ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONOMICA PARA UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA SOB A ÓTICA TARIFÁRIA EM UMA UNIDADE PROSSUMIDORA RESIDENCIAL

Amanda Mendes Ferreira Gomes – amandamendesfg@gmail.com
Gustavo Xavier de Andrade Pinto – gustavoxap@gmail.com
Aline Kirsten Vidal de Oliveira – alinekvo@gmail.com
Kaio Bernardy Pizzutti – kaio_pizzutti@hotmail.com
Marilia Braga – mbraga.ufsc@gmail.com
Daniel Odilio dos Santos – daniel.odilio@gmail.com
Lucas Rafael do Nascimento – nascimento.ufsc@gmail.com
Ricardo Rüther – rruther@gmail.com
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

6.5. Caracterização, análise, equipamentos e sistemas de armazenamento de energia

Resumo. *Este trabalho visa avaliar os impactos energéticos da inserção de um sistema de armazenamento de pequeno porte de baterias de íons de lítio em uma unidade prossumidora (UP) do grupo B localizada na Grande Florianópolis-SC, que já possui sistema FV de 6,82 kWp instalado, com consumo predominantemente diurno. São analisados dados de cinco faturas de energia do ano de 2021, referentes aos meses de julho a novembro. A inserção do BESS aumentou o valor do autoconsumo em 18%, saltando de 54% para 72%. Para o período analisado, observa-se que com o sistema FV e BESS, a UP obtém uma redução de 21% com suas despesas mensais com energia elétrica ao se mudar a modalidade tarifária da Tarifa Convencional para a Tarifa Branca. Considerando somente a inserção do BESS, já dentro da modalidade Tarifária Branca, é possível atingir uma redução de 6% em suas despesas mensais. Este valor ainda é baixo, em função da pequena diferença entre os valores dos postos tarifários e a capacidade de armazenamento do BESS, quando comparado com o consumo da residência.*

Palavras-chave: *Energia Solar Fotovoltaica, Sistema de Armazenamento de Energia, Tarifa de energia.*

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm feito os países projetarem mudanças para suas matrizes energéticas, buscando introduzir novas fontes renováveis. A participação de energias renováveis na geração global saltou para 29% em 2020, contra 27%, em 2019. As emissões globais de CO_2 diminuíram 5,8% em 2020, entretanto, a concentração média anual na atmosfera, em 2020, é cerca de 50% maior do que quando a revolução industrial começou no século XVIII (IEA, 2021).

No Brasil, as hidrelétricas ainda são a principal fonte da matriz energética, representando 56% da geração elétrica do país (SIGA, 2022). Em 2021, devido a pior escassez hídrica em 91 anos, o governo implementou uma nova bandeira Escassez Hídrica que tem uma cobrança de R$ 14,20 a cada 100 kWh consumidos (ANEEL, 2021a). Como alternativa para redução de emissão de CO2 e dos custos elevados com energia elétrica, a implementação de energia fotovoltaica junto à carga se tornou viável e interessante. Este modelo é chamado de geração distribuída. Sua regulamentação e o sistema de compensação de energia foram instaurados através da resolução normativa - REN 482 de 2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012), e após isso, o Brasil tem se deparado com um aumento constante da penetração de fontes distribuídas de energia em sua rede elétrica.

Sistemas FV integrados em edificações e interligados à rede elétrica pública trazem diversos benefícios para a concessionária e para o consumidor, já que além de produzir energia elétrica de forma distribuída (mini e microgeração), ainda podem atuar como elemento arquitetônico na cobertura de telhados, paredes, fachadas ou janelas (RÜTHER, 2004). Para que a energia FV tenha um contínuo crescimento e incremento na matriz energética brasileira, seja de forma distribuída ou centralizada (usinas), o custo da eletricidade deve ser economicamente competitivo com formas convencionais de geração de energia e é necessário ter mais controle sobre seu despacho, como, por exemplo, por meio da complementariedade FV e sistemas de armazenamento (baterias) (PINTO, 2018).

Sistemas de armazenamento de energia (BESS - *Battery Energy Storage System*) são definidos como uma unidade de armazenamento de energia em suas formas cinética, eletroquímica ou elétrica, juntamente com seus conversores. As baterias eletroquímicas ocupam papel de destaque neste cenário e têm sido extensivamente investigadas para acompanhar a penetração de energias renováveis e veículos elétricos no sistema, visto que apresentam um cenário promissor para sistemas híbridos, já que possibilitam ao usuário realizar a gestão de sua energia de maneira mais eficiente (GALLO, 2016). As vantagens do uso do BESS estão em arbitrar o melhor horário para o despacho da energia acumulada, aumento de autoconsumo da geração FV, redução das curvas de carga, fornecimento de energia em momentos críticos ou de contingência (MOSELEY, 2015).

Desde 2010, as baterias de íons de lítio tiveram uma redução de 89% em seu custo e a densidade energética triplicou, passando de aproximadamente 100 Wh/kg para 300 Wh/kg. Presume-se uma redução adicional de metade custos de baterias de íons de lítio por kWh, até 2030, devido à grande demanda programada dos mercados de armazenamento estacionário e de veículos elétricos. Atualmente, o custo para a implementação de um BESS comercial tem um alto valor e 50% desse valor se refere à aquisição dos bancos de baterias (GREENER, 2021; BNEF, 2019).

Uma das formas que podem tornar o BESS economicamente competitivos é o sistema de compensação de energia juntamente com a Tarifa Horária Branca. O sistema de compensação de energia trouxe a possibilidade de injeção do excesso de energia gerada de forma distribuída na rede pública e um sistema de créditos proporcionais à quantidade de energia injetada, como forma de retorno financeiro (ANEEL, 2012). Com a Tarifa Branca, o consumo fora ponta ficou atrativo devido a diferença tarifária entre ponta e fora ponta, já que a geração FV acontece em período fora ponta. Neste caso, o preço por kWh de consumo na ponta será mais caro que o valor pago pela injeção de energia. Este novo ambiente de tarifação juntamente com a intermitência das energias renováveis trouxe a possibilidade de tornar realidade o armazenamento da energia durante o dia para uso posterior, geralmente em períodos em que a energia estará mais cara (ESTHER e KUMAR, 2016).

