

Projeção da difusão de sistemas fotovoltaicos em consumidores comerciais de baixa tensão considerando cenário com venda de excedente da geração

Hilquias S. E. Chiquete* Laura L.C. Santos**
Maurício Sperandio *** Gustavo M. Lazari**** Rafael C. Ney*****

*Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria,
Brasil (Tel: +55-55-3220-8792; e-mail: hilquias1.hds@gmail.com).

** (e-mail: laura.santos@ufsm.br)

*** (e-mail: mauricio.sperandio@ufsm.br)

**** (e-mail: gustavodelazari@gmail.com)

***** CEEE-D Equatorial Energia, Porto Alegre, Brasil
(e-mail: rafael.ney@cee.eequatorialenergia.com.br)

Abstract: The incentive of renewable sources has provided a high growth to photovoltaic energy (PV) in the electric matrix, today it is essential that planning practices are prepared to operate, monitor and propose scenarios ideas of insertion or withdrawal of policies in benefits to all agents of this chain of operation. Thus, a model is presented for projection of the diffusion of photovoltaic systems (PVS) for commercial consumers of Group B served by the voltage level below 2.3 kV. The proposed model uses the System Dynamics (SD) technique, based on Roger's theory of diffusion of innovations, together with Bass's model. The model evaluates the propensity of adoption over time considering three aspects: regulatory, economic, technical and the imitation and innovation coefficients arising from the Bass model and is rotated using the Vensim software from Ventana system. Four scenarios are tested to project the diffusion of PVS to validate the proposed methodology, the results show how incentive policies can interfere in the adoption of PV technology.

Resumo: O incentivo as fontes renováveis proporcionaram um elevado crescimento a energia fotovoltaica (FV) na matriz elétrica, hoje é imprescindível que as práticas de planejamento estejam preparadas em operar, monitorar e propor cenários ideais de inserção ou retiradas de políticas em benefícios a todos os agentes desta cadeia operativa. Deste modo, este trabalho apresenta um modelo para projeção da difusão de sistemas fotovoltaicos (SFV) para consumidores comerciais do Grupo B atendidos pelo nível de tensão inferior a 2,3 kV. O modelo proposto, utiliza a técnica de Dinâmica de Sistemas (DS), fundamentada na teoria de difusão de inovações de Roger, em conjunto com o modelo de Bass. O modelo avalia a propensão de adoção ao longo do tempo considerando três aspectos: regulatórios, econômicos, técnicos e os coeficientes de imitação e inovação advindos do modelo de Bass e é simulado utilizando o *software* Vensim da Ventana system. São testados quatro cenários de projeção da difusão dos SFV para validar a metodologia proposta, os resultados demonstram como as políticas de incentivos podem interferir na adoção da tecnologia FV.

Keywords: Projection; Diffusion; Systems Dynamics; Bass model; Photovoltaic Systems.

Palavras-chaves: Projeção; Difusão; Dinâmica de Sistemas; Modelo de Bass; Sistemas Fotovoltaicos.

1. INTRODUÇÃO

Até o ano de 2018, em nível mundial mais de 60% das emissões de gases do efeito estufa eram oriundas do setor energético em função de sua matriz ter uma alta participação de combustíveis fósseis, perto dos 80%, segundo a *International Energy Agency* (IEA). De 2018 para 2021 este cenário não observou mudanças significativas, em parte devido aos efeitos da pandemia provocada pela COVID-19 (Castro e Dantas, 2018; IEA, 2021).

Parte da solução para esta problemática das emissões de gases de efeito estufa, concentrasse-a na difusão em tecnologias de fontes renováveis, principalmente na fotovoltaica como fonte de Geração Distribuída, que possui a maior distribuição

equitativa de aproveitamento e é apontada como a energia do futuro, de acordo com Mario Richter (2013) ela dominará o planeta até o ano de 2100, e autores como Bajay (2018), Aslani e Mohaghar (2013) estabelecem prazos menores.

Os autores Burger e Luke (2017) enfatizam que, a mudança em ocorrência pode significar que os modelos elétricos e de negócios do futuro provavelmente serão muito diferentes dos modelos de hoje. Uma vez que, o crescimento econômico tem aumentado a demanda pela energia elétrica, principalmente nos setores industrial, comercial e residencial.

Objetivando este propósito, observa-se no cenário internacional uma forte transição dos sistemas de energia convencionais para os baseados em energias renováveis,

embora ainda amplamente dependente da difusão bem-sucedidas das tecnologias e políticas de aproveitamento de recursos energéticos (Bajay et al., 2018; Castro and Dantas, 2018; EPE, 2019; Reddy and Painuly, 2004).

