2022, está prevista a entrada em operação de 23.398,19 MW de capacidade instalada, com destaque para 10.026,24 MW de fonte solar, 8.359,42 MW de fonte eólica, 4.286,26 MW de fontes térmicas e para a baixa participação da fonte hidráulica, com 726,27 MW, representando pouco mais de 3% do total.

Sobre a Geração Distribuída, a Resolução Normativa - RN 482/2012 de abril de 2012 (ANEEL, 2012), da Agência Nacional de energia Elétrica (ANEEL), tornou livre o acesso às redes de distribuição de energia elétrica para pequenas unidades geradoras, desde que sejam atendidos os requisitos básicos estabelecidos por ela.

A RN 687/2015 da ANEEL fez algumas alterações na RN 482/2012 apresentando opções para a compensação de energia na intenção de fomentar a utilização de geração distribuída. Uma inovação importante foi a permissão da instalação de micro ou minigeração em locais com múltiplas unidades consumidoras como condomínios, por exemplo. Uma outra opção criada foi a geração compartilhada, que é a reunião de consumidores, que sejam atendidos pela mesma concessionária, por meio de consórcios ou associações, que possuam micro ou minigeração distribuída instalada em local diferente das unidades consumidoras.

Como na maioria dos países, no Brasil há o sistema de compensação de energia, também conhecido como *Net Metering*, no qual o consumidor não vende a energia injetada na rede, apenas a compensa, gerando créditos de energia que são utilizados em períodos de tempo posteriores. É diferente da tarifação *Feed in*, que consiste no pagamento de tarifas para as unidades geradoras que lidam com meios alternativos de produção energética. Trata-se de uma política pública voltada para incentivar a adoção de fontes de energia renováveis. O objetivo está em viabilizar a implementação de centrais produtoras, cujas despesas para gerar energia são relativamente altas.

Rosa e Gasparin (2016) mostram, de maneira geral, o panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. Além disso destaca os programas mais importantes para o desenvolvimento das fontes renováveis de energia no país, e lista algumas oportunidades, desafios, e sugestões de melhorias nas leis. É evidenciado que: o mercado local precisa se desenvolver; é preciso melhores políticas de incentivos fiscais, como por exemplo, a aplicação do ICMS apenas na parcela líquida das contas de energia e não no total bruto da conta. O autor ainda sugere a inclusão da fonte solar no Sistema Financeiro da Habitação - SFH (criado e regulamentado pela lei nº4.380, de 21 de agosto de 1964), com as mesmas condições. Essas sugestões poderiam gerar novas possibilidades de modelos de negócios no país.

Vale *et al.* (2017) faz uma comparação de geração fotovoltaica em dois projetos do programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV) em dois estados brasileiros: um em São Paulo e outro no Piauí. A escolha é intencional pois existiam diferenças sobre incentivos fiscais entre esses dois estados. Os autores utilizam o Valor Presente Líquido - VPL e a Taxa Interna de Retorno - TIR como ferramentas para a avaliação econômica dos projetos. O Programa de Geração Distribuída (ProGD) é citado como ferramenta de obtenção de linhas de crédito criado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). É dito que o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES não tem nenhuma linha de crédito para clientes individuais. Apesar do Estado do Piauí ter maiores taxas de radiação solar, o impacto da isenção fiscal estadual em São Paulo é ainda mais significativa para a viabilidade econômica do projeto.

Garcez (2017) mostra que as tarifas sobre a eletricidade das distribuidoras têm um impacto importante, enquanto a aplicação de um Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços - ICMS do imposto estadual tem efeitos negativos na captação do projeto. O autor também apresenta um breve histórico da distribuição de energia elétrica no Brasil. O trabalho ainda destaca vários incentivos para a energia solar no Brasil, tais como, PROGD, Padis, ConstruCard da Caixa Econômica Federal, programas de empréstimos facilitados do BNDES e do Banco do Brasil, entre outros. Apesar de tantos incentivos, nenhum deles está conseguindo fazer com que o objetivo da ANEEL seja alcançado, de reduzir barreiras para os geradores em pequena escala, uma vez que não são viáveis do ponto de vista econômico.

Ferreira *et al.* (2018) possuem o objetivo de mostrar que a geração de energia solar é uma opção viável para a diversificação da matriz energética brasileira. Mostra também alguns incentivos do governo para isso e também lista a legislação básica do assunto. Os incentivos do governo, apesar de existirem há anos no mercado, são insuficientes para aumentar significativamente a parcela da energia solar na matriz brasileira. O Brasil tem áreas de qualidade e potencial solar suficiente para competir a nível mundial, mas para isso é preciso investir em pesquisa e desenvolvimento, além de criar mais incentivos governamentais para a geração solar. Os autores criticam os profissionais da área financeira, pois não possuem conhecimento técnico da tecnologia, portanto não criam linhas de crédito específicas. Apresentam uma comparação de custos finais com o modelo tradicional, a viabilidade econômica da geração de energia fotovoltaica distribuída está quase sendo alcançada. Já a Geração Fotovoltaica centralizada ainda não.

Tendo em vista o Estudo Estratégico - Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída da Greener (2019), os empreendimentos residenciais de até 5kWp são viáveis para todos os estados brasileiros, com um *Payback* Descontado (PD) variando entre 4,3 a 6,7 anos dependendo do estado brasileiro. Podemos notar uma evolução desde os dados apresentados por Ferreira *et al.*, (2018).

Conforme apontado, existem vários trabalhos que analisam os modelos de negócios mais utilizados e em determinadas regiões do mundo, porém muitas proposições de soluções são inviáveis frente à legislação brasileira. Outro fator limitante é a óptica pela qual o problema é abordado, ora óptica da distribuidora, ora pela óptica do mercado, porém a maioria dos estudos são puramente teórico.

Notadamente não existem muitos estudos comparativos entre os modelos de negócios do ponto de vista do cliente final ou usuário, além do mais também são poucos os trabalhos relativos ao estado de Goiás. Os clientes das concessionárias de energia precisam de informações sobre os possíveis modelos de negócio que podem ser utilizados e qual é mais vantajoso em sua situação específica conforme a legislação vigente.

Este trabalho tem como objetivo identificar os principais modelos de negócio para a micro e minigeração distribuída fotovoltaica existentes, analisar sua evolução, principais características, aplicabilidade no Brasil além de realizar estudos de caso para o estado de Goiás.

Para alcançar o objetivo proposto, propõe-se:

- Realizar um estudo para a identificação dos principais modelos de negócio para a geração fotovoltaica no Brasil;
- Analisar a evolução histórica dos modelos de negócios e posicionar o Brasil quanto à sua própria evolução;
- Realizar estudos de caso contemplando a análise de viabilidade econômica de diferentes modelos de negócio e diferentes categorias de consumidores;
- Identificar as principais características de cada modelo proposto, bem como evidenciar as relações entre os principais *stakeholders* destes;
- Calcular e analisar os principais indicadores econômicos nos modelos escolhidos.

A dissertação está estruturada da seguinte forma: O Capítulo 2 apresenta um referencial teórico e uma revisão bibliográfica quanto aos modelos de negócio aplicados à geração fotovoltaica no Brasil. São apresentados os critérios de decisão a serem utilizados na análise de viabilidade econômica.

O Capítulo 3 apresenta metodologia de pesquisa utilizada destacando os pontos de escolha dos modelos de negócio a serem analisados no estudo de caso, bem como a escolha dos tipos das unidades consumidoras. Também são apresentadas as equações utilizadas para a obtenção das receitas e despesas dos fluxos de caixa.

O Capítulo 4 contempla os resultados do trabalho. Apresenta-se os valores encontrados para os modelos de negócio, tais como, VPL, a TIR, o PD e o IL.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho e são expostas algumas discussões sobre os resultados, além de propostas para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Geração Distribuída Fotovoltaica

A captação e transformação da energia solar em energia elétrica são feitas por meio de sistemas fotovoltaicos (SFV) que realizam a conversão da luz solar em corrente elétrica contínua, através de módulos construídos com fotocélulas produzidas a partir de um material semicondutor, como silício cristalino, arsenieto de gálio, dentre outros (CABRAL; VIEIRA, 2012). Porém a corrente elétrica a ser utilizada ou ainda a sobressalente que será fornecida à distribuidora são alternadas, ou seja, é necessário converter a corrente contínua em alternada. Essa é a função do inversor, no qual é direcionada ao quadro geral e, posteriormente, distribuída para consumo. O consumo poderá ser próprio ou o excedente gerado poderá ser enviado para a rede da concessionária de energia após a medição realizada no medidor bidirecional. Os sistemas fotovoltaicos podem ser implantados em residências, chácaras, comércios, indústrias, etc. A Figura 3 mostra o esquema de funcionamento de um SFV residencial.

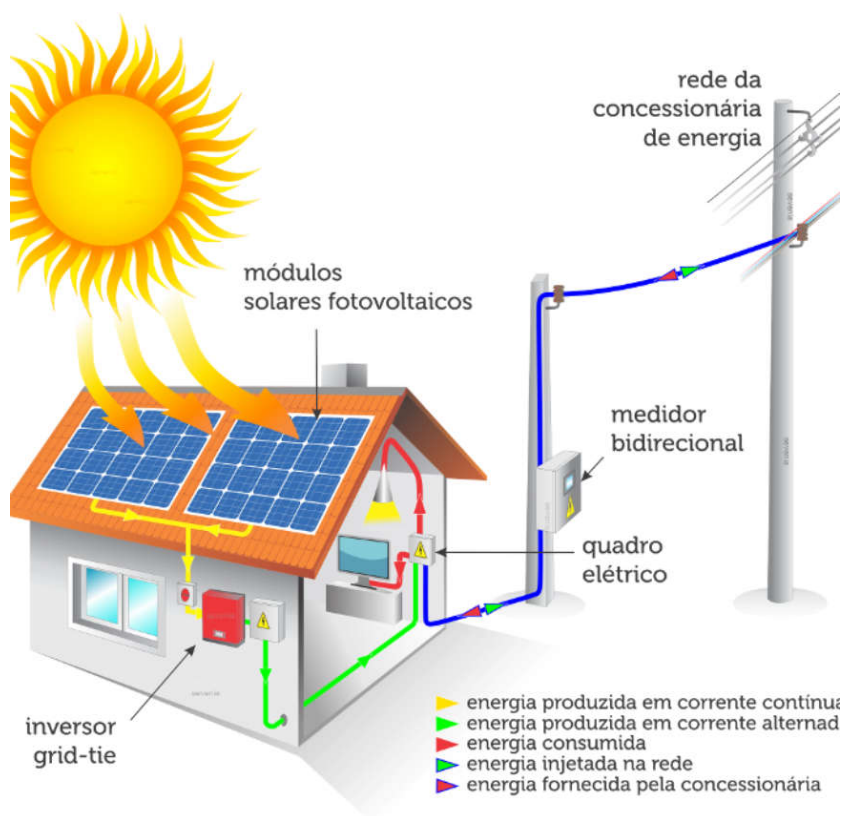


Figura 3 – Esquema de funcionamento de SFV

Fonte: CREA-MT (2015)

A geração de energia a partir do aproveitamento da energia solar em sistemas fotovoltaicos é dividida em três principais grupos: geração centralizada, geração isolada e geração distribuída. Estes sistemas se diferenciam quanto à forma de conexão à rede, que dentre outras características, depende também da legislação local vigente (PINHO; GALDINO, 2014).

A geração centralizada define-se pela produção de energia em larga escala e é disponibilizada no sistema elétrico através de linhas de transmissão. A geração isolada ou sistema isolado define-se pela geração local de energia e serve para abastecimento em locais remotos. Na geração distribuída o sistema pode ou não estar conectado à rede pública de distribuição (*on-grid* ou *off-grid*). O sistema que está junto à unidade consumidora, disponibilizando a energia gerada excedente à rede da concessionária de energia, sendo integrantes os sistemas de micro e minigeradores distribuídos, chamam-se *on-grid*, ou ainda Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR). Aqueles não conectados à rede denominam-se *off-grid*. (ROSA e GASPARIN, 2016).

De modo geral, a geração distribuída se caracteriza como uma forma de geração conectada ao sistema de distribuição e próxima ao ponto de consumo. Este trabalho adota os conceitos apresentados na Resolução Normativa nº 482 da ANEEL (ANEEL, 2012), na qual estão definidos que micro e minigeração distribuída são centrais geradoras de energia, que utilizam fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

A partir de 1º de março de 2016 passou a vigorar a Resolução Normativa 687 de 2015 da ANEEL (ANEEL, 2015), que altera a Resolução Normativa 482 aumentando as possibilidades da GD no Brasil. Dentre as mudanças passou a ser regulamentada a geração compartilhada, em que consumidores dentro da mesma área de concessão ou permissão reúnem-se em um projeto de micro ou minigeração por meio de consórcio ou cooperativa e foi aumentado o tempo de duração dos créditos de energia de 36 para 60 meses. A Microgeração distribuída tem potência instalada menor ou igual a 75 kW, já a Minigeração distribuída possui potência supe-

rior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada.

A seguir são apresentadas as evoluções dos modelos de negócio para a geração fotovoltaica de energia.

2.2 Evolução dos Modelos de Negócios para Geração Distribuída SFCR

A definição do termo “modelos de negócio” é bastante variada na literatura disponível sobre o tema. Não há, ainda, um consenso sobre a sua definição, principalmente após o advento da internet que proporcionou a criação de possibilidades de interação com os fornecedores e clientes, e a rápida diminuição dos custos relacionados com comunicação e computação.

Os modelos de negócios podem ser aplicados em qualquer setor e podem ser utilizados por qualquer organização, sem restrição. Logo, diversos modelos de negócio específicos para a geração fotovoltaica, foram desenvolvidos ao longo do tempo. De acordo com Frantzis *et al.* (2008), os modelos de negócio fotovoltaicos possuem gerações bem definidas, Geração Zero, Primeira Geração e Segunda Geração, conforme ilustrado na Figura 4.

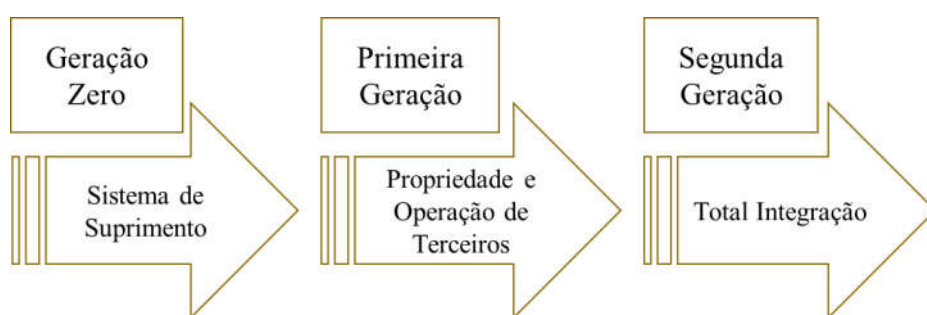


Figura 4 - Gerações dos Modelos de negócios para GD.

Fonte: Adaptado de Frantzis *et al.* (2008)

A Geração Zero refere-se à primeira abordagem da indústria fotovoltaica, na qual o consumidor (usuário final) é proprietário e financia o sistema (por meio de bancos ou outras entidades financeiras), além de gerenciar a maioria dos aspectos relacionados à instalação. Esse consumidor se compromete com questões ambien-

tais, com a segurança energética e com os benefícios da autogeração de energia. Uma empresa contratada pelo próprio consumidor é a responsável pela completa engenharia, compra de equipamentos e construção, bem como operação e manutenção (O&M) depois da entrega do sistema. Esse modelo de contratação é conhecido como EPC, do inglês, *Engeneering, Procurement and Construction*.

