

Abordagem para Redução dos Indicadores Individuais e Coletivos em Conjunto de Consumidores UC Irrigantes

Fabrin, F. G.¹, Bernardon, D. P.¹, Garcia, V.J.², Pose, A.³, Reis, L.³, Butto, S.³, Chiara, L.M.⁴, Silva, D.W.⁴

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, PPGEE-UFSM, Santa Maria, RS (Francisco.fabrin@acad.ufsm.br, dpbernardon@ufsm.br)

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, PPGEP-UFSM, Santa Maria, RS (viniciusjg@ufsm.br)

³ SiglaSul Consultoria Ltda, Rio de Janeiro, RJ (apose@siglasul.com.br, lreis@siglasul.com.br, sebabutto@siglasul.com.br)

⁴ CPFL Energia, Campinas, São Paulo, SP (lucaschiara@cpfl.com.br, dwichmann@cpfl.com.br)

Abstract: The present work presents an approach for the reduction of collective and individual indicators for a Set, which serves urban and rural Consumer Units (UCs), where the rural ones have irrigators with central pivot served with A4 voltage class Green tariff. This methodology is based on the average daily values of the indicators and consumption for the definition of an Energy Storage System - SAE and Photovoltaic Plant - UFV. Irrigating rural UCs tend to violate the limits of the indicators defined by ANEEL. In this way, an SAE was designed together with UFV, so that it can be installed at strategic points in order to reduce the indicators, which are currently causing high amounts of fines. The characteristics of SAE and UFV were defined through the energy consumed in rural and urban areas separately, together with the value of the Maximum Duration of Continuous Interruption per consumer unit - DMIC. With this, it is intended to reduce the indicators to values lower than those established. It was concluded that in 19 years the amount invested is recovered.

Resumo: O presente trabalho, apresenta uma abordagem para a redução dos indicadores coletivos e individuais para um Conjunto, o qual atende Unidades Consumidoras (UCs) urbanas e rurais, onde as rurais possuem irrigantes com pivô central atendidas com tarifa Verde classe de tensão A4. Esta metodologia é baseada nos valores médio diários dos indicadores e do consumo para a definição de um Sistema de Armazenamento de Energia - SAE e Usina Fotovoltaica - UFV. As UCs rurais irrigantes tendem ocasionar a violação dos limites dos indicadores definidos pela ANEEL. Desta forma foi dimensionado um SAE juntamente com UFV, para que possa ser instalado em pontos estratégicos com objetivo de reduzir os indicadores, sendo os que provocam atualmente altos valores de multas. Foi definido as características dos SAE e UFV através da energia consumida na área rural e urbana separadamente, juntamente com o valor da Duração Máxima de Interrupção Contínua por unidade consumidora - DMIC. Com isso pretende-se reduzir os indicadores a valores inferiores aos estabelecidos. Chegou-se à conclusão de que em 19 anos é recuperado o valor investido.

Keywords: Irrigantes; compensation; indicators; distributor; energy storage.

Palavras-chaves: Irrigantes; Compensação; indicadores; distribuidora; Armazenamento de energia.

1. INTRODUÇÃO

O atendimento da demanda de energia elétrica é a tarefa fundamental associada às empresas distribuidoras de energia, sensivelmente desafiadora com o aumento vegetativo do consumo. E ainda: manter o sistema de distribuição de energia elétrica em condições de operação aceitáveis, ao mesmo tempo em que são observados os limites para os indicadores de desempenho estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Conforme EPE (2021), MME no Plano Decenal, a matriz energética atingirá 48% ao final do horizonte, sendo que 86% da oferta de energia elétrica provirá de fontes renováveis, sendo que no período de 2018-2027 terá que ser investido R\$ 1,8 trilhão para atender o crescimento da demanda e manter o sistema com matriz energética. O crescimento previsto e de

2,3% anual, entre 2017 e 2027, sendo previsto um consumo de 325,3 Mtep para o ano de 2027. Desta forma o fornecimento tende a ser prejudicado e os indicadores de qualidade é estar abaixo dos estabelecidos pela ANEEL, forçando as distribuidoras encontrar alternativas para manter o sistema elétrico funcionando.