No Brasil o incentivo direto as fontes renováveis, foi implementado em 2012 com a introdução da Resolução Normativa (REN) nº 482/2012, que instituiu a regulação da micro e mini geração distribuída (MMGD) pelo modelo de *net-metering*. Mais tarde atualizada pela REN nº 687/2015, que objetivou reduzir os custos melhorar outras informações não muita específicas na REN anterior (ANEEL, 2018a).

A implementação dessas RENs tem permitido ao Brasil um alto crescimento de MMGD de energia elétrica, tanto que de 2020/2021 mesmo com a crise Global provocada pela COVID-19 o crescimento continua, sendo que até julho de 2021 a potência instalada era de 6,07 GW, segundo o Sistema de Registro de Geração Distribuída (SISGD) (ANEEL, 2021).

Deste modo, o objetivo principal do trabalho, é a proposta de uma metodologia para projeção da difusão de sistemas fotovoltaicos (SFV) para consumidores comerciais do Grupo B, ou seja, projeção da difusão da micro Geração Distribuída fotovoltaica (GDFV) para consumidores comerciais atendidos pelo nível de tensão inferior a 2,3 kV.

O estudo é realizado com o modelo de difusão, o qual utiliza a técnica de Dinâmica de Sistemas (DS), fundamentada na teoria de difusão de inovações de Roger, em conjunto com o modelo de Bass.

O modelo avalia a propensão das unidades consumidoras (UCs) adotarem GDFV considerando três aspectos: regulatórios, econômicos, técnicos e os coeficientes de imitação e inovação (p e q) advindos do modelo de Bass. A simulação é feita utilizando o *software* Vensim da Ventana System. São realizados estudo de caso considerando novos cenários políticos, regulatórios e técnicos.

2. DIFUSÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COMERCIAIS

A difusão dos SFV comerciais pode ser encarada, como um processo da proliferação na adoção de uma nova inovação, neste caso, a inovação das tecnologias de aproveitamento solar, seus processos e incertezas envolventes.

Everett Rogers (2003) foi um dos primeiros autores a tratar sobre a difusão de novos produtos e inovações sociais, tendo ele definindo-a como a trajetória de adoção de uma ideia ou tecnologia ao longo do tempo por pessoas ou organizações.

Rogers cita que as inovações são disseminadas em uma sociedade em função do tempo, em cinco principais categorias de adoção: inovadores (2,5%), adotadores (13,5%), maioria inicial (34%), maioria tardia (34%) e retardatários (16%).

Quando plotado ao longo do tempo em uma base de frequência, o número acumulado de adotantes resulta em uma curva em forma de S e a distribuição de frequência normal em forma de sino conforme Fig. 1 (Rogers, 2003).

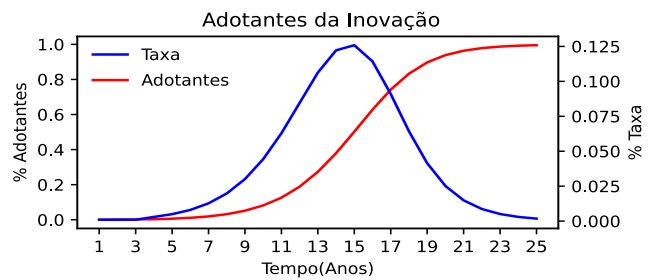


Fig. 1 Curva de adoção de inovações de Rogers. Fonte: Adaptado de (Mahajan et al., 1990; Rogers, 2003).

O planejamento da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) brasileira usa esta análise na projeção da MMGD, para projeção do mercado de longo prazo no Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), (EPE, 2019).

Uma análise comparável é usada, por Konzen (2014) e Santos et al. (2018) ao caracterizar a difusão de sistemas fotovoltaicos em consumidores residenciais como um problema de difusão de inovações.

Dessa perspectiva, Frank Bass desenvolveu o modelo matemático que explica as difusões de inovações de Rogers. O modelo de Bass advindo da teoria de inovações assume que os Potenciais Adotantes (PAs) de uma inovação tomam conhecimento desta através de fontes de informações externas e são no geral influenciados pela mídia de massa e pela propaganda boca a boca (Sterman, 2000).

Frank Bass denominou o primeiro grupo (mídia de massa) de inovadores (p) e o segundo grupo (propaganda boca a boca) de imitadores (q) (Mahajan et al., 1990).

A difusão dos SFV como uma fonte renovável de GDFV de energia é assunto de uma vasta literatura nos últimos anos. Entretanto, apesar da vasta literatura, o estudo da difusão dos SFV comerciais ainda carece de estudos diretos devido à dificuldade da existência de uma base de dados robusta e das incertezas regulatórias, econômicas, técnicas e sociais que empata a sua tomada de decisão.

Wang et al. (2017) ao estudarem e proporem um modelo para adoção comercial de SFV na Califórnia nos Estados Unidos, descrevem que até o momento de sua pesquisa em 2017, praticamente não havia trabalhos com foco direto a difusão e adoção de SFV comerciais, e se houvesse eram desconhecidos, o que destacou seu trabalho como o pioneiro até então.