A Agência Reguladora (ANEEL) tem a responsabilidade de produzir normas regulamentadoras, fiscalizar as concessionárias, estabelecer tarifas e fazer cumprir as políticas definidas pelo Governo Federal. Está vinculada diretamente ao Ministério de Minas e Energia (MME) que é responsável pela produção das Políticas Energéticas do Brasil no seu papel de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional. Os governos estaduais e municipais ficam responsáveis pelo recolhimento e aplicação dos tributos de sua competência.

O modelo de negócio correspondente à Geração Zero é apresentado na Figura 5. O principal sistema de pagamento/recebimento entre a distribuidora e o usuário do SFCR é o *net metering*. Esta é a geração em que se encontra o Brasil.

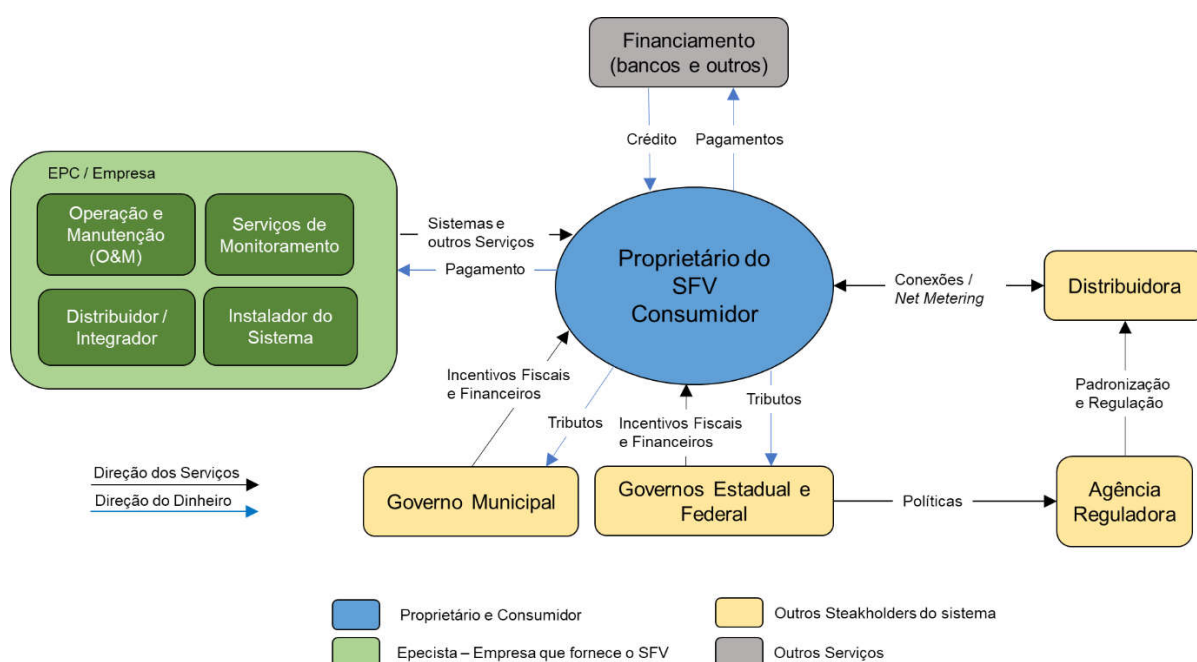


Figura 5 – Proprietário e Usuário Final Residencial.

Fonte: Adaptado de Frantzis *et al.* (2008)

A Primeira Geração se caracteriza pela presença de um mercado mais abrangente e atrativo com uma nova categoria de consumidores, chamados de *early adopters*, aqueles que adotam uma tecnologia, produto ou serviço, antes de outros. Os modelos de negócios são dirigidos por terceiros, ou *Third-Party*, em inglês, que desenvolvem o projeto e são os proprietários do SFV. O consumidor celebra um contrato de serviços com o terceiro para a utilização da energia gerada (não é o *net metering*), por sua vez, o terceiro possui um contrato com a distribuidora para receber por kWh produzido no sistema de compensação. Além disso, o proprietário do SFV pode oferecer serviços à distribuidora, como a manutenção e operação da usina de energia.

Neste modelo, para o Brasil, seria necessário que a Agência de Regulação alterasse a legislação vigente para garantir a celebração de contratos de venda de energia entre o proprietário da geração e o consumidor final, além de garantir a qualidade do sistema, uma vez que a distribuidora não é proprietária do sistema. Atualmente as empresas fazem contratos a preço fixo, como se fosse o aluguel de equipamentos, por exemplo, ou ainda no valor de uma porcentagem predefinida da economia gerada, mas jamais vinculando os valores contratuais ao kWh gerado pelo SFV. As principais interações deste modelo podem ser vistas na Figura 6.

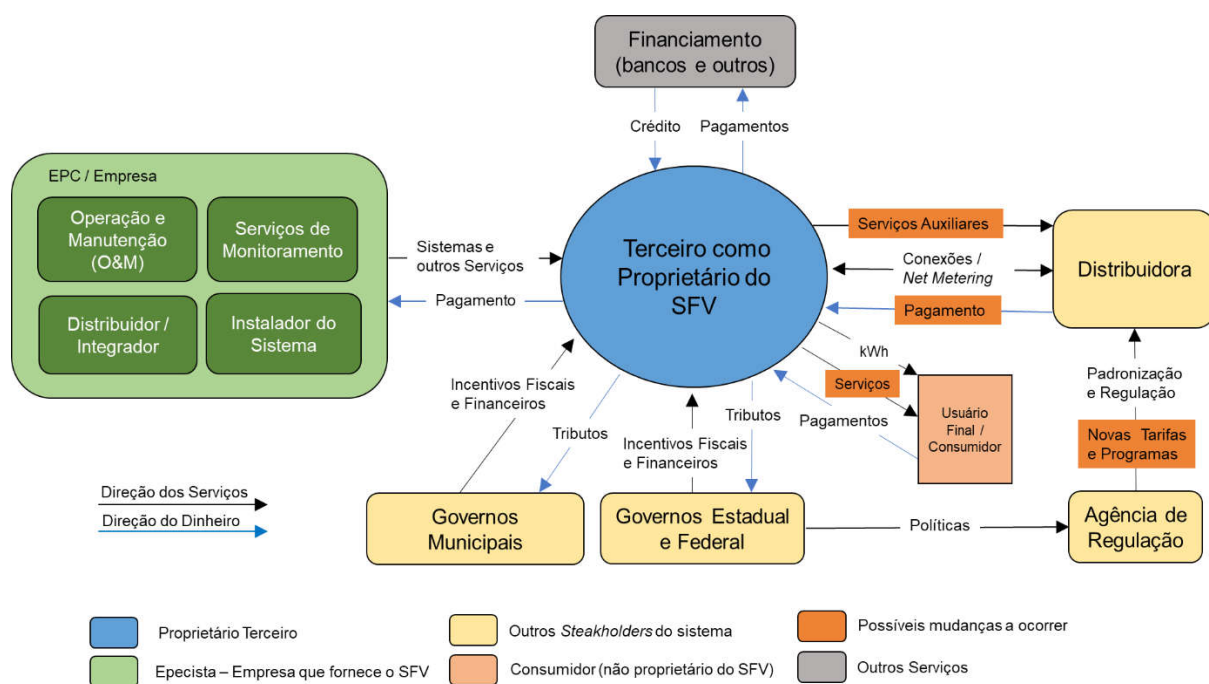


Figura 6 - Terceiro como proprietário e controlador do SFV.

Fonte: Adaptado de Frantzis *et al.* (2008)

A Segunda Geração de modelos de negócio fotovoltaicos, ainda está emergindo no Brasil e é descrita pela Figura 7. As principais características destes modelos envolvem uma integração maior dos sistemas fotovoltaicos com a rede, devido ao desenvolvimento de novas tecnologias e iniciativas regulatórias. Os modelos de negócio de Segunda Geração permitem que a geração FV seja uma parte integral do segmento de distribuição.

Além disso, estes modelos apresentam características que englobam a propriedade, operação e controle do sistema. É importante salientar a importância da concessionária na evolução dos modelos de negócios fotovoltaicos. O seu envolvimento com a geração FV, que se apresenta na transição de um agente passivo para proativo, influencia diretamente na estrutura dos modelos de negócio e, consequentemente, na inserção da geração fotovoltaica no segmento de distribuição.

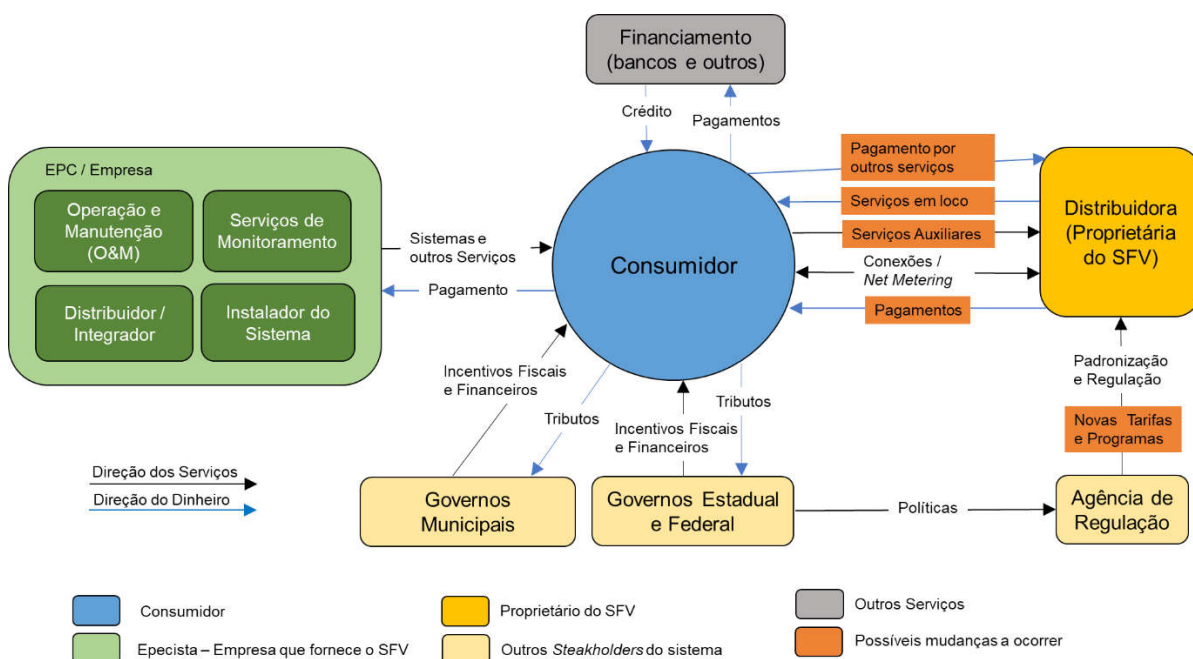


Figura 7 - Distribuidora como Proprietária do SFV

Fonte: Adaptado de Frantzis *et al.* (2008)

Este modelo ainda não pode ser utilizado no Brasil porque a geração, a transmissão e a distribuição de energia elétrica no país estão contidas no Sistema Interligado Nacional (SIN) e as concessões pertencem ao Governo Federal. Segundo a Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, que criou a ANEEL, há três tipos indepen-

dentes de outorga pelo Governo Federal quando se trata do aproveitamento energético nacional, a saber: Geração, Transmissão e Distribuição (BRASIL, 1996).

Há diversos modelos de negócio consolidados no setor fotovoltaico, que abordam a perspectiva apenas da concessionária, e outros que consideram o ponto de vista da comunidade.

Do ponto de vista de compartilhamento de créditos de energia Takigawa et al., nos aponta que existem, acordo com a RN 687/2015 (ANEEL, 2015), dois modelos: autoconsumo remoto e geração compartilhada. No primeiro existe a possibilidade de reunir várias Unidades Consumidoras (UC), podendo ser pessoa física ou jurídica. Neste modelo, a UC com SFCR está situada em um local distinto das demais UCs que utilizam os créditos gerados, porém dentro da mesma área de concessão da Distribuidora. Em contrapartida na geração compartilhada, permite uma composição distinta de pessoas físicas e /ou jurídicas que podem utilizar uma geração de maneira compartilhada, o que, em certa medida, permite um maior porte na instalação da usina fotovoltaica. Na geração compartilhada os participantes podem se reunir em uma associação ou em um consórcio.

Mesmo com tantas propostas de modelos de negócio, muitas concessionárias encaram a geração distribuída fotovoltaica como uma ameaça, pois o consumidor gerará a sua própria energia, deixando de adquiri-la da distribuidora. Por isso, os modelos de negócio que consideram a perspectiva da concessionária tentam mostrar a geração fotovoltaica como uma oportunidade a ser explorada. Segundo Barros (2014) há três modelos possíveis para a concessionária:

1. Ativos de propriedade da concessionária;
2. Financiamento dos ativos via concessionária;
3. Compra da energia gerada pela concessionária.

No modelo 1, a concessionária é proprietária do SFV que fornece energia para a rede. O modelo 2 consiste na proposta da distribuidora oferecer financiamento, serviços de instalação e outros serviços relacionados à operação do sistema. No

modelo 3, a concessionária poderia criar e capturar valor, ao comprar a energia solar gerada por outros (BARROS, 2014).

Para Frantzis *et al.* (2008), os modelos de negócios fotovoltaicos podem ser classificados pela propriedade e pela aplicação. Entre os tipos de propriedade destacam-se:

- Usuário Final: é o proprietário da edificação na qual o sistema será instalado e/ou o principal usuário da energia gerada pelo SFV;
- Terceiros: não é o usuário do sistema, tampouco a concessionária. Os terceiros são uma outra parte que detém o SFV;
- Concessionária: é a distribuidora de energia.

Quanto a aplicação de SFV conectados à rede, destacam-se dois tipos:

- Nova construção: se caracteriza pelo sistema fotovoltaico sendo instalado na construção de uma nova residência, ou edificação comercial e industrial;
- *Retrofit*: se caracteriza pela instalação dos módulos fotovoltaicos em telhados já existentes, de residências ou edificações comerciais e industriais (FRANTZIS *et al.*, 2008).

2.3 MODELOS DE NEGÓCIOS

A seguir serão abordados três modelos de negócios e as relações de suas partes interessadas, a saber, o modelo de Aquisição, o modelo de Aluguel e o de Geração Compartilhada.

2.3.1 Modelo de Aquisição

O modelo de negócio para a geração solar fotovoltaica mais tradicional é o de aquisição. Neste o usuário do sistema é também o seu financiador/investidor, proprietário e responsável pela sua manutenção e operação (FRANTZIS *et al.*, 2008). O modelo se enquadra na Geração Zero e é o mais aplicado no Brasil atualmente. Tendo em vista o alto preço inicial, o proprietário pode usufruir de financia-

mentos bancários e também de incentivos fiscais (como isenção de ICMS). As relações entre os atores deste modelo podem ser vistas na Figura 8. Como os investidores não possuem um perfil técnico, é muito comum utilizar-se de alguma empresa especializada que possa fornecer os equipamentos e realizar a instalação e a manutenção destes.

