

## Heurística para redução das transgressões dos indicadores coletivos de consumidores irrigantes com o emprego de sistemas de armazenamento e geração solar fotovoltaica

Fabrin, F. G.\* , Bernardon, D. P.\* , Garcia, V.J.\*\* , Pose, A.\*\*\* , Reis, L.\*\*\* , Butto, S.\*\*\* , Chiara, L.M.\*\*\*\* , Silva, D.W.\*\*\*\*

\* 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)

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

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

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

---

**Abstract:** This work proposes a heuristic approach to reduce transgressions of collective indicators of irrigating consumers with the use of energy storage systems and photovoltaic solar generation. The approach is based on the values of indicators and consumption of the sets of consumers to determine the appropriate size of SAE and UFV to be installed at strategic points of the Electric Power System. A case study is presented that illustrates the installation of 4 SAE-UFV sets, with the respective associated costs, highlighting the payback on investment from 8th year of installation.

**Resumo:** Este trabalho propõe uma abordagem heurística para redução das transgressões dos indicadores coletivos de consumidores irrigantes com o emprego de Sistemas de Armazenamento de Energia (SAE) e geração solar fotovoltaica através de Usina Fotovoltaica (UFV). A abordagem é baseada nos valores dos indicadores e do consumo dos conjuntos de consumidores para determinar a dimensão adequada do SAE e da UFV a serem instalados em pontos estratégicos do Sistema Elétrico de Potência (SEP). Um estudo é apresentado que ilustra a instalação de 4 conjuntos SAE-UFV, com os respectivos custos associados, se destacando o benefício de retorno do investimento a partir do 8º ano da instalação.

**Keywords:** Compensation, DEC, FEC, energy, storage, photovoltaic plant.

**Palavras-chaves:** Compensação, DEC, FEC, armazenamento de energia, usina fotovoltaica.

---

### 1. INTRODUÇÃO

As empresas distribuidoras de energia devem prover a continuidade no abastecimento de energia aos consumidores. O crescimento do consumo de energia torna esta missão desafiadora, especialmente tratando-se da manutenção do sistema elétrico de potência (SEP), diante de condições críticas de grandes variações de demanda. Tal cenário de variação é ainda mais crítico quando se trata de um consumidor na área rural apresentando características de cargas particulares, um exemplo são os usuários irrigantes. A consequência das eventuais contingências e interrupções está relacionada com o impacto nos indicadores coletivos e individuais para esses consumidores.

Conforme o Plano Decenal de Expansão de Energia 2027 (EPE 2021), do Ministério de Minas e Energia, 86% da matriz energética será oriunda de fontes renováveis, sendo que no período de 2018-2027 será necessário investir R\$ 1,8 trilhão a fim de atender o crescimento da demanda por eletricidade. O crescimento anual previsto é de 2,3% entre

2017 e 2027, quando se considera um consumo de 325,3 Mtep para o ano de 2027. Dessa forma, se torna imprescindível a busca por alternativas que apontem para a viabilidade do fornecimento de energia a partir da busca permanente pelo equilíbrio entre oferta e demanda.

UBERTI (2017) sustenta que o sistema elétrico de distribuição, envolvendo o atendimento de unidades consumidoras (UCs) irrigantes em média tensão, apresenta características distintas e bastante particulares em relação às redes urbanas, sendo elas:

- As redes são geralmente radiais e de grande extensão;
- Poucas UCs conectadas;
- Contém cargas elevadas por 23 horas diárias em períodos de irrigação;
- Difícil manutenção em função das elevadas distâncias dos centros urbanos, além de vias rodoviárias precárias;

- A escassa cobertura de rede telefônica dificulta sobremaneira o emprego de equipamentos de proteção e coordenação telecomandados;
- A ocorrência de falhas é geralmente mais frequente que nos centros urbanos.

Ao mesmo tempo, há um grande desafio para às Empresas distribuidoras de energia em manter os indicadores individuais e coletivos abaixo dos limites estabelecidos pela ANEEL nos Conjuntos de Consumidores, sejam no meio urbano ou no meio rural.

