

## CONTROLE E ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE MICRORREDE PARA RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Vinícius Rozendo Ferraz<sup>1</sup>, Erick Akio Nagata<sup>1</sup>, Bruno Eduardo Carmelito<sup>1</sup>, Yull Heilordt Henao  
Roa<sup>1</sup>, Diógenes Simão Rodovalho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IFSULDEMINAS, Poços de Caldas/MG, Brasil, [erick.nagata@ifsuldeminas.edu.br](mailto:erick.nagata@ifsuldeminas.edu.br)

### RESUMO

O gerenciamento inteligente de energia vem sendo muito estudado devido a alta introdução de Veículos Elétricos (VEs) e a Geração Distribuída (GD). Como os carregadores de VEs demandam uma alta potência, existe a preocupação do impacto que pode ser gerado com a sobrecarga da rede, principalmente em horários de alta demanda. Neste contexto, este trabalho propõe um sistema de controle de uma microrrede composta por sistema fotovoltaico, banco de baterias e rede de distribuição, levando em consideração o carregamento de VEs. Além disso, também foi verificada a viabilidade financeira desse sistema para diferentes cenários, demonstrando a viabilidade em condições específicas. Palavras-chave: Controle de Microrredes. Veículos Elétricos. Viabilidade Financeira.

### 1. INTRODUÇÃO

O aumento da popularidade dos VEs está levando à integração de carregadores elétricos na rede, causando preocupações com o congestionamento da rede elétrica (CARMELITO et al., 2023). A indústria de energia busca soluções para modernizar a rede, economizar custos em horários de alta demanda e evitar novos investimentos. Uma abordagem de otimização envolvendo PV (*Photovoltaic System*) e BESS (*Battery Energy Storage System*) pode minimizar os custos de carregamento para os proprietários de VEs ((LI, 2020), (YAN; ZHANG; KEZUNOVIC, 2018)).

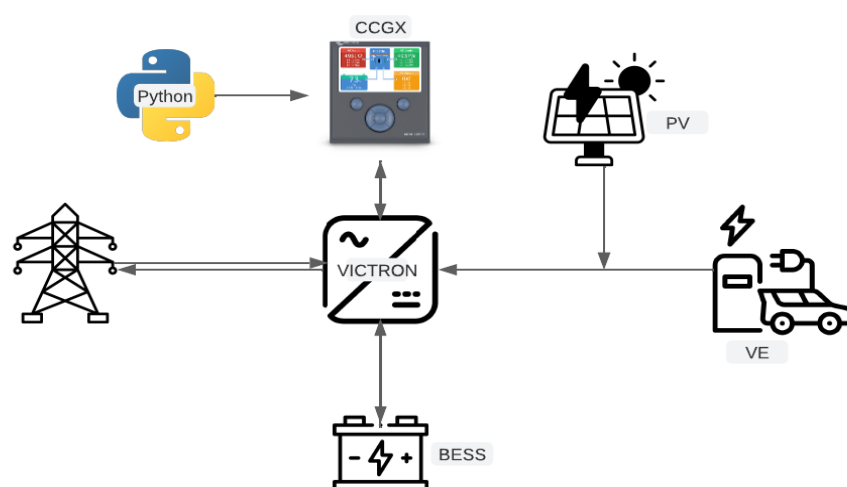
Um sistema de armazenamento de energia bem dimensionado reduz o consumo da rede durante períodos de sobrecarga, prolongando a vida útil do transformador. Um sistema inteligente de carregamento com PV e armazenamento evita sobrecargas na rede e no transformador, permitindo a injeção de energia na rede e/ou o carregamento de VEs (DATTA; KALAM; SHI, 2020).

Neste contexto, foi proposto um algoritmo de otimização em quatro estágios para reduzir os custos de operação em uma estação de recarga integrada com PV e BESS. O sistema em estudo é bidirecional e configurável, permitindo a injeção de energia excedente para a distribuidora ou a utilização da rede para recarregar VEs quando necessário.