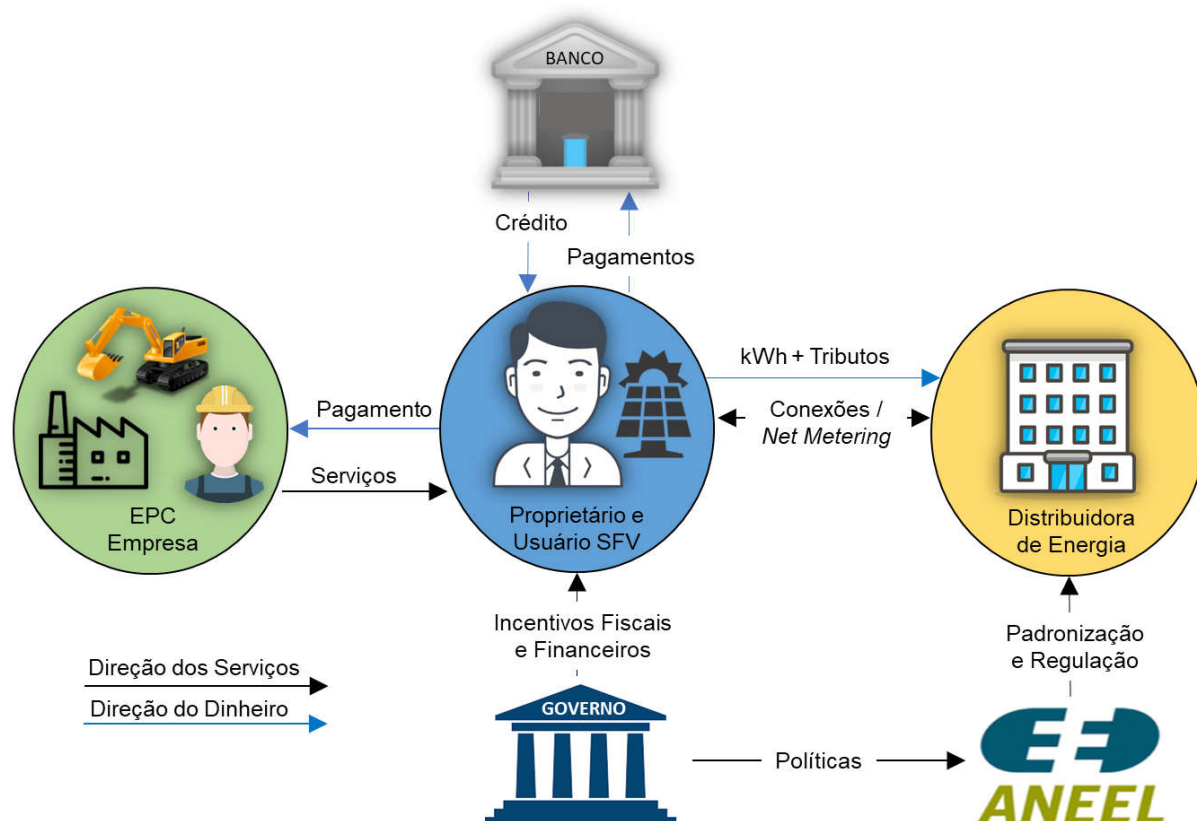


Figura 8 - Modelo de aquisição.

A energia gerada pelo SFV no modelo de aquisição corresponde a uma parcela do consumo mensal de energia do consumidor/investidor, logo a energia gerada pelo SFV não precisa ser paga para a concessionária, gerando uma economia mensal. Diniz (2017) descreve que esta economia ocorre devido ao “custo evitado” na fatura de energia, a qual terá seu valor calculado com base no modelo de compensação de energia definido na REN 482/12, ou seja, *net metering*. A Figura 9 ilustra a forma de economia do modelo de aquisição.

O custo de disponibilidade, ou cobrança mínima, é um valor cobrado pelas concessionárias por disponibilizar a energia elétrica no ponto de consumo, pois

devem manter toda a infraestrutura física funcionando. Assim, mesmo que não exista qualquer consumo de energia, a disponibilidade de energia precisa ser ressarcida. A Figura 9 mostra as situações sem SFV e com SFV para o modelo de Aquisição.

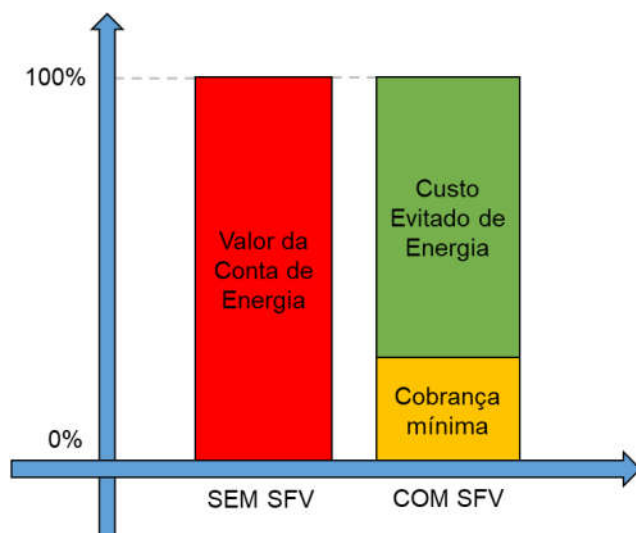


Figura 9 - Custo evitado de energia no modelo de aquisição

Fonte: Adaptado de Diniz (2017).

O Custo de Disponibilidade é regulado pela resolução ANEEL nº414 de 2010, que estabelece os seguintes valores mínimos de entrega de energia, conforme padrão de conexão com a rede:

- I – 30 kWh, se padrão monofásico;
- II – 50 kWh, se padrão bifásico;
- III – 100 kWh, se padrão trifásico.

Caso a unidade consumidora utilize uma quantidade de energia mensal inferior à quantidade mínima aplicável, o cliente deverá pagar pelo custo de disponibilidade do sistema, cujo valor corresponderá à quantidade de energia estabelecida na norma supracitada, multiplicada pela tarifa da distribuidora local.

A seguir é apresentada a forma para se encontrar as receitas de um sistema fotovoltaico de energia no modelo de aquisição considerando o período de um mês (DINIZ, 2017):

$$R_{aqt} = P_{fv} \cdot E(ima) \cdot (1 + E(via)) \cdot E(PR) \cdot (1 - E(q_r)) \cdot T_e \cdot (1 + E(Rpe) - E(ifc)) \quad (1)$$

Onde:

R_{aqt} = Receitas em reais (R\$) no período t;

P_{fv} = Potência do SFV em kWp;

$E(ima)$ = Valor esperado da irradiância média anual em horas de sol pleno;

$E(via)$ = Valor esperado da variância interanual (percentual);

$E(PR)$ = Valor esperado da performance ratio (percentual);

$E(q_r)$ = Valor esperado da queda do rendimento do SFV (percentual);

T_e = Tarifa de energia em reais (R\$);

Rpe = Valor esperado do reajuste do preço da energia (percentual);

$E(ifc)$ = valor esperado da inflação (percentual).

As despesas consideram os custos de O&M (operação e manutenção) e de substituição do inversor. A forma de se calcular as despesas para o modelo de aquisição em um mês está descrita em (2) (DINIZ, 2017).

$$D_{aqt} = E(O \wedge M) \cdot INV + E(NTI) \cdot PI + CD \cdot T_e \cdot (1 + E(Rpe) - E(ifc)) \quad (2)$$

Onde:

D_{aqt} = Despesa no modelo de aquisição (R\$);

$E(O \wedge M)$ = Valor esperado dos custos de O&M (percentual);

$E(NTI)$ = Valor esperado para o número de troca de inversores (percentual)

PI = Preço do Inversor em reais;

INV = Investimento inicial (R\$);

CD = Custo de disponibilidade mensal em kWh;

T_e = Tarifa de energia em reais;

$E(Rpe)$ = Valor esperado do reajuste do preço da energia (percentual);

$E(ifc)$ = Valor esperado da inflação (percentual).

Então, o modelo de fluxo de caixa para o modelo de aquisição pode ser determinado por

$$FC_{aqt} = -INV + \sum_{t=1}^T F_{Ct} = -INV + \sum_{t=1}^T \frac{R_{aqt} - D_{aqt}}{(1+i)^t} \quad (3)$$

Onde:

FC_{aqt} = Fluxo de caixa do modelo de aquisição em reais;

INV = Investimento inicial em reais;

FC_t = Fluxo de caixa no tempo t em reais;

R_{aqt} = receitas do modelo de aquisição em reais;

D_{aqt} = Despesa do modelo de aquisição em reais;

t = tempo;

i = TMA, taxa mínima de atratividade.

As principais características deste modelo, são:

- a) O investidor (consumidor final) torna-se proprietário do sistema;
- b) O investidor usufrui do valor total de economia do sistema;
- c) Há uma significativa descapitalização devido ao investimento inicial;
- d) A despesa mensal considera os custos de O&M (operação e manutenção) e a troca do inversor;
- e) O investidor (cliente final) assume o risco de prejuízo do investimento, caso este venha a apresentar defeitos em equipamentos após a garantia do fabricante, ou menores rendimentos que os garantidos pelos fabricantes, além daqueles riscos de danos com tempestades ou defeitos decorridos de mal-uso dos equipamentos, por exemplo.

2.3.2 Modelo de Aluguel

Asmus (2008), afirma que o custo dos equipamentos e a instalação inicial do sistema de geração fotovoltaica se apresentam como os principais obstáculos para a sua difusão. Entretanto, há maneiras de diminuir estes custos iniciais e impulsionar a

aplicação da energia solar, como por exemplo o *Third-Party* (terceiros), modelo que surgiu em 2005, nos Estados Unidos, e está cada vez mais difuso no país.

Segundo Huijben e Verbong (2013) neste modelo, as empresas (ou terceiros) são proprietárias e operam os sistemas fotovoltaicos instalados nas edificações dos consumidores. Os terceiros também alugam os equipamentos fotovoltaicos ou vendem a energia gerada para os ocupantes locais, onde ocorreu a instalação. A maior vantagem deste modelo, está na remoção dos custos do investimento inicial.

No aluguel, o usuário paga um valor mensal proporcional à economia gerada, mas, no final do contrato, o SFV não se torna propriedade do usuário. Enquanto no arrendamento (leasing), ao final do contrato, ou mesmo durante esse período, o SFV pode ser adquirido pelo arrendatário. Os contratos de Power Purchase Agreement (PPA), geralmente de longo prazo (acima de 10 anos), obtêm sua receita diretamente da venda de kWh (energia). Vale ressaltar que esse modelo ainda não é regulado no Brasil. Este trabalho utiliza uma adaptação deste modelo para o estudo de caso aquele com contrato de aluguel. No modelo de aluguel, não se compra/vende energia, mas sim o aluguel dos equipamentos do sistema fotovoltaico.

Na Figura 10 pode-se perceber os principais atores deste modelo, bem como os fluxos de valores e as responsabilidades de cada um.

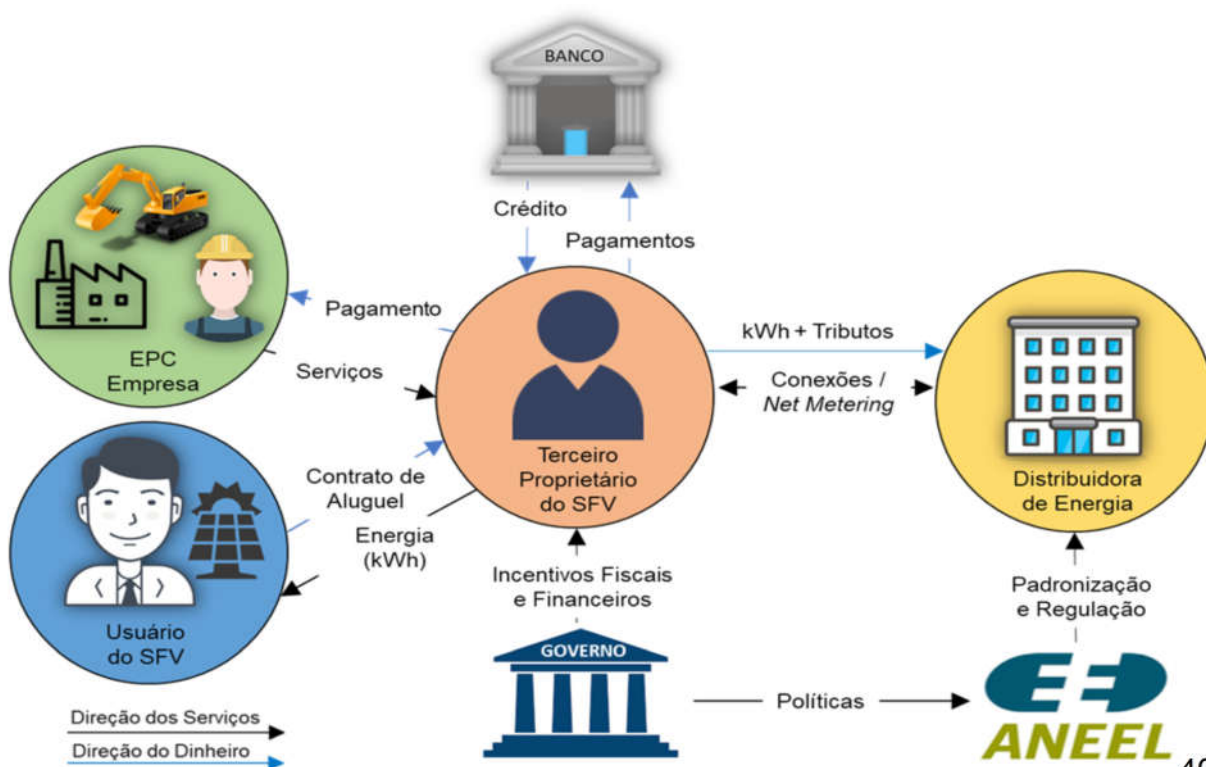


Figura 10 - Modelo de aluguel ou terceiro

Na modelagem do fluxo de caixa, considera-se que a receita, corresponde ao valor total de economia proporcionado pelo SFCR, descontado o custo de disponibilidade. Enquanto as despesas levam em conta o custo de disponibilidade e o valor do aluguel a ser pago pelo uso do SFCR conforme a Figura 11.

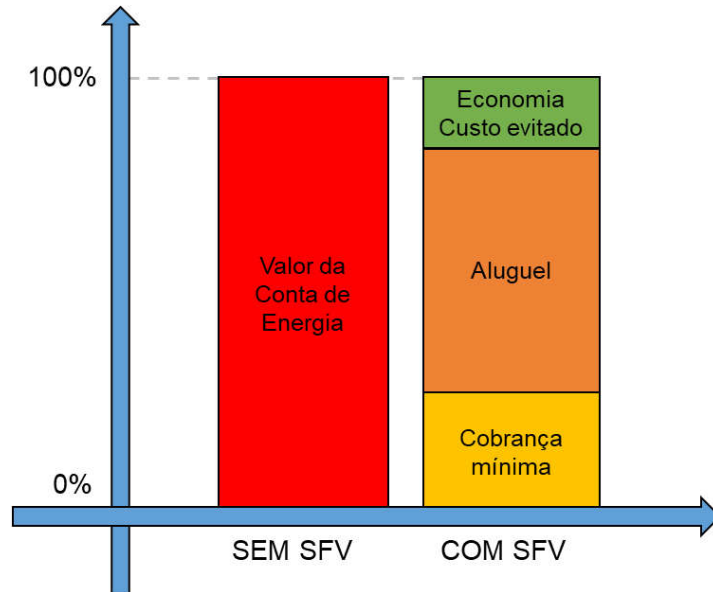


Figura 11 - Custo evitado de energia modelo de aluguel

Fonte: Adaptado de Diniz (2017)

O fluxo de caixa do modelo de aluguel considera o investimento inicial zero, as receitas do modelo de aluguel são iguais às do modelo de aquisição, apresentadas em (1), contudo as despesas são representadas pelo custo de disponibilidade mais o valor do aluguel conforme mostra (4) (DINIZ, 2017).

$$D_{ag} = AG \cdot R_{agt} + CD \cdot T_e \cdot (1 + E(Rpe) - E(ifc)) \quad (4)$$

onde:

D_{ag} = Despesas no modelo de aluguel em reais;

R_{agt} = Receitas em reais (R\$) no período t;

AG = percentual de aluguel (em percentual conforme contrato);

CD = Custo de Disponibilidade;

T_e = Tarifa de energia em reais;

$E(R_{pe})$ = Valor esperado do reajuste do preço da energia (percentual);
 $E(ifc)$ = Valor esperado da inflação (percentual).