Neste contexto, este trabalho propõe uma abordagem baseada em Geração Solar Fotovoltaica e Armazenamento de Energia para mitigar as eventuais contingências e, com isso, reduzir o impacto negativo nos indicadores de desempenho do SEP.

## 2. INDICADORES DE DESEMPENHO

As concessionárias de distribuição de energia podem avaliar o desempenho do serviço de entrega de energia, juntamente com o desempenho do próprio sistema de distribuição, por meio do controle das interrupções e do cálculo dos indicadores de continuidade de serviço. Esses indicadores são apurados de forma individual (para cada consumidor) e de forma coletiva (considerando um conjunto de consumidores previamente definido pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL).

A seguir são discutidas as causas mais representativas associadas aos indicadores DEC (duração equivalente de interrupção por unidade consumidora, em horas e centésimo de horas) e FEC (frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora, em horas e centésimo de horas), calculados segundo descrito no Módulo 8 – PRODIST.

### 2.1 DEC para rede aérea

Conforme BARRO (2020), os históricos de interrupção estão estratificados da seguinte forma: 19% na baixa tensão (BT); 80% na média tensão (MT); e apenas 1% na alta tensão (AT). Exatamente pela representatividade no SEP brasileiro, as redes aéreas respondem por 96% de todas as interrupções registradas.

Ainda em BARRO (2020), 41% do DEC apurado está associado às interrupções não relacionadas diretamente com a rede elétrica:

- 13% árvores tocando na rede;
- 11% ações externas (abalamentos, choque com os condutores, entre outros);
- 8% em causas indeterminadas;
- 7% clima adverso.

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

- 31% em falha em equipamentos;
- 20% defeitos em materiais;

- 8% de interrupções programadas.

### 2.2 FEC para rede aérea

As causas que originam os registros no indicador FEC, sejam elas internas ou externas, são de igual proporção (BARRO 2020), estratificadas da seguinte forma em BT e MT:

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

Entre as causas externas que não estão associadas diretamente ao sistema elétrico em BT e MT, se destacam (BARRO 2020):

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

Para o FEC em rede aérea em BT, 62% tratam-se de falha de equipamento e defeito em material utilizado na rede. Já em redes de MT, as mesmas falhas correspondem 32%. Para a rede de MT, 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. GERAÇÃO SOLAR E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Os Sistemas de Armazenamento de Energia (SAE) estão em franco desenvolvimento, com as implantações para o suprimento de energia em horários de alta demanda, além de proporcionar maior estabilidade e mitigando eventuais riscos de contingências, que por sua vez afetam os indicadores de desempenho.

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. Uma grande vantagem se refere a ausência do efeito “memória” nesta tecnologia, não requerendo descargas completas para uma boa eficiência e manutenção da vida útil.

BMI (2021) apresenta os 5 maiores fabricantes de baterias de Lítio, 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.

BECK (2019) apresenta quatro tipos de baterias comercialmente disponível, sendo Bateria de Fluxo, Sódio-Enxofre, Chumbo-Ácida e a Bateria Íons de Lítio. Segundo o autor, a bateria de Lítio apresenta uma maior flexibilização

quanto ao armazenamento de energia e ao tempo de autonomia com eficiência entre 85% e 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:

- Energia rápida para a carga;
- Alta eficiência;
- Custo de operação baixo;
- Alta densidade de energia;
- Vida útil maior que 15 anos;
- Compatibilidade com geradores de energia fotovoltaicos e eólicos.

WEG (2021) relaciona a associação de baterias e descreve os possíveis valores de potência. As células podem possuir até 300W de potência, incluídas em um módulo que pode chegar até 7kW. Um Rack, que envolve um conjunto de módulos, pode oferecer entre 40 kW a 60 kW. Por fim, o último grau de agregação é o Container, que relaciona um conjunto de Racks, podendo oferecer entre 2 MW e 3MW. Também é possível associar vários Containers a fim de obter a potência desejada. O ciclo de utilização das baterias está entre 4.000 e 6.000 ciclos, desde que mantido a temperatura controlada.

