

Recarga de veículos elétricos: uma análise comparativa entre diferentes carregadores

Recharging electric vehicles: a comparative analysis of different chargers

Jheilla Maciel Ines¹

Karoline Matias de Lucia²

Celso Iwata Frison³

RESUMO

O aumento notável da presença de veículos elétricos no Brasil e no mundo tem impulsionado uma maior investigação, especialmente no que diz respeito à autonomia, diretamente associada às baterias e seus tempos de recarga. Este artigo propôs analisar os gráficos de corrente, tensão, potência e *State of charge* (SOC) durante a recarga do veículo elétrico IEV 40 da *JAC Motors*, em diferentes eletropostos da cidade de Poços de Caldas, assim como seu tempo de recarga. Ao avaliar os dados coletados, notou-se padrões distintos do comportamento da corrente, SOC e tempo nos diferentes carregadores, indicando a influência da potência de cada carregador no processo de recarga. Essas informações são cruciais para otimizar a infraestrutura de eletropostos e aprimorar a mobilidade elétrica, promovendo a ascensão do uso de veículos elétricos no mundo de forma mais eficaz.

Palavras-chave: bateria; veículos elétricos; recarga; eletroposto; autonomia.

ABSTRACT

The notable increase in the presence of electric vehicles in Brazil and around the world has prompted further research, especially into autonomy, which is directly associated with batteries and their recharging times. This article set out to analyze the current, voltage, power and State of Charge (SOC) graphs during the recharging of the JAC Motors IEV 40 electric vehicle at different electric stations in the city of Poços de Caldas, as well as its recharging time. When evaluating the data collected, distinct patterns of current, SOC and time behavior were noted in the different chargers, indicating the influence of each charger's power on the recharging process. This information is crucial for optimizing the infrastructure of electric charging stations and improving electric mobility, promoting the rise of electric vehicles around the world more effectively.

Keywords: battery; eletric vehicle; recharge; eletric station; autonomy.

¹Estudante de Graduação do Curso de Engenharia Elétrica da PUC Minas; e-mail: jheilla19@gmail.com

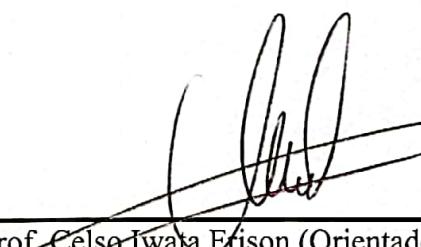
²Estudante de Graduação do Curso de Engenharia Elétrica da PUC Minas; e-mail: karolinelucia09@gmail.com

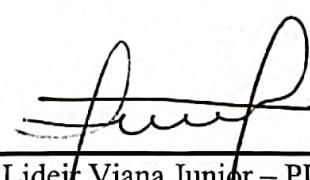
³Orientador do trabalho. Professor do Curso de Engenharia Elétrica da PUC Minas; e-mail: celso@pucpcaldas.br

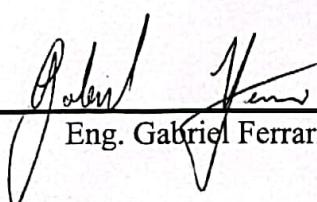
Jheilla Maciel Ines
Karoline Matias de Lucia

**RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA
ENTRE DIFERENTES CARREGADORES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, *campus* Poços de Caldas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.


Prof. Celso Iwata Frison (Orientador) – PUC Minas


Prof. Lideir Viana Junior – PUC Minas

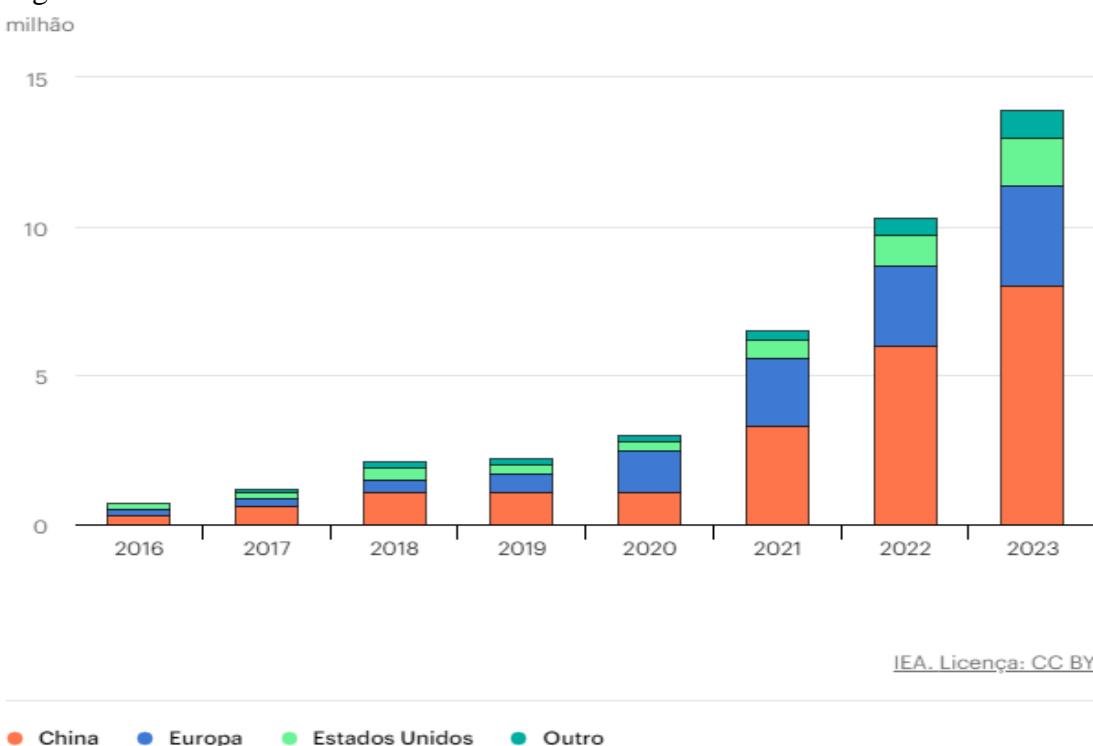

Eng. Gabriel Ferrari de Oliveira

Poços de Caldas, 29 de novembro de 2023.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial no mercado de carros elétricos foi evidente, com as vendas ultrapassando 10 milhões em 2022 e representando 14% de todas as vendas de carros novos. Esse aumento foi notável, considerando os 9% em 2021 e menos de 5% no ano anterior, em 2020. Os três principais mercados que lideram as vendas globais são: China, Europa e Estados Unidos. As vendas de carros elétricos devem continuar robustas em 2023, com mais de 2,3 milhões vendidos no primeiro trimestre, um aumento de 25% em relação ao ano anterior. A expectativa é de 14 milhões de vendas até o final de 2023, um aumento de 35% em relação ao ano anterior, com uma aceleração das compras no segundo semestre, conforme a Imagem 1. Como resultado, os carros elétricos poderão compor 18% das vendas totais durante o ano. Políticas e incentivos nacionais impulsionaram as vendas, enquanto altos preços do petróleo podem motivar compradores adicionais. (IEA, 2023).

Imagen 1 – Vendas de veículos eletrificados no mundo- 2016 a 2023.



[IEA. Licença: CC BY 4.0](#)

● China ● Europa ● Estados Unidos ● Outro

Fonte: (IEA, 2023).

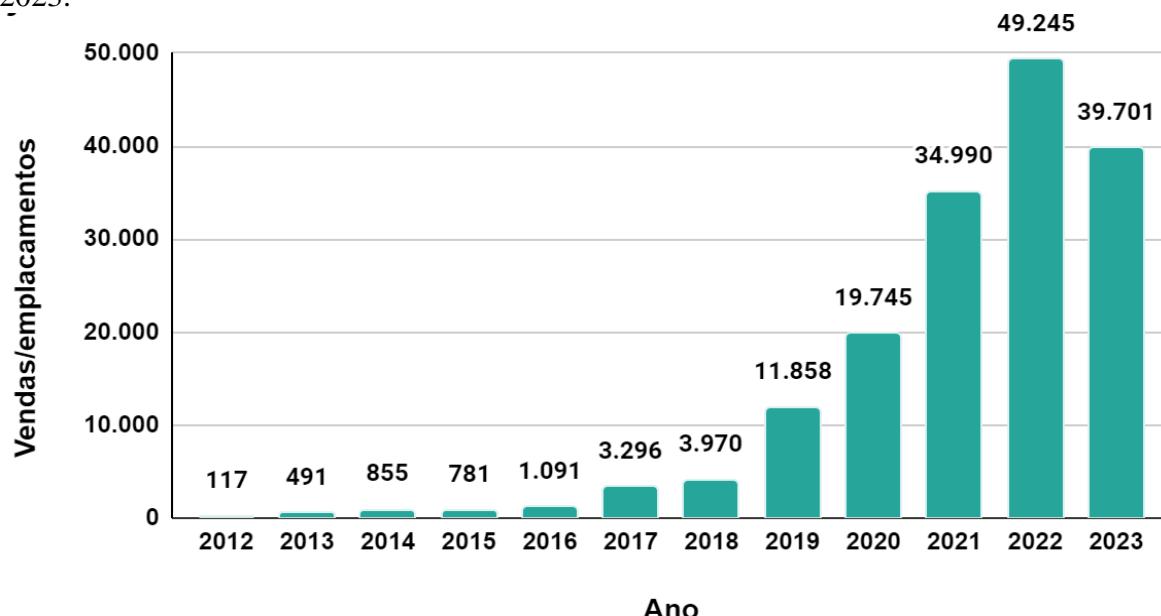
No Brasil, a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) registrou um crescimento significativo no número de veículos elétricos, com projeções superadas e um mercado em ascensão. Em julho de 2023 um novo recorde foi atingido com 7462 emplacamentos, conforme Tabela 1, esse número representa um aumento de 138% em comparação com julho de 2022, conforme pode ser observado na Imagem 2. A associação avalia que o mercado caminha para superar as projeções de 70 mil emplacamentos até o final de 2023. (ABVE,2023).