Vinicius A. Uberti (2017), descreve que o sistema elétrico de distribuição é atendido em média tensão contendo UCs irrigantes, sendo redes de distribuição diferenciadas em relação a redes urbanas, com as características que mais se destacam:

- As redes são geralmente radiais e de grande extensão;
- Possui poucas UC ligadas ao longo da rede;
- Contém cargas elevadas por 23 horas diárias em períodos de irrigação;

- A realização de manutenção do sistema elétrico se torna complicado, em função da grande parte da rede ser de difícil acesso;

- A possibilidade de falhas, é maior do que nos centros urbanos;

Desta forma o presente trabalho aplica uma abordagem com a implantação de BESS juntamente com UFV para a redução dos valores dos indicadores coletivos e individual, com o propósito de eliminar os valores pagos em multas por violações.

Por tanto as empresas distribuidoras de energia possuem um grande desafio, manter os indicadores individuais e coletivos abaixo dos limites estabelecidos pelo órgão regulador.

2. INDICADORES

2.1 Indicadores Coletivos e Individuais

Os indicadores coletivos apresentados nesta seção trata-se do DEC e FEC, e os individuais FIC, DIC e DMIC, conforme descreve no Módulo 8 – PRODIST. Ambos os indicadores definem a qualidade da energia da distribuidora frente a agência fiscalizadora ANEEL. Para a definição dos indicadores DEC e FEC, são necessários os valores do DIC e FIC. Os indicadores são apurados considerando as interrupções de longa duração submissão.

A definição dos indicadores individuais são:

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (1)$$

$$FIC = n \quad (2)$$

$$DMIC = t(I) \text{ máx} \quad (3)$$

DIC – duração de interrupção individual por unidade consumidora, em horas;

FIC – frequência de interrupção individual, por unidade;

DMIC – duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora, em horas;

Para a definição dos indicadores coletivos, DEC e FEC:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{C_c} DIC(i)}{C_c} \quad (4)$$

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{C_c} FIC(i)}{C_c} \quad (5)$$

DEC – duração equivalente de interrupção por unidade consumidora, em horas e centésimo de horas;

FEC – frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora, em horas e centésimo de horas;

C_c – número total de unidades consumidoras do conjunto;

i – índice de unidades consumidoras atendidas no conjunto;

DIC (i) – duração de interrupção individual por unidade consumidora;

FIC (i) – frequência de interrupção individual por unidade consumidora;

Os indicadores coletivos, conforme apresentado em (4) e (5) são resultados dos indicadores individuais, desta forma qualquer alteração nos indicadores individuais será alterado os coletivos. Desta forma, neste trabalho foi coletado informações dos indicadores individuais para aplicação da melhoria dos indicadores coletivos.

A distribuição de energia através dos alimentadores das subestações pode ser constituída de redes áreas e subterrâneas, a depender da localização onde está o Sistema Elétrico de Potência. Em áreas urbanas com grande concentração de carga, geralmente são atendidas com redes subterrâneas, já em áreas rurais o atendimento é realizado com redes áreas.

Este trabalho tem como referência, um conjunto pertencente ao interior do estado do Rio Grande do Sul, o qual possui rede de distribuição área, contemplando área urbana e rural.

2.2 DEC para rede aérea

Para o indicador coletivo DEC em redes aéreas, o autor Andre F. A. de Barro (2020), apresenta alguns históricos de interrupções, os quais, representa para rede em baixa tensão um porcentual de 19%, já em média e alta tensão apresenta 80%, e apenas 1% é referente a rede de alta tensão. A mesma fonte ressalta que do total do indicador, considerando redes áreas e subterrâneas, 96% das interrupções estão em redes aéreas.

A fonte relata que 41% do DEC está associado a interrupções não relacionadas diretamente a instalações elétricas, sendo:

- 13% arvores tocando na rede;

- 11% ações externa;

- 8% em causas indeterminadas;

- 7% clima adverso;

- 1% suprimento de carga;

- 1% operacionais;

Porém, as causas que afetam diretamente as instalações elétricas representam 59% do DEC, sendo elas:

- 31% em falha em equipamentos;

- 20% defeitos em materiais;

- 8% de interrupções programadas.

A fonte descreve que, as causas que mais contribui para os indicadores são, as falhas em equipamentos e defeito em materiais. A fonte relata ainda, que 42% do DEC são ocasionadas por defeitos de materiais e falhas em equipamentos. A principal causa de falha na rede elétrica e a rede partida ou em mau estado, perfazendo 56% em média tensão e 52% em baixa tensão, estando em segundo lugar o

transformador em baixa tensão com 41% e em média tensão com 6%.

2.3 FEC para rede aérea

Ainda em Andre F. A. de Barro (2020), para o FEC as causas que ocasionam o indicador, seja ela interna ou externa são de igual proporção.