ELECTRECK (2021) apresenta os modelos de bateria da Tesla, bem como as potências nominais. Um desses modelos é 3 Megapacks, com potência nominal de 3 MWh, ao preço de US\$ 1.235.890,00. Caso a potência requerida seja de até 30MWh, há o 10 Megapacks, com um preço estimado em US\$ 9.999.290. Ainda é destaque que a este preço deve ser acrescido o valor do projeto e o transporte. Neste trabalho estes acréscimos de custo não serão considerados.

É possível verificar que o custo por kWh diminui à medida em que aumenta a potência nominal do SAE. Quando se compara SAEs com outras fontes geradoras de energia, é possível verificar que a conveniência quanto ao custo no horizonte de médio/longo prazos se torna atraente, ao mesmo tempo que a garantia de 20 anos oferece uma segurança quanto às falhas na vida útil prevista.

CAURIO (2021) sustenta que o custo da instalação por MWh do SAE é mais barato que outras fontes, sendo de R\$ 3.010.816,59, já para as Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCHs) o custo seria de R\$ 7.044.960,55 e das centrais Eólicas R\$ 4.315.289,33.

A fim de prover a energia a ser armazenada, as usinas de geração fotovoltaicas (UFV) representam uma alternativa bastante atraente quando estão próximas das cargas, com baixo impacto ambiental. Adicionalmente, outro atrativo desta tecnologia de geração de energia é o baixo custo operacional. O potencial de geração fotovoltaica do Brasil é muito favorável por se tratar de um país tropical, com um tempo médio de 10 horas de radiação solar por dia no verão.

A escolha desta fonte geradora, associada com um SAE, é bastante difundida na medida em que apresenta facilidade quanto à instalação e manutenção. No entanto é preciso

definir um projeto em que o SAE seja apenas carregado com a energia oriunda da 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.

ECO DEBATE (2021) descreve a construção de uma UFV de 133 MW, com custo de R\$ 422 milhões, tendo um valor de R\$ 1.172.932,0 por MW. Já PORTAL SOLAR (2021) relata que a construção de uma UFV, de apenas 1MWp, custa aproximadamente R\$ 4 milhões. Os sistemas fotovoltaicos possuem uma vida útil acima de 25 anos, sendo necessário 1 hectare para instalação de cada MWp.

No estudo considerado neste trabalho, a UFV não tem apenas a finalidade de carregamento do SAE: auxilia também no controle dos níveis de tensão e frequência do SEP, o que favorece a redução na Duração Relativa de tensão Precária (DRP) e na Duração Relativa de tensão Crítica (DRC).

#### 4. ABORDAGEM HEURÍSTICA PARA REDUÇÃO DOS INDICADORES COLETIVOS

O propósito deste trabalho é desenvolver uma abordagem para a definição da potência de um sistema externo, a ser incluído no SEP para auxiliar em situações da ocorrência de falta de energia e consequentemente reduzir os indicadores coletivos e evitar as transgressões nos limites estabelecidos pela ANEEL.

Tem-se como principal propósito, a redução dos indicadores em alimentadores onde contém Unidades Consumidoras irrigantes atendidos em média tensão, sendo estes os quais ocasionam uma sazonalidade no consumo de energia e altos valores nos indicadores dos conjuntos que estão incluído. Estes consumidores apresentam valores elevados de consumo de energia nos períodos de safra, sendo entre os meses de novembro a março, e nos períodos de entressafra podendo chegar, em alguns casos, consumo zero. Desta forma, a metodologia proposta terá como foco os conjuntos que possui as UC com carga sazonal, especificamente os irrigantes.

Pretende-se, com os resultados desta abordagem, apropriar os valores evitados em multas por violações, em investimento nas tecnologias que justamente possam favorecer os indicadores de desempenho.