Analogamente, o observado por Wang et al. (2017) reflete a realidade brasileira, até o momento da realização deste trabalho em Julho de 2021, não foram encontrados trabalhos com foco direto a difusão e adoção de SFV comerciais.

Em ANEEL (2017) e EPE (2020) é realizada a projeção de consumidores residenciais e comerciais com MMGD de SFV, porém como referido é descrito que devido à falta de uma base de dados detalhada, para o seguimento dos consumidores comerciais as projeções são feitas partindo da avaliação socioeconômica dos consumidores residenciais.

Este fato realça a importância do presente trabalho em abordar e analisar a projeção da difusão dos SFV em consumidores comerciais, buscando identificar as principais barreiras a

AHP) ou outras metodologias de análises multicritério de tomada de decisões complexas.

Em (1), com exceção de a, b, c o restante das variáveis como $AE_{(t)}$, $AR_{(t)}$, $AT_{(t)}$ e as outras variáveis seus valores variam em função do tempo mediante cenários em estudo.

Para validação da metodologia proposta, é realizado um estudo de caso para UCs comerciais, considerando conjuntos de cidades do norte do Estado do Rio Grande do Sul.

4. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Para aplicação do modelo proposto, Fig. 3., é realizado estudo de caso no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, na região de concessão da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D) Grupo Equatorial, que atende 72 municípios do estado, destes a projeção é feita para os consumidores comerciais do Grupo B.

O número de cidades é reduzido selecionando os municípios mediante localização e quantidade acima de 20 consumidores comerciais (urbanos e rurais) do Grupo B com SFV até o primeiro semestre de 2021, o que resultou em 12 cidades conforme Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de consumidores comercial do grupo B.

Cidades	Quantidade de UCs (1º semestre de 2020)	Quantidade de UCs com SFV (julho de 2021)	Potência Instalada (MWp)
Bagé	3.629	36	0,64
Camaquã	1.998	49	0,77
Canguçu	1.138	21	0,33
Guaíba	2.319	21	0,52
Osorio	2.135	35	0,71
Pelotas	12.844	143	2,57
Porto alegre	82.040	232	4,54
Rio grande	6.352	28	0,41
Santo Antônio da patrulha	1.474	45	0,90
São Lourenço do sul	1.253	35	0,65
Tramandaí	2.606	18	0,41
Viamão	4.129	35	0,78
Total Geral	121.917	698	13,24

A quantidade dos adotantes de SFV pertencente as 12 cidades são apresentadas em função do tempo na Fig. 4.

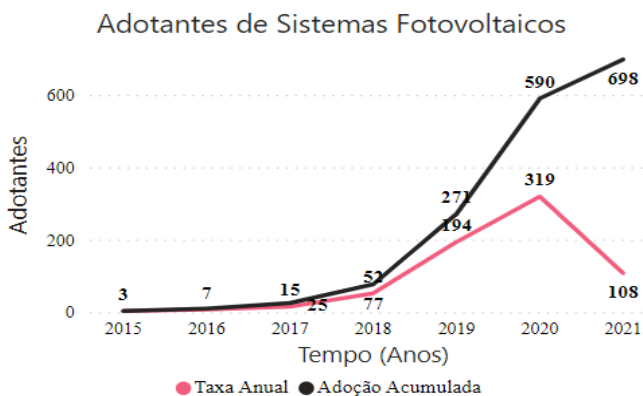


Fig. 4 Número real de adotantes de sistemas fotovoltaicos. Fonte: Adaptado de SISGD (2021).

Considerando que foi instituído uma modalidade de incentivo em 2012, na Fig. 4., se percebe um *delay* de 3 anos no tempo de adoção. No estudo, quatro cenários de projeção da difusão em um horizonte de 25 anos são propostos conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2. Cenários analisados

Cenários	Variáveis
Cenário 1	Políticas Atuais de compensação <i>Net metering</i>
Cenário 2	Comercialização do excedente gerado, como uma nova proposta de negócio (ANEEL, 2018b)
Cenário 3	No ano 13 termina a Política Atual de incentivo <i>Net metering</i> e começa a cobrança da parcela B da TUSD (FioB), e no ano 21 é acrescido a parcela A da TUSD (FioA) para os prosumidores
Cenário 4	Considerando todos os aspectos favoráveis a adoção

De acordo com a Tabela 2, no cenário 1 é considerado como política de incentivo o *Virtual Net Metering*, modalidade atual de instalação dos SFV que estabelece uma compensação de 1 para 1 no qual a principal crítica recai no fato de que a rede da Distribuidora funciona como uma bateria 100% eficiente uma política relativamente vantajosa para o prosumidor, que não precisa arcar com os custos do uso da rede distribuição.