As causas que afetam diretamente o sistema elétrico, em baixa e média tensão, são representadas por:

- Falha em equipamentos, 16%;
- Desligamento programado, 15%;
- Materiais com defeito, 14%.

E as causas externas que não estão associadas diretamente ao sistema elétrico, em baixa e média tensão, se destacam:

- Causas indeterminadas, 15%;
- Interrupção por ação externa, 15%;
- Contatos de árvores, 11%;
- Clima adverso, 7%.

A maior causa de ação externa com 29% e a Falha em subestação.

Conforme o autor, para o FEC em rede aérea em baixa tensão, 62% tratam-se de falha de equipamento e defeito em material utilizado na rede. Já em redes de média tensão as mesmas falhas correspondem 32%.

Para a rede de média tensão, 77% do indicador FEC é composto pelas seguintes causas:

- Causas indeterminadas, 18%;
- Falha de equipamentos, 16%;
- Defeito em material, 16%;
- Desligamento programado, 15%;
- Contato em árvore, 13%.

3. ENERGIA ALTERNATIVA

3.1 Sistema de Armazenamento de Energia - SAE

Esta nova tecnologia em expansão desenvolvimento está sendo implantada para auxiliar o Sistema Elétrico de Potência SEP na redução de custos de energia nos horários de ponta e ou em horários de maior demanda e para manter o sistema elétrico estável, reduzindo os indicadores.

A iniciação da utilização da bateria de Lítio ocorreu em 1991 em equipamentos eletrônicos de pequeno porte, chegando nos dias de hoje auxiliando o SEP a fornecer energia aos seus clientes. Essas baterias não possuem “memória”, não necessitando de descarga completa para manter uma boa eficiência.

Em Benchmark Mineral Intelligence (2021), apresenta os 5 maiores fabricantes, 4 estão localizados no continente

Asiático, sendo a LG Chem (sul-coreana), a CATL (chinesa), BYD (chinesa), Panasonic (japonesa) e a Tesla localizada na Oceania.

A referência Raul F. Beck (2019) apresenta quatro tipos de baterias comercialmente disponíveis, sendo Bateria de Fluxo, Sódio-Enxofre, Chumbo-Ácida e a Bateria Íons de Lítio. A bateria de Lítio apresenta uma maior flexibilização quanto ao armazenamento de energia e ao tempo de autonomia com eficiência entre 85% a 100%, sendo por este motivo o modelo adotado atualmente para cargas elevadas.

Conforme EPE (2021), as principais vantagens do uso de Baterias de Lítio são:

- Possibilita fornecer energia rápida para a carga;
- Alta eficiência;
- Custo de operação baixo;
- Alta densidade de energia;
- Vida útil maior que 15 anos;
- Possibilita utilizar com geradores de energia fotovoltaica e eólica;

Em WEG (2021), apresenta a forma como é obtido altos valores potência armazenado utilizando associação de baterias. As células podem possuir até 300W de potência, um conjunto de células formam um Módulo que pode resultar em até 7 Kw, um Rack que são um conjunto de Módulos podem ter entre 40 Kw a 60 Kw e por fim o Container, formado por um conjunto de Rack, pode ter entre 2 MW a 3MW. Pode-se realizar a associação de vários Container para obter a potência desejada. O ciclo de utilização das baterias está entre 4000 a 6000 ciclos, desde que mantido a temperatura controlada.

Conforme a fonte Electreck (2021), apresenta o fabricante Tesla com os modelos de SAE e seus valores. Um dos modelos fabricados é o Megapack, podendo chegar a uma potência até 3 megawatt-hora (MWh) de armazenamento, ao preço de US\$ 1.235.890,00 (R\$ 5.512.069,40) (valor do dólar obtido na data da referência).

Outra unidade fornecida pelo fabricante é o 10 Megapacks (30MWh) com um preço de US\$ 9.999.290 (R\$ 44.596.833,40), o que resulta em um preço por kWh de US\$ 327,87. A fonte ressalva que este não é o preço final do SAE, deve-se incluir o projeto e o transporte, que aqui neste trabalho não será mencionado por não ter uma referência de valores.

O preço por kWh diminui à medida que é adquirido SAE de maior potência. Para o modelo de 100 Megapacks reduzem o custo para cerca de US \$ 280 por kWh.

A escolha por utilização da SAE, e devido a proposta dos fabricantes de ser um método de fácil instalação, ocupa o menor espaço, tempo de instalação menor, e o método mais barato em relação a outras tipos de fonte geradora de energia, com garantia de 20 anos.