A abordagem aplicada utilizando UFV e SAE, propõem a utilização conectando à rede de distribuição de média tensão, instalados em pontos estratégicos, onde possui maiores ocorrências de falta de energia, e em alimentadores onde possui o as UC irrigantes.

O SAE, irá fornecer energia à rede de distribuição nos momentos em que ocorrer a falta, ou quando necessário, o reforço de potência. Estes sistemas por estar conectado constantemente a rede, será ligado somente em situações que exijam reforço ou energização de uma parte do sistema de distribuição, poderá ser comandado por telecomando ou mesmo manual.

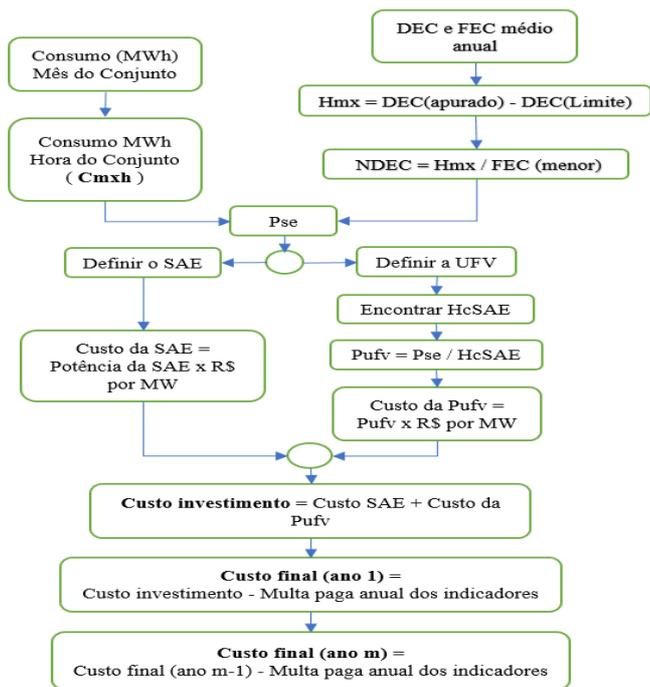


Figura 1. Fluxograma da abordagem para redução dos indicadores e encontrar o tempo de retorno do investimento.

Na Figura 1 é apresentado o fluxograma que representa a abordagem proposta neste trabalho, para melhoria dos indicadores com o auxílio de fontes externas (UFV e SAE) e encontrar o tempo de retorno do investimento inicial.

Uma das variáveis desta abordagem é o  $Hmx$  (número de horas de violação do limite estabelecido), calculado segundo a equação (1): utilizando os valores dos indicadores coletivos definidos pela ANEEL e os apurados no SEP anualmente de um conjunto pré-definido, obtendo um valor em horas que ultrapassou o limite estabelecido do indicador pela ANEEL.

$$Hmx = DEC(\text{apurado}) - DEC(\text{limite}) \quad (1)$$

Também será necessário a obtenção do valor médio em horas que o conjunto ficou sem energia em relação a frequência, conforme definido na equação (2). Desta forma teremos uma média em horas que o conjunto ficou sem energia, em relação a quantidade de vezes.

$$NDEC = \frac{Hmx}{FEC(\text{menor})} \quad (2)$$

De outra parte, considera-se a expressividade do consumo dos conjuntos de consumidores analisados, onde se busca quantificar o Consumo Médio por Hora do conjunto ( $Cmxh$ ) a partir do Consumo Médio Diário do conjunto ( $Cmxd$ ), conforme definido na equação (3).

$$Cmxh = \frac{Cmxd}{24\text{horas}} \quad (3)$$

Resta agora estimar o montante de energia necessária para suprir a falta de energia durante o número de horas nas quais o fornecimento foi interrompido. Para tanto, calcula-se o produto entre  $NDEC$  e  $Cmxh$  e define-se como  $Pse$  (potência necessária para suprir a energia solicitada na falta), conforme estabelecido na equação (4):

$$Pse = (NDEC) \times (Cmxh) \quad (4)$$

A potência a ser definida para o SAE é o próprio valor do  $Pse$ . O Custo a ser investido para esta fonte é encontrado pela multiplicação do  $Pse$  pelo valor do MW.