Tabela 1 – Vendas/emplacamentos de veículos eletrificados (VEs) no Brasil- 2012 a julho de 2023.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2012	9	16	7	3	13	23	5	3	2	2	18	16	117
2013	45	22	53	50	12	29	65	45	23	39	52	56	491
2014	93	61	65	53	94	52	61	79	71	53	87	86	855
2015	72	56	61	73	72	74	74	100	82	55		62	781
2016	58	64	60	137	41	91	48	59	79	93	159	202	1.091
2017	178	157	227	176	208	238	268	627	384	243	240	350	3.296
2018	272	254	367	367	302	382	262	262	286	405	374	437	3.970
2019	370	287	336	290	357	716	960	867	1.264	1.989	2.013	2.409	11.858
2020	1.568	2.053	1.570	442	601	1.334	1.668	1.943	2.113	2.273	2.231	1.949	19.745
2021	1.321	1.389	1.872	2.708	3.102	3.507	3.625	3.873	2.756	2.787	3.505	4.545	34.990
2022	2.558	3.435	3.851	3.123	3.387	4.073	3.136	4.249	6.391	4.460	4.995	5.587	49.245
2023	4.503	4.294	5.989	4.793	6.435	6.225	7.462						39.701
Total (2012 a 2023)													166.140

Fonte: Adaptado de ABVE, 2023.

Imagen 2 – Vendas/emplacamentos de veículos eletrificados (VEs) no Brasil- 2012 a julho de 2023.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS, 2023).

Um dos principais motivos desse aumento nas vendas dos veículos elétricos esteve relacionado aos incentivos políticos para diminuição da emissão de carbono no mundo. De acordo com o relatório da 24ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP24), 25% das emissões de gases que causam o efeito estufa foram provenientes do transporte. (OLIVEIRA; JERONIMO; JUSTUS JUNIOR, 2021).

De mesmo modo, a COP26 realizada em 2021 na Escócia também trouxe a problematização do aquecimento global e mudanças climáticas. Os relatórios apresentados trouxeram programas e ações que tratam a descarbonização dos países, sendo os veículos elétricos uma alternativa direta para redução desses impactos. (RIBEIRO, 2022).

Nesse contexto de crescente adoção da mobilidade elétrica, a autonomia dos veículos elétricos (VE) tornou-se uma preocupação, visto que o tempo de recarga dos VEs é significativamente maior em comparação ao abastecimento dos veículos a combustão. Isso levou à necessidade de uma análise detalhada do processo de recarga dos veículos elétricos, um aspecto fundamental para a eficiência e funcionamento dessa tecnologia.

Dessa forma, com o intuito de analisar o comportamento da recarga de veículos elétricos e propor soluções para a mobilidade elétrica, o presente estudo analisou grandezas físicas durante o processo de carga e os dados foram coletados em intervalos de tempo padronizados. O comportamento destas grandezas foi então analisado em gráficos, visando identificar padrões, diferenças e variações no processo de recarga. Destacaram-se possíveis fatores que pudessem influenciar a eficiência e a velocidade de carregamento. Por fim, investigaram-se possíveis estratégias e soluções para otimizar o processo de recarga de veículos elétricos, utilizando as informações coletadas e as análises realizadas nos diferentes tipos de eletropostos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Carros elétricos, conhecidos como veículos elétricos (VE), operam principalmente com eletricidade. Eles empregam um ou vários motores elétricos para a tração e movimentação, diferentemente dos veículos convencionais que dependem de motores de combustão interna que utilizam gasolina, álcool ou diesel. (NEOCHARGE, 2021).

2.1 Histórico

Os carros elétricos tiveram sua origem no século XIX, com os primeiros protótipos surgindo nos EUA, sendo intimamente conectado à história da bateria. (OLIVEIRA; JERONIMO; JUSTUS JUNIOR, 2021).

No Brasil, os veículos elétricos emergiram no século XX, destacando-se exemplos como os caminhões de serviço da Light fabricados pela Commercial Truck, Ônibus elétricos Brill, veículos da Detroit Electric, Walker, Milburn, Atlantic e Rolland. (MOTOR1, 2021).

Imagen 3 – 1º carro elétrico.



Fonte: (RIBEIRO, 2022).

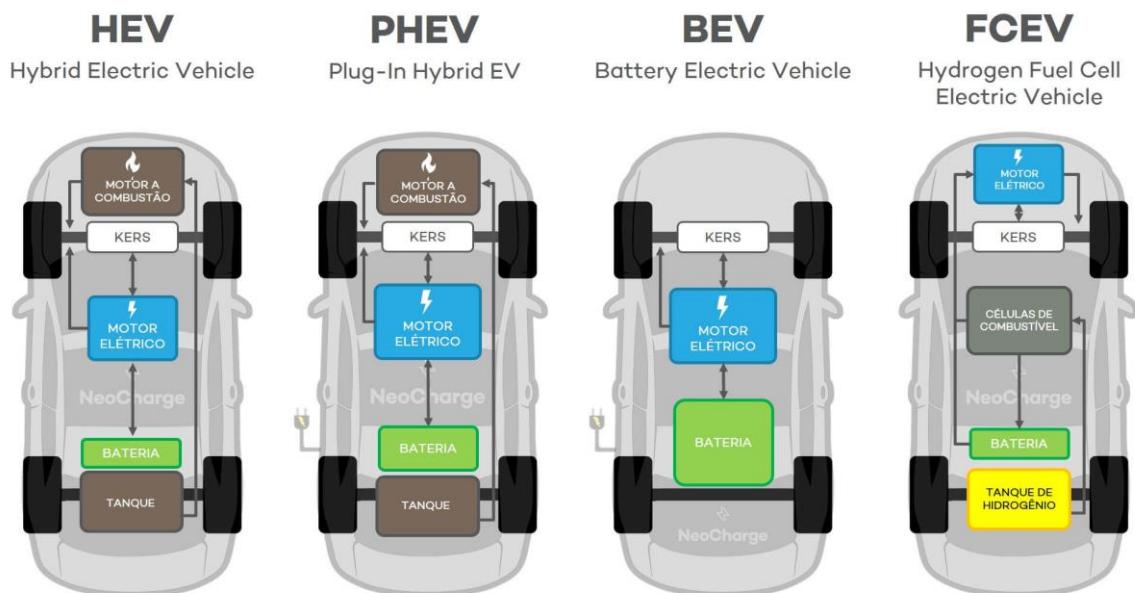
Apesar de sua presença inicial, os veículos elétricos perderam notoriedade no decorrer da década de 20, principalmente com a popularização dos motores a combustão. Todavia, a partir do século seguinte, os estudos sobre impactos ambientais decorrentes dos veículos a

combustão, aliados ao aproveitamento mais eficiente das fontes de energia renovável e as estratégias de *marketing* das próprias montadoras, foram vistas como prioridade para a substituição da frota de veículos para carros elétricos em países da Europa e dos Estados Unidos. Alguns governos implementaram programas de estímulo à compra de veículos elétricos, estabelecendo prazos para a substituição da frota por parte das indústrias automobilísticas, visando mitigar os danos ambientais causados pelos veículos convencionais. Após quase um século, os veículos elétricos começaram a ganhar popularidade no Brasil. (MOTOR1, 2021).

2.2 Tipos de Veículos Elétricos

Atualmente existem quatro tipos de veículos elétricos que são: *Hybrid Electric Vehicle* (HEV), *Plug-In Hybrid EV* (PHEV), *Battery Electric Vehicle* (BEV) e o *Hydrogen Fuel Cell Eletric Vehicle* (FCEV), conforme mostrado na Imagem 4. (RIBEIRO, 2022).

Imagem 4 – Tipos de carros elétricos.



Fonte: (RIBEIRO, 2022).

O veículo elétrico híbrido (HEV) é constituído de um motor a combustão, um motor elétrico e um banco de baterias. O motor a combustão utiliza gasolina, álcool ou diesel como principal forma de alimentação, enquanto o motor elétrico utiliza do banco de baterias, carregadas tanto pelo motor a combustão quanto pelo sistema de recuperação de energia cinética denominado *Kinetic Energy Recovery System* (KERS), que aproveita parte da energia cinética gerada pelos freios do veículo para o carregamento das baterias. (RIBEIRO, 2022).

O veículo elétrico híbrido *plug-in* (PHEV), mostrado na Imagem 4, é semelhante ao HEV, porém suas baterias podem ser recarregadas por meio de um sistema de alimentação externo. (RIBEIRO, 2022).

O veículo elétrico a bateria (BEV), é composto de um motor elétrico, sistemas de frenagem e baterias, eliminando o uso de motores a combustível fóssil. A bateria é carregada por meio de um sistema de alimentação externo, com a tecnologia de regeneração de energia pelas frenagens também incorporada. (RIBEIRO, 2022).

O veículo elétrico a célula a combustível (FCEV) utiliza como combustível o gás hidrogênio, possuindo uma estrutura semelhante à dos BEVs, porém possui um tanque

específico para o armazenamento do hidrogênio e utiliza também o sistema de frenagem para recarga da bateria. (RIBEIRO, 2022).

