

# ANÁLISE FINANCEIRA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MERCADO LIVRE DE ENERGIA

**Cíntia Helena Flesch** -cintiaflesch@gmail.com

**Claudio A Cambani, Patrícia Gomes Dallepiane, Luciane Neves Canha**

Universidade Federal de Santa Maria - Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

(email: [cintiaflesch@gmail.com](mailto:cintiaflesch@gmail.com))

**Daiely Costacurta Heman**

Faculdade da Serra Gaúcha - FSG, Campus Caxias do Sul

**Enoque Dutra Garcia, Jocemar Biasi Parizzi, Lucas Losinskas, Myllena de Sousa Carvalho**

Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé

**Resumo.** A busca por economia dentro do setor industrial, onde a energia é um dos insumos que gera o maior custo faz com que esses consumidores busquem alternativas para reduzir despesas com energia elétrica. Dentro desse cenário temos possibilidades como eficiência energética, migração para o mercado livre de energia e investir em geração própria. Concomitante a isso temos o crescimento da introdução da energia solar fotovoltaica dentro do setor elétrico brasileiro, e uma das principais dúvidas do mercado é a inserção dessa tecnologia quando o consumidor também quer migrar para o ambiente de contratação livre (ACL) e assim ser chamado de autoprodutor. Esse artigo busca analisar os procedimentos para o consumidor se tornar autoprodutor e analisar a viabilidade da introdução da energia solar fotovoltaica no ACL, assim como, busca trazer de forma básica quais as principais mudanças entre os dois ambientes de contratação quanto a introdução da energia solar fotovoltaica. Buscando avaliar a viabilidade financeira em investir em energia fotovoltaica, gerando assim uma diminuição dos custos relacionados a energia elétrica e melhorando os indicadores ambientais da empresa, e conseqüentemente favorecendo competitivamente a empresa em relação a outras do mesmo setor.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Autoprodução, Mercado Livre de Energia.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem registrando a cada ano um crescimento expressivo no número de conexões de geração distribuída na rede de distribuição devido à concessão de incentivos governamentais que permitiu a difusão do uso de módulos solares fotovoltaicos, fonte de geração de energia mais usada na geração distribuída no Brasil. Em 2012, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil possuía apenas seis unidades com geração distribuída (GD) de origem fotovoltaica e se comparado esses dados com o de 2021, apresenta-se um aumento de aproximadamente 2.000%, conforme ilustrado na Fig.1. No início de 2022 registrou-se um avanço significativo no setor, como marco da microgeração e minigeração distribuída, estabelecida pela Lei Nº14.300 de 6 de janeiro, que visa a modicidade tarifária e a estruturação da modalidade de geração (BRASIL,2022).

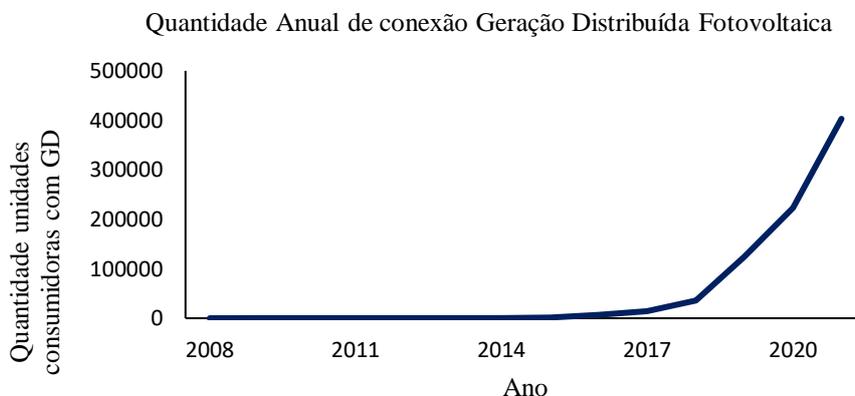


Figura. 1 - Crescimento da introdução da fonte de energia solar como geração distribuída. [ANEEL,2022]

O crescimento exponencial da geração distribuída, definida como a geração próxima a unidade de consumo, justifica seu crescimento com incentivos governamentais, diminuição do custo dos equipamentos, mas principalmente pelo elevado custo da fatura de energia devido à crise hídrica que impactou fortemente nas revisões tarifárias e inclusive na

inserção de mais uma bandeira tarifária, a chamada bandeira de escassez hídrica. A concentração do ramo solar fotovoltaico mantinha-se em pequenos consumidores, classificados como consumidores cativos, entretanto a crise energética afeta não só os pequenos consumidores, mas os grandes, o número de empresas que buscam compensar parte da sua energia com energia solar fotovoltaica cresce.

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB) possui dois ambientes de contratação: (i) o ambiente de contratação regulado (ACR) que é definido pela compra de energia (TE) e o pagamento do serviço de transporte e distribuição (TUSD) para a distribuidora, que por sua vez compra a energia em leilões regulados; (ii) o ambiente de contratação livre (ACL), onde o consumidor que tem demanda maior que 1000 kW pode adquirir sua energia livremente através de contratos bilaterais. A maioria dos grandes consumidores, se encontra no ambiente de contratação livre, que segundo a Associação Brasileira de Comercializadores de Energia Elétrica (ABRACEEL) cresceu 28 % desde novembro de 2020 (ABRACEEL, 2021). Porém, uma das grandes dificuldades dentro do setor de energia solar é a venda de sistemas para empresas enquadradas no mercado livre.

A introdução da energia solar fotovoltaica é diferente nos dois ambientes de contratação. Deste modo, o presente artigo tem como objetivo realizar a análise financeira comparando os dois ambientes de contratação com um sistema fotovoltaico capaz de suprir o consumo total da unidade consumidora num cenário de 500 kW de demanda no ACR e no ACL. Além de trazer em seu referencial bibliográfico os principais pontos em cada ambiente, sendo que o estudo se limita a unidades consumidoras classificadas no grupo A4, tarifa horosazonal verde.