O dimensionamento da UFV se baseia no número médio de horas de radiação solar, aqui assumido como 10 horas, de onde será descontado o tempo que representa a interrupção do fornecimento ( $Hmx$ ) e deve ser assumido como o tempo para alimentar o SEP com a energia do SAE. Resta desta diferença o número de horas para realizar a carga diária do SAE, denominado de  $HcSAE$  e definido segundo a equação (5).

$$HcSAE = 10 - (Hmx) \quad (5)$$

A potência propriamente dita da UFV ( $P_{UFV}$ ), necessária para carregar o SAE, é calculada pela razão entre a potência do SAE ( $Pse$ ) e o número de horas para a sua respectiva de carga diária ( $HcSAE$ ), conforme definido na equação (6).

$$P_{UFV} = Pse / HcSAE \quad (6)$$

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 calculado pelo abatimento anual pelo valor da multa paga em razão dos indicadores previamente apurados sobre o total do investimento inicial.

## 5. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso descrito nesta seção tem como objetivo apresentar uma proposta de redução dos indicadores através da instalação de um SAE, carregado a partir de uma UFV, sendo instalados em pontos estratégicos a fim de possibilitar a energização do circuito em caso de alguma interrupção do SEP.

Na Tabela 1 é apresentado o consumo do conjunto adotado como referência, estratificado por mês e com o valor médio mensal e diário. O propósito é dimensionar o SAE e a UFV em função da média em horas que as UC permanecem sem energia. Nos meses que não há consumidores irrigantes ligados, que são os meses de maio a outubro, é assumido o apenas o consumo é apenas urbano.

Tabela 1. Consumo do conjunto em MWh

Mês	Consumo Total MWh
Janeiro	9.246,61
Fevereiro	6.392,58
Março	3.199,20
Abril	550,60
Maio	184,83
Junho	126,82
Julho	112,15
Agosto	102,16
Setembro	91,15
Outubro	173,55

Novembro	2.999,06
Dezembro	23.289,63
Consumo médio mês =	3.872,36
Consumo méd. Diário =	129,08

O Conjunto em estudo possui unidades consumidoras urbano e rural. Para a análise, foi coletado informações dos indicadores coletivos do conjunto, pois entende-se que alterando estes consequentemente será alterado os valores pagos pelas transgressões.

Desta forma, serão analisados os valores dos indicadores coletivos dos últimos 4 anos do conjunto, com objetivo de se obter o tempo médio que as unidades consumidoras ficaram sem energia e a média da frequência. Na Tabela 2 são apresentados os indicadores anuais DEC e FEC apurados do conjunto analisado, bem como os limites estabelecidos pela ANEEL e os valores de transgressões pagos anualmente. Estes valores pagos na forma de multas por transgressões serão utilizados para definir o tempo de retorno do investimento do sistema proposto SAE-UFV para reduzir os indicadores.

**Tabela 2. Indicadores coletivos e transgressões pagas**

Período	DEC	DEC - Limite	FEC	FEC - Limite	Transgressões pagas
2021	14,14	12,0	5,58	8,00	R\$ 755.388,07
2020	13,31	13,0	6,48	9,0	R\$ 820.693,95
2019	20,13	14,0	9,17	10,0	R\$ 606.136,02
2018	15,38	14,0	5,35	10,0	R\$ 510.634,21
V. Médio	15,74	13,25	6,65	9,25	R\$ 673.213,06

### 5.1 Dimensionamento do SAE e UFV

Para a definição do SAE e UFV para o conjunto em estudo, primeiramente será definido o tempo ultrapassado do limite estabelecido para o conjunto pela ANEEL, assumindo-se a diferença entre o DEC médio apurado e o DEC-limite médio, conforme definido na equação (7).

$$H_{mx} = 15,74 - 13,25 = 2,49 \text{ horas} \quad (7)$$

A seguir deve-se encontrar o número equivalente de horas por dia que o conjunto ficou sem energia, a partir da razão entre  $H_{mx}$  e o FEC médio apurado, conforme (8).