Com isso, este trabalho visa avaliar os impactos energéticos e tarifários da inserção de um sistema de armazenamento de pequeno porte em uma unidade prossumidora (UP) do grupo B localizada na Grande Florianópolis (27°S, 48°O), Santa Catarina, que já possui sistema FV previamente instalado.

1.1 Projeto e contexto

Este trabalho faz parte do projeto de pesquisa e desenvolvimento executado pelo Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (Fotovoltaica/UFSC) no contexto da chamada estratégica 021/2016 da ANEEL e contou com o apoio financeiro da Engie e da Guascor. O projeto intitulado "Um investimento = múltiplas funções: Desenvolvimento e avaliação técnica, regulatória e econômica de sistemas de armazenamento de energia aplicados a sistemas de geração centralizada e distribuída." objetiva explorar todos os possíveis papéis que um sistema de armazenamento de energia pode desempenhar.

2. METODOLOGIA

2.1 Descrição do sistema

O sistema FV da UP foi instalado em 2016 e suas informações são apresentadas na Tab. 1. A UP está sendo atendida com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV e se enquadra dentro do grupo B, consequentemente, subgrupo B1 de atendimento residencial, com tensão nominal de 220V/380V trifásico e tarifa convencional (monômia) de fornecimento (ANEEL, 2010).

Tabela 1 – Informações sobre os sistemas FV instalados na UP

Parâmetro	***UP***
Potência total instalada	6,82 kWp
Nº de módulos multicristalinos (p-Si)	22
Número de inversores FV	1
Potência nominal CA	6 kW
Ano de instalação do sistema FV	2016
Custo do *kit* no ano de instalação	7,99 R$/Wp
Custo do *kit* em 2021/1	4,88 R$/Wp

O dimensionamento de um BESS depende de sua aplicação e o perfil de consumo da UP. Luthander et al. (2015) apresentou que valores de 0,5 a 1 kWh de capacidade de armazenamento para cada kWp de potência fotovoltaica instalada seriam capazes de obter um autoconsumo entre 10 e 24%. Diante disso, o BESS instalado possui as características apresentadas na Tab. 2.

O BESS instalado no segundo trimestre de 2021, é composto por uma bateria de íons de lítio e seu inversor, além do equipamento responsável por controlar o despacho do BESS. Devido a sua data de instalação, são analisados os meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro.

Tabela 2 – Informações sobre a bateria e o inversor do BESS instalados na UP

Equipamento	***Parâmetros***	***Especificações***
Bateria	Tipo de bateria	LiFePO4
	Número de módulos	2 módulos de 2,56 kWh
	Energia utilizável	5,12 kWh
	Potência máxima de saída	5,12 kW
	Tensão nominal	51,2 V
	Tensão de trabalho	43,2 ~ 56,4 V
Inversor da Bateria	Tensão de trabalho AC	230/172,5 ~ 264,5 V
	Frequência	50/40 até 70 Hz
	Corrente CA máxima para operação na rede	20 A
	Potência aparente máxima para operação na rede	4,6 kVA
	Corrente máxima de entrada CA	50 A
	Potência máxima de entrada CA	11,5 kW
	Eficiência do inversor	95,8 %

A Fig. 1 apresenta o diagrama de blocos das conexões elétricas do sistema FV e BESS da UP.

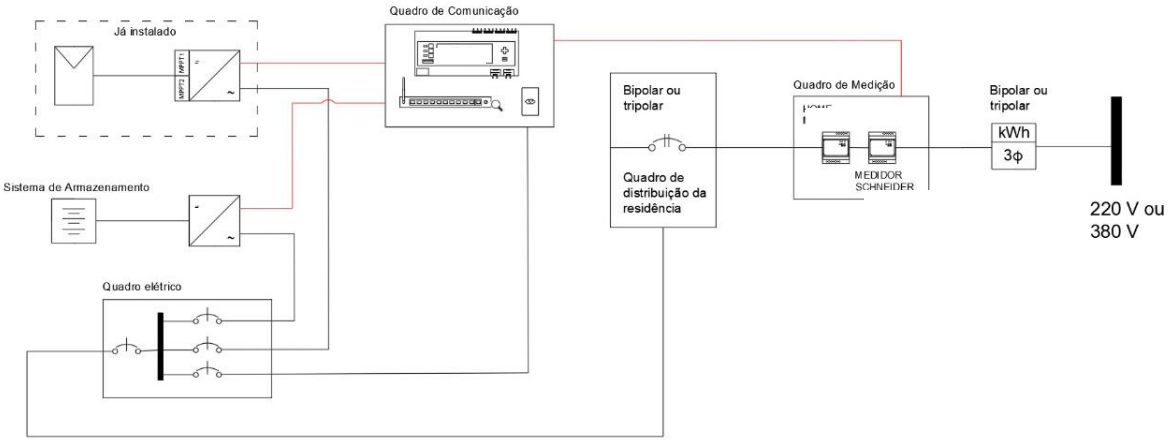
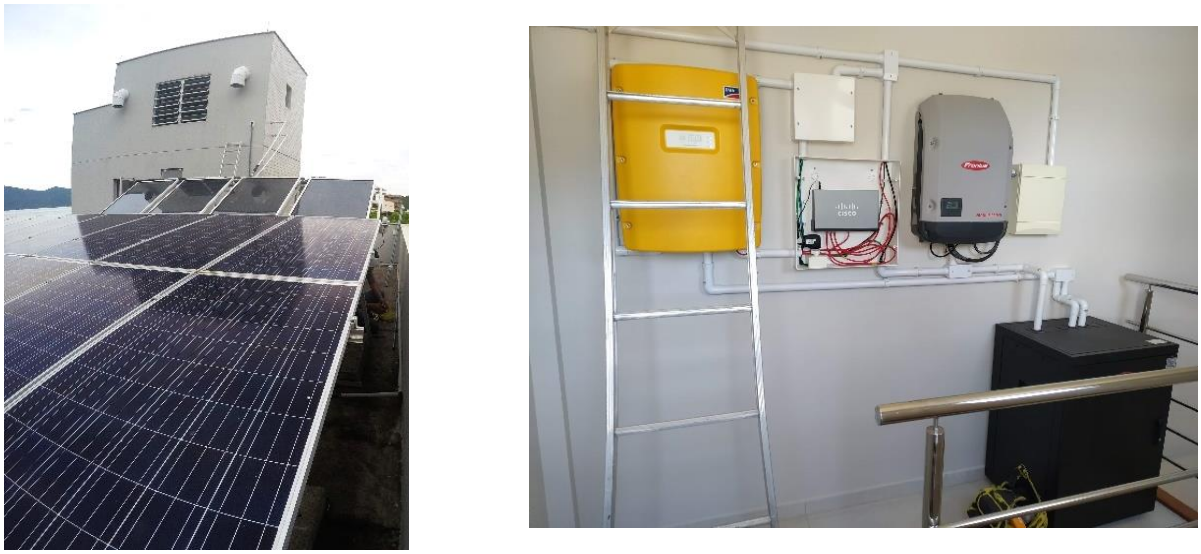