A modalidade de incentivo *Net metering* dessa forma implementa, a longo prazo e em um cenário de alta penetração de GDFV, pode ocasionar perdas técnico-financeiras a distribuidora e estudos sugerem causalidade bem mais críticas em um processo conhecido como espiral da morte, que de maneira sucinta a distribuidora se tornaria insustentável financeiramente até falir completamente.

Logo, os cenários 2 e 3 são usados neste estudo no intuito de teorizar políticas de incentivo a GDFV no qual a distribuidora teria um ganho mínimo pelo pagamento da TUSD mediante contexto.

No cenário 2 é considerado que o prosumidor pode vender a energia excedente gerada, tendo em vista que, no atual cenário, a geração de excedente não é remunerada o prosumidor pode reter os créditos por até 5 anos para compensar, podendo até chegar à não compensação.

A venda acabaria sendo uma alternativa e surgiria como um novo modelo de negócio ao sistema atual, o que traria uma maior liquidez ao prosumidor. Porém, neste contexto surge a necessidade de estabelecer uma tarifa mínima, para analisar a atratividade, assim são propostas quatro tarifas de venda descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Premissas com valor de venda do Excedente para cada cenário

Tarifa da Venda (R\$/kWh)	Valor em relação a tarifa do Mercado Cativo (R\$ 0,7008)	Relação ao Teto do Mercado de Curto Prazo (PLD)
R\$ 0,2275	32,50%	40,0%
R\$ 0,3413	48,70%	60,0%

R\$ 0,4550	64,90%	80,0%
R\$ 0,5688	81,20%	100,0%

A Tabela 3 apresenta os valores sugeridos da venda do excedente, uma observação é que os adotantes de SFV ao se tornarem prossumidores sem a venda de excedentes há a tendência do excedente ser compensado pelo efeito rebote, que se caracteriza pelo aumento da carga a fim de atingir o total de compensação. Já em um ambiente, em que ocorre a venda do excedente o cliente buscaria economizar para obter um maior retorno que neste caso seria financeiro.

No entanto, sem o ressarcimento adequado desta energia, o tempo de retorno do investimento tende a ser alto, o que resultaria em baixa adoção. Deste modo, pela análise previa concluiu-se que da, Tabela 3, a não ser que seja considerada uma tarifa para venda do excedente de no mínimo 60% do valor da tarifa do Mercado Cativo ou próxima do valor teto da tarifa do PLD, não é atrativo para um prossumidor possuir instalações com produção elevada de excedente.

Logo, a simulação deste cenário, a tarifa de venda do excedente é calculada em relação à tarifa do PLD, contudo, pela volatilidade deste mercado o valor é aprisionado em relação à tarifa cativa que, varia em função do tempo conforme modelo de difusão proposto na Fig. 3. Neste cenário há o pagamento da TUSD FioB ao custo de 8,0% da tarifa da rede da concessionária e a simulação é executada com o valor teto do PLD em 100% conforme Tabela 3.

Já no cenário 3, é considerado que no ano 13 termina a política de incentivo *Net metering* e começa a cobrança da parcela B da TUSD (FioB), e no ano 21 é acrescido a parcela A da TUSD (FioA) para os novos prossumidores.

O pagamento da TUSD é realizado conforme a análise das mudanças regulatórias previstas pela ANEEL em seu Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018 (disponível em ANEEL (2018b)), ao visar considerar a cobrança do Fio A, Fio B e outros encargos, o que irá refletir consideravelmente no perfil dos adotantes já que, a compensação passará a ser menor aos 100% atuais, a mesma discussão também está sendo feita pelo projeto de lei PL5829.

E por fim, o cenário 4 é hipotético nele são considerados que todos os aspectos são iguais a 1 ou seja todas as políticas do mercado favorecem a instalação de sistemas fotovoltaicos. Após a definição dos 4 cenários, Tabela 2, foram realizados estudos de caso.

5. ESTUDO DE CASO E RESULTADOS

Conforme metodologia proposta, a primeira etapa para realizar a simulação do modelo completo da DS, Fig. 3, é a determinação dos parâmetros das variáveis de entrada:

- 1) *Quantidade de UCs*: são estimados 121.917 UCs determinados conforme base de dados da CEEE-D.
- 2) *Taxa de crescimento de UCs*: é considerado 0,767% determinado pelo cálculo Geométrico adaptado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para a área da distribuidora IBGE (2010-2020).