2.3 Modos de Recarga

O principal componente de um veículo elétrico é a bateria, cujas principais características incluem a capacidade de potência (kW) e a energia armazenada (kWh). A potência está relacionada à taxa de transferência de energia, sendo um fator importante para os VEs, pois sua performance é limitada à potência e eficiência da bateria. A capacidade de armazenamento refere-se a autonomia que o carro consegue percorrer sem a necessidade de recarregamento. (OLIVEIRA; JERONIMO; JUSTUS JUNIOR, 2021).

Os BEVs, assim como os veículos híbridos plug-in, necessitam do carregamento de suas baterias por meio da alimentação da rede elétrica. A potência do carregador é outro fator importante, influenciando consideravelmente a velocidade da recarga. (OLIVEIRA; JERONIMO; JUSTUS JUNIOR, 2021).

Dessa forma, existem atualmente três níveis de recarga de um carro elétrico, sendo: (COSTA; DELGADO; FEBRARO; SILVA, 2017).

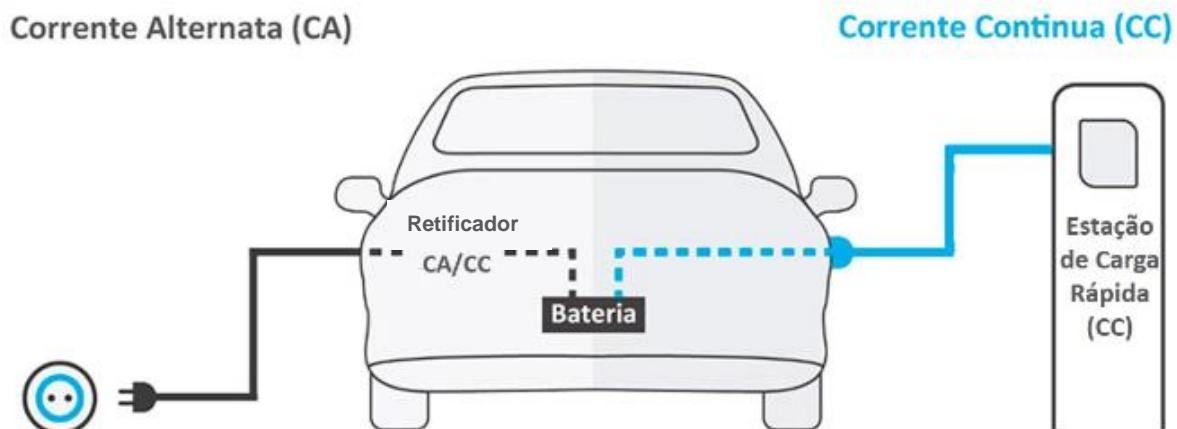
- Nível 1 – recarga lenta;
- Nível 2 – recarga semirrápida; e
- Nível 3 – recarga rápida

Segundo a ABNT NBR IEC 61851-1 (2013a), para a recarga de VEs, a alimentação pode ser em corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA). Para padronizar os tipos existentes, as recargas foram separadas em quatro principais classificações, sendo:

- a) Modo 1 com carga lenta utilizando uma tomada residencial: Utilização de condutores de alimentação, de aterramento de proteção e tomadas de até 16 A e no máximo 250 V para CA monofásicas e 480 V para CA trifásicas;
- b) Modo 2 com carga lenta utilizando uma tomada residencial comum e dispositivo de proteção no cabo de carga: Utilização de tomadas padronizadas de até 32 A e no máximo 250 V para CA monofásica e 480 V para CA trifásica. Utiliza também proteção contra choques elétricos;
- c) Modo 3 com carga lenta ou rápida utilizando uma tomada específica e funções de controle de proteção. Conecta-se o VE à rede de alimentação em CA;
- d) Modo 4 com carga rápida utilizando um carregador externo. O carregador é conectado à tomada de alimentação em CA e fornece energia em CC para o VE, esse modo permite cargas rápidas de até 400 A.

Os carregadores CC, mais rápidos em relação aos carregadores CA, possuem um inversor próprio em seu interior, alimentando diretamente a bateria do veículo, uma vez que a conversão da CA proveniente da rede de energia já foi realizada pelo retificador interno. A Imagem 5 ilustra o processo de recarga do veículo elétrico, tanto em CA quanto em CC. (NEOCHARGE, 2021).

Imagen 5 - Carregamento de veículos elétricos em CC e CA.



Fonte: Adaptado de NEOCHARGE, 2021.

3 METODOLOGIA

No presente estudo foi analisado em detalhes o processo de recarga do carro IEV 40 da Jianghuai Automobile Co. LTDA (JAC Motors), que é do tipo BEV, em diferentes eletropostos, abrangendo recargas rápidas, semirrápidas e lentas.

3.1 Veículo Elétrico

Para a análise, foi utilizado o modelo IEV 40 da *JAC Motors*, um *Battery Electric Vehicle* (BEV), equipado com duas baterias: uma de alta tensão, responsável por acionar o motor, ar-condicionado, bomba de vácuo e aquecimento, e outra de baixa tensão, alimentando sistemas como faróis, multimídia e direção elétrica. A bateria de alta tensão, fabricada em íons de lítio, localiza-se no assoalho do veículo, proporcionando uma autonomia de 300 km com carga completa, além disso, o veículo possui capacidade total de energia de bateria de 40 kWh. As características da bateria e sistema de carregamento foram apresentadas na Tabela 2. (*JACMOTORS*, s.d.).

Tabela 2 – Bateria principal e sistema de carregamento.

Itens	Parâmetros
Tipo	Lithium (NCA)
Capacidade total de energia de bateria (kWh)	40
Tipo de refrigeração	Refrigeração líquida
Capacidade de carga (carga normal)	6.6kW
Autonomia (NEDC, Km)	300
Peso da bateria (kg)	320
Tensão nominal da bateria (V)	400
Capacidade de corrente elétrica (Ah)	117
Interface de recarga para eletroposto de carga rápida (carga rápida)	CCS2 (padrão europeu)
Interface de recarga para tomada doméstica (carga lenta)	Mennekes tipo 2 (padrão europeu)
Interface de recarga para estação de carregamento padrão (carga lenta)	Mennekes tipo 2 (padrão europeu)

Fonte: Adaptado de JACMOTORS, s.d.

As baterias de íons de lítio, como ilustrado na Imagem 6, são as mais usadas em carros elétricos. Elas têm a capacidade de serem carregadas antes mesmo de serem completamente descarregadas, sem comprometer seu desempenho. Sua relação de peso/potência e eficiência energética são elevadas. Essas baterias representam uma opção ambiental amigável, uma vez que a maioria de suas peças são recicláveis. (NEOCHARGE, 2021).

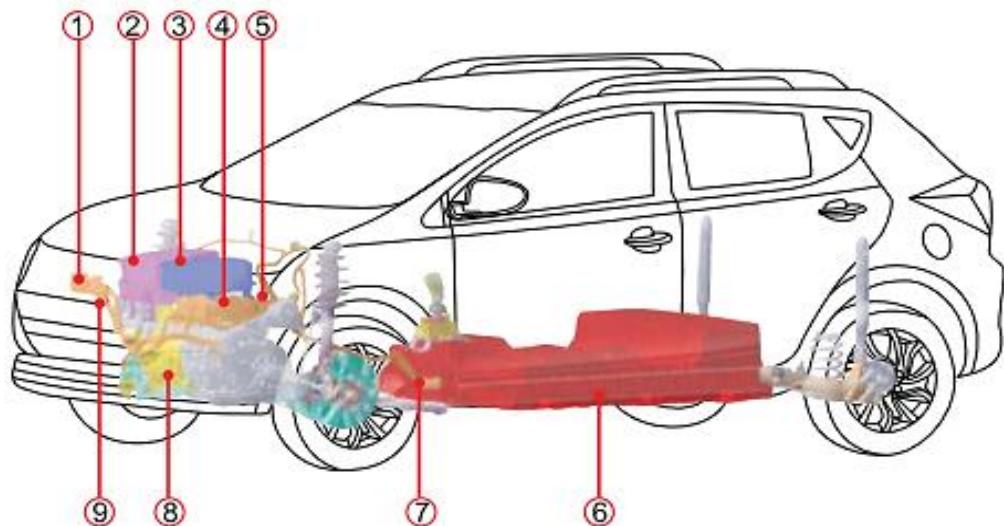
Imagen 6 - Bateria de íons de lítio.



Fonte: (NEOCHARGE, 2021).

Os principais componentes de alta tensão do carro podem ser analisados na Imagem 7.

Imagen 7 - IEV 40 JAC Motors.



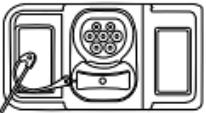
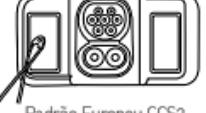
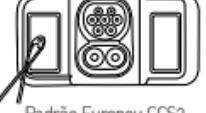
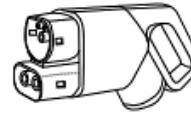
1. Soquete de carregamento rápido
2. Controlador do motor
3. Caixa de junção de alta tensão
4. Carregador do veículo
5. Aquecedor da bateria
6. Bateria de energia
7. Cabo principal de alta tensão
8. Motor condutor
9. Soquete de carregamento lento

Fonte:(JACMOTORS, s.d.).

O carregamento desse veículo é realizado por dois tipos: carregamento lento em corrente alternada (CA) e carregamento rápido em corrente contínua (CC), conforme indicado na Imagem 8. (JACMOTORS, s.d.).