## 2. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é aplicado em um laboratório de mobilidade elétrica que em sua configuração possui um sistema fotovoltaico, um sistema de armazenamento de energia, um carregador de Veículos Elétricos, a rede da distribuidora com um transformador exclusivo e um sistema de controle da Victron Energy, gerenciado pelo equipamento *Color Control GX* (CCGX) conforme pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1. Topologia do sistema



O CCGX atua como um centro de comunicações e controle, fornecendo informações diretas e permitindo o controle de todos os dispositivos conectados. É possível configurá-lo remotamente de acordo com as necessidades do sistema e da demanda de energia.

O laboratório utiliza várias fontes de energia, incluindo PV, BESS e a rede da distribuidora, para recarregar VEs e também injetar energia na rede elétrica para geração de créditos. É possível controlar esse sistema da Victron, alterando seus parâmetros de configuração por meio do protocolo Modbus TCP-IP. Esse controle visa reduzir o impacto na recarga de VEs na rede de distribuição, além de diminuir os custos da recarga para o usuário.

## 3. METODOLOGIA

Foi desenvolvida uma aplicação em Python que implementa o algoritmo de controle da rede e que se comunica via Modbus com controlador CCGX da Victron.

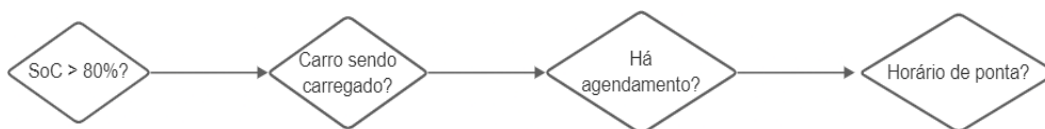
As informações do sistema de controle da rede são gerenciadas em tempo real com base nas informações de: estado de carga da bateria (*State of Charge* - SoC), geração fotovoltaica, horário de carregamento e agendamento de veículo para ser carregado. É presumido que há um sistema de agendamento de recargas para o eletroposto, porém o sistema também estará pronto para responder a recargas feitas fora dos agendamentos.

### 3.1 CENÁRIOS PARA ANÁLISES

Para o desenvolvimento do código que visa controlar o sistema da Victron e diminuir o impacto na rede, desenvolveu-se um fluxograma de análise e separado em 6 cenários distintos, visando melhorar a visualização do sistema, que leva em consideração o SoC do BESS, a existência de agendamento de VEs e caso haja agendamento, se ele ocorre durante ou fora do período de alta demanda de energia.

Conforme ilustrado na Figura 2, foram considerados quatro parâmetros para determinar qual ou quais serão as fontes de alimentação do eletroposto (PV, BESS e rede de distribuição).

Figura 2. Fluxograma de análise



- O primeiro cenário analisado, é considerado o SoC superior a 80% do BESS, um VE em processo de recarga e agendamento de um VE em horário de ponta, nesse contexto, desliga-se o BESS para o VE em estado de recarga e liga-se apenas para o VE agendado para o horário de ponta, utilizando a rede para ambos os casos.
- O segundo cenário é considerado o SoC superior a 80% do BESS, um VE em processo de recarga e agendamento de um VE fora do horário de ponta, com isso, desliga-se o BESS e utiliza-se apenas a rede no VE que está em estado de recarga e no VE agendado fora do horário de ponta.
- O terceiro cenário é considerado o SoC superior a 80% do BESS, um VE em processo de recarga e nenhum agendamento, com isso, utiliza-se a rede no VE em estado de recarga e caso seja horário de ponta, liga-se o BESS para auxiliar na recarga do VE.

- O quarto cenário é considerado o SoC superior a 80% do BESS, nenhum VE em estado de recarga e agendamento de um VE em horário de ponta, com isso, utiliza-se a rede e o BESS no VE agendado.
- O quinto cenário é considerado o SoC superior a 80% do BESS, nenhum VE em estado de recarga e agendamento de um VE para fora do horário de ponta, com isso, utiliza-se a rede e desliga-se o BESS no VE agendado.
- O sexto cenário é considerado o SoC superior a 80% do BESS, nenhum VE em estado de recarga e nenhum agendamento, nesse caso, não é necessário tomar nenhuma ação, pois o sistema estará em funcionamento automático.