Figura 1 – Diagrama de blocos simplificado das interligações entre os sistemas e a residência.

A Fig. 2 apresenta o sistema FV e o BESS instalados na UP analisada neste estudo.



(a) (b)

Figura 2 – Sistemas FV (a) e Sistema de armazenamento de energia (b) instalados na Unidade Prossumidora.

A Tab. 3 apresenta o despachado estratégico do BESS para os dias úteis e não úteis. O BESS está parametrizado para despacho energético baseado em horário, ou seja, seu carregamento é forçado das 14:00 às 17:00, para garantir plena carga nos períodos noturnos, e opera tentando maximizar o autoconsumo (carrega a bateria pelo excedente da energia FV gerada e usa a bateria como principal fonte de energia para as cargas quando não há geração FV) nos demais horários do dia.

Tabela 3 – Métricas de despacho estratégico para dia útil e não útil

Tipo de dia	Horário	Métrica de Despacho Estratégico
Dia útil	00:00 às 13:59	Carga ou descarga, maximização do autoconsumo
	14:00 às 17:00	Carga forçada
	17:01 às 23:59	Carga ou descarga, maximização do autoconsumo
Dia não útil	00:00 às 23:59	Carga ou descarga, maximização do autoconsumo

2.2 Perfil de consumo e gerenciamento de demanda

O perfil de consumo da UP varia de acordo com o uso da edificação, resultando em períodos de maior ou menor consumo energético, variações sazonais e hábitos rotineiros. As informações apresentadas na Tab. 3 foram obtidas por meio de uma avalição qualitativa em uma visita técnica na UP e preenchimento de um formulário sobre as cargas instaladas, hábitos de consumo e uso da edificação.

A UP possui cargas elétricas tais como tomadas de uso geral e específico, sistema de iluminação em LED, sistemas de ar-condicionado e piso térmico. Gomes (2020) apresentou o perfil de consumo da UP, indicando um consumo expressivo durante o dia.

Tabela 4 – Pesquisa qualitativa e quantificativa do uso da edificação.

Item	***Informações***
Uso da edificação	Consumo predominante diurno
Consumo médio mensal	1023,8 kWh/mês
Consumo médio diário	33,02 kWh/dia
N° de moradores	2 pessoas com variações aos finais de semana
Principais cargas	Cervejeira, piso térmico, forno elétrico, 3 motores de portão, bomba de água, equipamentos de uso em oficinas e 5 aparelhos de ar-condicionado

O conceito de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) fornece ao usuário final a capacidade de adaptar seu consumo de energia de forma a trazer benefícios financeiros, energéticos e ao sistema de distribuição da concessionária. Este tipo de controle também incentiva o autoconsumo, já que é possível maximizar o consumo residencial instantâneo da geração FV e/ou armazenar energia, por meio de BESS, para uso posterior durante as horas de pico da rede, diminuindo os custos com o consumo de energia no horário de ponta.

2.3 Aquisição de dados

Os dados medidos utilizados neste trabalho são obtidos a partir de aferições *in loco* na UP utilizando três diferentes equipamentos. As medições do BESS são feitas utilizando um SMA Home Manager, do fabricante SMA, conectado a um datalogger. Já o consumo da UP é medido com um medidor de energia iEM3165, do fabricante Schneider Electric, também conectado a um datalogger. Os dados do sistema FV são coletados diretamente do portal do inversor, do fabricante Fronius. Todos os dados são coletados considerando os parâmetros em corrente alternada do sistema, ou seja, após o inversor FV ou da bateria.

O datalogger tem intervalo de aquisição de dados de um minuto. Já o portal do inversor FV tem um intervalo de cinco minutos. Portanto, para este trabalho, os dados são integrados na resolução de cinco minutos, adequando as duas bases de dados existentes.

Após a aquisição, os dados são tratados com auxílio da linguagem de programação Python e o Excel. Os filtros de *outliers* aplicados são baseados no Método de intervalo interquartil (IQR) e os dados vazios e/ou fundos de escala são excluídos.

2.4 Estrutura tarifária convencional e branca para consumidores do grupo B

A ANEEL estabelece dois grupos dentro do ambiente de contratação regulado, grupos A e B, que se dividem de acordo com o nível de tensão em que são atendidas as respectivas UPs. O grupo B reúne o composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, também chamada de baixa tensão, das Classes

Residencial (Subgrupo B1), Rural (B2), Demais Classes (B3) e Iluminação Pública (B4) (ANEEL, 2021b). Os consumidores do grupo B estão expostos às tarifas aplicáveis somente ao consumo, medido em kWh. Assim, o valor da conta de energia elétrica é calculado multiplicando o valor único da tarifa (tarifa convencional) e o consumo daquele período de faturamento, que pode variar de mês em mês (ANEEL, 2010).