## 2. AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Com a inserção de energia solar fotovoltaica no mercado de energia elétrica, tem-se duas possibilidades, a primeira delas é a Geração Distribuída (GD) que até 2021 foi regulada primeiramente pela Resolução Normativa N°482 de 17 de abril de 2012 onde estabeleceu-se também o sistema de compensação de créditos de energia elétrica, onde o consumidor pode gerar sua energia e o excedente pode utilizar num momento onde não está produzindo sua energia, logo na GD, não é possível vender o excedente de energia. Além disso previa duas modalidades de geração a micro e minigeração que eram distintas pela potência do sistema, posteriormente, foi estabelecida a Resolução Normativa N°687 de 24 de novembro de 2015 onde designa novos modelos de negócios no setor da GD, entretanto a comercialização nesse ambiente ainda não é permitida, na Res. N° 687 o prazo de compensação dos créditos amplia o seu período anterior de 36 meses para 60 meses, ou seja, cinco anos.

Em janeiro de 2022, o novo marco da GD, estabelecido pela Lei N°14.300 de 06 de janeiro de 2022, faz com que a modalidade passe a ter uma estrutura sólida e bem regulada. Tanto que pela nova legislação há previsão da cobrança de incentivos que eram dados no início da modalidade no setor, o que mostra a estabilização regulatória da modalidade. Em síntese, se tem a modalidade da GD apenas dentro do ACR, visto que mesmo com a mudança regulatória, não é possível comercializar o excedente de energia, como ocorre no ACL. Assim, na Fig. 2, observa-se um resumo das modalidades dentro do ambiente de energia solar fotovoltaica.

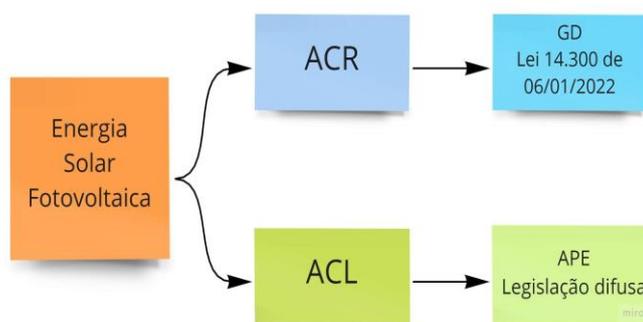


Figura 2 - Energia Solar Fotovoltaica nos Ambientes de Contratação de Energia Elétrica. [Os Autores,2022]

Enquanto que a GD só pode existir no ACR, no ACL a compra e venda de energia são permitidos, regulamentada desde 1995, em princípio pela Lei N° 9.074 e posteriormente pela Lei n° 10.848 de 15 de março de 2004 e o Decreto n° 5.163 de 30 de junho de 2004, que instituíram as bases e diretrizes para a comercialização de energia elétrica, através de dois ambientes de contratação de compra e venda de energia, além de dispor de medidas que preveem a modicidade tarifária. Alguns pontos importantes no ACL se devem ao fato de que a contratação é realizada através de livre acordo durante a compra e venda de energia elétrica entre os integrantes, que são comercializadoras, autorizados de geração, consumidores especiais e livres, que atendam a regulamentação. Portanto, o tipo de contrato, condições de atendimento e o preço é conforme negociação livremente estabelecida entre as partes, denominado Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Livre (CCEAL) (CCEE,2020). Além disso, dispõe-se de duas modalidades de consumidores: consumidores livres que podem adquirir energia de qualquer fonte e consumidores especiais que podem adquirir energia apenas de fontes incentivadas, tendo benefícios como desconto de 50% a 100% na demanda. Para um consumidor ser livre deve atender aos requisitos da Portaria n° 465 de 12 de dezembro de 2019 do Ministério de Minas e Energia (MME),

ou seja, deve ter demanda maior ou igual a 1000 kW, já um consumidor especial deve ter demanda mínima de 500 kW e máxima de 1000 kW para enquadrar-se nessa modalidade. Além do preço negociado na compra de energia elétrica (R\$/kWh), no ACL o valor final da energia consumida é composto pela tarifa de uso da rede da concessionária, a demanda solicitada pela unidade consumidora e demais tributações de acordo com cada estado (CCEE,2020).

No ambiente de contratação ACL é possível realizar a venda de energia, assim como, conforme a normativa dispõe a modalidade de autoprodução de energia. A figura do autoprodutor de energia é concebida pelo Decreto N° 2.003 de 10 de setembro de 1996, no qual apresenta a definição de autoprodutor de energia elétrica, também chamado de APE, como pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia destinada ao seu uso exclusivo. Assim, perante a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) autoprodutores de energia se enquadram como agentes na categoria de geração conforme a Resolução Normativa da ANEEL n°109/2004.

Segundo Mendes, atualmente a figura do APE é formado majoritariamente por indústrias de uso energético intensivo que optaram por gerar sua própria energia em razão de benefícios fiscais e de encargos setoriais, que perduram para os agentes que geram e consomem energia nessa modalidade. A modelagem como APE era restrita para grandes consumos, pelo alto capital necessário para a construção desses empreendimentos que geralmente se caracterizavam por grandes usinas hídricas ou usinas de geração centralizada, eólicas e fotovoltaicas. Entretanto, analisando a Fig. 3, verifica-se que o número de APE teve um acréscimo de aproximadamente 26% em relação a 2020 segundo dados da CCEE, demonstrando um crescimento significativo no número de consumidores que buscam pela APE de energia.