Então, o modelo de fluxo de caixa para o modelo de aluguel pode ser definido por

$$FC_{ag} = \sum_{t=1}^T F_{Ct} = \sum_{t=1}^T \frac{R_{agt} - D_{agt}}{(1+i)^t} \quad (5)$$

Como características neste modelo, destacam-se:

- a) O proprietário é um locatário do sistema;
- b) A economia real é um percentual da economia gerada pelo SFV;
- c) Não há descapitalização inicial do investidor;
- d) A despesa mensal considera os custos do aluguel e as receitas são definidas em contrato e são geralmente um valor percentual. Este valor do aluguel é definido com base na economia gerado pelo SFV, descontado o valor do custo de disponibilidade;
- e) O contrato é de longo prazo, em sua maioria.

2.3.3 Modelo de Geração Compartilhada

Conforme aponta Asmus (2008), é possível diminuir os custos iniciais de instalação do sistema fotovoltaico desenvolvendo modelos de negócios comunitários, ou *Community Solar* (comunidades solares), também conhecido como *Solar Shares* (compartilhamento solar), pois os custos iniciais são diluídos entre todos os que participam e não onera nenhum dos futuros usuários. Em algumas publicações os dois termos são empregados como iguais, entretanto (AUGUSTINE; MCGAVISCK, 2016) mostra a distinção entre os modelos. No *Community Solar* é possível comprar os equipamentos de componentes do sistema pelo grupo, no *Shared Solar* há a compra de energia.

Em essência os dois modelos referem-se à capacidade de múltiplos usuários, que não possuem local adequado ou recurso adequado para a geração de energia solar, de adquirir uma parte da sua demanda de energia, através de uma instalação fotovoltaica localizada em outro lugar. Para Asmus (2008) são indicados para locatários, moradores edificações de uso coletivo horizontal, empresas, áreas de telhado que apresentam sombreamento, telhados com estruturas antigas, telhados que necessitam de modificações para suportar um sistema fotovoltaico e consumidores que planejam mudar de residência.

Três novas modalidades surgiram com a revisão da REN482/2012 (realizada por meio da REN687/2015), o empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios), o autoconsumo remoto e a geração compartilhada.

O empreendimento com múltiplas unidades consumidora é caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora.

As instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento (ANEEL, 2015).

O autoconsumo remoto é caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma pessoa jurídica, incluídas matriz e filial, ou pessoa física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada (ANEEL, 2015).

A Figura 12 ilustra o esquema de um sistema de geração fotovoltaica de maneira compartilhada.

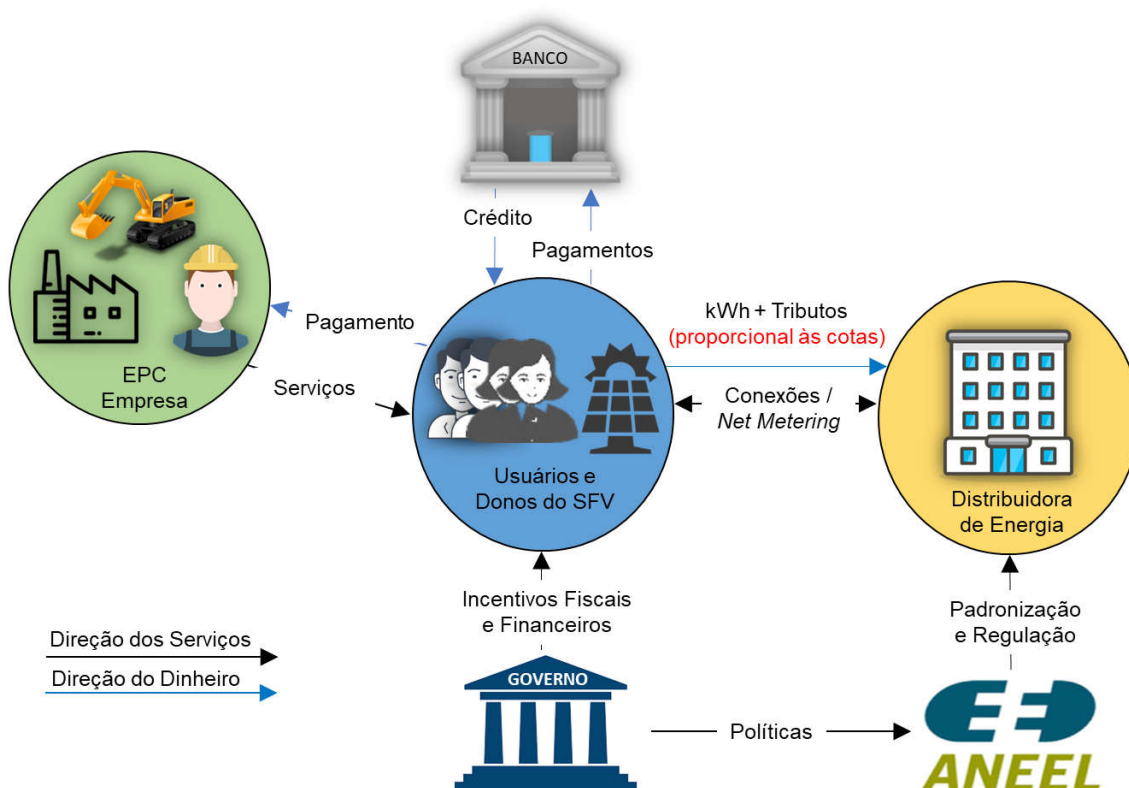


Figura 12 – Modelo de geração compartilhada

A geração compartilhada possibilita que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa para instalar um micro ou minigerador, utilizando a energia gerada para reduzir os valores das faturas de eletricidade dos consorciados ou cooperados (ANEEL, 2015). As unidades consumidoras integrantes de cooperativa ou consórcio responsável por uma geração compartilhada terão acesso aos benefícios dos créditos da mesma forma que as unidades consumidoras que utilizam o autoconsumo remoto, alocando o excedente de energia para abater o consumo das unidades consumidoras (UCs) que integram a geração distribuída.

O cálculo das receitas no modelo de energia compartilhada é semelhante ao do modelo de aquisição, com uma única diferença; as receitas e as despesas são multiplicadas por um fator que corresponde à porcentagem acordada em contrato (consórcio ou cooperativa), que, via de regra, é proporcional à própria cota do cooperado. No modelo de energia compartilhada a economia gerada pelo sistema fotovoltaico é uma parcela do consumo mensal de energia do investidor. No sistema de

compensação de energia (*net metering*), a produção adicional não consumida pela carga do investidor é aproveitada em forma de créditos no período de até cinco anos após a geração do crédito.

A forma para se encontrar as receitas de um sistema fotovoltaico de energia compartilhada em um mês pode ser encontrada em (6) e as suas despesas em (7).

$$R_{gct} = P_{fv} \cdot E(ima) \cdot (1 + E(via)) \cdot (PR) \cdot (1 - E(q_r)) \cdot T_e \cdot (1 + E(Rpe) - E(ifc)) \cdot F_{uc} \quad (6)$$

onde:

R_{gct} = Receitas em reais (R\$) no período t;

P_{fv} = Potência do SFV em kWp;

$E(ima)$ = Valor esperado da irradiância média anual em horas de sol pleno;

$E(via)$ = Valor esperado da variância interanual (percentual);

$E(PR)$ = Valor esperado do performance ratio (percentual);

$E(q_r)$ = Valor esperado da queda do rendimento do SFV (percentual);

T_e = Tarifa de energia em reais (R\$);

Rpe = Valor esperado do reajuste do preço da energia (percentual);

$E(ifc)$ = valor esperado da inflação (percentual).

F_{uc} = Fator da unidade consumidora (kWh UC / kWh gerado)

$$D_{gct} = (E(O \wedge M) \cdot INV + E(NTI) \cdot PI) \cdot F_{uc} + CD \cdot T_e \cdot (1 + E(Rpe) - E(ifc)) \quad (7)$$

onde:

D_{gct} = Despesa (R\$) no período t;

$E(O \wedge M)$ = Valor esperado dos custos de O&M (percentual);

$E(NTI)$ = Valor esperado para o número de troca de inversores (percentual);

PI = Preço do Inversor em reais;

INV = Investimento inicial (R\$);

CD_{uc} = Custo de disponibilidade mensal em kWh;

T_e = Tarifa de energia em reais;

$E(R_{pe})$ = Valor esperado do reajuste do preço da energia (percentual);

$E(ifc)$ = Valor esperado da inflação (percentual).

F_{uc} = Fator da unidade consumidora (kWh UC / kWh gerado)

O modelo de fluxo de caixa para o modelo de energia compartilhada pode ser determinado também por (3). As principais características deste modelo, são:

- a) O investidor (consumidor final) é dono de uma parte do sistema, proporcional às suas cotas/fração do empreendimento;
- b) O investidor usufrui do valor da sua cota no total de economia do sistema;
- c) Não há uma significativa descapitalização devido ao investimento inicial;
- d) A despesa mensal considera os custos de O&M;
- e) Os cooperados (clientes finais) assumem o risco de prejuízo do investimento.

2.4 CRITÉRIOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Newman *et al.* (2000) alegam que diferentes técnicas de engenharia podem ser usadas na tomada de decisão para investimentos em projetos, mas os aspectos econômicos dominam o problema, sendo, portanto, preponderantes na determinação da melhor solução.

Os métodos de análise de investimentos e viabilidade financeira de projetos mais usuais são: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o *Payback* Descontado (PD) e o Índice de Lucratividade (MESQUITA, 2006).

No contexto dos SFV, como a forma de remuneração do capital investido é representado pelo custo evitado de energia elétrica, a qual é adquirida a um determinado preço através das concessionárias de energia, surge um importante método para determinar o preço do kWh gerado a partir do sistema. O LCOE representa uma “tarifa aparente” que pode ser comparada com a tarifa real aplicada no valor da

energia. Se o LCOE for menor que a tarifa realmente paga pela UC, então o empreendimento é viável. Este método é denominado Custo Nivelado de Energia ou LCOE (*Levelized Cost of Energy*) (SHORT *et al.*, 1995).

O LCOE é um valor que representa o quanto se gasta para gerar uma unidade de energia elétrica com um determinado SFV. Já a tarifa de energia da concessionária representa o custo de se comprar uma unidade de energia elétrica desta companhia, e inclui impostos federais e estaduais. O simples fato de o LCOE ser menor do que a tarifa de energia já viabiliza a aquisição de um SFV.

Cada critério será descrito a seguir.

2.4.1 Valor Presente Líquido (VPL)

É o indicador que calcula o valor presente (ou atual) de uma série de movimentos financeiros futuros, descontados a uma taxa mínima de atratividade (TMA), considerando o investimento inicial e as despesas (HIRSCHFELD, 2000). Segundo Pereira *et al.* (2006), o VPL indica o potencial de geração de valor. Logo, se o VPL é positivo, o investimento irá resultar em um valor adicional àquele que foi realizado no investimento inicial.

O VPL é calculado através da soma de uma série de fluxos de caixa, considerando desde a data zero até a data final do projeto (MESQUITA, 2006), definida por

$$VPL = -INV + \sum_{t=1}^T \frac{(R_t - D_t)}{(1+i)^t} \quad (8)$$

onde:

INV = Investimento inicial;

R_t = receitas no período t ,

D_t = despesas no período t ;

t = índice do período;

T = Período final;

i = taxa de juros do capital (que é a taxa mínima de atratividade - TMA).

Vale ressaltar que a TMA é uma taxa de juros que representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, portanto possui um forte grau de subjetividade, uma vez que parte do investidor qual deverá ser o rendimento requerido para o projeto.

No processo de tomada de decisão, observa-se que o investimento que apresentar maior VPL tem uma percepção mais favorável.

2.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR), segundo Gomes (2013) é a taxa de juros que torna o valor presente líquido (VPL) do fluxo de caixa igual à zero, ou seja, é a rentabilidade projetada do investimento estimando quanto se deseja executar um projeto de acordo com o fluxo de caixa definido. Os investimentos com o resultado TIR maior que o valor da TMA são considerados rentáveis e são passíveis de análise (CASAROTTO, 1994)

É o indicador que representa o percentual que remunera o capital investido de modo a recuperá-lo totalmente. A TIR é calculada através de igualdade entre os fluxos de entrada e de saída de um fluxo de caixa (MESQUITA, 2006), resolvendo-se a taxa que satisfaz (9).

$$0 = -INV + \sum_{t=1}^T \frac{(R_t - D_t)}{(1 + TIR)^t} \quad (9)$$

No processo de decisão, uma TIR superior a TMA é considerada atrativa.

2.4.3 Payback Descontado

O Período de Recuperação do Capital ou *Payback*, é o período de tempo em que ocorre o retorno do investimento, sendo calculado no fluxo de caixa da vida útil do investimento (BRITO, 2011). Vale ressaltar que (BLANK; TARQUIN, 2011) afirmam que o período de recuperação do capital nunca deve ser considerado como o

principal indicador para definição de uma alternativa, mas sim como uma ferramenta para prover uma triagem inicial ou uma informação complementar em conjunto com uma análise realizada pelo VPL ou outro método.

Embora não deixe de representar um parâmetro de análise, o *payback* simples (PS) não pode ser considerado do ponto de vista financeiro, visto que, simplesmente não leva em conta o princípio básico das finanças, que é o valor do dinheiro no tempo. Para a realização dessa análise considerando o rendimento do dinheiro ao longo do tempo, deve-se utilizar o *payback* descontado (PD). No PD, somam-se os valores das receitas descontadas até que se igualem ao investimento inicial, as despesas também descontadas do projeto, em função do tempo (CAMARGOS, 2014).

Para obter o PD deve-se encontrar o tempo t que satisfaz (9), a partir de uma determinada Taxa Interna de Retorno.

2.4.4 Índice de Lucratividade (IL)

Neto A., (1992) apresenta o Índice de lucratividade que é um indicador percentual que relaciona o VPL com o capital investido. Na prática, o IL representa a remuneração percentual para cada unidade monetária investida. O cálculo do IL é definido por

$$IL = \sum_{t=1}^T \frac{(R_t - D_t)}{(1+i)^t} / INV \quad (10)$$

No processo de decisão, é preferível uma alternativa que apresenta maior nível de lucratividade, desde que seja positivo.

2.4.5 Custo Nivelado de Energia (LCOE)

O *Levelized Cost of Energy* (LCOE) ou Custo Nivelado de Energia (CNE) representa o custo do kWh gerado pelo sistema fotovoltaico. É este indicador que é

comparado ao valor da tarifa de energia elétrica para determinar a paridade tarifária (EPE, 2019).

O LCOE é obtido pela relação entre as despesas totais ao longo do período, incluindo o investimento inicial, e a energia total gerada ao longo do período conforme (11).

$$LCOE = \frac{INV + \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_{fv}}{(1+i)^t}} \quad (11)$$

onde:

INV = Investimento inicial

C_t = Custos do SFV no período t

E_{fv} = Energia gerada pelo SFV em kWh;

t = índice do período de tempo;

T = Período final;

i = taxa de juros em %.

No processo de decisão, um LCOE menor do que o valor da tarifa indica uma posição favorável ao investimento. A Tabela 1 apresenta um quadro resumo dos critérios de decisão a serem utilizados.

Tabela 1 - Indicadores Econômicos e Critérios de Aceitação (CASSAROTTO *et al*, 1994 adaptado)

Indicador	Situação	Critério
VPL	$VPL > 0$	Projeto será aceito
	$VPL = 0$	Projeto poderá ser aceito
	$VPL < 0$	Projeto não será aceito
TIR	$TIR > TMA$	Projeto poderá ser aceito
	$TIR \leq TMA$	Projeto será rejeitado
Payback Descontado	$PD \leq$ Vida útil do Projeto	Projeto poderá ser aceito
	$PD >$ Vida útil do Projeto	Projeto será rejeitado
IL	$IL > 1$	Projeto será aceito
LCOE	$LCOE <$ Tarifa de Energia	Projeto será aceito

2.5

3 METODOLOGIA

O presente estudo é uma pesquisa aplicada no contexto atual energético, mais especificamente voltado para a energia solar fotovoltaica e os desafios encontrados nessa área, buscando analisar modelos de negócios, alternativas e práticas que possam melhorar o cenário em relação a implementação dessa tecnologia que é composta por um elevado custo inicial e por um longo período de *payback*.