Conforme Alice P. Caurio (2021), o custo da instalação por MWh do SAE é mais barato que outras fontes, sendo de R\$

3.010816,59, já para a PCH o custo fica em R\$ 7.044960,55, e da Eólica o custo e de R\$ 4.315.289,33.

3.2 Usina fotovoltaica - UFV

Os painéis solares vieram como uma proposta de fornecer energia próximo as cargas sem gerar poluentes, sendo uma fonte de energia que menos altera o meio ambiente para a sua instalação. Apresentam baixo custo operacional, e um sistema com baixo índice de manutenção. O Brasil por ser um país tropical tem uma propensão de intensa radiação solar proporcionando até 10 horas de geração de energia no verão. Por este motivo se tem um crescimento na utilização desta fonte.

A escolha desta fonte geradora juntamente com a SAE e pelo motivo ser de fácil e rápida instalação, e principalmente para realizar a carga dos SAE sem utilizar a energia do sistema elétrico, caso contrário o SAE seria considerado uma carga para o SEP, o qual não é objetivo deste trabalho, podendo aumentar os indicadores caso não utilizar UFV.

Esta tecnologia fica restrita à sua geração em períodos com incidência solar, ou seja, em momentos em que não houver incidência solar não terá energia sendo gerada, por este motivo, deve-se utilizar UFV com SAE, carregando durante o dia e podendo ser injetada a qualquer momento das faltas de energia.

Em Eco Debate (2021), descreve a construção de uma UFV de 133 MW tendo um custo de R\$ 422 milhões, com um valor de R\$ 1.172.932,0 por MW. Já em Portal Solar (2021) relata que a construção de um UFV de apenas 1MWp custa aproximadamente R\$ 4 milhões, percebe-se que quanto maior a potência da usina menor o custo por MWp. O espaço necessário para cada MWp e de 1 hectare. Os sistemas fotovoltaicos possuem uma vida útil acima de 25 anos.

A aplicação das UFV, não só serve para o carregamento do SAE, também auxilia no controle dos níveis de tensão e frequência no SEP, podendo reduzir os indicadores DRC e DRP.

4. ABORDAGEM MATEMATICA PARA REDUÇÃO DOS INDICADORES

Se fez necessário, a criação de uma metodologia, para a definição da potência de um sistema externo a ser incluído no SEP, para auxiliar em situações da ocorrência de falta de energia, com o objetivo de reduzir ao máximo os indicadores individuais e coletivos.

Pretende-se com o valor que deixará de ser pago em multas anual por violações dos indicadores, investir em alternativas para redução dos indicadores, o qual neste trabalho a escolha foi por investir em SAE e UFV.

Na Fig. 1, é apresentado o fluxograma que descreve a abordagem adotada neste trabalho com objetivo de reduzir indicadores, com auxílio de fontes externas, que neste caso foi utilizado SAE e UFV e encontrar o tempo de retorno do investimento inicial.

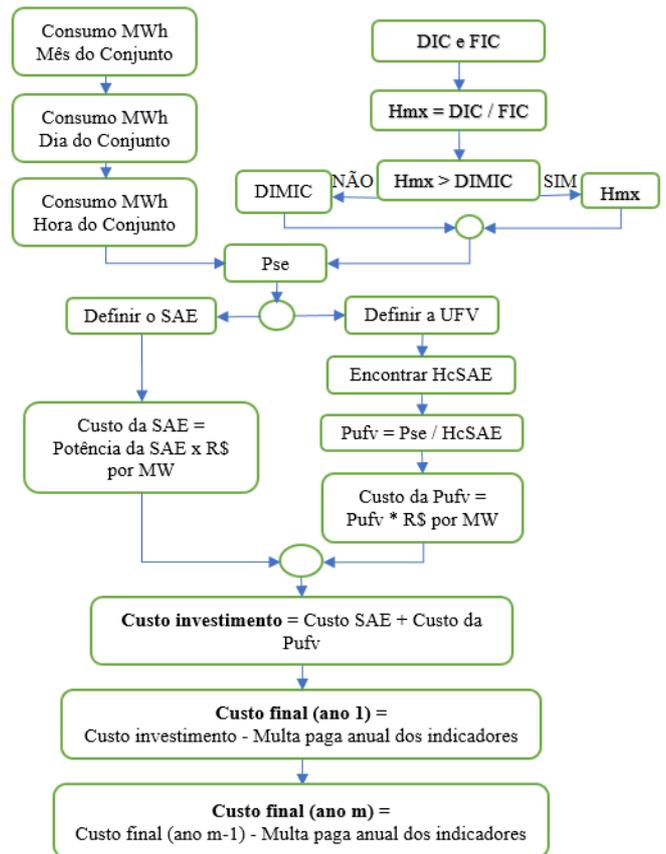


Fig 1. Fluxograma da abordagem para redução dos indicadores e encontrar o tempo de retorno do investimento.