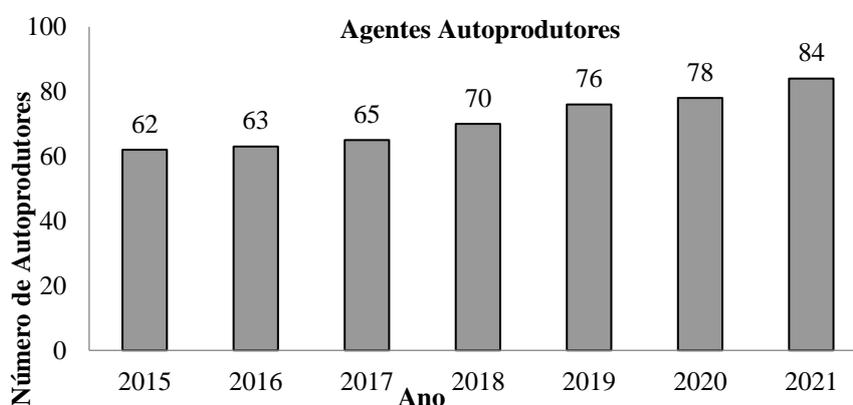


Figura 3 -Histórico da quantidade de Autoprodutores de Energia. [CCEE,2021]

Para o consumidor ser classificado como autoprodutor, além da migração para o mercado livre ser indispensável, ainda existem pré-requisitos estabelecidos pelas distribuidoras. Segundo normas técnicas da GED 33, da concessionária CPFL Energia, fica determinado que o candidato a autoprodutor tem a obrigação de adequar o sistema de medição e faturamento, onde o sistema deve ser composto por um conjunto de transformadores de instrumento (TI's), medidor de energia ativa e reativa, cablagem de interligação com o medidor e interface de comunicação e sincronismo. Ainda, o mesmo GED indica que a instalação do sistema de medição deve seguir o padrão da CPFL, onde as características estão descritas no GED 17321 - Procedimento para implantação ou adequação do SMF - PIE e Autoprodutor. Logo, nesta modalidade de APE, o consumidor passa a ser o agente de medição, o que anteriormente era de responsabilidade da distribuidora (CCEE,2021).

## 2.1 Investimento para a implementação de um sistema fotovoltaico, migração ACL como APE

Ao realizar um estudo de viabilidade financeira para um sistema de energia fotovoltaico são analisados dados como irradiação, potência dos módulos e a área disponível para a implementação do sistema. Para um sistema fotovoltaico, dentro do escopo da geração distribuída, são orçados apenas itens que compõem a parte do sistema gerador até o inversor. Dentro do escopo do mercado livre, além do inversor tem se toda a adequação do SMF e da comunicação e comissionamento da usina e do consumidor como agente autoprodutor, assim para o valor de investimento para uma usina varia de acordo com o valor do dólar e a taxa de importação, visto que os módulos fotovoltaicos são importados.

Uma das principais diferenças entre os dois ambientes de contratação na implementação de um sistema fotovoltaico é na potência instalada. No ACR deve ser limitada a demanda contratada ou ao disjuntor de entrada da Unidade Consumidora (UC) conforme a Resolução Normativa 482/2012, enquanto que no ACL a potência do sistema independe desses fatores, visto que se a potência do sistema for maior que a demanda contratada o consumidor paga a demanda de geração referente a diferença entre a demanda contratada e a demanda que o sistema fotovoltaico exige (CCEE,2017).

Quando um consumidor do Grupo A investe em energia solar fotovoltaica estando no ACR, ele tem custos com a implementação do sistema, ou seja, projeto fotovoltaico, módulos, inversores e materiais elétricos necessários e em relação a sua fatura de energia que paga a distribuidora, caso gere toda a sua energia, deve pagar a demanda contratada. Lembrando que nesse cenário não há a possibilidade de ter um sistema fotovoltaico com potência maior que a demanda

contratada da empresa. O reforço da rede externa a UC, troca de medidor por um bidirecional nesse ambiente é responsabilidade da distribuidora.

No ACL, quando um consumidor passa a investir em autoprodução de energia, a responsabilidade pela troca do Sistema de Medição e Faturamento é do consumidor, que também passa a ser o agente de medição, isso quer dizer que a partir do momento em que se torna um APE ele é responsável pela comunicação com a CCEE. Ao contrário do ACR, pode ter uma geração maior que o consumo, mas caso isso ocorra pagará também a demanda de geração. No ACL, como o estudo de caso menciona um consumidor com 500 kW de demanda, como um consumidor especial, logo possui desconto na demanda e na TUSD ponta. O desconto na demanda de consumo é de 50%, conforme citado no Art. 26. da Lei Nº 9.427 de dezembro de 1996, assim fontes como solar podem ter o desconto não inferior a 50% a ser aplicado na TUSD tanto a destinada para a comercialização quanto a destinada para a autoprodução,. além do desconto da TUSD demanda temos para a TUSD ponta, conforme a Eq. (1):

$$TUSD_{ponta} = \frac{(TUSD_{ponta} + TUSD_{Fora Ponta})}{2} + TUSD_{Fora Ponta} \quad (1)$$

## 2.2 Unidade Geradora Fotovoltaica

Como foi apresentado na seção anterior, um sistema fotovoltaico é orçado de acordo com o número de módulos, irradiação solar, inversores e proteção. Sendo que destes o maior custo está enquadrado na parte dos módulos fotovoltaicos, assim para construção de cenários de análise dimensionou-se um sistema fotovoltaico que atendesse a maior parte do consumo da unidade consumidora geradora. De tal modo, para um sistema de 500 kW é necessário 1300 módulo de 510W, além de 5 inversores de 100 kW. Para esse sistema, realizou-se uma pesquisa dos valores médios atribuídos, conforme descrito na Tab. 1.