A Figura 13 apresenta o fluxograma da metodologia da pesquisa utilizada.

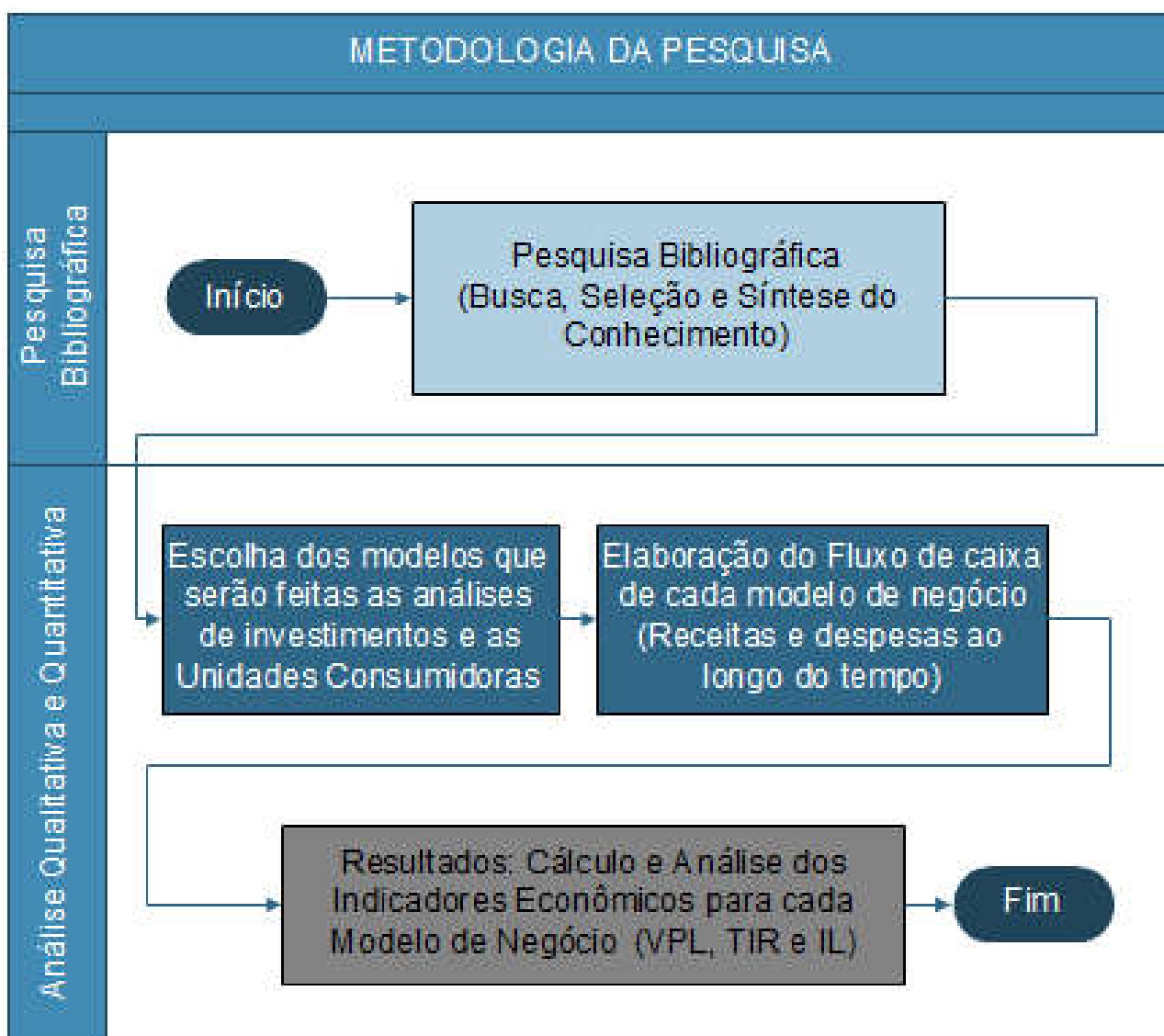


Figura 13 - Fluxograma da metodologia de pesquisa

A coleta dos dados e informações inicial foi realizada através da busca por uma produção literária relevante de artigos científicos, periódicos e livros disponibili-

zados através da internet, que foram selecionados através de buscas direcionadas em função de palavras-chave relacionadas com o tema, buscando os estudos mais recentes e importantes na área, a fim de se obter uma boa síntese do conhecimento e formatar a base teórica para o desenvolvimento da pesquisa.

Posteriormente foram escolhidos os modelos de negócios a serem realizadas nossas análises financeiras bem como a escolha das unidades consumidoras a serem utilizadas nos estudos de casos. Maiores informações serão apontadas nas seções 3.1 e 3.2 a seguir.

A seguir foram elaborados os fluxos de caixa das unidades consumidoras para os modelos selecionados. Equações e critérios técnicos foram utilizados para a estimativa das receitas e despesas integrantes dos fluxos de caixa.

Por último, tendo como referência os fluxos de caixa supracitados, os indicadores econômicos propostos no item 2.4, os resultados foram obtidos.

A seguir serão descritas as etapas relacionadas às análises qualitativa e quantitativa.

3.1 Escolha dos modelos de negócios

Dentre todos os modelos de negócios vistos na revisão bibliográfica, para este trabalho, foram escolhidos três para a análise, a saber, Aquisição, Aluguel (terceira parte) e Geração Compartilhada.

Os modelos acima foram escolhidos por representarem a maior gama de consumidores que temos conectados à rede no Brasil bem como aqueles que são permitidos pela ANEEL.

3.2 Escolha das unidades consumidoras

A escolha das unidades consumidoras foi realizada conforme a amostra por conveniência, onde os indivíduos para aplicação da metodologia estão prontamente acessíveis. Além da conveniência, foi utilizado o critério de representatividade. Nesse sentido, foram escolhidas duas unidades consumidoras para a realização das análises de investimentos dos modelos de Aquisição e Aluguel, uma do Sub-grupo B1 e outra do B3.

Segundo Resolução Normativa nº 414 (ANEEL, 2010) o agrupamento de unidades consumidoras, para questões tarifárias, é realizado por dois grupos, A e B, e outros diversos sub-grupos. O Grupo B é o grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômnia.

A representatividade deste grupo quanto à quantidade de Sistemas Fotovoltaicos instalados CELG-D (atual Enel Distribuição Goiás) é de 95%. Este grupo é subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo B1 – residencial;
- b) subgrupo B2 – rural;
- c) subgrupo B3 – demais classes; e,
- d) subgrupo B4 – Iluminação Pública

Conforme os dados da ANEEL (2020), a CELG-D, atual Enel Distribuição Goiás, possui 9.517 (nove mil quinhentas e dezessete) instalações de Geração Distribuída tendo como fonte de geração de energia solar no Subgrupo B.

Deste total, o sub-grupo residencial (B1) possui representatividade de 75% e o sub-grupo “demais classes” (B3), onde estão classificados a maioria dos empreendimentos comerciais, representa 19%, ou seja, somando-se B1 com B3 temos 94% de representatividade. Vejam os dados gerais na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 - Quantidade de SFV no Grupo B – Enel Distribuição Goiás

Subgrupo	Qtde de SFV	Representatividade (%)
B1	9.150	75%
B2	693	6%
B3	2.286	19%
Grupo B	12.129	100%

Fonte: Adaptado de Aneel (2020)

Foram escolhidas duas unidades consumidoras (UC), uma residencial bi-fásica (grupo B1) e outra comercial trifásica (grupo B3) localizadas na cidade de Goiânia-GO para a análise financeira do modelo de aquisição. O consumo de energia médio mensal na residência é de 230 kWh e no consumidor comercial é de 630 kWh.

Na escolha das unidades consumidoras para a Geração Compartilhada, usamos os perfis existentes na ferramenta *web*, Simulador de Cooperativas.

A Organização Brasileira de Cooperativas em parceria com a *Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) com o suporte do Instituto IDEAL, lançou um guia (*ebook*) para espalhar o conhecimento sobre cooperativas de energia solar no Brasil. Paralelamente com o lançamento do guia, a ideia de criar uma ferramenta *web* tomou forma (SHNEIDER, 2019).

A ferramenta é o Simulador de Cooperativa da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e do Instituto IDEAL. Foram escolhidas unidades consumidoras do Subgrupo B1, pois as cooperativas são, em sua maioria, constituídas por pessoas físicas, mas também foram considerados três níveis de consumo para uma melhor representação heterogênea de uma cooperativa. Na tabela 3 foram definidos os quantitativos e os perfis dos cooperados conforme opções disponíveis.

Tabela 3 - Perfis de Consumidores (Elaboração própria)

Qtde de Ucs	Consumo Médio	Características	Código Consumidor
5	150 kWh	Casal consumo médio	C1
10	300 kWh	Família Consumo Baixo	C2
5	500 kWh	Família Consumo Alto	C3

3.3 Dimensionamento dos Sistemas Fotovoltaicos

A seguir estão apresentadas as metodologias de dimensionamento e definição do investimento inicial para cada um dos estudos de casos.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico para o modelo de aquisição e para o modelo de aluguel foi realizado pela empresa Movimento Solar, localizada em Goiânia-GO. Os valores do investimento inicial e dos outros parâmetros necessários para o estudo de caso estão listados na Tabela 4 e serão discutidos a seguir.

Tabela 4 - Dados de SFV - (Fonte: Elaboração própria)

Parâmetros	Valores
Potência SFV (B1)	1,83 kWp
Potência SFV (B3)	5,37 kWp
Irradiância média anual para Goiânia-GO	5,45 hsp
Variabilidade Interanual	1,0%
Queda anual de Rendimento Performance	0,70%
Nº de Trocas dos Inversores	1
Performance Ratio	70%
Custos anuais de O&M	0,93% do Investimento inicial
Preço da Tarifa de Energia	0,87 R\$/kWh
Reajuste anual da tarifa de energia	5,31 % a.a.
Custo do SFV (B1)	R\$ 11.312,51
Custo do SFV (B3)	R\$ 29.613,22
Custo percentual do inversor	20% do investimento inicial
Inflação Média ao ano	5,85% a.a.
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	10% a.a.

As informações da irradiação solar diária média anual, obtida por meio do software SunData v3.0 do Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), centro de referência mantido pelo MME – Ministério de Minas e Energia. O CRESESB é sediado no CEPEL e tem como objetivo principal divulgar e fomentar o desenvolvimento das energias solar e eólica no Brasil.

Os valores para ambos os sistemas estão de acordo com o Estudo Estratégico - Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída da Greener (2020). Segundo o estudo os preços finais para o cliente final de sistemas fotovoltaicos de 2kWp e 4kWp são, em média, para o ano de 2019, R\$ 6,20/Wp e R\$ 5,10/Wp. Para o consumidor B1 o orçamento está em total sintonia com os dados médios da Greener, observando apenas uma diferença de 0,2%. Em contrapartida para o consumidor do tipo B3 a diferença foi de 7,52%. Essa diferença é aceitável, uma vez que a empresa não forneceu informações para sistemas de 5 kWp neste ano, e, aproximações foram necessárias.

Os dados da Figura 14 mostram a irradiação solar diária média mensal (kWh/m².dia ou hsp/dia) para todos os meses do ano, a partir de janeiro para a cidade de Goiânia-GO.

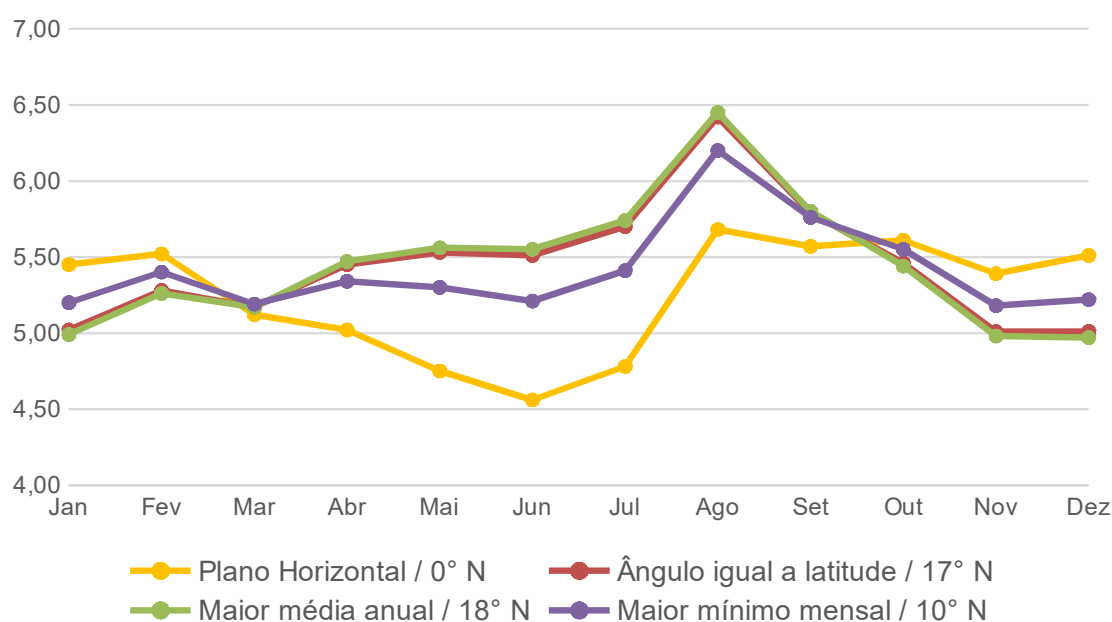


Figura 14 - Irradiância Anual Goiânia-GO

Fonte: Adaptado de CRESESB (2019).

Os valores médios de cada mês para os ângulos de 0°, 10°, 17° e 18° de inclinação do SFV são mostrados na Tabela 5. Para os cálculos foi considerado o valor de 5,45 kWh/m².dia, uma vez que o ângulo é igual a latitude, a saber 17° face para o N, onde se obtêm o melhor aproveitamento do sol ao longo do ano.

Tabela 5 - Irradiação Solar Diária Mensal (kWh/m².dia) (Fonte: Cresesb, (2019))

Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
Ângulo / In-clinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Hori-zontal / 0° N	5,45	5,52	5,12	5,02	4,75	4,56	4,78	5,68	5,57	5,61	5,39	5,51	5,25
Ângulo igual a latitude / 17° N	5,02	5,28	5,17	5,45	5,53	5,51	5,70	6,42	5,79	5,46	5,01	5,01	5,45
Maior média anual / 18° N	4,99	5,26	5,17	5,47	5,56	5,55	5,74	6,45	5,80	5,44	4,98	4,97	5,45
Maior mínimo mensal / 10° N	5,20	5,40	5,19	5,34	5,30	5,21	5,41	6,20	5,76	5,55	5,18	5,22	5,41

A variabilidade interanual está relacionada às variações que a irradiância média pode sofrer ao longo dos anos por interferências como fenômenos naturais e a intervenção humana. Oliveira (2017) cita que a radiação solar está sujeita a ciclos decenais e outras tendências de longo prazo, mas estas variações são pequenas. Elas situam-se em torno de 0,05 kWh / m².dia / década (em Goiânia-GO, isto representa aproximadamente 1% com relação a irradiação média).

Barros (2014) considera 10 anos de vida útil para os inversores, Drury *et al.*, (2014), modela a vida útil do inversor de acordo com uma distribuição normal com desvio padrão de 3 anos e média entre 5 a 20 anos. Neste trabalho considerou-se a vida útil do inversor em 15 anos.