Em todos os cenários é necessário que o SoC esteja em pelo menos 80% para que o BESS possa ser utilizado na recarga do VE. O PV, sempre que possível, ajudará na recarga do VE, irá suprir as cargas do laboratório ou estará exportando energia para a rede, em caso de geração de energia maior do que o consumo.

### 3.2 VIABILIDADE DO ARMAZENAMENTO

A viabilidade do armazenamento teve como premissa os custos de energia consumida (kWh) da concessionária de energia local considerando o Grupo A - modalidade tarifária azul e subgrupo A4. O preço do kWh em horário de ponta neste subgrupo é de R\$ 0,52 e o preço no horário fora de ponta é de R\$ 0,35. O horário de ponta aplicado acontece entre às 18h00 e 20h59, sendo os outros horários considerados fora de ponta (DME POÇOS DE CALDAS, 2023).

O tempo considerado para verificar a viabilidade financeira dos equipamentos presentes no laboratório foi de 30 anos, fazendo para isso o cálculo de VPL (Valor Presente Líquido) e Retorno (*Payback*).

O VPL serve para determinar o valor presente de fluxo de caixa, já que a moeda varia seu valor ao longo do tempo. O resultado final do VPL, caso seja positivo, vale a pena economicamente investir em determinado projeto, caso contrário, teria prejuízo. A fórmula do VPL está demonstrada na Equação 1 (ALVES, 2019).

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Onde, VP é o valor trazido ao presente, VF é o valor do fluxo de caixa no futuro, *i* é a taxa de juros denominada Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que foi considerada como 13,75% anual e *n* é o período. A TMA escolhida foi a taxa selic no momento da análise do

sistema, utilizada como base de correção do investimento para fins de comparação com outros investimentos. Outras taxas poderiam ter sido escolhidas, como a inflação ou a poupança, mas considerou-se a selic uma base melhor para comparação.

Foram considerados 10 tipos de fluxos de caixa anuais, todos com os preços uniformes para os horários de ponta, fora de ponta, PV e uma inflação anual de 6% para tarifa da concessionária. A reposição do BESS foi considerada a cada 4 anos para as baterias de chumbo ácido e 8 anos para as baterias de íons de lítio, sendo que na reposição foi considerado o mesmo valor inicial das baterias. As recargas foram consideradas de 1 hora cada VE e os 10 primeiros fluxos de caixa foram considerando um BESS de chumbo ácido, que é o mesmo sistema presente no laboratório de mobilidade elétrica, o qual possui 16 baterias, com um total 42,24 kWh, 880 Ah e uma tensão de 48V. O preço do PV foi de R\$45000.00 em todos os casos. Os 3 primeiros fluxos de caixa foram considerando o mesmo preço para um BESS e variando a quantidade de recargas, sendo assim, 1, 2 e 3 recargas diárias respectivamente. Dos 7 fluxos de caixa restantes, os 3 primeiros foram considerados 1 recarga diária, porém variando o preço do BESS, já os últimos 4 foram considerados 3 recargas diárias de VE e também variando o preço do BESS. A precificação do BESS em cada caso de fluxo de caixa estão localizados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Precificação do BESS de Chumbo Ácido.

| Casos             | 1,2,3         | 4,7           | 5,8           | 6,9           | 10            |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Banco de Baterias | R\$ 20.000,00 | R\$ 15.000,00 | R\$ 10.000,00 | R\$ 5.000,00  | R\$ 2.000,00  |
| Victron           | R\$ 75.000,00 | R\$ 60.000,00 | R\$ 45.000,00 | R\$ 30.000,00 | R\$ 10.000,00 |
| Total             | R\$ 95.000,00 | R\$ 75.000,00 | R\$ 55.000,00 | R\$ 35.000,00 | R\$ 12.000,00 |

Tabela 2. Precificação do BESS de Íons de Lítio.

| Casos             | 1,2,3          | 4,7           | 5,8           | 6,9           | 10            |
|-------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Banco de Baterias | R\$ 40.000,00  | R\$ 30.000,00 | R\$ 20.000,00 | R\$ 10.000,00 | R\$ 4.000,00  |
| Victron           | R\$ 75.000,00  | R\$ 60.000,00 | R\$ 45.000,00 | R\$ 30.000,00 | R\$ 10.000,00 |
| Total             | R\$ 115.000,00 | R\$ 90.000,00 | R\$ 65.000,00 | R\$ 40.000,00 | R\$ 14.000,00 |