Para recargas em CA é necessário o suporte de um retificador, pois a bateria permite apenas ser carregada em CC. (NEOCHARGE, 2021).

Imagen 8 - Métodos de carregamento.

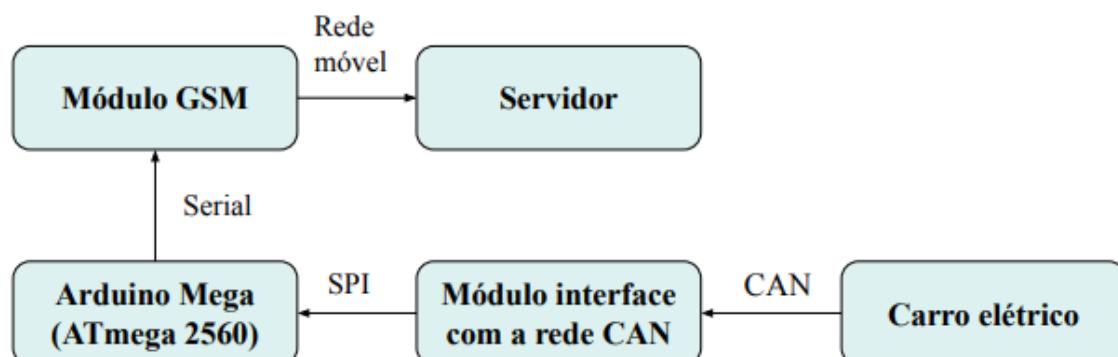
MÉTODOS DE CARREGAMENTO	PORTE DE CARGA	PLUGUE DE CARREGAMENTO	INTERFACE DE FORNECIMENTO DE ENERGIA
CARGA LENTA Equipamentos de corrente alternada AC	 Padrão Europeu Mennekes Tipo 2		ESTAÇÃO DE RECARGA PADRÃO (WALL BOX CHARGING STANDART) Pode ser adquirido em uma loja JAC. E também é encontrado em shoppings, estradas, estacionamentos e em pontos espalhados pela cidade.
			UNIDADE DE CARREGAMENTO JAC (JAC SMART CHARGING BOX) Encontrado nas concessionárias JAC e algumas outras lojas. Também pode ser adquirido em uma loja JAC
	 Padrão Europeu CCS2		FONTE DE ALIMENTAÇÃO DOMÉSTICA Voltagem de 220V / 16A e com tomada padrão 20A (diâmetro 4,8mm)
CARGA RÁPIDA Equipamentos de corrente contínua DC	 Padrão Europeu CCS2		ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO RÁPIDO Encontrado em pontos específicos.

Fonte: (JACMOTORS, s.d.).

Com o intuito de aprimorar a maneira como se monitora o carregamento de baterias em carros elétricos, foi utilizado a porta de diagnóstico OBDII, empregando ferramentas como o ELM327 ou MPC2515 para obter informações do carro, isso permite o acesso à *Electronic Control Unit* (ECU) dos veículos. Localizada abaixo do volante, encontra-se uma conexão na qual é possível conectar um dispositivo de varredura, facilitando o estabelecimento dessa comunicação. Consequentemente, é viável extrair todos os dados capturados pelos sensores do veículo em tempo real, graças à utilização do protocolo de comunicação CAN. Por meio do emprego de um microcontrolador ou tecnologia similar, torna-se possível processar esses dados e optar por armazená-los com propósito de análise ou transmiti-los para fins de monitoramento contínuo. (BARCELONA, 2021).

Para extrair os dados do carro, foi utilizado um hardware com um controlador ATMEL ATMEGA2560 em conjunto com o módulo CAN-BUS MCP2515, conforme a Imagem 9.

Imagen 9 – Diagrama em blocos do *Hardware*.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS, 2023).

Durante o carregamento, foram utilizados os componentes do diagrama anterior para obtenção dos dados em tempo real. Esse sistema transmitiu os dados captados a um servidor,

que, por sua vez, alimentou um banco de dados contendo informações sobre o SOC da bateria, tensão de alimentação, corrente elétrica e horário. Tal base foi tratada por meio do software Excel, agrupando os números para posterior análise em um sistema de dados. Para melhor entendimento e visualização ao longo do tempo, foram utilizados dados em um intervalo de tempo de 5 minutos para as recargas rápidas e semirrápidas e para a recarga lenta, o intervalo adotado foi de 30 minutos, devido ao grande volume de informações.

O *hardware* desenvolvido opera um código específico para coletar dados relevantes para o estudo, tais como corrente (A), tensão (V), SOC (%), e tempo (s) entre outros parâmetros. Esses foram armazenados na nuvem, permitindo acesso contínuo para fins de pesquisa a qualquer momento. Isso possibilitou uma análise detalhada das informações coletadas ao longo do processo de recarga das baterias de carros elétricos.

3.2 Carregadores

As recargas deste estudo foram realizadas pelos seguintes dispositivos:

- Carregador de emergência lento (3 kW);
- DC Wall Box semirrápido (24 kW), conforme ilustrado na Imagem 10;
- Terra 54 CJGCE DC rápido (50 kW), conforme ilustrado na Imagem 11.

Os dois últimos da marca ABB estão instalados em eletropostos de recarga rápida e semirrápida, em diferentes pontos da cidade de Poços de Caldas- MG. O carregador de emergência estava conectado a uma tomada convencional. Para isso, foi necessário descarregar a bateria do carro elétrico abaixo de 20% de sua carga total, a recarga foi realizada sem interrupção até atingir 100% da carga. O tempo médio de recarga e a potência em cada eletroposto, conforme dados do fabricante, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valor referencial de recarga.

Carregador	Potência [kW]	Tempo médio de carga [h]
Carregador de emergência	3	22
DC Wall Box	24	3
Terra 54 CJGE	50	2

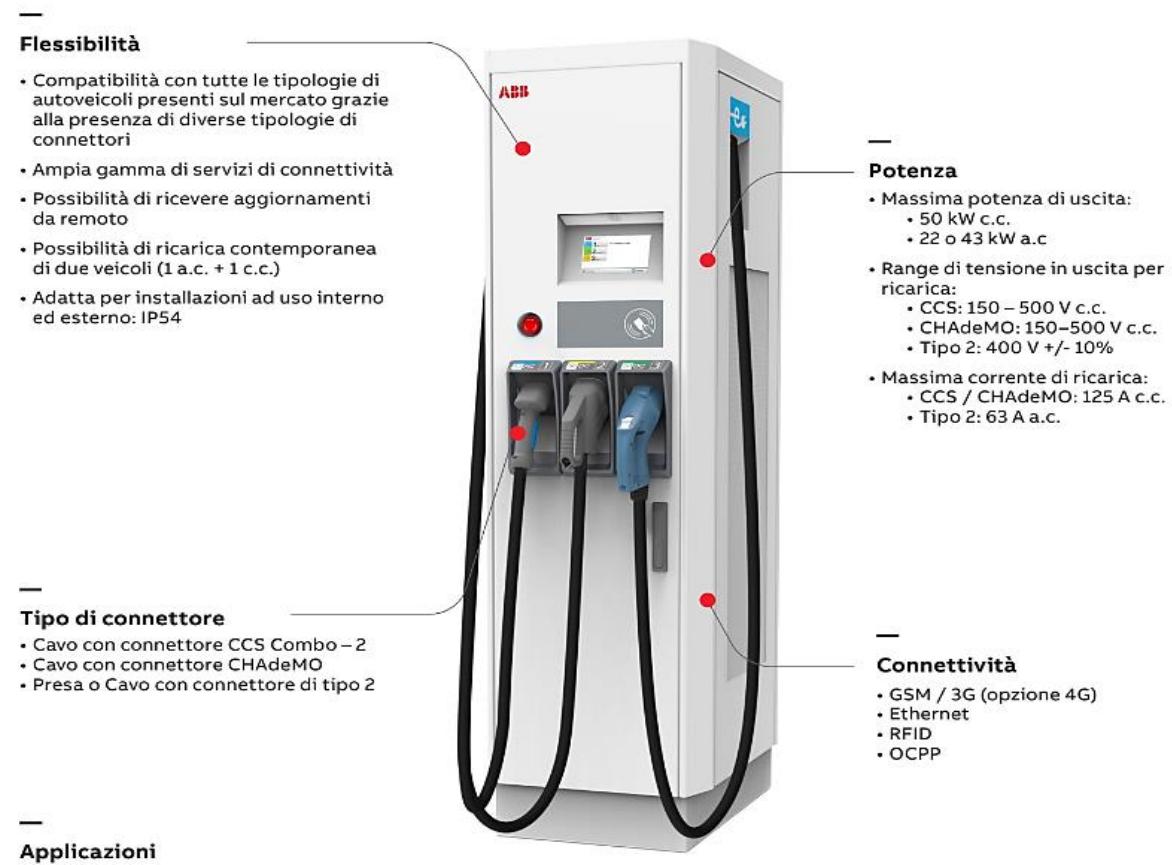
Fonte: Adaptado de JACMOTORS, s.d.

Imagen 10 – Carregador DC Wall Box (24kW).



Fonte: (DATASHEET, s.d.).

Imagen 11 – Carregador Terra 54 CJGCE (50kW) DC.



Fonte: (DATASHEET, s.d.).