Tabela 1 - Valores do sistema fotovoltaico. [Solar e Sol, 2022]

Item	Quantidade	Valor unit	Total
Módulos Fotovoltaicos	1300	R\$ 1.491,00	R\$ 1.938.300,00
Inversor 100kW	5	R\$ 32.500,00	R\$ 162.500,00
Execução	1300	R\$ 100,00	R\$ 130.000,00
Projeto	1	R\$ 513.255,07	R\$ 513.255,07
Total Investido			R\$ 2.744.055,07

Assim, será considerado dentro do escopo do artigo, o custo para a usina fotovoltaica de R \$2.744.055,07 para o cenário da GD e do APE. Tem que se reforçar que devido a importação de módulos e demais equipamentos que dependem de importação, a variação dos preços pode ser refletida com base na variação do dólar.

## 3. METODOLOGIA

Como metodologia foi utilizado a análise comparativa de custos em quatro cenários: o primeiro considera um consumidor no ACR, que seria o caso inicial, do consumidor com o custo de energia padrão, o segundo cenário considera uma empresa no ACR que irá investir no sistema fotovoltaico com valor estimado na seção 2.2, no terceiro cenário é analisada a economia entre a migração do ACR para o ACL e no quarto e último cenário será analisada a viabilidade de um consumidor do ACL investir na geração fotovoltaica e se tornar um autoprodutor, de acordo com a Fig. 4.

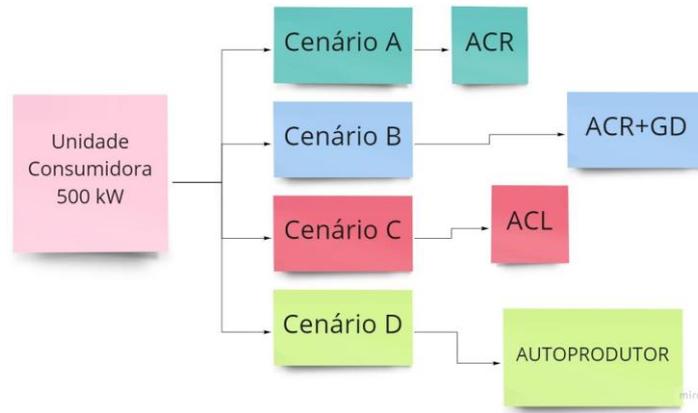


Figura 4 -Fluxograma da Metodologia. [Os Autores, 2022]

No Cenário C, que tem como premissa a migração para o ACL, foi estimado um custo de migração. Para um consumidor do ACR migrar para o ACL, além dos procedimentos padrão da migração ela envolve custos, como a adequação do Sistema de Medição e Faturamento (SMF) que possui valores variáveis e depende da distribuidora, porém numa amostragem mediante a uma análise prévia com uma gestora de energia de uma distribuidora local, o custo é de aproximadamente R\$7.000,00. Como esse custo muda de distribuidora para distribuidora, será utilizado o valor de R\$10.000,00 para de maneira conservadora analisar em quanto tempo o investimento da migração do ACR para o ACL é compensado, nesse cenário são considerados custos de adequação do SMF, emolumento de adesão à CCEE e outras tarifas para que o consumidor migre do ACR ao ACL. Da mesma forma, para que um consumidor possa ser classificado como APE deve trocar todos os Transformadores de Instrumentos, deverá refazer o seu SMF, introduzir um religador no ponto de conexão com a distribuidora, além de parametrizar o sistema para que o mesmo tenha comunicação com a CCEE. Esse custo para se tornar um APE também depende de fatores como parecer da distribuidora, melhorias na rede, mas para este estudo será considerado um valor de R\$250.000,00 que atualmente é a média do mercado. Para analisar de maneira conservadora a possibilidade da autoprodução no ACL, esse valor contempla a aquisição dos TI's, o novo SMF, religador, parametrização, estudos e a comunicação com a CCEE, lembrando que no momento que um consumidor se torna um agente autoprodutor ele passa a ser o agente de medição, logo ele será responsável pela leitura e comunicação com a CCEE.

Logo, a análise de possibilidades de um consumidor do grupo A4 com demanda contratada de 500 kW, que pode tanto permanecer no mercado cativo de energia quanto pode migrar para o ACL como consumidor especial. Nesses dois cenários, podemos no ACR ter a introdução de um sistema fotovoltaico como Geração Distribuída. Já no ACL, temos a possibilidade de termos um consumidor na modalidade de Autoprodutor de Energia, ainda enquadrado como consumidor especial.

Assim, no fluxograma da metodologia da Fig. 4 é possível verificar os cenários definidos, com a abertura de possibilidades para o consumidor, onde se tem a alternativa para o consumidor se tornar autossuficiente em energia tanto como consumidor como GD quanto como APE. Então, teremos como processo analisar a implementação do sistema nos dois ambientes, o investimento e custos de adequação além de comparar os dois ambientes economicamente, ou seja, tarifas da distribuidora que por base escolheu-se a RGE Sul do grupo CPFL e utilizou-se o preço médio de energia do PLD projetado pela CCEE para o submercado sul de R\$ 138,00 por MWh em janeiro de acordo com o Boletim da Gerência Executiva de Preços, Modelos e Estudos Energéticos - GEPME publicado no Boletim Informa CCEE em 4 de janeiro de 2022. [CCEE,2022].

Por fim se obtém os resultados do valor investido e das adequações nos dois ambientes de contratação, conforme Fig.5. Tendo como comparativo final uma análise de custos, considerando o custo de cada cenário em TE e TUSD.