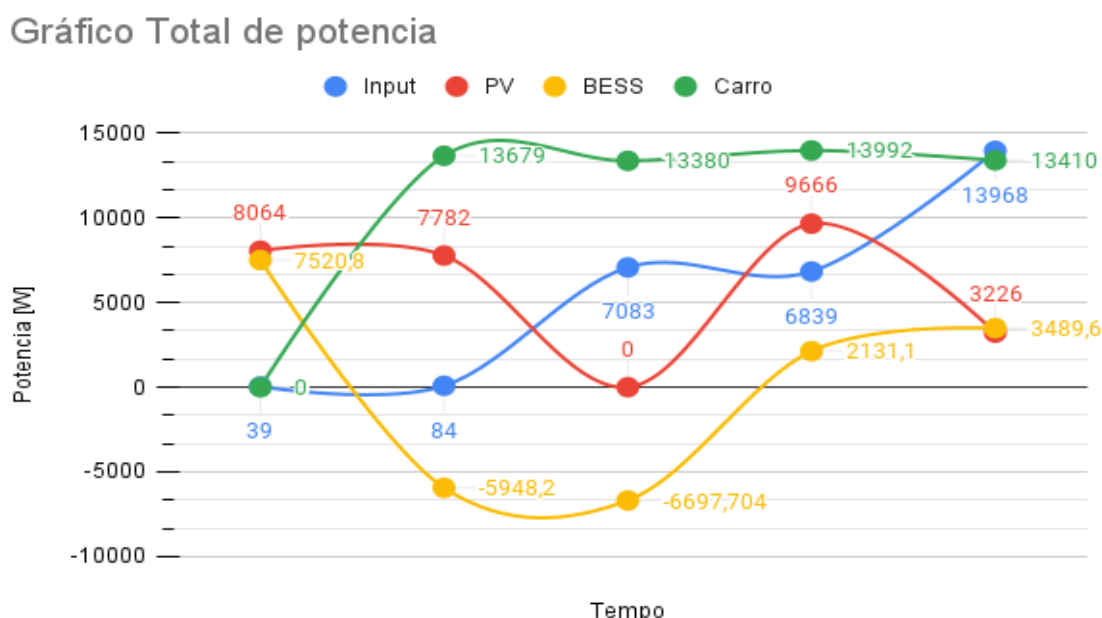
O retorno recebido em cada fluxo de caixa foi o valor gerado anualmente do sistema PV somado com a diferença entre as recargas diárias no horário de ponta e no

horário fora de ponta com os valores baseados na tarifa de energia, no período de um ano, sendo as recargas consideradas em 3 casos, com 1, 2 e 3 recargas diárias de VEs por dia, com 1 hora de recarga cada , também no período de um ano.

#### 4. RESULTADOS

Com o intuito de evitar a sobrecarga da rede em horário de ponta com carregamento do VE, as opções seriam limitar a rede e controlar o carregador ou apenas limitar a rede. Assim, na Figura 3 é possível identificar os diferentes cenários em que o sistema do laboratório pode operar.

Figura 3. Gráfico total de potência por tempo da rede limitada.



Em cada cenário temos:

- No ponto A, a rede da concessionária permanece limitada a 0 W, com o PV direcionando energia para carregar o BESS, pois não há VE em estado de recarga.
- No ponto B, a rede continua limitada a 0 W, mas um VE está em estado de recarga. O PV alimenta o carregador do VE, enquanto o BESS também contribui com energia, resultando em uma alta potência no carregador do VE.
- No ponto C, a rede é limitada a 7 kW. O PV está desligado, e o BESS está sendo descarregado para carregar o VE, sendo usada a energia da concessionária.