Em 2012, por meio da REN 479/2012, a ANEEL estabeleceu a modalidade Tarifária Horária Branca (também chamada de Tarifa Branca), uma nova opção de tarifa do tipo *Time of use* – TOU. Com ela, os consumidores novos e antigos do grupo B poderão optar por pagar valores diferentes de acordo com o dia e hora do consumo. Nos dias úteis, o valor varia de acordo com as revisões tarifárias periódicas de cada distribuidora. A Tarifa Branca possui valores diferentes para o período de Ponta (P - aquele com maior demanda de energia), intermediário (I - geralmente, uma hora antes e uma hora depois do horário de ponta) e o fora de ponta (FP - aquele com menor demanda de energia). Os sábados, domingos e feriados nacionais operam com a tarifa horária Fora Ponta (FP) independente da hora do dia (ANEEL, 2012).

A tarifa final a ser aplicada no faturamento da UP é calculada de acordo com a Eq. (1) (Celesc, 2019).

$$T_f = \frac{T_{homologada}}{1\ (PIS + COFINS + ICMS)} \tag{1}$$

Onde:

T_f = Tarifa final (R$/kWh);

$T_{homologada}$ = Tarifa homologada (R$/kWh);

PIS = Contribuição ao Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público;

$COFINS$ = Contribuição para Financiamento da Seguridade Social;

$ICMS$ = Imposto sobre circulação de mercadorias e prestação de serviços.

Todas as tarifas possuem os valores homologados na ANEEL e devem ser acrescidas dos impostos para cada estado da federação, neste caso, os impostos são referentes ao estado de Santa Catarina. A Tab. 5 apresenta as informações necessárias para o cálculo da tarifa final (Celesc, 2019).

Tabela 5 – Valores percentuais das alíquotas de impostos.

Ano		***2021***					
Mês		Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
PIS		0,58%	0,03%	0,07%	0,47%	0,63%	0,67%
COFINS		2,67%	0,15%	0,33%	2,15%	2,92%	3,07%
ICMS até 150 kWh		12%					
ICMS acima de 150 kWh		25%					
Tarifa Convencional		0,53224 R$/kWh					
Tarifa Homologada Tarifa Branca	**Ponta – 18:30 às 21:30**	0,925 R$/kWh					
	Intermediário 17:30 às 18:30 e 20:30 às 21:30	0,601 R$/kWh					
	Fora Ponta – demais horários	0,456 R$/kWh					

Atualmente, a UP está em operação dentro do grupo das UPs faturadas com a Tarifa Convencional. Os cenários comparativos desse trabalho são contrapor os diferentes cenários utilizando as variáveis: Tarifa Convencional, Tarifa Branca, FV e BESS. Dessa forma, os cenários propostos são:

1) Comparar Tarifa Convencional com FV e com BESS (atual) *versus* Tarifa Branca com FV e com BESS;
2) Comparar Tarifa Branca com FV e sem BESS *versus* tarifa branca com FV e com BESS.

2.5 Método utilizado

O método utilizado para avaliar a viabilidade econômica de troca tarifária e implementação do BESS consiste em:

1. Aquisição dos dados conforme indicado no item 2.3;
2. Tratamento dos dados medidos em Python, conforme indicado no item 2.3, utilizando a resolução temporal de cinco minutos;
3. Cálculo do valor da fatura de energia considerando os cenários propostos no item 2.4.

O método utilizado realiza o cálculo de uma fatura de energia simulada dentro dos cenários desejados, tais como alterar a inserção de FV, do BESS e a mudança tarifária.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para ilustrar a utilização da UP, a Fig. 3 apresenta o perfil de consumo de um dia típico da UP considerando o sistema FV existente. Observa-se que o sistema FV colabora com a redução do consumo durante o dia, principalmente do pico de consumo, no período do meio-dia.

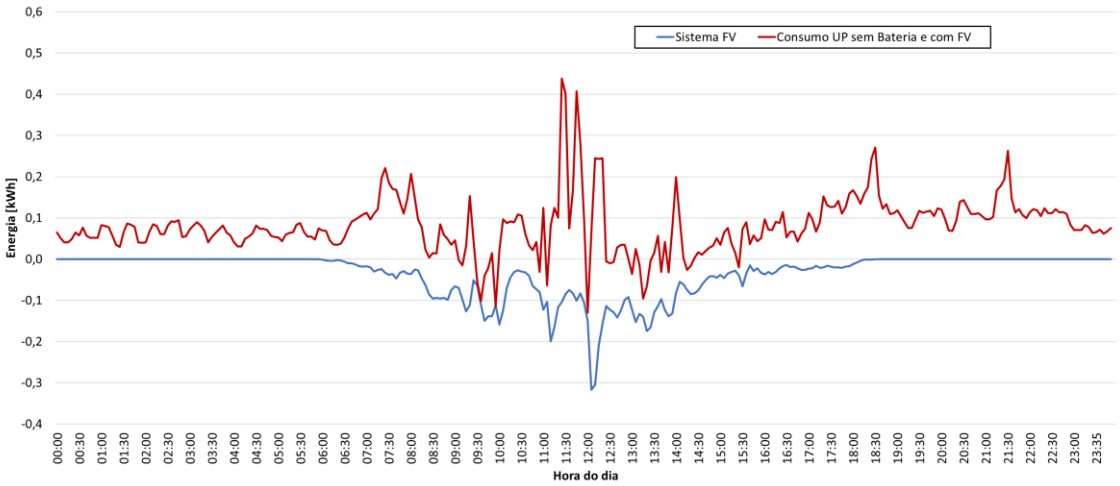


Figura 3 – Perfil de consumo e geração FV UP da em um cenário sem bateria no dia 31/10/2021.