Após a conclusão da fase de coleta, os dados foram analisados utilizando programas de análises de dados e gráficos adequados à pesquisa. Essas análises foram conduzidas com rigor e precisão, possibilitando a identificação de padrões e tendências que fundamentaram as conclusões finais.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO

A seguir é apresentado uma análise dos dados obtidos durante os testes de carregamento do veículo elétrico IEV 40 da JAC Motors. Os testes foram realizados em três tipos de carregadores: carga rápida com potência nominal de 50 kW (CC), carga semirrápida com uma potência nominal de 24 kW (CC) e carga lenta com uma potência nominal de 3 kW (CA).

A seguir foram descritas as informações de cada recarga.

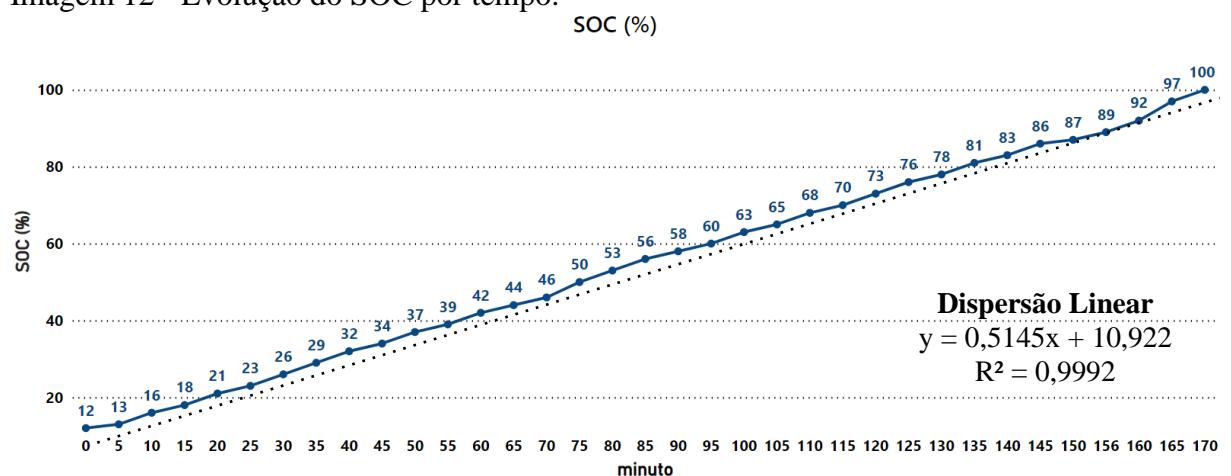
4.1 Recarga 1

A primeira recarga do veículo ocorreu em 08/09/2023 no eletroposto de carga semirrápida, localizado na instituição de ensino PUC Minas, em Poços de Caldas/MG. O carregador da marca ABB, modelo Terra DC Wall Box CCS2, com potência de saída CC de 24 kW, tensão de saída CC podendo variar de 150 a 920 V, corrente de saída máxima de 60 A e eficiência de 94%. A potência do carregador, no dia da recarga, estava limitada a 13 kW.

A recarga iniciou-se com a bateria em 12% e foi concluída em 100%, com duração de 02h50min para a recarga de 88% da bateria.

Após a coleta e tratamento dos dados foram obtidos os gráficos a seguir, sendo visualizados nas Imagens 12 a 19, por meio do Power BI:

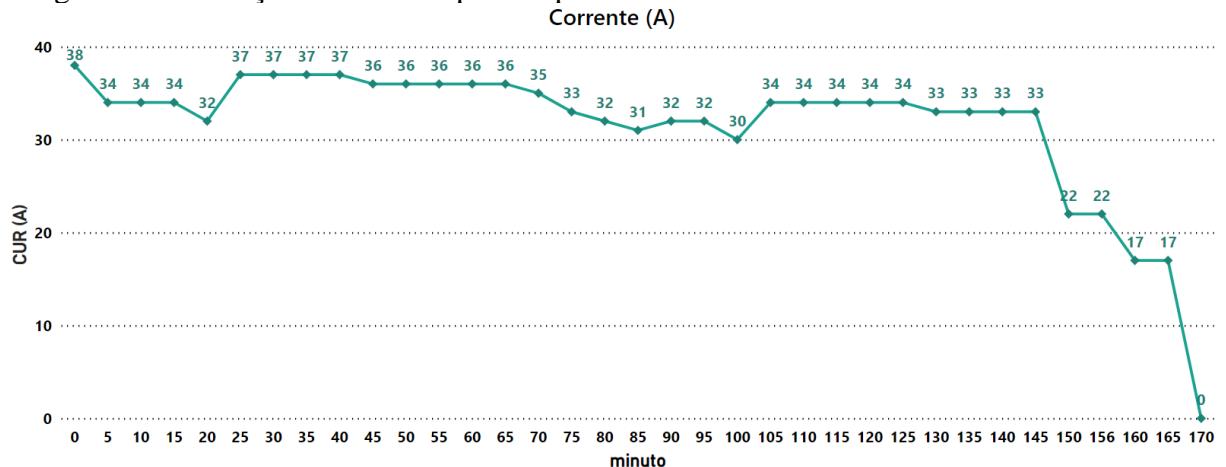
Imagen 12 - Evolução do SOC por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O POWER BI, 2023).

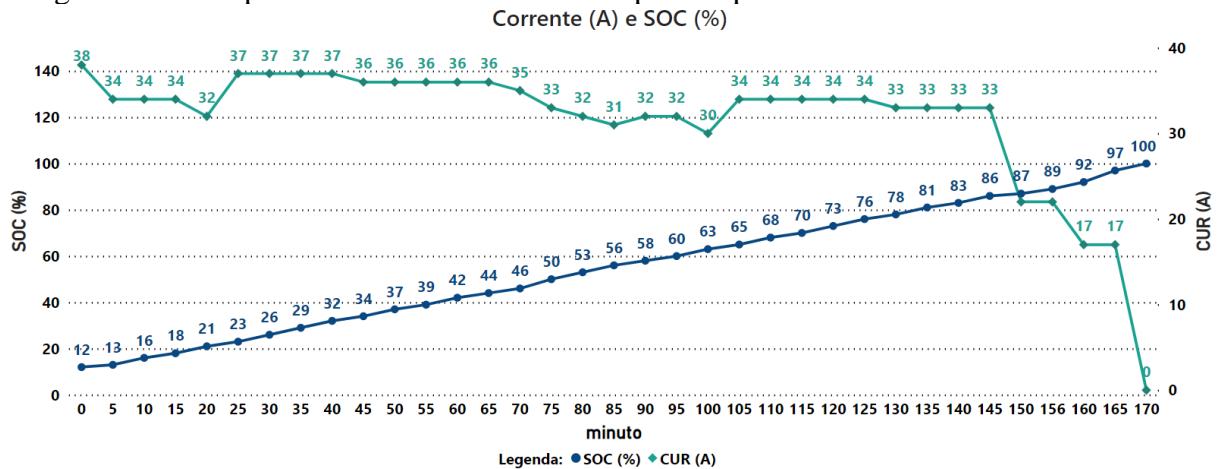
Como observado no gráfico acima, nota-se um padrão linear no processo de carregamento, com coeficiente de determinação próximo de 1 (0,9992).

Imagen 13 - Evolução da corrente por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

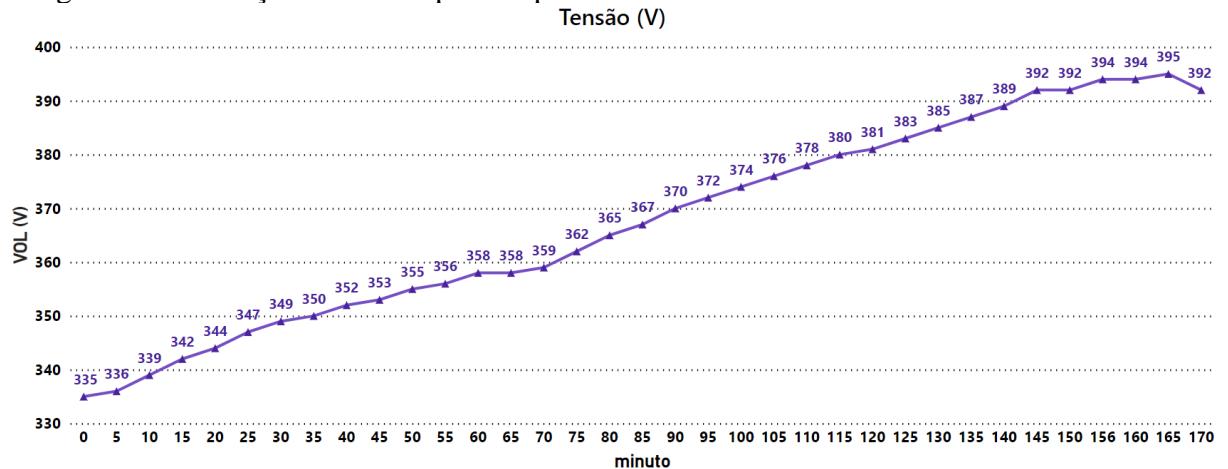
Imagen 14 – Comparativo entre corrente e SOC por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