Para a realização de (6) será utilizado os valores dos indicadores individuais mensais, para a área rural e urbana, fornecidos pela ANEEL de um conjunto pré-estabelecido para a realização da melhoria dos indicadores, obtendo um valor médio em horas em que ocorreu a ausência de energia.

Também será necessário a obtenção do valor médio por hora do consumo de energia para a área rural e urbana, separadamente, conforme (7), com valores diários obtido a partir da Tabela 1.

Com esses dois valores é realizado a multiplicação para obter a potência por hora solicitado do SEP para cada área, conforme (8).

Deve-se primeiramente definir as horas média por área (urbana e rural) que ocorre a ausência de energia. Para isso deve-se ter os valores de cada área dos indicadores individuais, e realizar o seguinte cálculo:

$$Hmx = \frac{DIC}{FIC} \tag{6}$$

Hmx - Quantidade de horas em média em relação a quantidade de vezes que as UC ficaram sem energia, rural ou urbana (x – pode ser “r” de rural , ou “u” de urbano).

Com o valor encontrado em (6) realiza-se a comparação com o valor do DMIC da seguinte forma:

Se $Hmx < DMIC$, adota-se o valor DMIC;

Se $Hmx > DMIC$, adota-se o valor Hmx;

Desta forma teremos uma média em horas que as UC ficaram sem energia, em relação a quantidade de vezes.

Para a definição do consumo médio hora de cada região (rural ou urbana), foi adotado a seguinte expressão:

$$C_{mxh} = \frac{C_{mxd}}{24horas} \quad (7)$$

C_{mxh} – Consumo médio por hora das UC, por região, (x – pode ser “r” para rural, ou “u” para urbano);

Para encontrar o valor da energia necessária para suprir a falta de cada área, em relação ao maior tempo de ausência de energia na UC, é realizado a multiplicação dos valores encontrados em (6) e (7);

$$P_{se} = [(H_{mx}) \text{ ou } (DMIC)] \times (C_{mxh}) \quad (8)$$

P_{se} – potência necessária para suprir a energia solicitada para a área.

A potência a ser definida para o SAE e o próprio valor do P_{se}. O Custo a ser investido para esta fonte é encontrado pela multiplicação do P_{se} pelo valor do MW.

Para a definição da UFV adotaremos a seguinte filosofia, tendo em média 10 horas diárias de sol, e considerando que o tempo encontrado de descarga da SAE, para abastecer o SEP para área (rural ou urbana) na falta, é definido pelo maior valor entre o DIMIC ou H_{mx}, o restante do tempo e o que se tem para carga da SAE, sendo assim esse tempo será a base para o dimensionamento da UFV, definido por H_{cSAE}, consequentemente encontrado a potência da UVF em (10).

$$H_{cSAE} = 10 - (DIMIC \text{ ou } H_{mx}) \quad (9)$$

H_{cSAE} – horas de carga diária para SAE

$$P_{UFV} = P_{se} / H_{cSAE} \quad (10)$$

P_{UFV} – Potência da Usina Fotovoltaica necessária para carregar o SAE.

O Custo a ser investido em UFV é encontrado pela multiplicação do P_{UFV} pelo valor do MW comercial.

O valor de retorno do investimento é obtido abatendo anualmente o valor da multa paga pelos indicadores sobre o total do investimento inicial.

5. ESTUDO DE CASO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de redução dos indicadores através da instalação de um Sistema de Armazenamento de Energia- SAE, utilizando para carregar a UFV, sendo instalados em pontos estratégicos em cada área (urbano e rural), possibilitando a energização do circuito em caso de alguma anomalia do SEP.

Na Fig. 2, apresenta o consumo de um conjunto em MWh, no período de 12 meses, este conjunto contém 191 unidades consumidoras, destas sendo 6 irrigantes com pivô central. Este conjunto tem um consumo anual total de 28.656 MWh.