- 3) *UCs com mais de três salários-mínimos*: é considerado 42,81% das UCs para a área da distribuidora (IBGE, 2010).
- 4) *Variação do PIB*: é considerado 1,415% conforme disponível em (“PIB Total - Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul,” 2021).
- 5) *Falta de Conhecimento inicial*: é considerado 10,00% determinado pela análise de sensibilidade.
- 6) *Nível de escolaridade*: é considerado 0,2195 de acordo com a população com nível médio ou superior incompleto (IBGE, 2010).
- 7) *Dificuldade de instalação*: é considerado 20,00% das UCs tem dificuldade, para a área da distribuidora (EPE, 2021).
- 8) *UCs tipo Casa & Própria*: é considerado 64,87% para a área do estudo segundo censo do IBGE (2010).
- 9) *Tarifa Homologada*: é utilizada R\$ 0,51754 acrescido de 6,50% do PIS/COFINS, mais 30% de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) segundo Resolução Homologatória ANEEL Nº 2.640/2019 (CEEE-D, 2020).
- 10) *Índice de Reajuste Tarifário (IRT)*: é utilizado 1,3% a.a. conforme análise de sensibilidade;
- 11) *Financiamento para compra de SFV*: é considerado 0 (sem financiamento) ou 1 (com financiamento).
- 12) *Preço do módulo FV*: é utilizado R\$ 849,00 por módulo FV instalado (Portal-Solar, 2018).
- 13) *Decaimento do custo kWp*: é considerado o valor médio de 1,50% a.a. conforme disponível em (NREL, 2018).
- 14) *Potência do Módulo*: foi escolhido o módulo da marca Canadian Solar, de 0,330 kWp, com eficiência de 16,97%
- 15) *Quantidade de Módulos*: pelo consumo médio anual se determinou a quantidade de 13 módulos.
- 16) *Custo nominal do Inversor*: é utilizado 2000,00 R\$/kWp Consulta de Mercado (Portal-Solar, 2018).
- 17) *Quantidade de Inversores*: foi estimada a quantidade de 4 inversores com base na Potencial média a instalar.
- 18) *Custo da Mão de Obra*: é utilizado o valor médio de R\$ 1.200,00 por kWp instalado (Portal-Solar, 2018).
- 19) *Taxa mínima de atratividade (TMA)*: é utilizada 8% a.a. estimativa do valor de mercado (EPE, 2021).
- 20) *Custo de Operação*: é considerado um custo médio de R\$ 200,00 ao ano.
- 21) *Custo de Disponibilidade*: é considerado um custo médio de 100,00 kWh (EPE, 2021).
- 22) *Políticas de compensação*: incentivo *Net metering* e as mudanças de regulamentação prevista pela ANEEL (Fio A, Fio B e outros encargos) (ANEEL, 2018b).
- 23) *Outros Programas de incentivo*: é assumido valores de 0 a 1, sendo 0 sem programas de incentivo para adoção da GDFV e 1 com programas de incentivo.

- 24) *Demanda por domicílio*: é utilizado 432,93 kWh/mês, que é o valor médio das UCs de acordo com os dados da Concessionária avaliada.
- 25) *Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)*: é considerado 0,725 para a área do estudo (IBGE, 2010).
- 26) *Radiação do local*: é utilizado a radiação média diária de 4,39kWh/m²/dia conforme dados disponíveis em (CRESESB, 2017).
- 27) *Eficiência do módulo fotovoltaico*: é considerado 85,48% Conforme o fabricante (Canadian-Solar Inc, 2017).
- 28) *Melhoria da Tecnologia FV*: é utilizada 0,10% ao ano (Konzen, 2014).
- 29) *Delay*: é considerado um atraso 3 de anos SISGD (2021)
- 30) Coeficiente de inovação (p): 0,0009801
- 31) Coeficiente de imitação (q): 0,7501000

Os coeficientes de inovação (p) e o de imitação (q), são obtidos e calibrados a partir da curva de adotantes da Fig. 4. e os valores ficaram bem próximos aos valores dos coeficientes utilizados pela EPE na metodologia 4MD no seu cenário de baixa penetração, analogamente, os resultados obtidos são simulados para cenários de baixa penetração.

5.1. RESULTADO DOS CENÁRIOS

O total das UCs correspondente as 12 cidades conforme Tabela 1 é em torno de 121.917 UCs. Deste modo, após rodar o modelo completo, Fig. 3, da DS os Potencias Adotantes (PAs) foram estimados em 29.250 UCs o que representa 23,99% do total de consumidores (121.917), a quantidade de adotantes por cenários, Tabela 2, no horizonte de 25 anos é apresenta na Tabela 4.

Tabela 4. Adotantes de Sistemas Fotovoltaicos

Cenários	PA	Adotantes	Em relação aos PA (%)	Em relação ao Total (%)
C1	29.250	12.290	42,02%	10,08%
C2	29.250	13.390	45,78%	10,98%
C3	29.250	9.843	33,65%	8,07%
C4	29.250	29.113	99,53%	23,88%

A Tabela 4 apresenta os resultados de cada cenário a partir dos PAs. Essa mostra que em 25 anos haveria aproximadamente 12.290 UCs adotantes de SFV comerciais que corresponde a 42,02% em relação à quantidade PAs (29.250) ou 10,08% em relação ao total das UCs comerciais (121.917) isso para o cenário 1 que praticamente representaria o cenário atual existente regido pela modalidade de incentivo com a política *Net Meeting*, sem considerar mudanças regulatórias previstas.