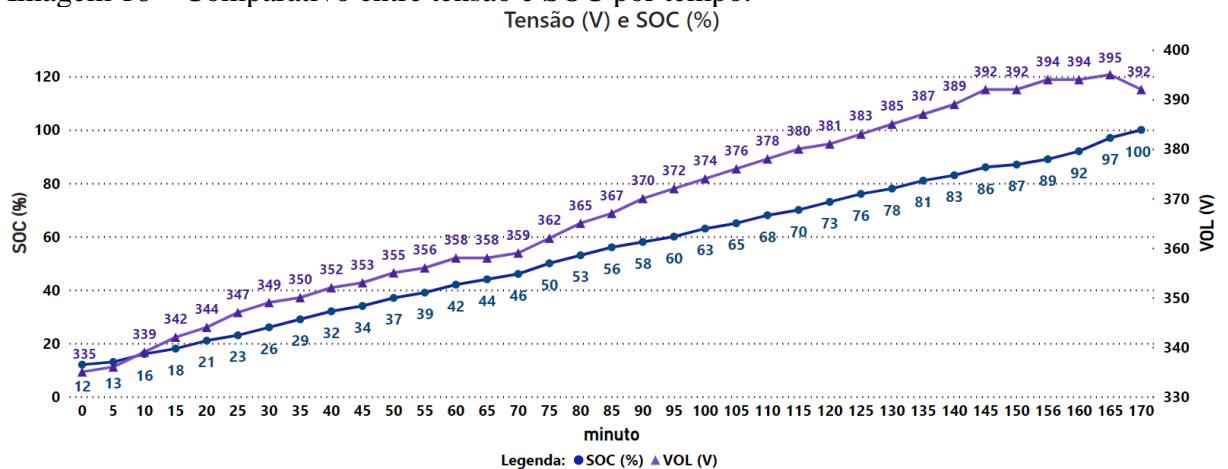
Os gráficos apresentados nas Imagens 13 e 14, revelam flutuações na corrente ao longo do processo de recarga. Inicialmente, a corrente oscila entre 37 A e 33 A, atingindo 86% do SOC aos 145 minutos. Posteriormente, há uma diminuição para 22 A aos 150 minutos e SOC de 87%, seguida por uma nova redução para 17 A aos 160 minutos, estabilizando nesse valor até o término da recarga.

Imagen 15 - Evolução da tensão por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

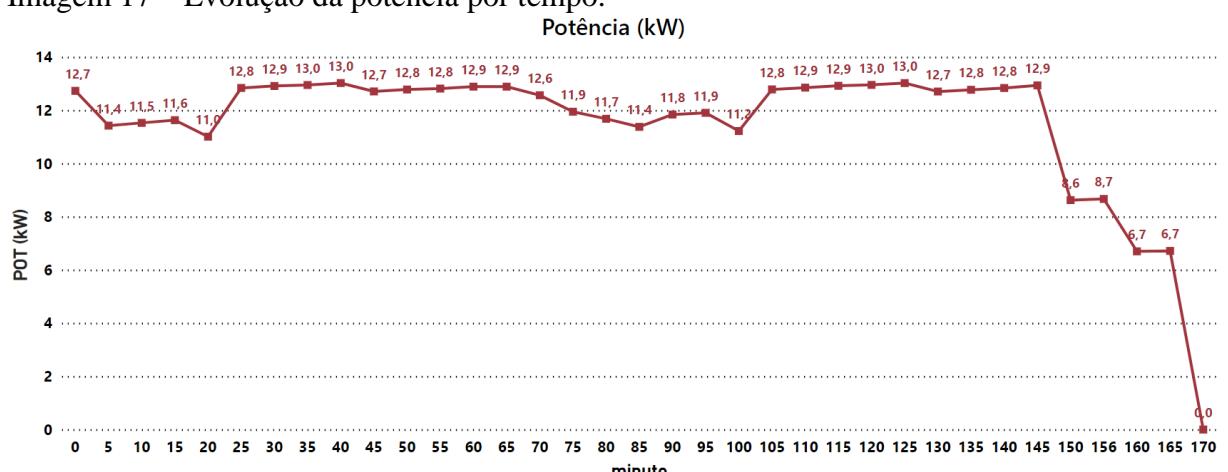
Imagen 16 – Comparativo entre tensão e SOC por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

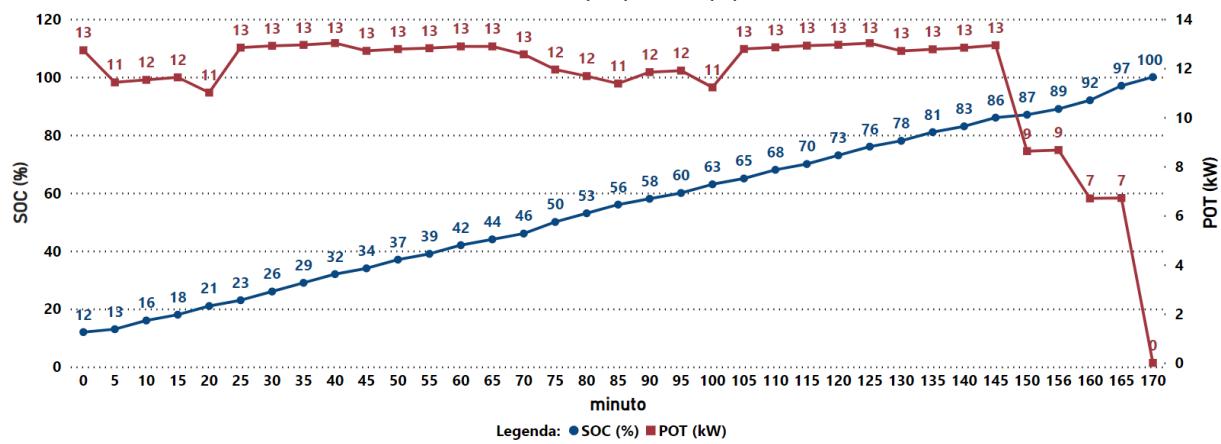
A tensão da fonte de alimentação do carregador de carga semirrápida demonstrou um aumento linear ao longo do tempo, apresentado no gráfico da Imagem 16. No início do SOC estava em 336 V, chegando a 395 V no final do processo.

Imagen 17 – Evolução da potência por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Imagen 18 – Comparativo entre potência e SOC por tempo.
Potência (kW) e SOC (%)

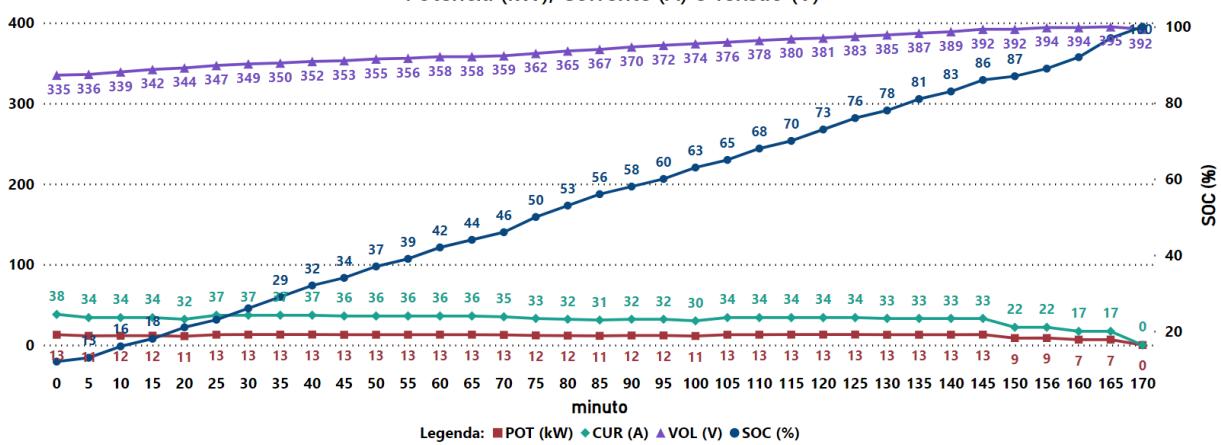


Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Observando os gráficos das Imagens 17 e 18, nota-se que a variação não linear na corrente influencia diretamente na potência em conformidade com a fórmula $P = V * I$. Como foi obtido um gráfico da tensão linear a potência tem um comportamento similar a corrente.

A seguir, na Imagem 19, é apresentado um gráfico comparativo entre todos os dados analisados.

Imagen 19 – Comparativo entre potência, corrente, tensão e SOC por tempo.
Potência (kW), Corrente (A) e Tensão (V)



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

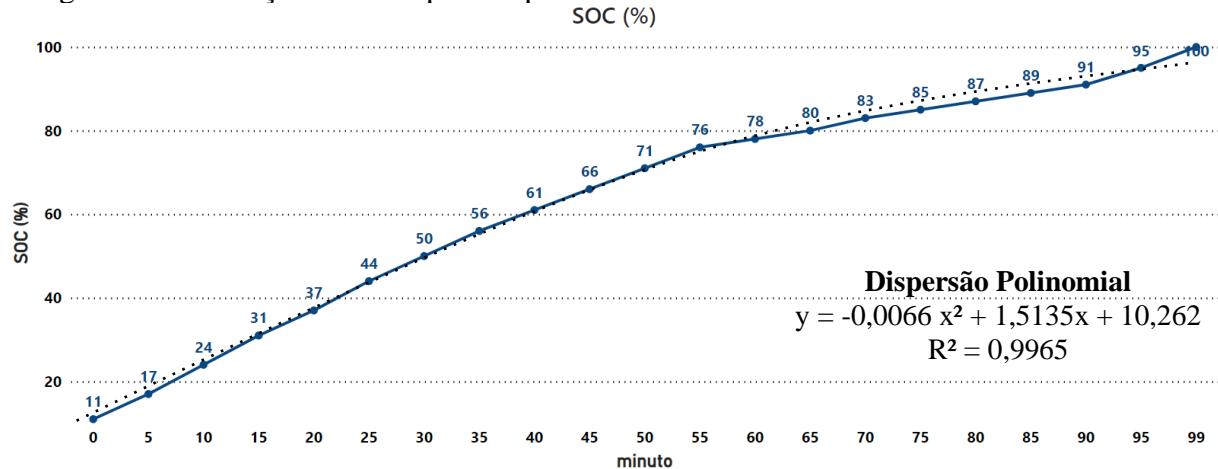
4.2 Recarga 2

A segunda recarga foi realizada no dia 24/09/2023 no eletroposto de carga rápida, localizado na Fepasa, centro de Poços de Caldas/MG. O carregador da marca ABB, modelo Terra 54 CJGCE, tem uma potência de saída CC de 50 kW, a tensão de saída CC tem um range de 150 - 500 V, corrente de saída máxima de 125 A e uma eficiência de 94%. A capacidade total de energia da bateria do veículo elétrico é limitada a 40 kWh.