A Fig. 4 apresenta o perfil de consumo da UP considerando a inserção do BESS e sistema FV. O gráfico mostra que a adição do BESS reduz a injeção de energia durante o dia, já que parte da energia FV é utilizada para carregar o sistema, mas no pico de consumo, próximo ao meio-dia, é utilizado para suprir energia ao sistema e contribuir com a redução do pico. O BESS também colabora na redução de consumo durante o período vespertino e início da noite, horário de ponta de acordo com a Tarifa Branca.

A Fig. 5 apresenta os diferentes consumos possíveis para a residência, com e sem FV, e com e sem BESS. Observa-se que o consumo total da residência, apresentado pela curva roxa, que não possui influência do sistema FV e BESS, confirma o perfil diurno, com picos de consumo próximos ao meio-dia, justificados pelo uso do ar-condicionado, considerando a estação do ano analisada. A curva alaranjada apresenta a inserção do sistema FV e BESS. Com essa inserção, o consumo da concessionária teve uma redução de 28%, sendo que esta energia passou a ser fornecida pela energia FV gerada pela UP através da bateria.

A Tab. 6 apresenta a análise histórica do perfil de consumo mensal através da análise das faturas de energia elétrica da UP para o período de janeiro/2020 a novembro/2021. A tabela apresenta ainda, a energia injetada, gerada e o autoconsumo, ou seja, quantidade de energia gerada que foi consumida instantaneamente pela UP, seja pelas cargas ou pelo carregamento do BESS, em kWh e percentual. A partir do mês 05/2021, o BESS foi instalado na UP, iniciando sua operação.

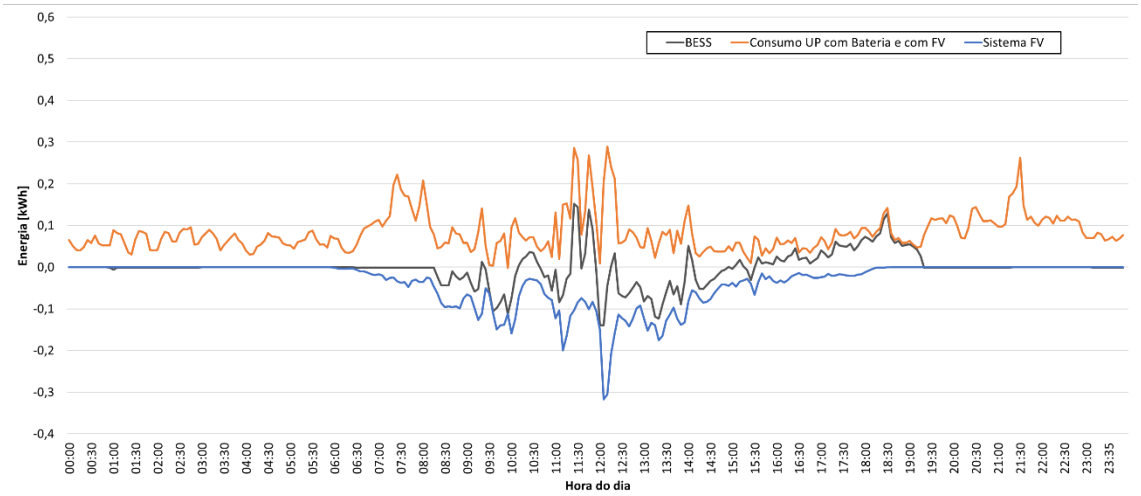


Figura 4 – Perfil energético típico da UP para o BESS, FV e consumo com BESS e com FV do dia 31/10/2021.

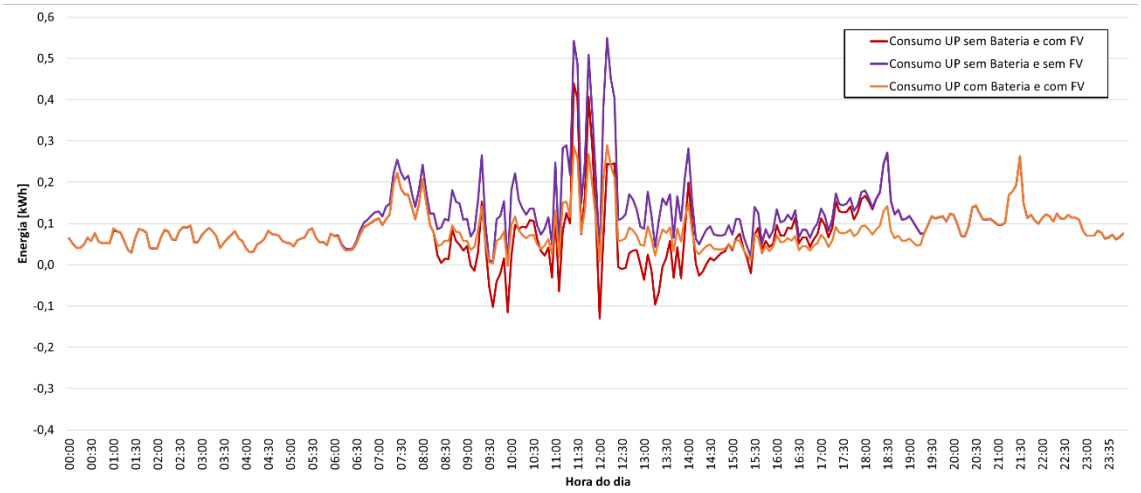


Figura 5 – Perfil energético típico da UP para os diferentes consumos do dia 31/10/2021.

Tabela 6 – Dados expandidos das faturas de energia elétrica e do portal do sistema FV da UP.