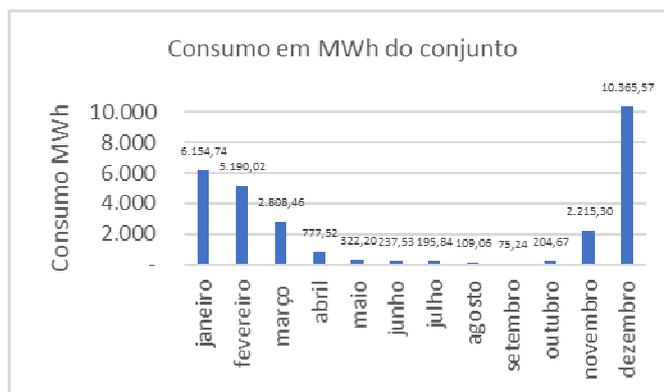


Fig. 2 Consumo de energia do conjunto contendo UC irrigantes.

A Tabela 1, tem por objetivo apresentar o consumo da área urbana, identificado como Consumo Sem Irrigantes – C.S.I., e consumo da área rural, identificado como Consumo Com Irrigantes. O consumo rural está definido como o consumo na época em que as UC irrigantes permanecem ligado os pivôs centrais com um período de 23 horas diárias.

Nos meses que não há consumidores irrigantes ligados que são os meses de abril a outubro, será definido somente como consumo urbano. Este cálculo de consumo simplificado para fins de definir o consumo diário e dimensionar SAE e UFV, em função da média em horas que as UC permanecem sem energia. Desta forma foi encontrado consumo médio mensal para a área rural e para área urbana, com objetivo de ter o valor de consumo médio diário e assim ter um valor médio de consumo em uma hora, conforme em (7).

Tabela 1. Consumo do conjunto, com irrigante e sem irrigantes mensal e diário

Mês	Consumo Total MWh	C. S. I. (MWh)	C. C. I. (MWh)
Janeiro	6.154,74	-	6.154,74
Fevereiro	5.190,02	-	5.190,02
Março	2.808,46	-	2.808,46
Abril	777,52	777,52	-
Maio	322,20	322,20	-
Junho	237,53	237,53	-
Julho	195,84	195,84	-
Agosto	109,06	109,06	-
Setembro	75,24	75,24	-
Outubro	204,67	204,67	-
Novembro	2.215,30	-	2.215,30
Dezembro	10.365,57	-	10.365,57
Consumo médio mês =		274,58	5.346,82
Consumo méd. Diário =		9,15	178,23

Onde:

C. S. I. – Consumo urbano sem UC irrigante;

C. C. I. - Consumo rural com UC irrigante ativa;

O Conjunto em estudo possui em média 21.288 unidades consumidoras, contendo unidades consumidoras urbano e rural. Para a análise, foi coletado informações dos

indicadores individuais, pois entende-se que alterando estes consequentemente será alterado os indicadores coletivos.

Desta forma será analisado os valores dos indicadores individuais dos últimos 3 anos do conjunto, com objetivo de obter em média o tempo que as unidades consumidoras ficaram sem energia. Conforme a tabela 3 tem-se os indicadores individual mensal da área urbana e da área rural. Os valores coletados dos indicadores para os três anos são praticamente os mesmos, desta forma os valores foram considerados iguais.

A Tabela 2, apresenta os indicadores coletivos DEC e FEC apurados bem como os limites estabelecidos pela ANEEL e os valores de compensação pago anualmente. Os valores de compensação serão utilizados para definir o tempo de retorno do investimento das SAE e UFV para reduzir os indicadores.

Tabela 2. Indicadores coletivos e compensações, anuais

Período	DEC	DEC - Limite	FEC	FEC - Limite	Compensação paga
10/2020 a 09/2021	33,7	25	10,2	11	R\$ 5.947.597,03
01/2020 a 12/2020	36,4	25	11,6	12	R\$ 5.417.254,33
01/2019 a 12/2019	53,7	25	11,7	12	R\$ 6.827.233,66
			Média		R\$ 6.640.028,34

Tabela 3. Indicadores individuais mensais, urbano e rural

Indicador	2021	2020	2019
DIC _{mensal - urbano}	7,26	7,26	7,26
FIC _{mensal - urbano}	3,42	3,48	3,48
DMIC _{horas - urbano}	4,14	4,14	4,14
DIC _{mensal - não urbano}	12,76	12,76	12,76
FIC _{mensal - não urbano}	7,74	7,82	7,82
DMIC _{horas - não urbano}	6,99	6,99	6,99

5.1 Dimensionamento para a área urbana

Primeiramente é realizado o cálculo para encontrar o tempo médio em horas que as unidades consumidoras ficaram sem energia.

$$Hmu = \frac{DIC}{FIC} = \frac{7,26}{3,42} = 2,12 \text{ horas} \quad (11)$$

Sendo o DMIC maior que o Hmu, deve-se adotar para o dimensionamento o DMIC de 4,14 horas.