O valor unitário do inversor é aproximadamente 24% do investimento inicial, conforme Ferreira *et al.* (2018). Para Diniz (2017) o valor é próximo dos 20%, o que se confirma pelos orçamentos recebidos da Movimento Solar. Ainda segundo o autor o valor dos custos com Operação e Manutenção do sistema é de 0,93% do valor do investimento inicial.

Além da troca do inversor foi considerada uma taxa de degradação dos módulos fotovoltaicos de 0,7%. Drury *et al.* (2014) utiliza dados históricos de degradação para módulos de silício cristalino e conclui que o parâmetro de envelhecimento varia em média de 0,5% a 0,7%.

Conforme aponta Elamim *et al.*, (2019), o *performance ratio* (PR) pode variar dependendo da tecnologia aplicada aos módulos fotovoltaicos, devido às condições climáticas (tempo de sol pleno) e também condições de manutenção periódica, segundo os autores o valor do PR pode ser estimado em, no máximo, 82%. Para Neto (2018) os valores medidos em experimento no Centro-Oeste brasileiro mostram uma variação de 72,2% a 79,6%, dependendo das condições do experimento. Diniz (2017) fez uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto e, após a análise de sete autores, o PR médio encontrada foi de 69,74% com desvio padrão de 2,49%. Nesta dissertação será utilizado o valor de 70% para o PR, numa perspectiva mais conservadora do tema.

Na Tabela 6 estão listados os valores do ICMS, do PIS e da COFINS para um período de 12 meses. Esses tributos incidem sobre o valor da quantidade de kWh consumido no mês. Ao final da tabela estão as médias para cada tributo, valores que foram utilizados nos estudos

Tabela 6 - Valores históricos de PIS e COFINS (Fonte: ENEL Distribuição Goiás, Regulação)

Mês	PIS (%) B1 e B3	COFINS (%) B1 e B3
mai/18	1,3654%	6,2889%
jun/18	1,1269%	5,1904%
jul/18	0,8160%	3,7593%
ago/18	1,2182%	5,6111%
set/18	1,0659%	4,9097%
out/18	1,0139%	4,6703%
nov/18	0,9561%	4,4037%
dez/18	0,9609%	4,4262%
jan/19	1,1856%	5,4608%
fev/19	1,2872%	5,9287%
mar/19	1,2392%	5,7078%
abr/19	0,8582%	3,9528%
Média 12 Meses	1,0911%	5,0258%

Percebe-se que tanto para o cliente B1 quanto para o B3 os valores do PIS, da COFINS, do ICMS e das tarifas (TUSD e TE) são idênticas. Não há que se falar em diferenças tarifárias para os tipos de clientes selecionados.

Segundo a Resolução Homologatória nº 2.470, de 16 de outubro de 2018, da ANEEL (ANEEL, 2018), as tarifas (R\$/kWh) aplicáveis à Enel Distribuição Goiás deverão ser conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Tarifas B1 e B3 no Estado de Goiás 2019 - (Fonte: Elaboração própria)

Composição das Tarifas B1 e B3	
Variáveis	Valores
TUSD	0,2669 R\$ / kWh
TE	0,2947 R\$ / kWh
Tarifa Homologada	0,5617 R\$ / kWh
ICMS	29,00%
PIS*	1,0911%
COFINS*	5,0258%
Tarifa B1 e B3	0,87 R\$ / kWh

* Valores obtidos da Tabela 6.

Um importante parâmetro a ser considerado é a taxa de aumento médio desta tarifa, uma vez que nos estudos de viabilidade faz-se uma projeção futura do investimento e a tarifa de energia irá variar ao longo do tempo.

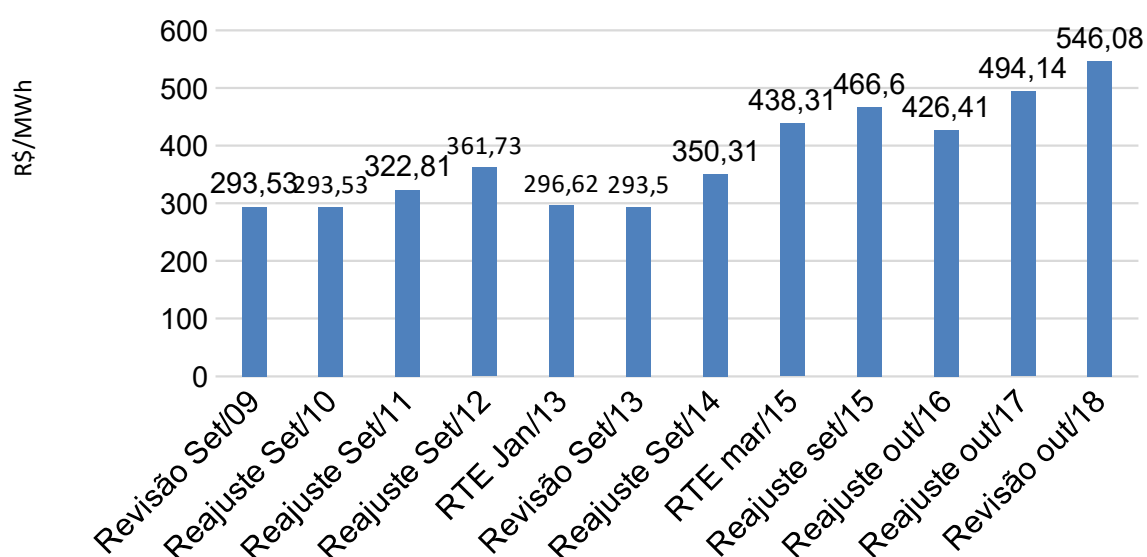


Figura 15 - Evolução da tarifa B1 e B3 - Enel Distribuição Goiás nos últimos 10 anos em R\$/MWh

Fonte: Setor Regulação Enel Goiás.

Segundo Diniz, (2017) o reajuste médio da tarifa anual no Brasil foi de 7% ao ano, para os anos entre 2012 a 2017, porém o aumento médio da tarifa da CELG D, hoje a Enel Distribuição Goiás, foi de 8,6%, portanto, acima da média considerada pelo autor supracitado, conforme mostrado na Figura 15.

A Enel Distribuição Goiás, segundo o setor de Licitações e Contratos, utiliza uma TMA para projetos internos de 10%. Para Diniz (2017) a TMA para projetos envolvendo Sistemas Fotovoltaico é de aproximadamente 9,56% com desvio padrão de 1,05%. Nesse sentido, este trabalho utilizará o valor de 10% nos cálculos de viabilidade

Conforme mostrado por Oliveira (2017), os valores da receita do aluguel recebidos pelo proprietário do SPV, neste modelo, podem variar de 70% a 90% da economia (R\$) gerada durante a vigência do contrato. Foi utilizado o valor fixo médio de 80% nos estudos de caso.

Para o modelo de Geração Compartilhada é preciso analisar a lei n 5.764/71 (BRASIL, 1971), segunda a qual uma cooperativa é constituída pelo número mínimo de 20 pessoas físicas, excepcionalmente permitida a admissão de pessoas jurídicas que tenham por objetivo iguais ou correlatas atividades econômicas das pessoas físicas ou, ainda, aquelas sem fins lucrativos.

Foi escolhida a ferramenta *web* desenvolvido pela equipe da pesquisadora Kathlen Shneider (2019), do Grupo Fotovoltaica-Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e o Instituto IDEAL para nos dar as informações iniciais quanto aos custos do projeto, área necessária para a instalação da usina, custos de O&M entre outros.

O fluxo de entradas do Simulador de Cooperativas pode ser visto na Figura 16.

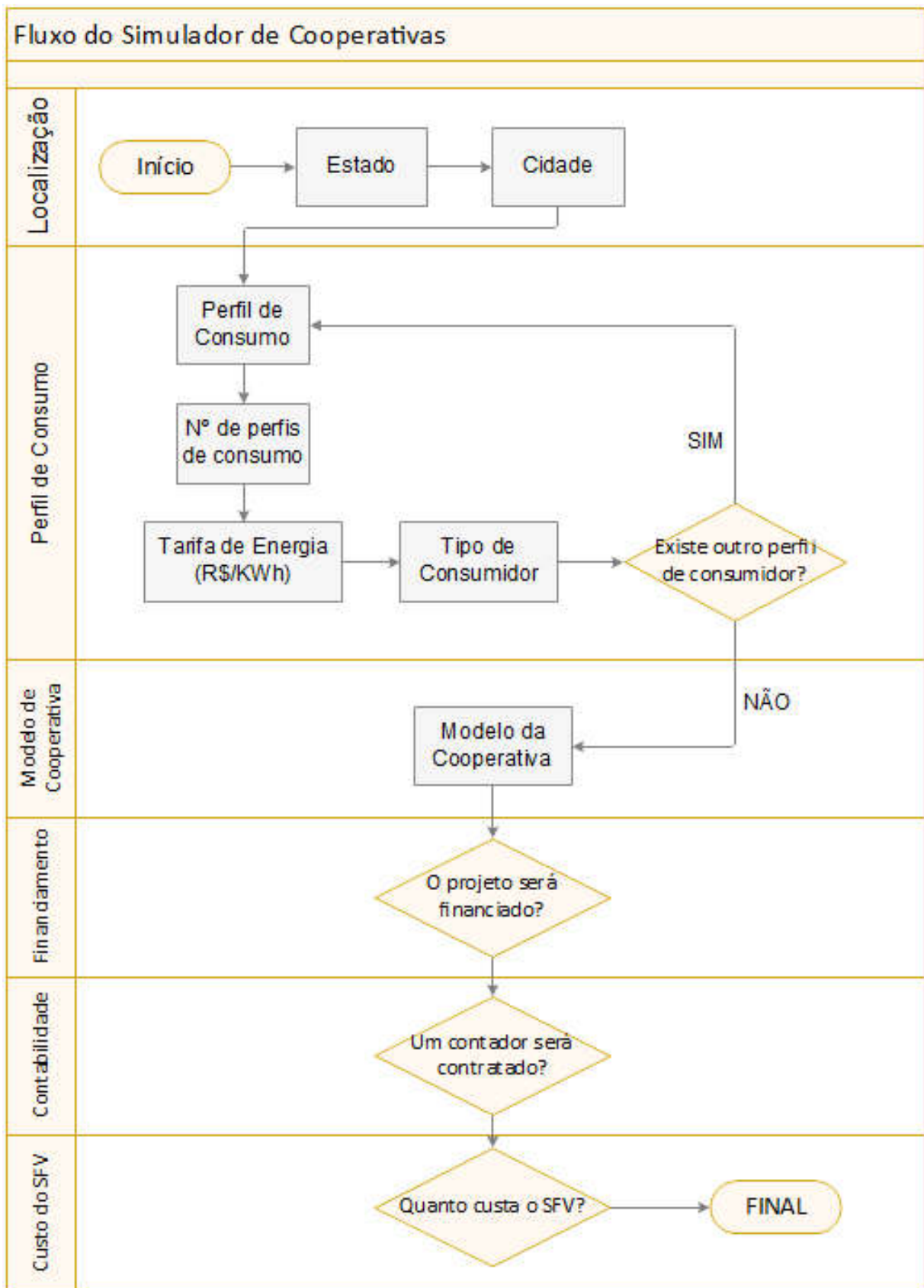


Figura 16 - Fluxo de Entradas do Simulador de Cooperativas

Fonte: Adaptado de Shneider (2019)

Os dados de entrada foram os seguintes:

- Estado: Goiás.
- Cidade: Goiânia.
- Perfil, nº de perfis de consumo e tipo de consumidores: Conforme item 3.2.
Tarifa de Energia: R\$ 0,87 / kWh, conforme Tabela 6.
- Modelo da Cooperativa: Aquisição de Terreno Próprio.
- Financiamento: Não será financiado.
- Contabilidade: Não será contratado nenhum contador.
- Custo do SFV: Utilização da base de dados do Instituto ideal para o cálculo.

4 RESULTADOS

Os resultados abaixo apresentados possuem caráter específico e como referência os dados apresentados neste trabalho.

4.1 MODELO DE AQUISIÇÃO

Abaixo, nas Figuras 17 e 18, estão representados os fluxos de caixa dos projetos B1 e B3, respectivamente. Nas Tabelas 8 e 9 estão listados todas as receitas e as despesas ao longo de toda a vida útil dos projetos (25 anos).

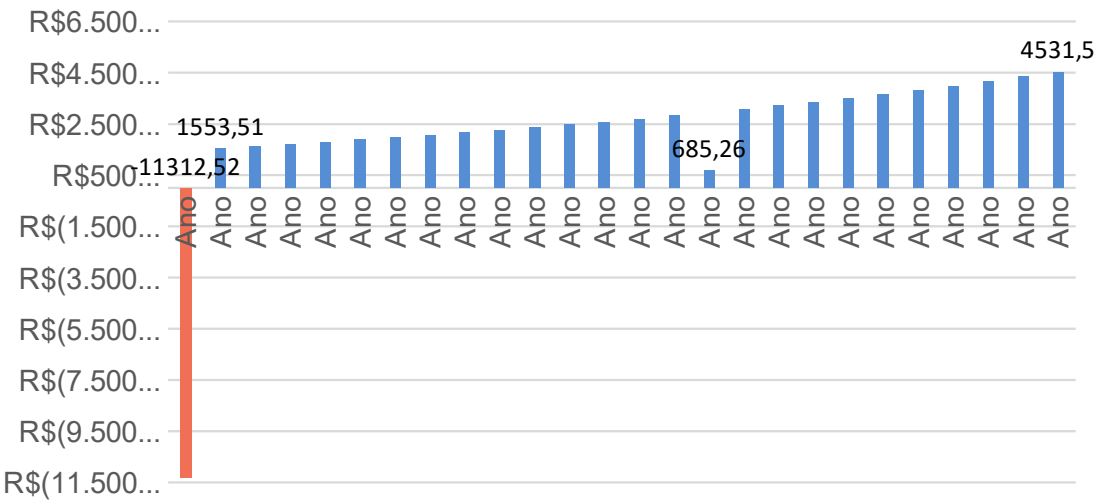


Figura 17 - Fluxo de caixa (B1)

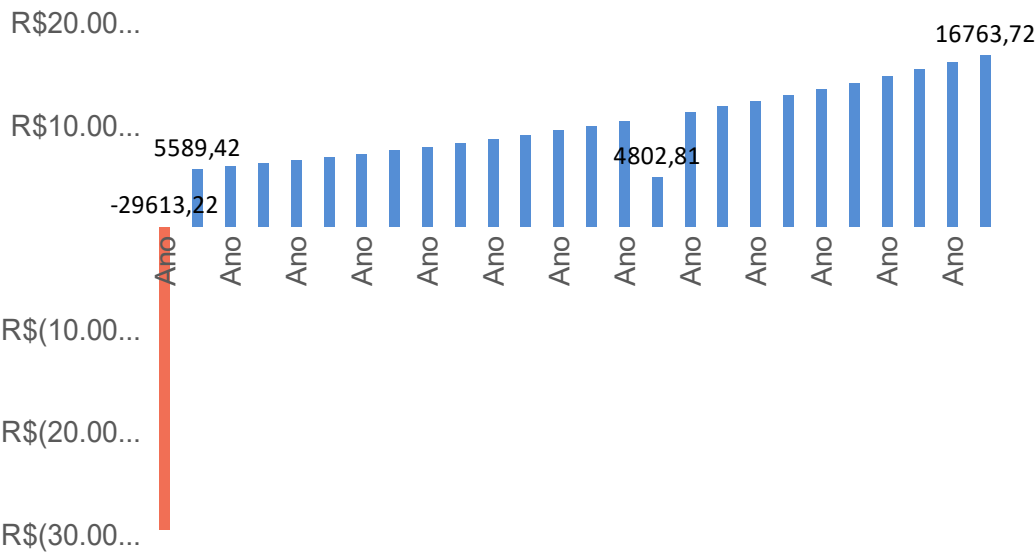


Figura 18 - Fluxo de Caixa (B3).