Figura 5 -Fluxograma da Metodologia. [Os Autores,2022]

Na Tab. 2, tem a comparação das tarifas reguladas da distribuidora do Grupo A4 com as tarifas de um consumidor livre na modalidade especial, adquirindo energia incentivada do submercado sul. Assim, é descrito os valores das tarifas de TUSD demanda, TUSD consumo e TE dos dois ambientes, para o ACL considerou-se um desconto de 50% sobre a demanda, visto que o consumidor adquire energia de fonte incentivada. Assim, avalia-se as três condições, sendo que todos são baseados nas tarifas da RGE Sul, ou seja, na Resolução Homologatória N°2.880 de 15 de junho de 2021, que homologa os resultados de reajuste tarifário da distribuidora. [ANEEL,2021].

Tabela 2 - Tarifas sem impostos dos três ambientes. [adaptado ANEEL,2021]

	ACR	ACL	APE
TUSD Demanda (R\$/kW)	R\$ 27,18	R\$ 13,59	R\$ 13,59
TUSD P (R\$/kWh)	R\$ 1,07	R\$ 0,667	R\$ 1,008
TUSD FP (R\$/kWh)	R\$ 0,09	R\$ 0,087	R\$ 0,021
TE P (R\$/kWh)	R\$ 0,44	R\$ 0,138	R\$ 0,138
TE FP (R\$/kWh)	R\$ 0,27	R\$ 0,138	R\$ 0,138

Para o estudo de caso ainda é necessário avaliar a curva típica de carga da empresa, onde destaca-se a Fig. 6, onde avalia-se a curva de consumo total de um ano da unidade consumidora. Com o montante de consumo podemos estimar o valor em cada ambiente de contratação e por conseguinte em cada cenário.

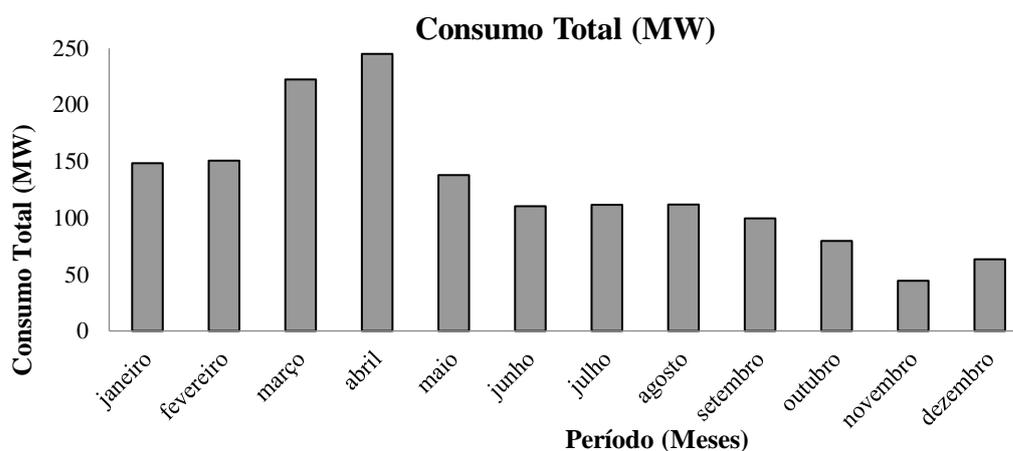


Figura 6 -Consumo total da UC. [Os Autores,2022]

#### 4. ESTUDO DE CASO

No Cenário A, onde temos nosso consumidor classificado como consumidor regulado temos a simples multiplicação entre as tarifas da distribuidora e a curva de consumo. Nesse cenário temos a condição normal do consumidor, onde o mesmo pode vir a investir em eficiência energética ou ainda optar pela a implementação de um sistema fotovoltaico, como veremos no cenário B ou migrar para o ACL como veremos no cenário C.

No cenário B, temos a implementação de um sistema fotovoltaico a fim de suprir a maior parte do consumo da unidade consumidora, como o sistema foi implementado em 2021 considera-se que ainda não se aplicam as condições da Lei N°14.300, ou seja, não são cobradas do consumidor o uso da rede que se refere a TUSD ponta e TUSD fora ponta. Assim, toda a energia que o consumidor gerar será abatido da sua fatura de energia, assim como toda a energia excedente virará créditos. Nessa situação considerando que consumidor gere toda a sua energia ele ainda deve pagar à distribuidora a demanda contratada, ou seja, os 500kW.

Ao fim desses dois cenários, podemos analisar que o Payback oferecido pela GD é de aproximadamente cinco anos, fazendo com que o investimento, mesmo sendo alto, apresenta um retorno relativamente rápido. Conforme a Fig. 7, que foi realizada através de simulação no ACR, podemos observar o retorno do investimento e compreender a crescente busca dessa alternativa como meio de economizar no custo com energia elétrica.

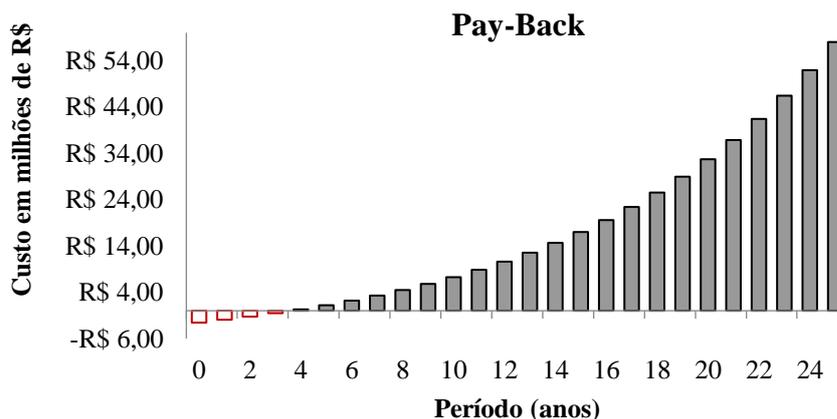


Figura 7 -Payback do sistema GD. [Os Autores, 2022]

No cenário C, temos a migração do consumidor para o ACL, assim pode se considerar tarifas no ACL, conforme a Tab. 2, podemos ver que o consumidor possui desconto na TUSD demanda de 50%, visto que adquire energia de fonte incentivada 50% ou ainda denominada i5, além de possuir um desconto na TUSD ponta. Nesse cenário, para o custo de energia (TE) foi adotado um valor médio de janeiro de 2022 conforme citado na seção 3.