A definição do consumo por hora na área urbana será calculada da seguinte forma:

$$Cmuh = \frac{Cmud}{24 \text{ horas}} = \frac{9,15 \text{ MWh}}{24 \text{ horas}} = 381,0 \text{ KWh} \quad (12)$$

Multiplicando os dois valores, obteremos desta forma 0,80 MWh. Será adotado um SAE de 1 MWh ao preço de US\$ 411.963,33 (R\$ 1.837.356,45), sendo suficiente para suprir a energia no tempo máximo previsto que é o DMIC.

$$Pse = 4,14 \times 0,381 = 0,8 \text{ MW} \quad (13)$$

Para a definição da UFV, o maior tempo a ser considerado é do DIMIC, com 4,14 horas, sendo este o tempo máximo para a descarga prevista da SAE, restariam 5,86 horas para a UFV realizar a carga da SAE. A potência da usina sendo definida pelo P_{UFV} .

$$HcSAE = 10 - 4,14 = 5,86 \text{ horas} \quad (14)$$

HcSAE – horas de carga diária para SAE

$$P_{UFV} = 0,8 / 5,86 = 0,136 \text{ MWp} \quad (15)$$

Será adotado um SAE de 1,0 MW, e uma UFV de 0,136 MWp para carregar o SAE. Com base nos valores apresentado pelo Portal Solar (2021), o preço dessa UFV seria de R\$ 680.027,00.

5.2 Dimensionamento para a área rural

Para a definição do SAE+UFV para a região rural:

$$Hmr = \frac{DIC}{FIC} = \frac{12,76}{7,82} = 1,63 \text{ horas} \quad (16)$$

Sendo o DMIC maior que o Hmr, será adotado para o dimensionamento o DMIC de 6,99 horas.

A definição do consumo por hora na área rural será calculada da seguinte forma:

$$Cmrh = \frac{Cmrd}{24 \text{ horas}} = \frac{178,23 \text{ MWh}}{24 \text{ horas}} = 7,42 \text{ MWh} \quad (17)$$

$$Pse = 6,99 \times 7,42 = 51,86 \text{ MW} \quad (18)$$

Obtivemos 51,86 MWh, sendo assim usando 2 Megaback de 30 MWh, sendo o valor para cada 30MW de US\$ 9.999.290 (R\$ 44.596.833,40), o que resulta em 2 x 44.596.833,40 totalizando R\$ 89.193.667,0.

$$HcSAE = 10 - 6,99 = 3,01 \text{ horas} \quad (19)$$

$$P_{UFV} = \frac{60}{3,01} = 19,94 \text{ MWp} \quad (20)$$

Para a UFV foi adotado 19,94 MWp para o carregamento do SAE. Porém, pode-se instalar dois SAE em pontos distintos, sendo o valor de cada 10MWp de R\$ 11.729.320,00.

Com a possibilidade da utilização de dois SAE+UFV em dois pontos estratégicos da rede, possibilita a melhora da assertividade na redução dos indicadores.

5.3 Investimento inicial para redução dos indicadores

Custo para SAE será:

2 BESS de 30 MWh num valor total de R\$ 89.193.667,00;

1 BESS de 1 MWh com valor de R\$ 1.837.356,45;

Investimento total para SAE de R\$ 91.031.023,45.

Custo para UFV será:

2 UFV de 10 MWp num valor total de R\$ 23.458.640,00

1 UFV de 0,136 MWp num valor de R\$ 680.027,00

Investimento para UFV é de R\$ 24.138.667,00.

Total do investimento (SAE + UFV) será de R\$ 115.169.690,50.

Na Tabela 4, apresenta o tempo de retorno sobre o investimento inicial, sendo compensado pelos valores de compensações do DEC e FEC pagas anualmente, estes últimos conforme a Tabela 2. No ano “0”, consta o valor total (negativo) investido em SAE, a partir do ano 1 começa a descontar no valor investido o valor médio das compensações pagas, que é R\$ 6.640.028,34, e assim sucessivamente até atingir um valor positivo, sendo atingido no 19º ano.

Vale ressaltar que conforme a Tabela 2, seria necessário a redução do indicador DEC em 25,70% para obter um valor abaixo do limite estabelecido pela ANEEL para o ano 2021, e para o ano 2020, a redução seria de 31,39%, sendo assim este investimento poderia ser reduzido para atender somente os limites do órgão regulatório e consequentemente o tempo de retorno diminuirá.