Conforme esperado há um grande deságio no ano zero do empreendimento, e uma maior descapitalização no ano 15, onde há a troca do inversor. Porém o fluxo de caixa segue positivo e aumentando constantemente.

Tabela 8 - Valores de Receitas e Despesas ao longo do tempo para B1 (Fonte: Elaboração própria)

Ano	Receitas (R\$)	Despesas (R\$)	Fluxo de Caixa B1 (R\$)
0		11.312,52	-11.312,52
1	2.169,20	615,69	1.553,51
2	2.268,38	637,32	1.631,05
3	2.372,09	660,75	1.711,34
4	2.480,55	686,03	1.794,52
5	2.593,96	713,23	1.880,73
6	2.712,57	742,41	1.970,15
7	2.836,59	773,65	2.062,94
8	2.966,28	807,03	2.159,26
9	3.101,91	842,63	2.259,28
10	3.243,73	880,54	2.363,19
11	3.392,04	920,87	2.471,18
12	3.547,13	963,71	2.583,42
13	3.709,32	1.009,18	2.700,13
14	3.878,91	1.057,40	2.821,51
15	4.056,26	3.371,00	685,26
16	4.241,72	1.162,60	3.079,13
17	4.435,66	1.219,85	3.215,81
18	4.638,47	1.280,41	3.358,07
19	4.850,55	1.344,42	3.506,13
20	5.072,33	1.412,07	3.660,26
21	5.304,25	1.483,53	3.820,72
22	5.546,77	1.558,98	3.987,78
23	5.800,38	1.638,64	4.161,73
24	6.065,58	1.722,71	4.342,87
25	6.342,91	1.811,41	4.531,50

Tabela 9 - Valores de Receitas e Despesas ao longo do tempo para B3 (Fonte: Elaboração própria)

Ano	Receitas (R\$)	Despesas (R\$)	Fluxo de Caixa B3 (R\$)
0		29.613,22	-29.613,22
1	6.365,35	775,92	5.589,42
2	6.656,39	788,18	5.868,21
3	6.960,73	802,77	6.157,95
4	7.278,99	819,74	6.459,25
5	7.611,80	839,11	6.772,69
6	7.959,82	860,92	7.098,90
7	8.323,76	885,23	7.438,54
8	8.704,34	912,07	7.792,27
9	9.102,32	941,52	8.160,80
10	9.518,50	973,65	8.544,85
11	9.953,70	1.008,52	8.945,18
12	10.408,80	1.046,23	9.362,57
13	10.884,71	1.086,88	9.797,84
14	11.382,38	1.130,55	10.251,84
15	11.902,81	7.100,00	4.802,81
16	12.447,03	1.227,43	11.219,60
17	13.016,13	1.280,89	11.735,24
18	13.611,25	1.337,87	12.273,38
19	14.233,59	1.398,52	12.835,07
20	14.884,38	1.463,00	13.421,37
21	15.564,92	1.531,48	14.033,44
22	16.276,58	1.604,13	14.672,45
23	17.020,77	1.681,14	15.339,63
24	17.799,00	1.762,72	16.036,27
25	18.612,80	1.849,08	16.763,72

A Tabela 10 sintetiza os resultados encontrados conforme os critérios de viabilidade econômica propostos para o caso do modelo de negócios de Aquisição, para os estudos de caso (B1 e B3) e a tomada de decisão quanto à viabilidade econômica do investimento.

Vale ressaltar que o PD encontrado para o sistema da UC B3 está em sintonia com os dados da Greener (2019), uma vez que o referencial é de 4,9 anos para sistemas de 5 kWp, com investimento inicial de 25,5 mil reais. O resultado foi de 5,7 anos no estudo de caso para o sistema com 5,37 kWp, com investimento inicial em 29,6 mil reais. Para projetos menores que 4 kWp, como o caso do projeto da UC B1, não são feitas considerações pela Greener (2019).

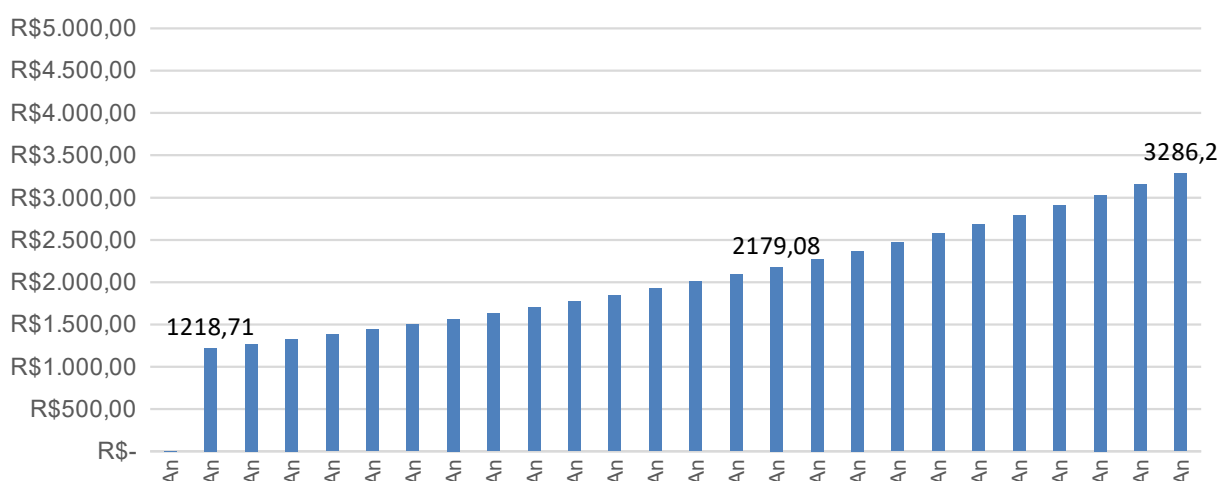
Tabela 10 - Resultados da Análise de Investimentos B1 e B3 (Fonte: Elaboração própria)

Indicadores	UC B1	UC B3	Tomada de Decisão
VPL (R\$)	8.910,48	44.233,98	Projeto Aceito
TIR (% a.a.)	17%	23%	Projeto Aceito
IL	1,8	3,9	Projeto Aceito
PD (anos)	9,8	5,7	Projeto Aceito
LCOE (R\$ / kWh)	0,51	0,21	Projeto Aceito

Conforme Tabela 10, os projetos analisados poderão ser executados com uma margem de segurança razoável, uma vez que todos indicadores foram favoráveis à aceitação dos projetos, pois em ambos os casos:

- i) o VPL foi positivo;
- ii) a TIR maior que a TMA (10%);
- iii) o IL maior que zero;
- iv) o PD menor que a vida útil dos projetos (25 anos) e,
- v) o LCOE menor que as tarifas atuais praticadas (R\$ 0,87/kWh).

4.2 MODELO DE ALUGUEL



Abaixo, nas Figuras 19 e 20 estão representados os fluxos de caixa dos projetos B1 e B3, respectivamente. Nas Tabelas 11 e 12 são apresentados os fluxos de caixa completos para esse modelo ao longo de toda a vida útil dos projetos (25 anos).

Figura 19 - Fluxo de Caixa (B1) – Aluguel

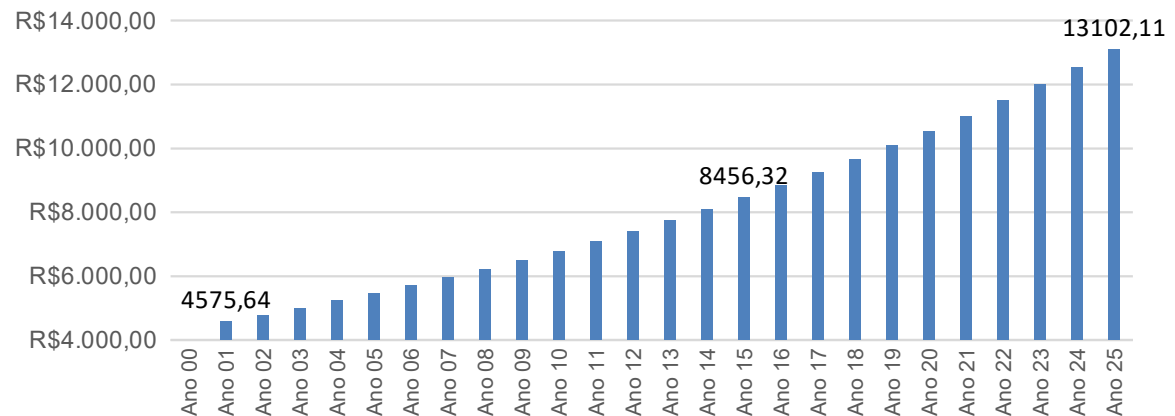


Figura 20 - Fluxo de Caixa (B3) - Aluguel

Tabela 11 - Valores de Receitas e Despesas ao longo do tempo para B1

Ano	Receitas (R\$)	Despesas (R\$)	Resultado B1 (R\$)
0		-	-
1	2.169,20	950,48	1.218,71
2	2.268,38	997,75	1.270,63
3	2.372,09	1.047,38	1.324,71
4	2.480,55	1.099,49	1.381,06
5	2.593,96	1.154,21	1.439,75
6	2.712,57	1.211,67	1.500,90
7	2.836,59	1.272,00	1.564,59
8	2.966,28	1.335,35	1.630,93
9	3.101,91	1.401,88	1.700,03
10	3.243,73	1.471,74	1.772,00
11	3.392,04	1.545,09	1.846,95
12	3.547,13	1.622,13	1.925,01
13	3.709,32	1.703,02	2.006,29
14	3.878,91	1.787,97	2.090,94
15	4.056,26	1.877,18	2.179,08
16	4.241,72	1.970,87	2.270,86
17	4.435,66	2.069,26	2.366,41
18	4.638,47	2.172,58	2.465,89
19	4.850,55	2.281,09	2.569,46
20	5.072,33	2.395,05	2.677,28
21	5.304,25	2.514,74	2.789,51
22	5.546,77	2.640,43	2.906,33
23	5.800,38	2.772,45	3.027,93

24	6.065,58	2.911,09	3.154,49
25	6.342,91	3.056,71	3.286,20

Tabela 12 - Valores de Receitas e Despesas ao longo do tempo para B3 (Fonte: Elaboração própria)

Ano	Receitas (R\$)	Despesas (R\$)	Resultado B3 (R\$)
0		-	-
1	6.365,35	1.789,71	4.575,64
2	6.656,39	1.875,35	4.781,03
3	6.960,73	1.965,11	4.995,62
4	7.278,99	2.059,18	5.219,81
5	7.611,80	2.157,78	5.454,02
6	7.959,82	2.261,12	5.698,70
7	8.323,76	2.369,43	5.954,33
8	8.704,34	2.482,96	6.221,38
9	9.102,32	2.601,96	6.500,36
10	9.518,50	2.726,69	6.791,81
11	9.953,70	2.857,42	7.096,28
12	10.408,80	2.994,46	7.414,34
13	10.884,71	3.138,10	7.746,61
14	11.382,38	3.288,67	8.093,72
15	11.902,81	3.446,49	8.456,32
16	12.447,03	3.611,93	8.835,10
17	13.016,13	3.785,35	9.230,78
18	13.611,25	3.967,14	9.644,12
19	14.233,59	4.157,70	10.075,89
20	14.884,38	4.357,46	10.526,91
21	15.564,92	4.566,87	10.998,05
22	16.276,58	4.786,39	11.490,18
23	17.020,77	5.016,52	12.004,25
24	17.799,00	5.257,78	12.541,22
25	18.612,80	5.510,69	13.102,11

Tendo em vista que neste modelo de negócio não há um investimento inicial, uma vez que a empresa que instala o SFV é também a empresa que loca o equipamento e realiza os serviços de Operação e Manutenção, os critérios de TIR, IL e Payback Descontado não se aplicam, pois todos dependem de um investimento inicial para as suas determinações. Ademais, não há custos quanto a troca do inversor para o usuário final, uma vez que é responsabilidade da proprietária do SFV. A tabela 13 mostra os resultados para o modelo de aluguel.

Tabela 13 – Resultados da Análise de Investimentos – Aluguel (Fonte: Elaboração própria)

Indicadores	UC B1	UC B3	Decisão
VPL (R\$)	R\$ 15.639,47	R\$ 60.031,82	Projeto Aceito
TIR (% a.a.)	-	-	Não se Aplica
IL	-	-	Não se Aplica
PD (anos)	-	-	Não se Aplica
LCOE (R\$ / / kWh)	0,78	0,49	Projeto Aceito

No modelo de aluguel, notamos que, para as duas unidades consumidoras B1 e B3, os indicadores apontaram aceitabilidade do negócio. Para B3, os indicadores apontam para um retorno positivo do investimento com uma boa margem.

Outro ponto é que este modelo, se tornou mais viável que o modelo de aquisição, uma vez que ambos os VPLs foram maiores que os do outro modelo. Conforme ressaltado nas características do modelo, para os consumidores que não possuem capital inicial, o modelo de aluguel pode ser uma boa opção de investimento.

- i) o VPL foi positivo;
- ii) o LCOE menor que as tarifas atuais praticadas (R\$ 0,87/kWh).

4.3 MODELO DE GERAÇÃO COMPARTILHADA

Os resultados obtidos do Simulador de Cooperativas podem ser divididos pelas cotas de cada cooperado. Apesar de que os custos de instalação da usina geradora serem compartilhados com todos os usuários do SFCR, existe o investimento da compra do terreno para a construção do projeto. A Tabela 14 apresenta as características do Sistema de Geração Compartilhada utilizadas na simulação.

Os resultados das unidades consumidoras C1 e C2 não foram favoráveis, considerando o LCOE acima do valor da tarifa de energia (0,87), outra desvantagem para os consumidores C1 e C2 são os valores de TIR muito próximos à TMA (10%). Nesse sentido a viabilidade para todos os indicadores se deu apenas para o perfil de família com alto consumo, C3.

Tabela 14 - Características do Sistema de Geração Compartilhada

Nº	Tipo	Consumo Médio (kWh)	Cota (%)	Potência UC (kW)	Valor do Investimento (R\$)
1	Bifásico	150	2,33	0,86	5.450,38
2	Bifásico	150	2,33	0,86	5.450,38
3	Bifásico	150	2,33	0,86	5.450,38
4	Bifásico	150	2,33	0,86	5.450,38
5	Bifásico	150	2,33	0,86	5.450,38
6	Trifásico	300	4,65	1,72	10.900,75
7	Trifásico	300	4,65	1,72	10.900,75
8	Trifásico	300	4,65	1,72	10.900,75
9	Trifásico	300	4,65	1,72	10.900,75
10	Trifásico	300	4,65	1,72	10.900,75
11	Trifásico	300	4,65	1,72	10.900,75
12	Trifásico	300	4,65	1,72	10.900,75
13	Trifásico	300	4,65	1,72	10.900,75
14	Trifásico	300	4,65	1,72	10.900,75
15	Trifásico	500	7,75	2,87	18.167,92
16	Trifásico	500	7,75	2,87	18.167,92
17	Trifásico	500	7,75	2,87	18.167,92
18	Trifásico	500	7,75	2,87	18.167,92
19	Trifásico	500	7,75	2,87	18.167,92
20	Trifásico	500	7,75	2,87	18.167,92

A Tabela 15 sintetiza os resultados encontrados para os critérios de viabilidade econômica para o caso do modelo de negócios para Geração Compartilhada, para os perfis de consumidores definidos.

Tabela 15 - Resultados da Análise de Investimentos – Geração Compartilhada

Indicadores	Casal - C1	Família com baixo consumo energético (C2)	Família com alto consumo energético (C3)	Tomada de Decisão
VPL (R\$)	R\$ 1.159,62	R\$ 4.784,30	R\$ 52.714,36	Projetos Aceitos
TIR (% a.a.)	10,46%	10,48%	15,63%	Projetos Aceitos
IL	1,00	1,04	1,58	Projetos Aceitos
PD (anos)	10,23	10,24	8,91	Projetos Aceitos
LCOE (R\$ / kWh)	1,20	1,00	0,62	Viável para C3

Conforme Tabela 15, somente o projeto de C3 se mostrou viável em todos os indicadores.