A recarga iniciou-se com o SOC em 11% e finalizou-se em 100%, a recarga obteve duração total de 01h39min para o carregamento de 89% da bateria, atingindo recarga total.

Após a coleta e tratamento dos dados foram obtidos os gráficos a seguir, sendo visualizados nas Imagens 20 a 24, por meio do Power BI:

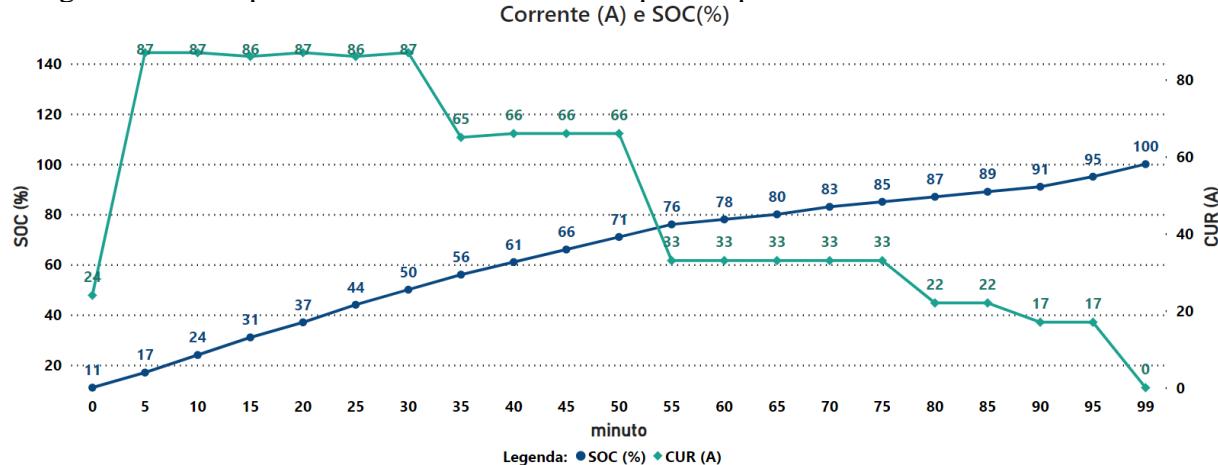
Imagen 20 – Evolução do SOC por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

O gráfico observado na Imagem 20 que relaciona o SOC por tempo revela um padrão polinomial, com coeficiente de determinação próximo de 1 (0,9965). Como evidenciado pela sua observação e equação, existe na fase inicial um aumento rápido no carregamento até chegar aos 71%, seguido por uma fase semelhante a semirrápida que se mantém até o término do processo.

Imagen 21 – Comparativo entre corrente e SOC por tempo.

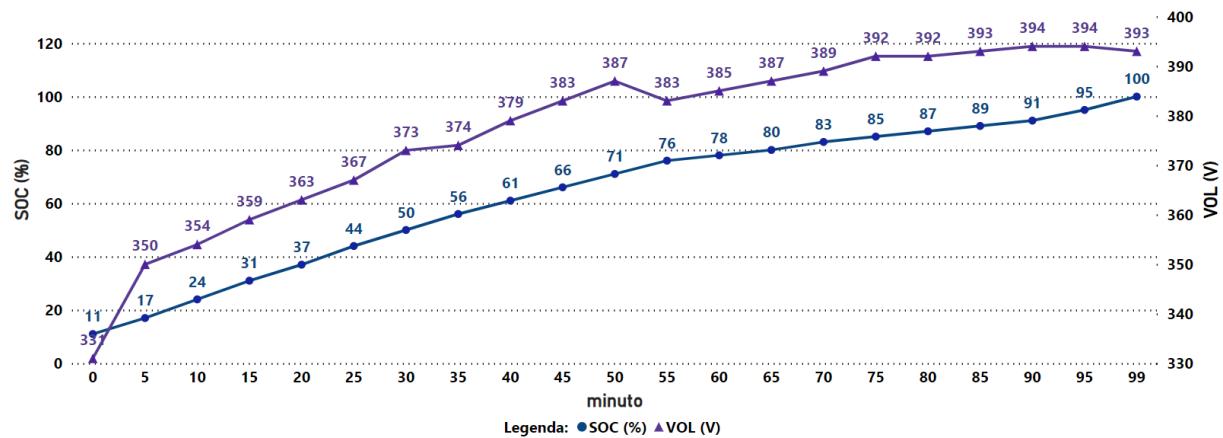


Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Por meio da Imagem 21 é notável uma corrente inicial oscilando entre 87 A e 86 A nos primeiros 35 minutos de recarga, alcançando os 56% de SOC. Nesse ponto, houve uma redução para 66 A até os 50 minutos, resultando em 71% de SOC. Houve então uma queda significativa para 33 A aos 80 minutos quando o SOC atinge 87%. A corrente voltou a diminuir aos 90 minutos, alcançando 17 A, e permaneceu estável até o término da recarga.

Imagen 22 – Comparativo entre tensão e SOC por tempo.

Tensão (V) e SOC (%)

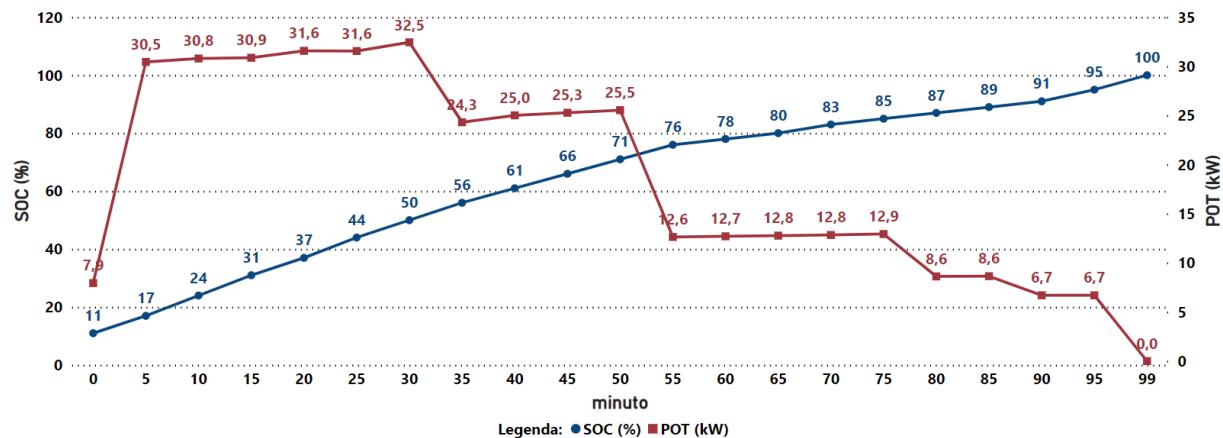


Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

A tensão apresenta um aumento linear, começando em 331 V e concluindo o processo de recarga em 393 V.

Imagen 23 – Comparativo entre potência e SOC por tempo.

Potência (kW) e SOC (%)

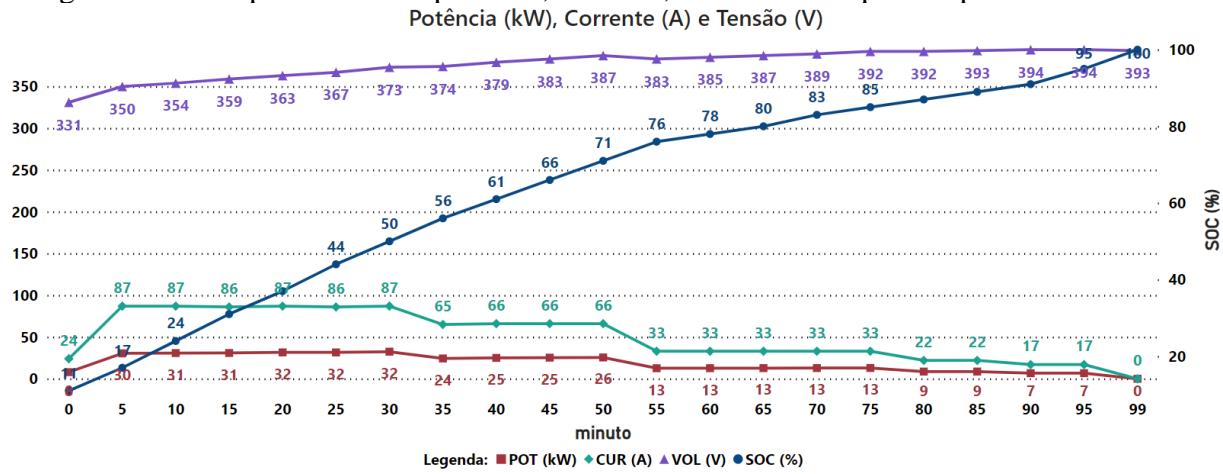


Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Observando o gráfico da Imagem 23, nota-se um padrão do gráfico de potência e da corrente, uma vez que a tensão exibe um comportamento linear, enquanto a corrente não. Assim, a potência é diretamente influenciada pela variação da corrente.