$$N_{DEC} = \frac{2,49}{6,65} = 0,374 \text{ horas} \quad (8)$$

Com base no consumo médio em horas de um dia do conjunto será definido a potência necessária para suprir por hora na falta, conforme (9).

$$C_{mxh} = \frac{129,08}{24 \text{ horas}} = 5,378 \text{ MWh} \quad (9)$$

Conforme estabelecido na equação (9), resultado de consumo por hora, sendo este resultado multiplicado pelas horas do

maior tempo de falta de energia encontrado, teremos a potência do SAE para suprir energia no maior tempo encontrado. Desta forma, a equação (10) está com a unidade de grandeza em MW, devido aos fabricantes fornecerem com esta definição, e não em MWh.

Definindo assim a potência consumida em média por falta de todo o conjunto – equação (10).

$$P_{se} = 0,374 \times 5,378 = 2,011 \text{ MWh} \quad (10)$$

Com base no consumo mensal, apresentado na Tabela 1, é possível dividir a potência em 4 pontos distintos no conjunto, sendo instalados em pontos estratégicos com maior incidência de faltas. A potência do SAE ( $P_{se}=2,011\text{MW}$ ) pode ser alcançada com o emprego de 4 Megaback de 0,502 MWh. Assumindo o valor de 3 MWh ao preço de US\$ 1.235.890,00 (ou R\$ 5.512.069,40), cada unidade de 0,502 MWh corresponderia ao valor de R\$ 918.678,17, resultando em  $4 \times \text{R\$ } 918.678,17 = \text{R\$ } 3.674.712,68$ .

Vale ressaltar que alguns fabricantes possibilitam conforme a necessidade do cliente, a construção do SAE conforme a necessidade.

As horas de carga do SAE é dada na equação (11) e a potência da UFV é calculada na equação (12). Como são assumidos 4 locais distintos para receber as UFVs, cada um destes locais receberá uma UFV de 66,75 kWp.

$$H_{cSAE} = 10 - 2,49 = 7,51 \text{ horas} \quad (11)$$

$$P_{UFV} = 2,011 / 7,51 = 0,267 \text{ MWp} \quad (12)$$

Com base nos valores apresentado pelo PORTAL SOLAR (2021), o preço dessa da UFV de 1MWp seria de R\$ 4.000.000,00. Desta forma, cada ponto de 66,75 kWp representaria um custo aproximado de instalação de R\$ 267.000,00.

Empregando-se quatro conjuntos SAE-UFV, é possível esperar uma melhor assertividade na redução dos indicadores.

### 5.2 Investimento inicial para redução dos indicadores

Custo para SAE será:

4 BESS de 0,502 MWh, totalizando R\$ 3.674.712,68;

Custo para UFV será:

4 UFV de 66,75KWp, totalizando R\$ 1.068.000,00;

Com isso, o investimento inicial total (SAE + UFV) será de R\$ 4.742.712,00.

Será realizado a metodologia do Valor Presente Líquido – VPL para a obtenção do tempo de retorno do investimento bem como verificar a viabilidade do investimento, bem como a Taxa Interna de Retorno – TIR.

Para se obter um valor mais aproximado do real em relação ao tempo de retorno, é utilizado o Valor Presente Líquido - VPL, assim a verificação é realizada verificando o resultado, se for um valor positivo, demonstrando que o projeto e um investimento viável, caso for negativo o projeto não é

atrativo. Para o caso em questão foi simulado até o ano 17, o que resultou em um valor positivo do VPL, conforme a tabela 3.

A fórmula para a aplicação do VPL é a seguinte:

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TMA)^j} - Investimento_{inicial} \quad (13)$$

Onde:

FC – Fluxo de caixa;

TMA – Taxa mínima de atratividade;

j – período.