Da Tabela 4 como esperado, o cenário 4 por possuir todos os aspectos iguais a 1 ou favoráveis apresenta os melhores resultados com 99,53% de adotantes em relação aos PAs e 23,88% em relação ao total de consumidores, sendo este um cenário muito improvável de acontecer. Em seguida vem o cenário 2 com 45,78% de adotantes em relação aos PA e 10,98% em relação ao total de consumidores.

O cenário 3 apresenta os menores resultados ou quantidade de adotantes sendo este, o cenário com a política de implementação futura mais provável de acontecer tendo em vistas as mudanças regulatórias previstas pela ANEEL.

O resultado de cada cenário da Tabela 4 foi obtido rodando o modelo completo (Fig. 3) no software Vensim, que determina a estimativa de novos consumidores com SFV, no horizonte de 25 anos e a Fig. 5 apresenta esses mesmos adotantes ao longo do tempo para os quatro cenários.

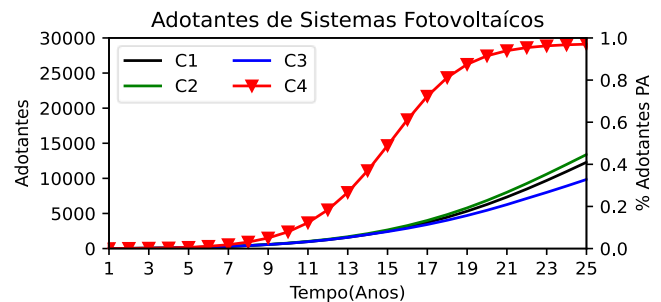


Fig. 5 Difusão dos sistemas fotovoltaicos ao longo do tempo no horizonte de 25 anos.

Pela análise das curvas de crescimento, Fig. 5, da adoção para cada cenário, percebe-se pouca diferença nos primeiros anos. Mostrando que a difusão de SFV tem um prazo de maturação, normalmente onde se estabelecem os inovadores (2,5%) e os adotadores (13,5%), conforme o modelo de Bass. Também se percebe que a curva do cenário 4 obedece ao modelo de referência proposto por Everett Rogers de um crescimento em S, devido a maior quantidade de incentivos.

As Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 e Fig. 8 correspondem as principais variáveis de saída do modelo proposto (Fig. 3) em função do tempo, na qual a Fig. 5, mostra a quantidade acumulada de adotantes, a Fig. 6 a “taxa de adoção” com a quantidade de adotantes por ano.

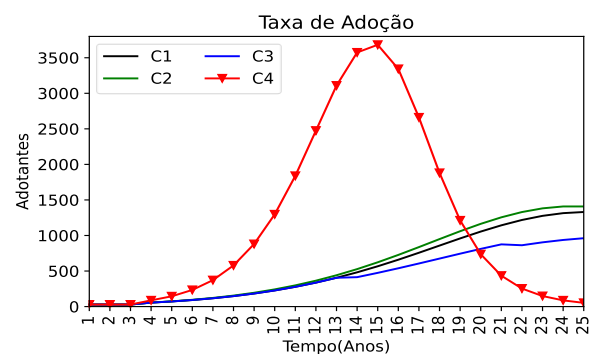


Fig. 6 Quantidade Anual de Adotantes Comercial em função do tempo.

A Fig. 7 apresenta o “Payback” que representa o tempo de retorno do investimento ao longo do tempo.

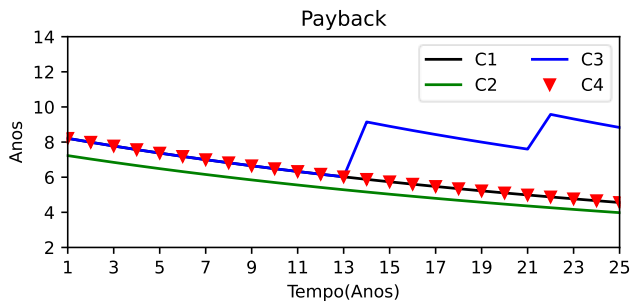


Fig. 7 Tempo de Retorno em cada cenário.

Da Fig. 7 a curva em azul correspondente ao cenário 3 apresenta duas quebra no tempo de retorno, de 6,02 para 9,15 anos, do ano 13 ao 14 e de 7,60 para 9,58 anos do ano 21 ao 22 como resultado da diminuição dos incentivos garantido pelo *Net Metering*, significando que do ano 14 em diante os novos adotantes teriam um tempo de retorno de investimento maior em relação aos que adotaram na política anterior pelo início da cobrança da TUSD FioB, o que se repete no ano 21 quando é cobrado a TUSD FioB acrescido do da TUSD FioA.