No cenário D, o consumidor já se encontra no ACL e deseja investir em energia solar fotovoltaica e se tornar um autoprodutor, para isso, além de toda a parte de adequação que deve realizar e do sistema fotovoltaico em si, que se analisarmos em comparação a GD não temos, tem um gasto significativo. No cenário D, podemos utilizar as tarifas de APE, ou seja, o consumidor tem os descontos oferecidos no ACL e além desse desconto ainda tem como benefícios a quantidade de energia gerada e a redução de encargos.

## 5. RESULTADO E DISCUSSÕES

Quando comparamos os resultados dos quatro cenários, todos sem a inclusão de impostos, podemos ver um acréscimo de economia a cada escolha do consumidor, assim quando um consumidor do ACR decide investir em energia solar fotovoltaica as possibilidades de economia e de retorno do investimento são rápidas, visto a redução de tarifas, como podemos ver na Tab.2. Além de passar a gerar sua própria energia, o consumidor ainda passa a se beneficiar da compensação de créditos a medida em que gera mais que consome. Logo, do cenário A para o cenário B, temos um percentual de economia de 74%. Com o gráfico de custos do consumidor, conforme Fig. 8, ainda percebemos que o maior custo depois que o consumidor gera sua própria energia está na demanda que deve pagar a distribuidora.

### Custos no Ambiente de Contratação Regulado

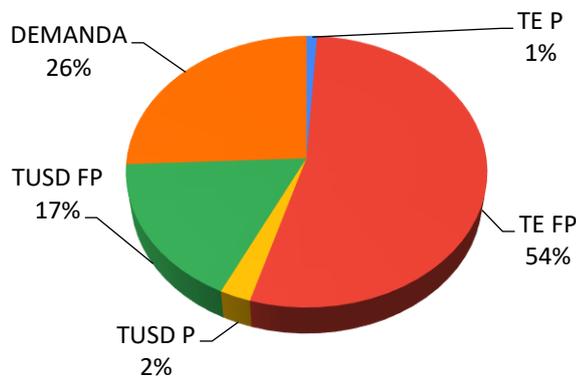


Figura 8 - Custo total da UC no ACR. [Os Autores, 2022]

Quando um consumidor migra do ACR para o ACL, no cenário C, temos que considerar as tarifas da Tab. 2 para realizar a análise de viabilidade, entretanto podemos analisar o gráfico da Fig. 8, onde temos o percentual de gastos de cada componente do custo de energia, logo, como foi demonstrado acima o consumidor tem desconto na TUSD demanda e na TUSD P. Assim podemos comparar os totais de cada cenário, considerando o investimento para a migração para o

ACL conforme citado na seção 2.2 em R\$10.000,00. De tal modo, pode-se ver na Fig. 9 a análise comparativa entre o ACR e o ACL.

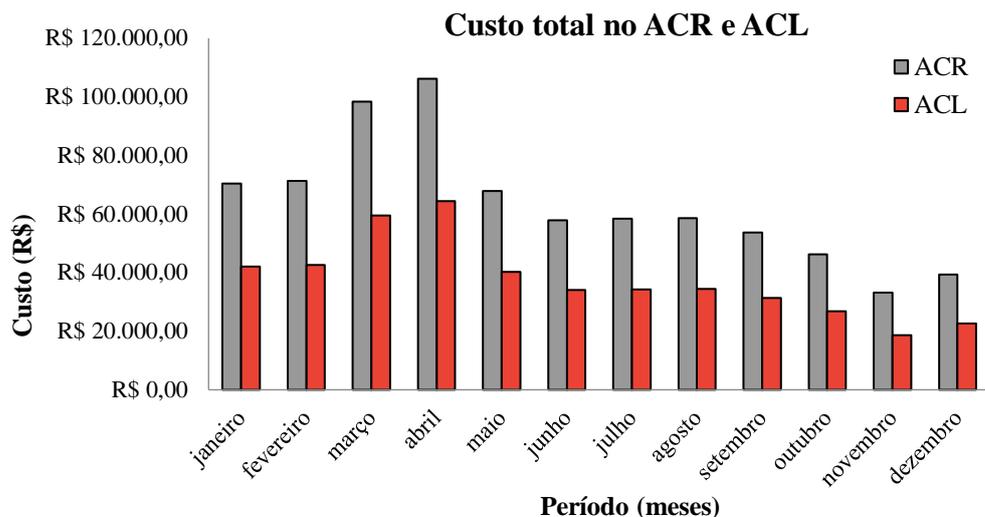


Figura 9 - Custo total da UC no ACR e ACL. [Os Autores, 2022]

De acordo com a Fig. 8, podemos ver que o custo no ACL é relativamente menor que o custo no ACR isso ocorre pelo fato de que o consumidor estando no mercado livre, como já mencionado anteriormente, recebe desconto na TUSD demanda e na TUSD ponta, além de conseguir comprar energia por um preço mais atrativo, neste caso R\$138 MWh, por conseguinte tem-se uma economia de aproximadamente 30%. Com isso, o cenário D, entra com o intuito de termos a economia que a fotovoltaica gera dentro do escopo da energia solar e a economia fornecida pela migração para o ACL.