O Fluxo de Caixa será considerado o valor pago anual pelas transgressões, sendo de R\$ 673.213,06, a Taxa Mínima de Atratividade – TMA, será definida de acordo com a informação do Banco Central do Brasil (2022) através do valor da inflação, que para a presente data, esta composta por 11,89% a.a. Para o período, “j”, representa o tempo mínimo, em anos, necessário para que se possa ter um resultado positivo.

Para melhor validação do resultado, será utilizado também a aplicação da Taxa Interna de Retorno – TIR, é um método utilizado para análise de viabilidade de investimento (Treasury). Calcula a taxa de desconto que deve ter um projeto para seu Valor Presente Líquido seja maior que o TMA, ou seja, a TIR tem que ser superior a TMA para que seja aprovado o projeto.

Desta forma o método de cálculo é a seguinte:

$$VPL = \sum_{t=0}^T \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (14)$$

Onde:

FC – Investimento inicial;

VPL – Valor presente líquido;

T – Período total;

t – Cada período;

TIR – Taxa Interna de Retorno.

O resultado da fórmula é de 12,18%, foi superior ao valor do VPL que é de 11,89%, sendo satisfeito, ou seja, o projeto é favorável. Assim é considerado satisfatório a aplicação da metodologia desenvolvida acima, podendo ser aplicada na prática.

**Tabela 3. Valor VPL, TIR, TMA e tempo de retorno do investimento.**

Ano	Valor
0	-R\$ 4.742.712,00
1	R\$ 673.213,06
2	R\$ 673.213,06
3	R\$ 673.213,06
4	R\$ 673.213,06

5	R\$ 673.213,06
6	R\$ 673.213,06
7	R\$ 673.213,06
8	R\$ 673.213,06
9	R\$ 673.213,06
10	R\$ 673.213,06
11	R\$ 673.213,06
12	R\$ 673.213,06
13	R\$ 673.213,06
14	R\$ 673.213,06
15	R\$ 673.213,06
16	R\$ 673.213,06
17	R\$ 673.213,06
TMA	11,89%
VPL	R\$ 80.767,79
TIR	12,18%

#### 4. CONCLUSÃO

O trabalho apresentou uma abordagem para redução das multas pagas por transgressões decorrentes de interrupções no fornecimento de energia, a partir da instalação de sistemas de armazenamento de energia e unidades de geração fotovoltaica. O valor e o tempo de recuperação do investimento tiveram como referência o valor das multas pagas anualmente em função das violações dos indicadores coletivos, cujo retorno do investimento se daria a partir do 8º ano.

Esta abordagem objetiva reduzir os indicadores, a valores inferiores ao estabelecido pela ANEEL para a distribuidora de energia, não tem o interesse de reduzir ao ponto que se torne com valor “zero”, já que seria uma tarefa impossível frente as características físicas do sistema de distribuição utilizado pela distribuidora.

A metodologia propõe a distribuidora de energia inserir o sistema proposto em suas redes de distribuição em Média Tensão. Não tem o propósito de envolver Unidades Consumidoras com o sistema de SAE+UFV.

O sistema projetado auxiliará não somente nos indicadores coletivos e individuais, mas também nos níveis de tensão e frequência do sistema, já que estará instalado em pontos estratégicos do SEP.

Apresentou um tempo de retorno de 17 anos, considerando o tempo de garantia dos equipamentos utilizados fornecidos pelos fabricantes, o qual estão em torno de 20 anos, conforme a maioria dos fabricantes. É considerado satisfatório, pois o tempo de retorno é menor que o tempo mínimo de utilização que é a garantia.

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

O presente trabalho foi realizado 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.
- BMI (2021). Benchmark mineral intelligence. Tecnologia. *Who is winning the global lithium ion battery Arms race?*. EUA.
- ECO DEBATE (2021). Notícias. 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.
- TREASY (2017). *Taxa Interna de Retorno: como a TIR é aplicada na análise de viabilidade de investimento em um projeto*. Notícia. Blumenau. SC.
- BANCO CENTRAL (2022). *Estatística – Panorama Econômico*. Brasília, DF.