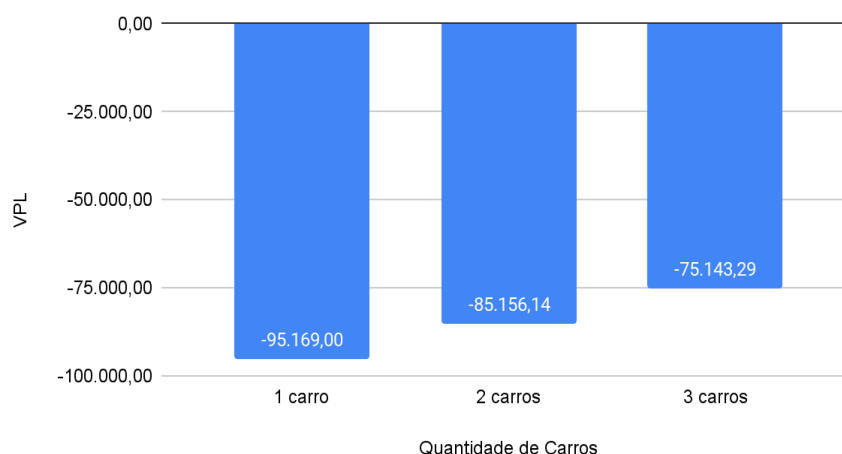
- No ponto D, a rede ainda é limitada a 7 kW, mas o PV está ativo. O BESS e o VE são carregados devido à abundante geração de energia PV.
- No ponto E, a rede é limitada a 14 kW, superior à capacidade do carregador do VE. O PV alimenta o carregador do VE, e o BESS também é carregado devido à limitação da rede e à geração PV excedente.

#### 4.1 PRECIFICAÇÃO DO BESS

Após os investimentos no BESS e no PV, o lucro anual gerado pelo PV, combinado com o retorno da economia resultante da diferença de recarga entre os horários de ponta e fora ponta, considerando os preços da distribuidora de energia, foi calculado e subtraído dos investimentos e despesas ao longo dos 10 primeiros fluxos de caixa relacionados ao banco de baterias de Chumbo Ácido.

Os resultados do VPL dos três primeiros fluxos de caixa, que consideraram o mesmo custo do BESS e do PV, mas com diferentes volumes de recargas, são apresentados na Figura 4.

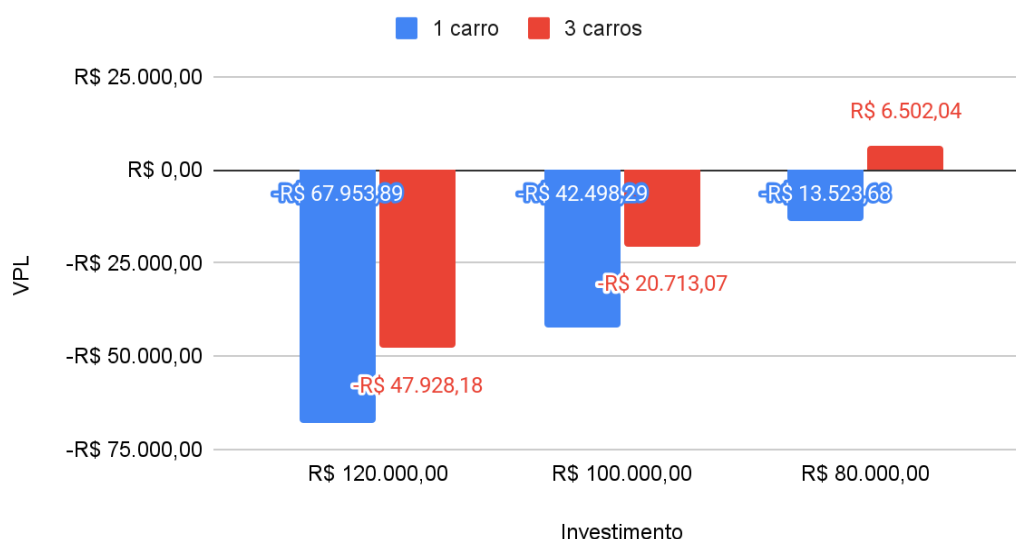
Figura 4. Gráfico da viabilidade do investimento com diferentes números de recargas com BESS de Chumbo Ácido.



Observa-se que, com o mesmo investimento inicial em BESS e PV, os três VPLs resultam em valores negativos, tornando o investimento inviável no período analisado. No entanto, ao considerar a recarga de três VEs diariamente, o retorno se torna ligeiramente melhor, reduzindo a diferença entre os três cenários. O período de retorno para cada fluxo é de aproximadamente 20, 17 e 16 anos, respectivamente.