	Mês Ref.	***Consumo da concessionária [kWh]***	***Energia Injetada [kWh]***	***Energia Gerada pelo FV [kWh]***	***Autoconsumo sobre o FV [kWh]***	***Energia Total Consumida (carga) [kWh]***	***Autossuficiência sobre a carga [%]***	***Média de Autossuficiência sobre a carga [%]***	***Autoconsumo sobre o FV [%]***	***Média de autoconsumo sobre o FV [%]***
UP com FV e sem BESS	01/2020	699	599	906	307	1006	31%	37%	34%	54%
	02/2020	290	190	810	620	910	68%		77%	
	03/2020	269	169	930	761	1030	74%		82%	
	04/2020	546	446	828	382	928	41%		46%	
	05/2020	510	410	683	273	783	35%		40%	
	06/2020	807	250	434	184	991	19%		42%	
	07/2020	1152	224	521	297	1449	20%		57%	
	08/2020	842	344	716	372	1214	31%		52%	
	09/2020	1110	299	562	263	1373	19%		47%	
	10/2020	691	446	828	382	1073	36%		46%	
	11/2020	464	364	804	440	904	49%		55%	
	12/2020	533	433	716	283	816	35%		39%	
	01/2021	1345	258	700	442	1787	25%		63%	
	02/2021	772	326	831	505	1277	40%		61%	
	03/2021	824	289	721	432	1256	34%		60%	
	04/2021	769	218	715	497	1266	39%		70%	
UP com FV e com BESS	*05/2021*	*683*	*223*	*580*	*357*	*1040*	*34%*	*36%*	*62%*	72%
	06/2021	*1037*	*157*	*442*	*285*	*1322*	*22%*		*64%*	
	07/2021	*1220*	*81*	*694*	*613*	*1833*	*33%*		*88%*	
	08/2021	*1127*	*97*	*582*	*485*	*1612*	*30%*		*83%*	
	09/2021	*521*	*194*	*644*	*450*	*971*	*46%*		*70%*	
	10/2021	*638*	*185*	*612*	*427*	*1065*	*40%*		*70%*	
	11/2021	*546*	*308*	*848*	*540*	*1086*	*50%*		*64%*	

O perfil de consumo da residência não foi fortemente afetado pela pandemia do COVID19 (que teve início em março de 2020), pois os hábitos de consumo já incluíam uso da edificação e fluxo de pessoas durante o dia. Observa-se que nos meses de inverno, a energia total consumida tende a ser elevada devido ao uso expressivo do sistema de piso aquecido. Já nos meses de verão, o uso de ar-condicionado ocupa essa posição de destaque.

No período de 01/2020 a 11/2021, a porcentagem média de autoconsumo sobre o FV foi de 60%. Analisando somente os meses sem o BESS (de 01/2020 a 04/2021), este valor foi de 54%. Após a inserção do BESS (de 05/2021 a 11/2021), este valor aumentou para 72%, apresentando um aumento de 18% do aproveitamento da energia FV, e alcançando o objetivo da implementação do BESS.

A Tab. 7 apresenta o valor final das faturas de energia calculadas considerando os seguintes cenários: Fatura com Tarifa Convencional com FV e com BESS, Fatura com Tarifa Branca sem FV e sem BESS, Fatura com Tarifa Branca com FV e sem BESS e Fatura com Tarifa Branca com FV e com BESS.

Tabela 7 – Dados detalhados das faturas de energia calculadas baseado em diferentes tipos de faturamento.

Mês	*Tipo de faturamento*	*Posto Tarifário*	*Consumo [kWh]*	*Valor [R$]*	*Valor [R$]*
07/2021	Fatura com Tarifa Convencional com FV e com BESS	Consumo < 150 kWh	150	R$ 86,40	R$ 810,00
		Consumo >= 150 kWh	1070	R$ 723,60	
	Fatura com Tarifa Branca sem FV e sem BESS	Ponta	163	R$ 150,71	R$ 812,56
		Intermediária	57	R$ 34,25	
		Fora Ponta	1374	R$ 627,60	
	Fatura com Tarifa Branca com FV e sem BESS	Ponta	163	R$ 150,71	R$ 645,38
		Intermediária	57	R$ 34,25	
		Fora Ponta	1008	R$ 460,42	
	Fatura com Tarifa Branca com FV e com BESS	Ponta	112	R$ 103,69	R$ 615,43
		Intermediária	39	R$ 23,47	
		Fora Ponta	1069	R$ 488,28	
08/2021	Fatura com Tarifa Convencional com FV e com BESS	Consumo < 150 kWh	150	R$ 86,62	R$ 749,27
		Consumo >= 150 kWh	977	R$ 662,65	
	Fatura com Tarifa Branca sem FV e sem BESS	Ponta	169	R$ 156,33	R$ 804,29
		Intermediária	76	R$ 45,60	
		Fora Ponta	1319	R$ 602,36	
	Fatura com Tarifa Branca com FV e sem BESS	Ponta	169	R$ 156,33	R$ 605,55
		Intermediária	76	R$ 45,60	
		Fora Ponta	884	R$ 403,62	
	Fatura com Tarifa Branca com FV e com BESS	Ponta	112	R$ 103,70	R$ 574,37
		Intermediária	49	R$ 29,23	
		Fora Ponta	967	R$ 441,44	
09/2021	Fatura com Tarifa Convencional com FV e com BESS	Consumo < 150 kWh	150	R$ 93,03	R$ 364,49
		Consumo >= 150 kWh	371	R$ 271,46	
	Fatura com Tarifa Branca sem FV e sem BESS	Ponta	87	R$ 81,05	R$ 418,74
		Intermediária	40	R$ 24,29	
		Fora Ponta	686	R$ 313,40	
	Fatura com Tarifa Branca com FV e sem BESS	Ponta	87	R$ 81,05	R$ 287,26
		Intermediária	40	R$ 24,29	
		Fora Ponta	398	R$ 181,92	
	Fatura com Tarifa Branca com FV e com BESS	Ponta	48	R$ 44,84	R$ 263,78
		Intermediária	21	R$ 12,58	
		Fora Ponta	452	R$ 206,36	
10/2021	Fatura com Tarifa Convencional com FV e com BESS	Consumo < 150 kWh	150	R$ 94,02	R$ 366.96
		Consumo >= 150 kWh	371	R$ 272,94	
	Fatura com Tarifa Branca sem FV e sem BESS	Ponta	120	R$ 111,55	R$ 500,05
		Intermediária	44	R$ 26,33	
		Fora Ponta	793	R$ 362,17	
	Fatura com Tarifa Branca com FV e sem BESS	Ponta	120	R$ 111,55	R$ 350,66
		Intermediária	44	R$ 26,27	
		Fora Ponta	466	R$ 212,84	
	Fatura com Tarifa Branca com FV e com BESS	Ponta	75	R$ 69,46	R$ 330,51
		Intermediária	26	R$ 15,77	
		Fora Ponta	537	R$ 245,29	
11/2021	Fatura com Tarifa Convencional com FV e com BESS	Consumo < 150 kWh	150	R$ 94,22	R$ 367.68
		Consumo >= 150 kWh	371	R$ 273,46	
	Fatura com Tarifa Branca sem FV e sem BESS	Ponta	130	R$ 120,92	R$ 455,58
		Intermediária	57	R$ 34,57	
		Fora Ponta	657	R$ 300,10	
	Fatura com Tarifa Branca com FV e sem BESS	Ponta	130	R$ 120,92	R$ 310,56
		Intermediária	55	R$ 33,31	
		Fora Ponta	342	R$ 156,33	
	Fatura com Tarifa Branca com FV e com BESS	Ponta	76	R$ 70,88	R$ 289,84
		Intermediária	31	R$ 18,38	
		Fora Ponta	439	R$ 200,58	