Tabela 4. Tempo de retorno do valor investido (SAE+UFV)

Ano	Valor retorno
0	-R\$ 115.169.690,50
1	-R\$ 109.105.662,16
2	-R\$ 103.041.633,82
3	-R\$ 96.977.605,48
4	-R\$ 90.913.577,14
5	-R\$ 84.849.548,80
6	-R\$ 78.785.520,46
7	-R\$ 72.721.492,12
8	-R\$ 66.657.463,78
9	-R\$ 60.593.435,44
10	-R\$ 54.529.407,10
11	-R\$ 48.465.378,76
12	-R\$ 42.401.350,42
13	-R\$ 36.337.322,08
14	-R\$ 30.273.293,74
15	-R\$ 24.209.265,40
16	-R\$ 18.145.237,06
17	-R\$ 12.081.208,72
18	-R\$ 6.017.180,38
19	+ R\$ 46.847,96

6. CONCLUSÃO

O trabalho apresentou uma abordagem, como uma solução rápida que pode ser adotado pelas distribuidoras de energia para reduzir as violações dos indicadores, e consequentemente dos valores pagos em multas pelas violações dos indicadores, sendo estes valores investido em

SAE e UFV. O valor e o tempo de recuperação do investimento tiveram como referência, o valor das multas pagas anualmente pela violação dos indicadores coletivos, o qual conclui-se que ao 19º ano estaria pago o investimento. Vale ressaltar que a vida útil das placas solares é de 25 anos, sendo um tempo superior aos 19 anos.

A redução nos indicadores é alcançada pela consideração do maior tempo que o sistema fica sem energia. O custo de investimento inicial pode ser reduzido se considerar em manter apenas os valores abaixo do limite estabelecido pela ANEEL.

O sistema projetado para a área rural, auxiliará não somente nos indicadores coletivos e individuais, mas nos níveis de tensão e frequência do sistema, já que estará instalado na extremidade oposta da Subestação com clientes contendo carga elevada.

O tempo de retorno do investimento pode ser menor, considerando outros indicadores que irão reduzir com a instalação da SAE e UFV, por exemplo os valores do DRC e DRP.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PPGEE-UFSM (Programa de Pós-Graduação Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria) e também ao grupo CPFL pelo apoio técnico e financeiro, através do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento PD-00396-3077/2021– “PA3077-Estudo e proposta de metodologia alternativa sobre mecanismos tarifários e de compensações de energia elétrica por transgressão dos limites de qualidade do serviço em áreas dispersas e sazonais”, financiado com recursos do programa de P&D da ANEEL.

Também, foi realizado o presente trabalho com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

Alice P. Caurio (2021). *Análise Da Aplicação De Sistemas de Armazenamento e Sistemas Fotovoltaicos Para Redução de Custos de Energia Elétrica de Clientes do Grupo A*. Monografia. Porto Alegre, RS, Brasil.

Andre F. A. de Barro (2020). *Análise Das Principais Causas De Descontinuidade No Fornecimento De Energia Elétrica E De Seus Impactos Nos Indicadores De Qualidade*, Monografia. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ANEEL (2021). *Painel de Desempenho*. Brasília. DF, Brasil

ANEEL (2021, b). *Indicadores Individuais de Continuidade por Município*. Brasília. DF, Brasil.

Benchmark Mineral Intelligence (2021). *Tecnologia. Who is winning the gloval lithium ion battery Arms race?*. EUA.

Eco Debate (2021). *Noticias. Maior Usina Fotovoltaica da América do Sul inicia operação em São Paulo*. Brasil.

Electreck (2021). *Tecnologia. Tesla reveals Megapack prices: starts at \$1 million*. Notícia. China.

EPE (2021). *Plano de Decenal de Expansão de Energia 2027*. (2021). Ministério de Minas e Energia Secretaria

- de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Brasília. DF, Brasil.
- Portal Solar (2022). Tecnologia. Usina Solar: todas as informações sobre a tecnologia no Brasil e no Mundo. Brasil.
- PRODIST (2021). Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, *Módulo 8*. ANEEL. Brasília. DF, Brasil.
- Raul F. Beck (2019). *Baterias Tecnologia e Aplicação em GD*. CPQD. Campinas, SP, Brasil.
- Vinicius A. Uberti (2017). *Lógica Fuzzy Para Avaliação De Eficiência Energética Em Sistemas De Irrigação De Lavouras De Arroz*, Dissertação. Santa Maria, RS, Brasil.
- WEG (2021). *Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias – ESSW*, Automação. Jaraguá do Sul, SC, Brasil.