Este mesmo efeito pode ser observado na curva de taxa de adoção, Fig. 6, que apresenta uma queda relativa comparado a curva de outros cenários.

Já a curva verde do *playback*, ou seja, o cenário 2 apresenta desde o ano 1 o menor tempo de retorno do investimento, resultado garantido pela venda do excedente.

A Fig. 8 mostra a curva correspondente ao estoque dos PAs de SFV.

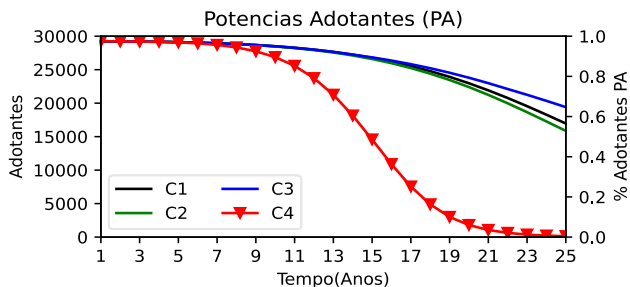


Fig. 8 Quantidade do Estoque de PAs em função do tempo.

Na Fig. 8, o estoque de adotantes de SFV acumulado reduz proporcionalmente ao aumento de adotantes mostrado na Fig. 5. E do mesmo modo o cenário 3 apresenta a menor queda de PAs, se conclui deste modo que esse é o cenário mais crítico dos estudados.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, se mostram satisfatório para todos os cenários estudados. Esses demonstram que a difusão dos SFV ao longo do tempo depende de diversos fatores e políticas definidas como por exemplo; o preço dos SFV, tarifa de energia elétrica, incentivos com taxa de serviço e impostos de importação para adoção de SFV e a adoção por outros consumidores que está intimamente relacionado ao coeficiente de imitação (q) do modelo de Bass.

A curva obtida no cenário 4 está de acordo com a curva de difusão das inovações do modelo de referência de crescimento em S , demonstrando como os incentivos podem acelerar a

adoção, atingindo a quase totalidade dos PAs em 20 anos. Para os demais cenários, com menos incentivos, o modelo permaneceu robusto, respondendo a todas as mudanças de parâmetros, mas apresentando um comportamento mais contido de adoções, em que se levaria muito mais de 25 anos para se atingir a saturação do mercado.

Os resultados do cenário 3 com a nova proposta em estudo pela ANEEL (PL5829) que implementará a cobrança da TUSD FioA e FioB, precisa ser implementada com cautela pois como apresentado nesse estudo irá reduzir a quantidade de adotantes.

Portanto conclui-se que, a metodologia proposta se mostra uma ferramenta versátil e útil que pode ser utilizada pelos distribuidores de energia e instituições de planejamento para analisar os possíveis tipos de incentivos a implantar para instalação de SFV comerciais, assim como ponderar políticas para cada cidade, levando em consideração os aspectos relacionados à decisão do consumidor em aderir, fatores esses que envolvem muitas incertezas.

Logo fazer planejamento simulando diferentes cenários de crescimento, auxiliaria também em avaliar outras problemáticas como o impacto econômico-financeiro, impacto regulatório e problemas de natureza técnica que os SFV podem acarretar às redes de distribuição de energia elétrica.

Entretanto verifica-se a necessidade da criação de um banco de dados com mais registros das instituições comerciais para minimizar as distorções. Assim como, uma pesquisa de mercado com os proprietários dos estabelecimentos em relação a visão desses pelo fato de que a maioria dos estabelecimentos comerciais são alugados, o presente trabalho considerou a instalação remota, minimizando assim a variável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de P&D regulado pela ANEEL executado pela Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D) via chamada nº 01/2018, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao INCT-GD.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, 2021. Geração Distribuída: Planilha de dados SISGD [WWW Document]. Agência Nac. Energ. Elétrica. URL <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjVlLTllMjItN2E5MzBkN2ZlMzVhZm90LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiJR9> (accessed 6.17.21).
- ANEEL, 2018a. Geração Distribuída [WWW Document]. aneel.gov.br. URL <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida> (accessed 7.30.20).
- ANEEL, 2018b. Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída-Resolução Normativa nº 482/2012. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília.
- ANEEL, 2017. Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília.