A Fig. 6 apresenta os valores resumidos das faturas de energia calculadas para a UP no período analisado.

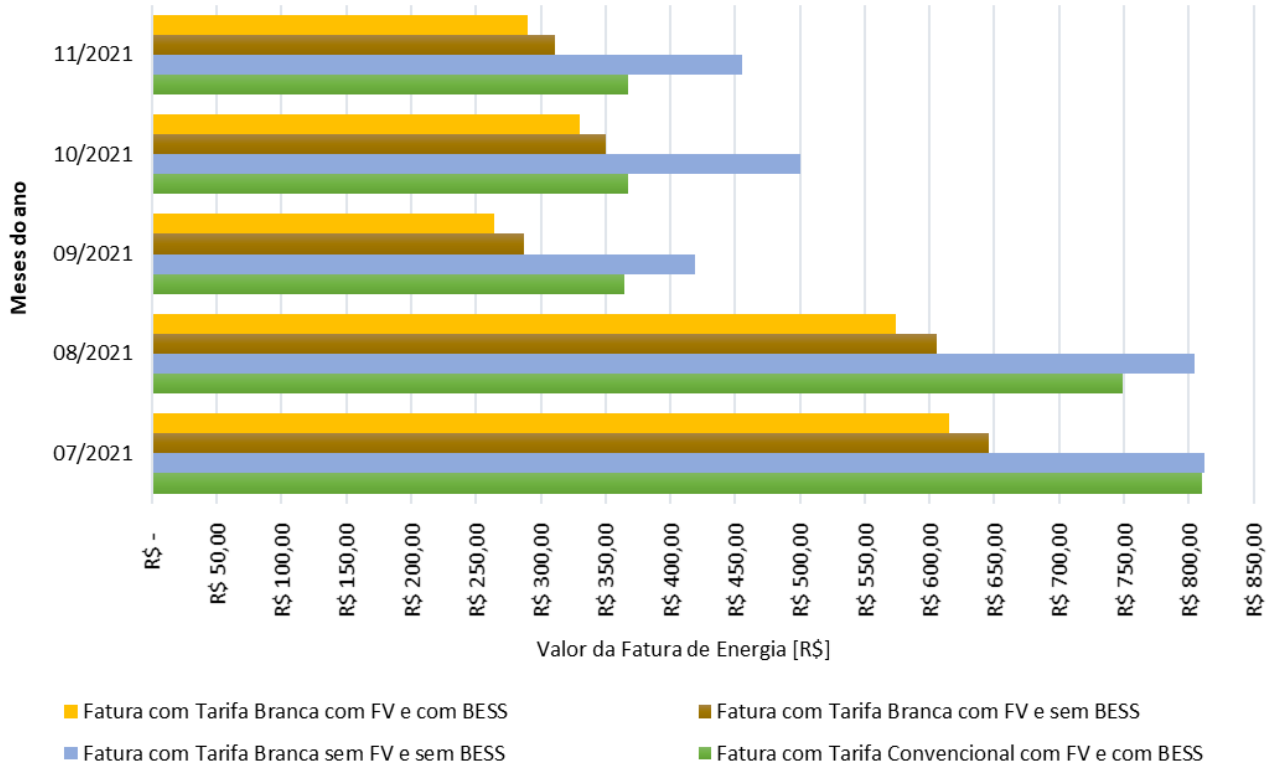


Figura 6 – Evolução do cálculo dos cenários considerando diferentes faturamentos para a UP.

Para o período analisado, observa-se que com a instalação do sistema FV e do BESS, e com a mudança de modalidade tarifária (da Tarifa Convencional para a Tarifa Branca), a UP obtém uma redução de 21% com suas despesas com energia elétrica. Ao adicionar o BESS na UP já dentro da modalidade Tarifária Branca, é possível atingir uma redução de 6% em suas despesas mensais. Para o mês com maior redução de valor de fatura (07/2021), a economia pode chegar a R$ 194,57.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a os impactos energéticos da inserção de um sistema de armazenamento de energia em uma Unidade Prossumidora, localizada na região da Grande Florianópolis, do Grupo B que já possui sistema fotovoltaico, e adicionalmente, avaliar a mudança tarifaria para a Tarifa Branca, visto que a partir de janeiro de 2020, essa opção passou a estar disponível para todos os consumidores do grupo B.

No período analisado, foi possível observar que o BESS impactou positivamente o autoconsumo da UP, apresentando um aumento de 18% sobre a energia FV, principalmente, considerando o uso inteligente da energia, ou seja, retendo a energia para um uso futuro, seja em um período com maior consumo energético ou em um período em que a tarifa da concessionaria é alta. Além disso, observou-se que somente com a troca tarifária, da Convencional para a Branca, mantendo os sistemas FV e BESS, já apresenta uma redução de 21% na despesa com energia elétrica.