- vi) o VPL foi positivo para os três tipos de UC;
- vii) a TIR consideravelmente maior que a TMA (10%) somente em C3;
- viii) o IL consideravelmente maior que zero somente em C2 e C3;
- ix) o *Payback* Descontado menor que a vida útil dos projetos (25 anos) e,
- x) o LCOE menor que as tarifas atuais praticadas (R\$ 0,87/kWh) apenas em C3.

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

A pressão internacional para a utilização de fontes de energia renováveis e a diminuição dos custos de materiais e de produção de energia elétrica por meio destas fontes contribuiu para que a geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos aumentasse consideravelmente nos últimos anos. A criação de leis e regulamentos por governos ao redor do mundo, inclusive o Brasil com a REN 482/2012 e suas revisões, sua capacidade de estar perto das unidades consumidoras e seus modelos de negócios disruptivos confirmaram a preferência mundial.

Outro fator importante a ressaltar é a rápida evolução das tecnologias de geração fotovoltaica e a rápida redução dos custos de fabricação e distribuição dos principais equipamentos necessários para a instalação de um sistema de geração de energia fotovoltaica.

O Brasil ainda está na Geração Zero no que se refere a esse modelo de geração de energia, uma vez que o principal modelo de negócio existente e aplicado é aquele em que o consumidor (usuário final) é proprietário e financia o sistema, além de gerenciar a maioria dos aspectos relacionados à instalação. Ademais as Distribuidoras possuem um papel discreto e reativo em relação ao incentivo da geração distribuída com sistemas fotovoltaicos (BARROS, 2014).

Nesse sentido este trabalho agrega no conhecimento de estudos de caso para os principais modelos de negócios para geração de energia fotovoltaica permitidos no Brasil com aplicações em estudos de caso no estado de Goiás.

Nota-se que no modelo de aquisição o fluxo de caixa ficou semelhante ao esperado com uma grande descapitalização inicial e, posteriormente receitas maiores que despesas ao longo de todo o período. Ambas as unidades consumidoras (B1 e B3) tiveram indicadores econômicos favoráveis ao investimento no sistema fotovoltaico.

Considerando o modelo de aluguel, os resultados também apontam para uma decisão favorável para a aceitação do projeto. A grande vantagem deste modelo é que não há investimentos iniciais, uma vez que a empresa que aluga os equipamentos também é a mesma que instala e oferece manutenções periódicas no SFCR. Neste modelo não foi possível utilizar alguns dos indicadores econômicos justamente porque não houve um aporte inicial para aquisição ou instalação SFCR.

Quanto ao modelo de Geração Compartilhada, uma vez que foi utilizada uma simulação para a obtenção dos dados, não será possível uma comparação direta com as unidades consumidoras B1 e B3, porém algumas aproximações poder ser realizadas, como por exemplo, a UC B1 pode se relacionar com a C2 do modelo compartilhado pela potência do SFCR (diferença menor que 7%). Uma vez que a UC B3 é comercial e o modelo de Geração Compartilhada utilizado é composto apenas por pessoas físicas/residenciais, não há que se comentar C3.

Para a Família Consumo Baixo - C2 o projeto se mostrou viável pelos indicadores, exceto para o LCOE. Ademais o valor da TIR está muito próximo à TMA, indicando uma questionável tendência de aceitação. Portanto o Modelo de aquisição é mais viável pois possui todos os critérios positivos para a aceitação do projeto. A mesma tendência pode ser verificada para a C2, porém com um LCOE ainda pior, portanto, pequenas unidades consumidoras, precisam de ter cautela na utilização deste modelo. Considerando a C3, o projeto pode ser aceito por todos os indicadores.

Este trabalho apresentou para três modelos de negócios uma análise de viabilidade econômica e, para a maioria das configurações apresentadas, os projetos foram viáveis. Uma constante foi observada: quanto maior o sistema, menor o *Pay-back* Descontado e maior o VPL. Nesse ponto, sistemas maiores tendem a ser, em qualquer modelo, mais lucrativos ao longo do tempo.

O aprimoramento da tecnologia, a facilidade de importação ou ainda o início da fabricação de módulos fotovoltaicos no Brasil estão reduzindo constantemente os custos iniciais da instalação do SFCR no país; portanto, os casos aqui apresenta-

dos, em relação à pequena geração fotovoltaica, uma vez que o investimento é a longo prazo (acima de 10 anos), são economicamente viáveis.

Somente para a Geração Compartilhada, os projetos de UCs de pequeno e médio porte se mostraram levemente inviáveis, mas isso pode ser devido à composição escolhida para a simulação, entre outros fatores, como o preço de aquisição de terreno, que é uma das entradas da ferramenta *web* para simulação.

De forma a dar seguimento às pesquisas realizadas neste trabalho, sugere-se:

- i) Estudar novos modelos de negócios e realizar comparações entre esses modelos e os modelos consolidados na literatura.
- ii) Fazer a análise de risco para os modelos de negócios estudados.
- iii) Desenvolver *software* para a escolha da melhor opção entre modelos existentes.
- iv) Aplicar o modelo canvas para uma melhor caracterização dos modelos propostos.
- v) Estudar os impactos da aplicação de impostos para a geração distribuída.

5.1 Artigo Publicado

V. R. Faria; M. L. Magalhães; D. P. Neto; E. G. Domingues. **Economic Viability of Bussiness Models for Photovoltaic Sola Generation in Brazil: Studies of Cases.** 18th International Conference on renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'20). Renewable Eenergy and Power Quality Journal (RE&PQJ). Granada, Espanha, 2020.

REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa, nº 482, 17 de abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://aneel.gov.br>> Acesso em 30/04/2019.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa, Nº 687, 24 de novembro de 2015.** Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Disponível em: <<http://aneel.gov.br>>. Acesso em: 30/04/2019.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Homologatória 2470/2018.** Homologa o resultado da quarta Revisão Tarifária Periódica - RTP da Enel Distribuição Goiás, as Tarifas de Energia - TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição - TUSD, e dá outras providências. Disponível em <<https://biblioteca.aneel.gov.br>> Acesso em 27/04/2020.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Unidades Consumidoras com Geração Distribuída / CELG D. Disponível em < http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Distribuidora.asp >. Acesso em 27/04/2020.

ASMUS, P. **Exploring new models of solar energy development.** The Electricity Journal, v. 21, n. 3, p. 61-70, 2008.

AUGUSTINE, P., MCGAVISK, E. **The next big thing in renewable energy: Shared solar.** The Electricity Journal, v. 29, n. 4, p. 36-42, 2016.

BARROS, L. V. **Avaliação de modelos de negócio para energia solar fotovoltaica no mercado de distribuição brasileiro.** Dissertação (Mestrado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo, SP, 2014.

BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia econômica.** AMGH Editora, Porto Alegre, RS, 2009.

BRITO, P. **Análise e viabilidade de projetos de investimentos.** 4ª. reimpressão. São Paulo: Atlas. 2011.

BURGER, S. P.; LUKE, M. **Business models for distributed energy resources: A review and empirical analysis.** Energy Policy, v. 109, p. 230-248, 2017.

BRASIL, **Lei 5.764/1971 – Define a Política Nacional do Cooperativismo, artigo 6º, parágrafo primeiro. 1971.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L5764.htm. Acesso em: Dia 30 de janeiro de 2020.

BRASIL, **Lei 9.427/1996 – Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. 1996.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9427compilada.htm Acesso em: Dia 30 de agosto de 2020.

CABRAL I., VIEIRA, R. (2012). **Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente.** In III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, volume 19.

CAMARGOS, M. **Matemática Financeira: aplicada a produtos financeiros e à análise de investimentos.** 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2014.

CASAROTTO F. N., KOPITKE B. H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial.** São Paulo: Página 155. Atlas, 1994.

CREA-MT. **Produção de energia solar deve atrair mais consumidores em MT.** Mato Grosso, 16 de julho de 2015. Disponível em: <<https://www.crea-mt.org.br/portal/producao-de-energia-solar-deve-atrair-mais-consumidores-em-mt/>>

CRESESB – SunData v3.0 Acesso em 30/04/2019. Acessível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. 2019.

COSTA, J. F. I, SANTOS, P. F. M. **Modelos geradores de energia fotovoltaica: Uma análise de viabilidade no estado de Goiás.** Revista Brasileira de energia Solar Ano 8, Volume VIII, nº 2, p. 150 a 158, dezembro de 2017.

DINIZ, J. **Metodologia para análise de investimento em sistemas fotovoltaicos considerando parâmetros de incerteza e métricas de risco.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. 2017.

DRURY, E, JENKIN, T, JORDAN, D., MARGOLIS, R. (2014). **Photovoltaic Investment Risk and Uncertainty for Residential Customers.** IEEE Journal of Photovoltaics, 4,1, 2014.

ELAMIM, A., HARTITI, B., HAIBAOU, A., LFAKIR, A., THEVENIN, P. (2019). **Comparative study of photovoltaic solar systems connected to the grid: Performance evaluation and economic analysis.** Energy Procedia, 159, 333-339.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2020 (BEM 2020)** - Ano base 2019. EMPRESA DE PES- QUISA ENERGÉTICA. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>>.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica PR 04/18: Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050.** Rio de Janeiro. 2018.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica PR 07/18: Premissas e custos da oferta de energia elétrica no horizonte 2050.** Rio de Janeiro. 2018.

FERREIRA A., KUNH S. S., FAGNANI, K. C., De Souza, T. A., Tonezer, C., Dos Santos, G. R., and Coimbra-Araújo, C. H.. **Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81:181–191, 2018.

FRANTZIS, L., GRAHAM, S., KATOFISKY, R., and SAWYER, H. **Photovoltaics business models.** National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2008.

GARCEZ, C. G. **Distributed electricity generation in Brazil: An analysis of policy context, design and impact.** Utilities Policy, 49:104–115, 2017.

GEISSDOERFER, Martin *et al.* **Business models and supply chains for the circular economy.** Journal of Cleaner Production, v. 190, p. 712-721, 2018.

GOMES, J. **Elaboração e análise de viabilidade econômica de projetos: tópicos práticos de finanças para gestores não financeiros.** São Paulo: Atlas, 2013.

GREENER. **Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída - 1º Semestre de 2019.** Disponível em: <<https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado-energia-solar-fotovoltaica-brasil/>>. Acessado em 15/08/2019.

GREENER. **Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída - 1º Semestre de 2020.** Disponível em: <<https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado-energia-solar-fotovoltaica-brasil/>>. Acessado em 20/09/2020.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos: aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimentos e administradores.** Atlas, 2000.

HUIJBEN, J. CCM; VERBONG, G. PJ. **Breakthrough without subsidies? PV business model experiments in the Netherlands.** Energy Policy, v. 56, p. 362-370, 2013.

KARAKAYA, E., NUUR, C., HIDALGO, A. **Business model challenge: Lessons from a local solar company.** Renewable Energy, v. 85, p. 1026-1035, 2016.

KIND, P. (2013). **Disruptive challenges: financial implications and strategic responses to a changing retail electric business.** Edison Electric Institute. 2013.

MARTINIANO J. J. R.; OLIVEIRA, L. H. C de. **Viabilidade da micro e minigeração de energia fotovoltaica no Brasil.** 2017.

MAGRETTA, J. **Why business models matter.** Harvard Business Review, v. 80, n. 5, p. 86-92, 2002.

MESQUITA, M. **Resumo sobre métodos de análise de investimentos.** MBA em Gerenciamento de Obras. Universidade Federal da Bahia. 1-8. 2006.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA DO BRASIL (MME), 2020. **Boletim de monitoramento do setor elétrico.** Acessível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/239673/1059011/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+EI%C3%A9trico+-+Ago-2020.pdf/8b16f6f7-b52f-3df8-3393-308efcbb1bb4>>. Acessado em: 28/09/20.

NETO, J. B., **Avaliação de desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Integrantes do Módulo de Avaliação de Itiquira-MT.** Florianópolis 2018.

NETO, A. A. **Os métodos quantitativos de análise de investimentos.** Caderno de Estudos SciELO Brasil, n. 6, p. 01-16, 1992.

NEWNAN, D.; LAVELLE, J. **Fundamentos de Engenharia Econômica**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2000.

OLIVEIRA, L. M. **Avaliação de Parâmetros que Influenciam na previsão da Geração e Operação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Tese de Doutorado. UFMG, 2017.

OSTERWALDER, Alexander; PIGNEUR, Yves. **Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers**. John Wiley & Sons, 2010.

PEREIRA, N. B. C. A. **Utilização de análises de investimentos empresariais voltada para a análise de investimentos pessoais**. Monografia submetida à coordenação de curso de engenharia. Universidade Federal de Juiz de Fora, MG, 2006.

PINHO, J. T., GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 1:47–499, 2014.

REN 21. **Global status report**. Acessível em: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>; 2019. Acessado em 03/03/2020.

ROSA, Antonio Robson Oliveira; GASPARIN, Fabiano Perin. **Panorama da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Revista Brasileira de Energia Solar, v. 7, n. 2, p. 140–147, 2016.

RICHTER, M. **Utilities' business models for renewable energy: a review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, n. 5, p. 2483-2493, 2012.

RICHTER, M. **Business model innovation for sustainable energy: German utilities and renewable energy**. Energy Policy, v 62, p. 1226-1237, 2013.

SCHNEIDER, K., OLIVIERA. M. O. M., MANOEL S. P., JAPP. C., RUTHER R. **Shared solar cooperatives in Brazil: context, overcoming barriers and lessons to be drawn from previous european countries experiences**. 36th EU PVSEC European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, At Marseille, France, 2019.

SCHNEIDER, K., OLIVIERA. M. O. M., MANOEL S. P., JAPP. C., RUTHER R. **Web tool for early stages of techno-economical analysis of shared solar cooperatives in the brazilian context**. 36th EU PVSEC European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, At Marseille, France, 2019.

SCHOETTL J., LEHMANN-ORTEGA L. (2011). **Photovoltaic business models: threat or opportunity for utilities**. Handbook of Research on Energy Entrepreneurship, eds. R. Wüstenhagen, R. Wuebker.—Edward Elgar Publishing Ltd, (8):145–171.

SHORT, W.; PACKY, D. e HOLT, T. **A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies**, 1995.

SOCOL, F. J., PEREIRA A. L., CELESTE W. C., COURA D. J. C., and CHAVES G. d. L. D. (2016). **Desafios para implementação da geração distribuída de energia**

no brasil: Uma revisão integrativa da literatura. Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE, 2(3):31–43.

Solar e Eólica atingem 67% da capacidade de geração de energia elétrica adicionada em 2019 globalmente. **Bloomberg News Energy Finance – BNEF**, 2020. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com.br/blog/solar-e-eolica-atingem-67-da-capacidade-de-geracao-de-energia-eletrica-adicionada-em-2019-globalmente/>>. Acesso em: 15 de setembro de 2020.

THORMANN, L. A., CORTIMIGLIA, N. M., TODESCHINI, V. B., **Bussiness Models Mapping For Photovoltaic Solar Energy Integrators.** Brazilian journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. 3, nº 2, p. 69-88, 2017.

TAKIGAWA, F. Y. K., JUNIOR, W. P., NETO, E. A. C. A., FERNANDES, R. C. **Levantamento da geração distribuída compartilhada no Brasil.** VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado 17 a 29 de abril de 2018.

VALE, A., FELIX, DG e FORTES, M. e. B. B., Dias, B., and SANTELLI, B. (2017). **Analysis of the economic viability of a photovoltaic generation project applied to the brazilian housing program “minha casa minha vida”.** Energy Policy, 108:292–298.