- Aslani, A., Mohaghar, A., 2013. Business structure in renewable energy industry: Key areas. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 27, 569–575. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.021>
- Bajay, S., Jannuzzi Gilberto, Heideier, R., Vilela, I., Paccola, J., Gomes, R., 2018. Geração distribuída e eficiência energética Reflexões para o setor elétrico de hoje e do futuro, 1ª edição. ed, International Energy Initiative – IEI Brasil. International Energy Initiative, Campinas-SP.
- Canadian-Solar Inc, 2017. Canadian Solar Datasheet- MaxPower CS6U-P EN.
- Castro, N.J. de, Dantas, G., 2018. Experiências Internacional em Geração Distribuída: Motivações, Impactos e Ajustes. Publít, Rio de Janeiro.
- CEEE-D, 2020. Tarifas e Custos — Portal CEEE [WWW Document]. URL <https://www.cee.com.br/a-cee/tarifas-e-custos> (accessed 11.10.20).
- Costa, H.L. da, 2004. Dinâmica de Sistemas – Vensim PLE.
- CRESESB, 2017. Potencial Solar SunData [WWW Document]. Cent. Ref. para Energ. Sol. e Eólica. URL <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata> (accessed 11.15.20).
- EPE, 2021. NOTA TÉCNICA DEA EPE DEA-SEE 009/2021 - Modelo de Mercado da Micro e Minigeração Distribuída (4MD): Metodologia – Versão PDE 2031. Empres. Pesqui. Energética 26.
- EPE, 2020. NOTA TÉCNICA EPE DEA-SEE 010/2020- Modelo de Mercado da Micro e Minigeração Distribuída (4MD): Metodologia-Versão PDE 2030. Empresa de Pesquisa Energetica, Brasil.
- EPE, 2019. Estudos de Longo Prazo: Recursos Energéticos Distribuídos, Documento de Apoio ao PNE 2050. Empresa de Pesquisa Energetica, Brasil.
- IBGE, 2010. Cidades Rio Grande do Sul Censo 2010 [WWW Document]. Inst. Bras. Geogr. e Estatística. URL <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pesquisa/23/27652?detalhes=true> (accessed 10.30.21).
- IEA, 2021. Do we need to change our behaviour to reach net zero by 2050? – Analysis - IEA [WWW Document]. Int. Energy Agency. URL <https://www.iea.org/articles/do-we-need-to-change-our-behaviour-to-reach-net-zero-by-2050> (accessed 11.2.21).
- Konzen, G., 2014. Difusão de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede no Brasil: uma simulação via modelo de Bass. Dissertação (Mestrado em Ciências) - USP, São Paulo.
- Mahajan, V., Muller, E., Bass, F.M., 1990. New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research. *J. Mark.* 54, 1–26.
- NREL, 2018. Cost-Reduction Roadmap for Residential Solar Photovoltaics (PV), 2017–2030. National Renewable Energy Laboratory, U.S.
- PIB Total - Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul [WWW Document], 2021. . Atlas Socioeconômico do Rio Gd. do Sul. URL <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/pib-total> (accessed 10.10.21).
- Portal-Solar, 2018. Quanto Custa para Instalar Energia Solar - Portal Solar - Tudo sobre Energia Solar Fotovoltaica [WWW Document]. Portal-Solar. URL <https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-para-instalar-energia-solar.html> (accessed 6.16.21).
- Reddy, S., Painuly, J.P., 2004. Diffusion of renewable energy technologies-barriers and stakeholders’ perspectives. *Renew. Energy* 29, 1431–1447.
- Richter, M., 2013. Business model innovation for sustainable energy: German utilities and renewable energy. *Energy Policy* 62, 1226–1237. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.038>
- Rogers, E.M., 2003. Diffusion of Innovations: Fith Edition, 5th ed. The Free Press.Kindle Edition, New York, USA.
- Santos, L.L. Dos, 2018. PROJEÇÃO DA DIFUSÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM CONSUMIDORES RESIDENCIAIS DE BAIXA TENSÃO. (Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS).
- Santos, L.L.C. Dos, Canha, L.N., Bernardon, D.P., 2018. Projection of the diffusion of photovoltaic systems in residential low voltage consumers. *Renew. Energy* 116, 384–401.
- SDS, 2021. Home for Systems Thinkers and Dynamic System Modelers [WWW Document]. Syst. Dyn. Soc. URL <https://systemdynamics.org/> (accessed 9.17.21).
- Sterman, J.D., 2014. Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World [WWW Document]. Res. Bus. URL https://www.researchgate.net/publication/44827001_Business_Dynamics_System_Thinking_and_Modeling_for_a_Complex_World (accessed 7.15.21).
- Sterman, J.D., 2000. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, 1st ed, Mc Graw Hill Higher Education. Jeffrey J. Shelsfud, Boston. <https://doi.org/10.1504/ijmabs.2016.10001078>
- Wang, W., Yu, N., Johnson, R., 2017. A model for commercial adoption of photovoltaic systems in California. *J. Renew. Sustain. Energy* 9, 025904. <https://doi.org/10.1063/1.4979899>