Os resultados do VPL dos fluxos de caixa pelos quais é considerada a combinação da recarga de 1 ou 3 VEs e 1 e 3 recargas diárias com modificações do valor do BESS e mantendo o valor do PV, estão demonstrados na Figura 5. Onde, mesmo com investimentos variáveis do BESS, os três VPL's com apenas a recarga de 1 VE ficam negativos, tornando o investimento também inviável no período analisado de 30 anos. Entretanto, para 3 recargas, os 2 primeiros investimentos ficam com VPL negativo e o terceiro com o menor investimento o VPL fica positivo, sendo esse último caso, um investimento viável. O payback desses fluxos, para a recarga de 1 VE começando do maior para o menor investimento é de aproximadamente 16, 13 e 10 anos respectivamente, já para 3 VEs começando do maior para o menor investimento é de aproximadamente 13, 10 e 8 anos.

Figura 5. Gráfico da viabilidade do investimento com diferentes números de recargas e variabilidade do investimento com BESS de Chumbo Ácido.



No caso de três recargas diárias, os dois primeiros investimentos resultam em VPLs negativos, enquanto o terceiro investimento, com o menor valor, apresenta um VPL positivo, tornando-se, assim, um investimento viável. Para três recargas diárias, começando pelo maior investimento, o *Payback* é de aproximadamente 13, 10 e 8 anos, respectivamente.

O gráfico dos fluxos de caixa com três recargas estão demonstrados na Figura 6, onde mostra a inversão do fluxo de caixa sinalizando o *Payback*.

O último fluxo de caixa com um investimento de R\$ 57000,00 considerando o BESS, PV e com 3 recargas diárias está demonstrado na Figura 7, é o caso mais viável com o



banco de baterias de Chumbo Ácido, tendo seu Payback em aproximadamente 5 anos e seu VPL positivo com um valor de R\$ 33831,10.

Figura 6. Gráfico dos fluxos de caixa com três recargas diárias e variabilidade no investimento com BESS de Chumbo Ácido

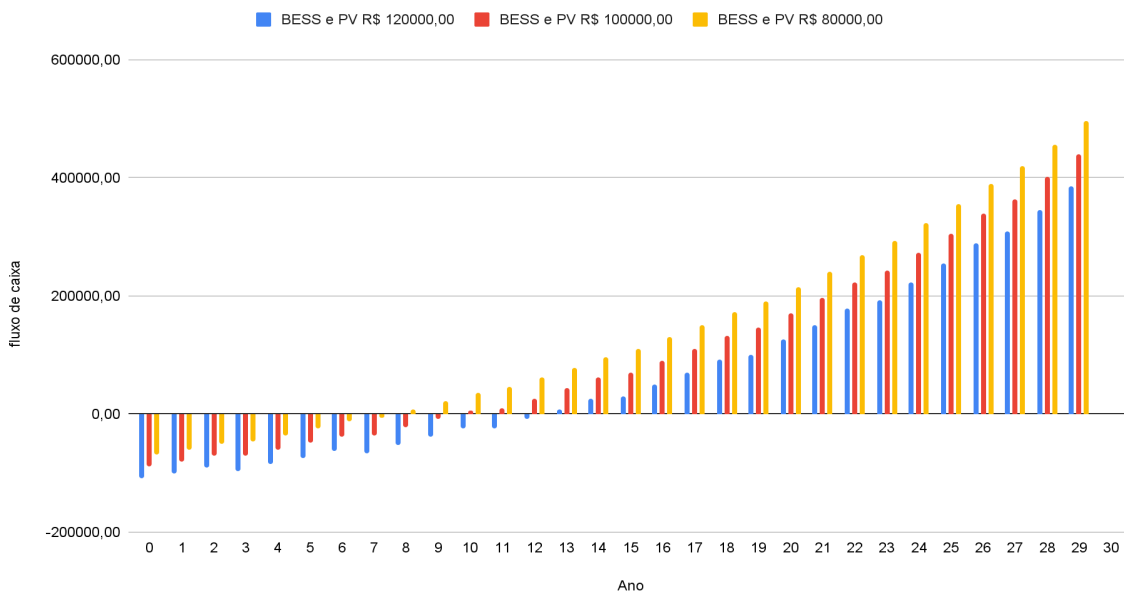
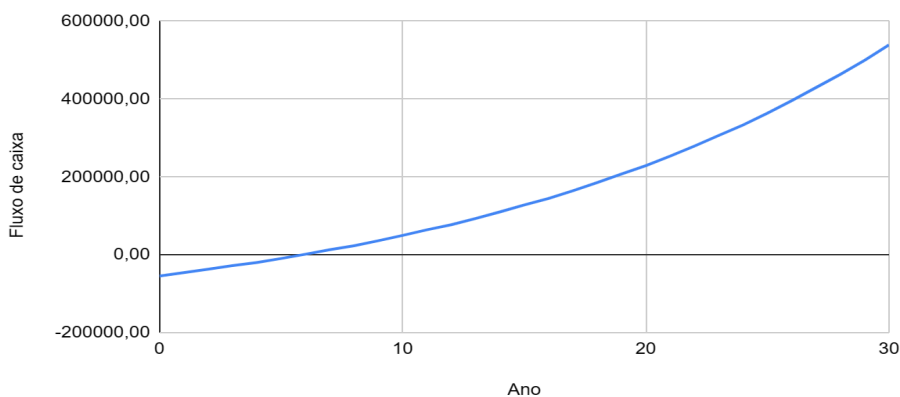