Foram analisados os impactos proporcionados pela inserção do BESS na UP sobre seu consumo de energia e, consequentemente, o custo da energia elétrica para o consumidor em diferentes modalidades tarifarias, no período de cinco meses. Quanto maior a diferença entre os postos tarifários, mais viável é armazenar a energia no período fora ponta (período diurno) para consumir no período de ponta (período noturno). Com o uso do BESS atrelado a produção FV, o custo para produzir a energia pode ser mais barato que o posto tarifário fora ponta, o que pode potencializar esse ganho financeiro e viabilizar o uso de BESS. Nos últimos anos, as baterias passaram por uma redução significativa de custos, mas ainda permanecem caras para este tipo de aplicação. Para que sistemas residências sejam viáveis, essa redução precisa ser mais acentuada.

A inserção de um BESS na residência, causou apenas 6% de diminuição da tarifa de energia elétrica nos meses analisados. Os principais motivos para estes valores é a pequena diferença entre os valores dos postos tarifários e o tamanho o BESS, quando comparado com o consumo da residência. Apesar do BESS estar dentro dos parâmetros estabelecidos por Luthander et al. (2015) observa-se que seria possível aumentar o autoconsumo da UP. Para potencializar este ganho, seria possível analisar formas de controle de demanda para que a UP transfira ainda mais consumo para os horários fora ponta, onde a tarifa é a mais barata.

Como trabalhos futuros, será dada continuidade na medição de dados, após a implementação do BESS. Com isso, será possível realizar uma análise completa de viabilidade econômica deste sistema considerando os valores de implementação, O&M e possíveis mudanças tarifárias.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), bem como à Engie Brasil Energia e à Guascor do Brasil pelo suporte e apoio financeiro no projeto P&D Estratégico ANEEL 021/2016. Os autores agradecem também aos colegas do laboratório Fotovoltaica-UFSC que não participaram diretamente desta pesquisa, mas ajudaram na instalação e manutenção dos equipamentos utilizados, e pelas discussões frutíferas sobre os temas abordados nesse artigo. Amanda Mendes Ferreira Gomes e Marília Braga agradecem ainda o apoio recebido da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) através de suas bolsas de mestrado e doutorado, respectivamente.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2021a. Dados disponíveis em <www.aneel.gov.br>

Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2012. Resolução Normativa n° 482 de 17 de abril de 2012. ANEEL, n. D, p. 1, 2012.

Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2010. Resolução Normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010.

Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL. Tarifas Consumidores. 2021b. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores.

BNEF, 2018. Energy Storage Outlook 2019. Bloomberg New Energy Finance.

Castillo-Cagigal, M., Gutiérrez, A., Monasterio-Huelin, F., Caamaño-Martín, E., Masa, D.; Jiménez-Leube, J., 2011. A semi-distributed electric demand-side management system with PV generation for self-consumption enhancement. Energy Conversion and Management, vol. 52, pp. 2659-2666.

Centrais Elétricas de Santa Catarina, CELESC, 2019. Dúvidas frequentes: Tarifas e taxas de energia. Disponível em: https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia#tributos

GALLO, A. B. et al., 2016. Energy storage in the energy transition context: A technology review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 65, p. 800–822.

Ester, B. PRIYA, Kumar, K. Sathish, 2016. A survey on residential Demand Side Management architecture, approaches, optimization models and methods. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 59, p. 342-351.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética, 2015. Nota Técnica DEA 01/15 Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta. Rio de Janeiro.

Greener, 2021. Estudo estratégico – Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída – 1º Trimestre de 2021. Grenner, São Paulo.

Greener, 2021. Estudo Estratégico – Mercado de Armazenamento: Aplicações, Tecnologias e Análises Financeiras. Grenner e NewCharge, São Paulo.

Gomes, Amanda M. F. et al., 2020. Análise da viabilidade econômica de sistemas de microgeração fotovoltaica em baixa tensão aplicadas as tarifas convencionais e branca. Anais de congresso: CBENS, Fortaleza.

International Energy Agency - IEA, Global Energy Review 2021 - Assessing the effects of economic recoveries on global energy demand and CO2 emissions in 2021. IEA Publications, 2021.

Luthander, R. et al, 2015. Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. Applied Energy, v. 142, p. 80–94.

Moseley, P. T., Garche, J., 2015. Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing, ISBN: 978-0-444-62616-5, Elsevier B.V.

Sistema de Informações de Geração da ANEEL, SIGA. [Online] Disponivel em: https://bit.ly/2IGf4Q0. [Acesso em: Janeiro, 2022].

Pinto, G. X. de A., 2018. Impactos da geração solar fotovoltaica e da modalidade de contratação da energia elétrica sobre as despesas com energia elétrica em campus universitário, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis.

Rüther, R., 2004. Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.

ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS FOR AN ENERGY STORAGE SYSTEM UNDER THE TARIFF STRUCTURE OF A RESIDENTIAL UNIT

Abstract. *This work aims to evaluate the energy impacts of the insertion of a small storage system of lithium-ion batteries in a Prosumer Unit (UP) of group B located in Florianópolis-SC, which already has a PV system of 6.82 kWp installed, with predominantly daytime consumption. Data from five energy bills for the year 2021 are analyzed, referring to the months from July to November. The insertion of BESS increased the value of self-consumption by 18%, jumping from 54% to 72%. For the analyzed period, it is observed that with the PV and BESS system, the UP obtains a 21% reduction in its monthly expenses with electricity when changing the tariff modality from the Conventional Tariff to the White Tariff. Considering only the insertion of BESS, already within the White Tariff modality, it is possible to achieve a 6% reduction in your monthly expenses. This value is still low, due to the small difference between the values of the tariff stations and the storage capacity of BESS, when compared to the consumption of the residence.*

Key words*: Photovoltaic Solar Energy, Energy Storage System, Energy Tariff.*