No cenário D, temos o nosso consumidor enquadrado como consumidor livre especial e o mesmo irá investir no sistema de energia solar fotovoltaica, a fim de ter mais autonomia em relação a energia. Nesse cenário, além do custo com o sistema fotovoltaico temos o custo com a adequação do SMF, da comunicação e do comissionamento do sistema, além de aumentar as responsabilidades do consumidor, visto que como APE, o consumidor se torna o agente de medição, logo as responsabilidades que antes eram da distribuidora passam para ele. Aqui, não podemos calcular o Payback da mesma forma que quando se estuda a viabilidade de GD, visto que o consumidor tem um custo de energia inferior ao ACR no ACL como podemos ver na Tab. 2. Assim nessa situação, tendo em vista que segundo a análise do consumo total do consumidor ele tem um custo mensal com energia (TE) média de R\$20.500,00, logo em um ano, tem um custo de R\$246.000,00. Assim, na Fig. 10, temos o Payback considerando as tarifas de APE e a geração fotovoltaica.

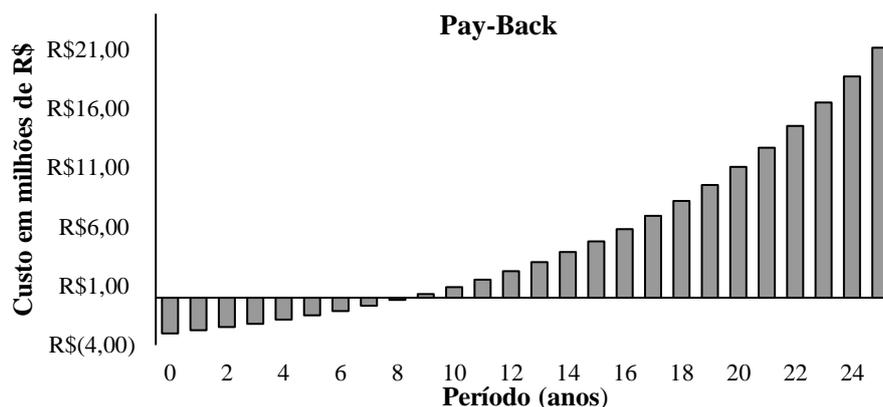


Figura 10 – Payback como autoprodutor. [Os Autores,2022]

De acordo com a Fig. 10 comparando a com a Fig. 7 vemos um retorno de forma mais demorada, ou seja, um consumidor no ACR que investe em GD tem um retorno em aproximadamente 4 anos enquanto que um consumidor que já está no ACL e investe em energia solar, tem um retorno em 8 anos, que é o dobro se comparado ao ACR. Entretanto no ACL, os excedentes de energia são comercializados, ou seja, a cada contabilização de consumo x geração, temos a possibilidade de vender excedentes enquanto no ACR isso não é possível. Ainda considerando o valor total de investimento em APE, podemos fazer uma média de custo da energia solar fotovoltaica para o consumidor, pegando o valor total investido dividindo pela quantidade de energia consumida em 25 anos, que atualmente é a vida útil do módulo

fotovoltaico de acordo com NREL – National Renewable Energy Laboratory. Assim, temos que o preço da energia gerada pela usina fotovoltaica fica em média R\$132,00 o MWh.

Assim, ao final da análise dos quatro cenários, vemos que o percentual de economia em cada cenário cresce visto que a produção da própria energia faz com que o consumidor comparando o custo atual de energia quanto o custo da energia gerada tem uma economia pequena de 4%, entretanto nem todos os contratos de energia se mantêm no patamar deste estudo, assim, quanto maior for o custo com energia maior será a economia.

## 6. CONCLUSÃO

De acordo com o estudo de caso, a economia visualizada na introdução da energia solar fotovoltaica nos ambientes de contratação de energia gera economia para o consumidor que chega ao redor de 30%. E com a busca pela redução do custo desse insumo dentro do setor industrial mostra o quanto a energia solar fotovoltaica pode beneficiar os consumidores do ACR e do ACL e apresenta tempo de retorno financeiro de aproximadamente 4 anos. Para estudos futuros pode-se considerar um consumidor que já possui GD migrando para o ACL como APE. Visto que o mercado da GD e o mercado do ACL tem complementaridade quando o alvo é a redução de custos com energia elétrica.

Por conseguinte, a introdução da energia solar fotovoltaica dentro do ACL se mostra promissora visto que o potencial de economia do mercado livre de energia está em amplo crescimento atingindo recordes no ano de 2021 e com previsão de crescimento ainda maior nos próximos anos. Logo, vemos um grande mercado para a energia fotovoltaica, tanto no ambiente cativo quanto no livre, possibilitando assim para o setor uma previsão de aumento maior a cada ciclo.

### *Agradecimentos*

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001 e do Fundo de Incentivo à Pesquisa (FIPE) da Universidade Federal de Santa Maria e com o apoio do Grupo de Estudos Avançados em Engenharia de Energia (GREEN) da Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, campus Bagé.