Figura 7. Gráfico do fluxo de caixa com três recargas diárias e variabilidade no investimento com BESS de Chumbo Ácido.



## 5. CONCLUSÃO

O algoritmo proposto no trabalho permitiu o controle dos fluxos de energia do sistema, evitando a descarga do BESS em horários fora de ponta, preservando sua vida útil. Além disso, foi possível limitar a potência da rede elétrica para evitar sobrecargas durante o

horário de ponta, utilizando tanto a rede quanto o BESS e o PV para carregar VEs. Os resultados financeiros mostram que o projeto se torna viável com três recargas diárias, desde que o investimento inicial em um BESS de Chumbo Ácido fosse inferior a R\$80.000,00, além de ser mais vantajoso quando combinado com o PV.

O planejamento para a recarga de veículos elétricos é uma estratégia para reduzir os custos durante os períodos de maior demanda, considerando tanto o tempo de recarga como as restrições de carga das baterias de chumbo-ácido.

## 6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte do projeto estratégico de pesquisa e desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica, “Desenvolvimento de Soluções Eficientes de Mobilidade Elétrica”, denominado “Poços+Inteligente”, que visa promover projetos de mobilidade elétrica no país. Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS e à Operadora do Sistema de Distribuição Local, DME Distribuição S.A., pelo apoio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Vinicius. O que é TIR e VPL? Saiba como utilizar nos seus investimentos. [S. l.], 18 fev. 2019. Disponível em: <https://maisretorno.com/portal/o-que-e-tir-e-vpl#o-que-e-como-funciona-TIR>. Acesso em: 9 jan. 2023.

CARMELITO, Bruno Eduardo et al. Metodologia Híbrida para Avaliação da Capacidade de Hospedagem de Veículos Elétricos em Redes de Distribuição. 2023.

DATTA, Ujjwal; KALAM, Akhtar; SHI, Juan. Smart control of BESS in PV integrated EV charging station for reducing transformer overloading and providing battery-to-grid service. **Journal of Energy Storage**, v. 28, p. 101224, 2020.

DME POÇOS DE CALDAS PARTICIPAÇÕES S.A. Tarifas e Taxas. Poços de Caldas, 16 nov. 2022. Disponível em: <http://www.dme-pc.com.br/atendimento/tarifas>. Acesso em: 9 jan. 2023.

LI, Desheng et al. An energy management strategy with renewable energy and energy storage system for a large electric vehicle charging station. **Etransportation**, v. 6, p. 100076, 2020.

YAN, Qin; ZHANG, Bei; KEZUNOVIC, Mladen. Optimized operational cost reduction for an EV charging station integrated with battery energy storage and PV generation. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 2, p. 2096-2106, 2018.