## REFERÊNCIAS

- ABRACEEL. Boletim Anual de Mercado. Associação Brasileira de Comercializadores de Energia. Publicado em 20 de dezembro de 2021. Acesso em 27 de dezembro de 2021. Disponível em <https://abraceel.com.br/wp-content/uploads/post/2021/12/Boletim-Abraceel-Dezembro.pdf>
- ANEEL, Informações Compiladas e Mapa da Geração Distribuída. Acesso em 31 de dez. 2021. Disponível em <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjVlLTllMjItN2E5MzBkN2ZlMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>>
- BRASIL. Lei Nº 14.300/2022, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis n.º 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, jan. 2022. Seção 1, p. 4.
- BRASIL. Resolução Normativa ANEEL Nº687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Acessado no site da Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL em Regulação do Mercado de Energia Elétrica. Acesso em 24 novembro 2021. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>
- BRASIL. Resolução Normativa ANEEL Nº482, de 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. Acessado no site da Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL em Regulação do Mercado de Energia Elétrica. Acesso em 24 novembro 2021. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>
- BRASIL. Resolução Normativa ANEEL Nº109, de 26 de outubro de 2005. Institui a Convenção de Comercialização de Energia Elétrica, estabelecendo a estrutura e a forma de funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE. Acessado no site da Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL em Regulação do Mercado de Energia Elétrica. Acesso em 24 março 2021. Disponível em <https://www.aneel.gov.br/mercado-de-eletricidade>
- BRASIL. Resolução Homologatória ANEEL Nº2.880, de 15 de junho de 2021. Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2021, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD referentes à RGE SUL Distribuidora de Energia S.A. - RGE, e dá outras providências. Acessado no site da Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL em Biblioteca ANEEL. Acesso em 24 novembro 2021. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20212880ti.pdf>
- BRASIL. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 set. 2004. Seção 1, p. 1.

- BRASIL. Lei Nº 14.120/2021, de 1º de março de 2020. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, a Lei nº 5.655, de 20 de maio de 1971, o Decreto-Lei nº 1.383, de 26 de dezembro de 1974, a Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, a Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, a Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, a Lei nº 12.111, de 9 de dezembro de 2009, e a Lei nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013, transfere para a União as ações de titularidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear representativas do capital social das Indústrias Nucleares do Brasil S.A. e da Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 dez. 2020. Seção 1, p. 1.
- BRASIL. Lei Nº9.074, de 7 de julho de 1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 de julho.1995. Seção 1, p. 6.
- BRASIL. Lei Nº10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis n.º 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 de março de 2004. Seção 1, p. 2.
- BRASIL. Portaria nº 465, de 12 de dezembro de 2019. Dispõe sobre a alteração da carga mínima para contratação de energia no ambiente livre. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 dez. 2019. Seção 1, p. 156.
- CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE), Comercialização, ambiente livre e regulado, 2022. Disponível em:[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/comercializacao](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao). Acesso em: 11 jan. 2022.
- CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Ambiente livre e ambiente regulado. Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/como-participar/ambiente-livre-ambiente-regulado?\\_afzLoop=84484658292281&\\_adf.ctrl-state=6goluo0fc\\_1#!%40%40%3F\\_afzLoop%3D84484658292281%26\\_adf.ctrl-state%3D6goluo0fc\\_5](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/ambiente-livre-ambiente-regulado?_afzLoop=84484658292281&_adf.ctrl-state=6goluo0fc_1#!%40%40%3F_afzLoop%3D84484658292281%26_adf.ctrl-state%3D6goluo0fc_5)>. Acesso em 20 de novembro de 2021.
- CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Nossos associados, todos os agentes da CCEE. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/web/guest/nossos-associados>>. Acesso em 20 de novembro de 2021.
- MENDES, Ana. O papel da autoprodução e produção independente de energias renováveis no mercado brasileiro de energia elétrica, 2011. 124f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011. Disponível em: [https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/2635/1/tese\\_4425\\_Disserta%C3%A7ao%20Ana%20Luiza%20.pdf](https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/2635/1/tese_4425_Disserta%C3%A7ao%20Ana%20Luiza%20.pdf). Acesso em: 02 ago. 2021.
- CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE), Comercialização, ambiente livre e regulado, 2022. Disponível em:[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/comercializacao](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao). Acesso em: 11 jan. 2022.
- CPFL Energia. Companhia Paulista de Força e Luz. Norma Técnica 33. Acessado em 14 de novembro de 2021. Disponível em: <[https://www.cpfl.com.br/sites/cpfl/files/2021-12/GED-33%20-%20Liga%C3%A7%C3%A3o%20de%20Autoprodutores%20em%20Paralelo%20com%20o%20Sistema%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20da%20CPFL\\_0.pdf](https://www.cpfl.com.br/sites/cpfl/files/2021-12/GED-33%20-%20Liga%C3%A7%C3%A3o%20de%20Autoprodutores%20em%20Paralelo%20com%20o%20Sistema%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20da%20CPFL_0.pdf)>
- SOLAR E SOL. Orçamento de equipamentos. Acesso em 13 de janeiro de 2022. Disponível em <<https://www.solaresol.com.br/modulos-placas>>

## FINANCIAL ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC ENERGY IN THE FREE ENERGY MARKET

**Abstract.** *The search for savings within the industrial sector, where energy is one of the inputs that generates the highest cost makes these consumers seek alternatives to reduce spending on electricity. Within this scenario we have possibilities such as energy efficiency, migration to the free energy market and investing in self-generation. Concomitant to this we have the growth of the introduction of photovoltaic solar energy within the Brazilian electricity sector, and one of the main doubts of the market is the insertion of this technology when the consumer also wants to migrate to the free contracting environment (ACL) and thus be called self-producer. This article seeks to analyze the procedures for the consumer to become self-producer and analyze the feasibility of the introduction of photovoltaic solar energy in the ACL, as well as, seeks to bring basic form which the main changes between the two environments of contracting as the introduction of photovoltaic solar energy. Seeking to evaluate the financial viability in investing in photovoltaic energy, thus generating a decrease of the costs related to electric energy and improving the environmental indicators of the company, and consequently favoring the company competitively in relation to others of the same sector.*

**Keywords:** Solar Energy, Self-Production, Free Energy Market.