A seguir, na Imagem 24, é apresentado um gráfico comparativo entre todos os dados analisados.

Imagen 24 – Comparativo entre potência, corrente, tensão e SOC por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

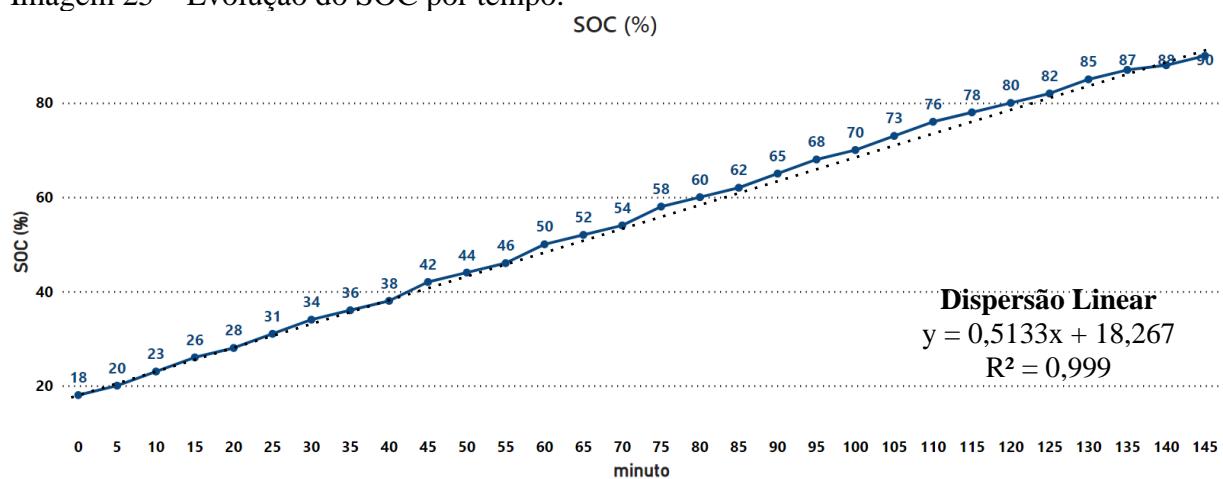
4.3 Recarga 3

A terceira recarga foi efetuada no dia 26/10/2023 no eletroposto de carga semirrápida na PUC Minas. No dia da realização da recarga a potência do carregador estava limitada a 13 kW.

A recarga iniciou-se com a bateria em 18% e finalizou-se em 90%, com duração de 02h25min para o carregamento de 72% da bateria.

Após a coleta e tratamento dos dados foram obtidos os gráficos a seguir, sendo visualizados nas Imagens 25 a 29, por meio do Power BI:

Imagen 25 – Evolução do SOC por tempo.

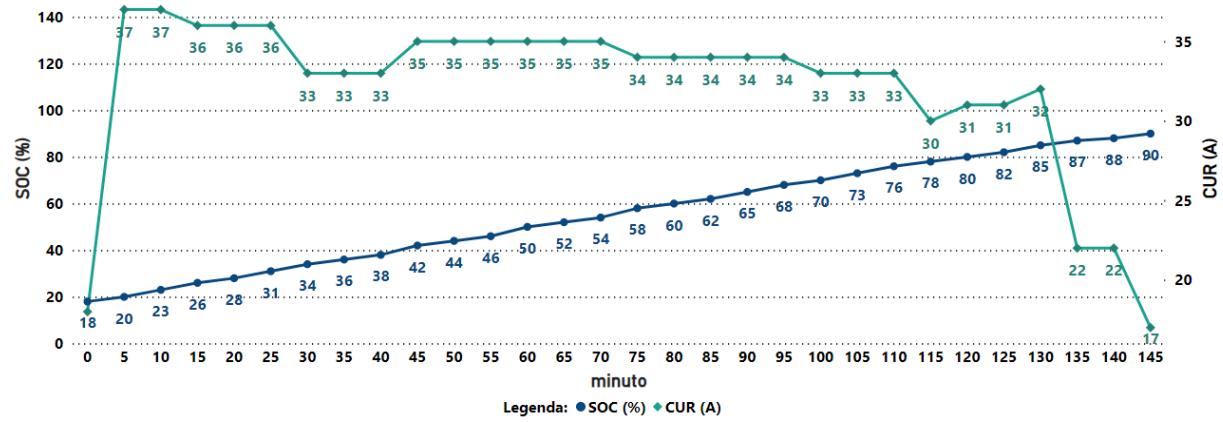


Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Como observado no gráfico acima, nota-se um padrão linear no processo de carregamento, com coeficiente de determinação próximo de 1 (0,999).

Imagen 26 – Comparativo entre corrente e SOC por tempo.

Corrente (A) e SOC (%)

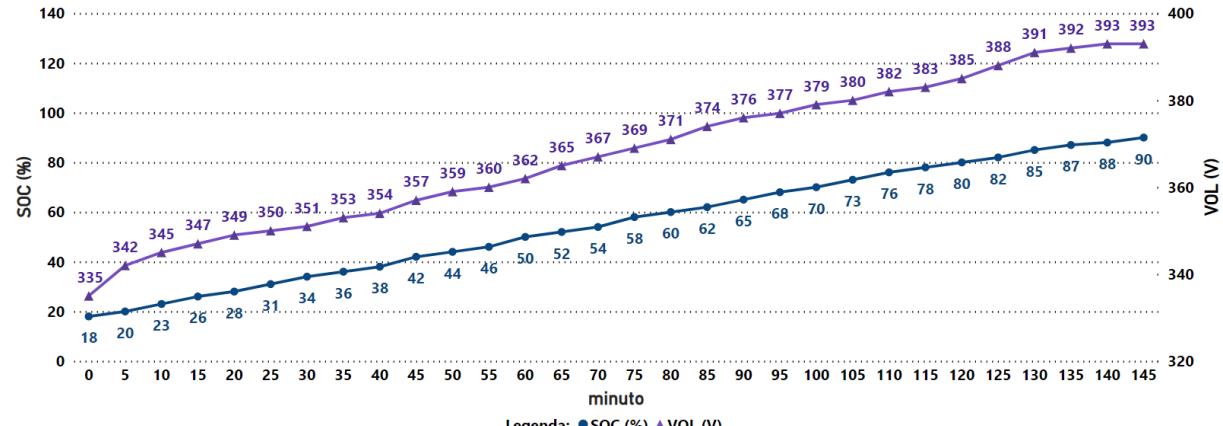


Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Assim como na primeira recarga feita no carregador da marca ABB, modelo Terra CC Wall Box CCS2, o comportamento da corrente permaneceu o mesmo, como observado no gráfico da Imagem 26. Inicialmente variando entre 37 A e 33 A, manteve-se nesse intervalo até o SOC atingir 86%. Em seguida, houve uma diminuição para 22 A ao alcançar 87% do SOC, seguida por uma nova redução para 17 A aos 145 minutos e permaneceu nesse valor até o tempo final de recarga.

Imagen 27 – Comparativo entre tensão e SOC por tempo.

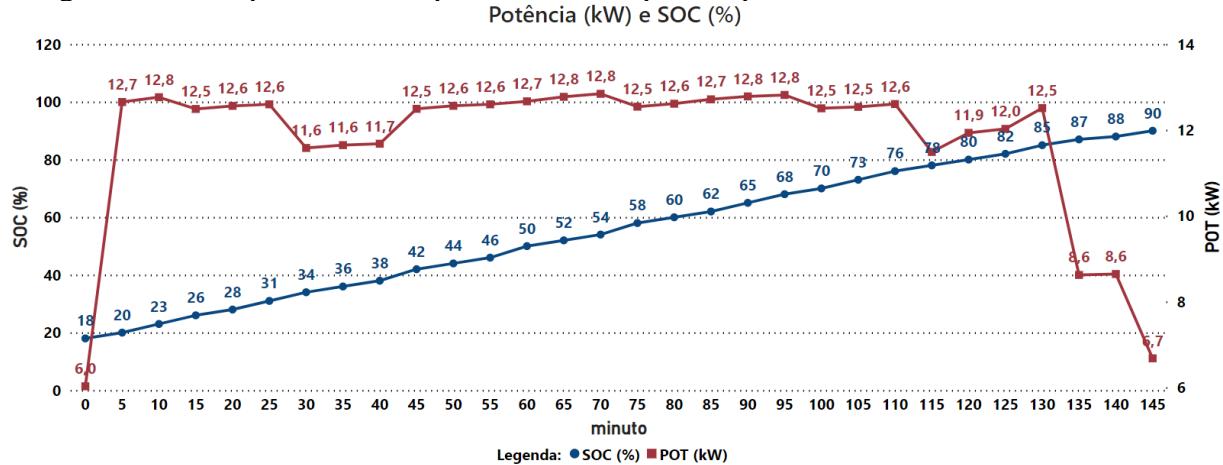
Tensão (V) e SOC (%)



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Do mesmo modo que a corrente demonstrou comportamento semelhante à primeira recarga, a tensão da fonte de alimentação do carregador de carga semirrápida, também demonstrou um comportamento análogo à primeira recarga, começando em 335 V e finalizando em 393 V, em um crescente linear, conforme a Imagem 27.

Imagen 28 – Comparativo entre potência e SOC por tempo.

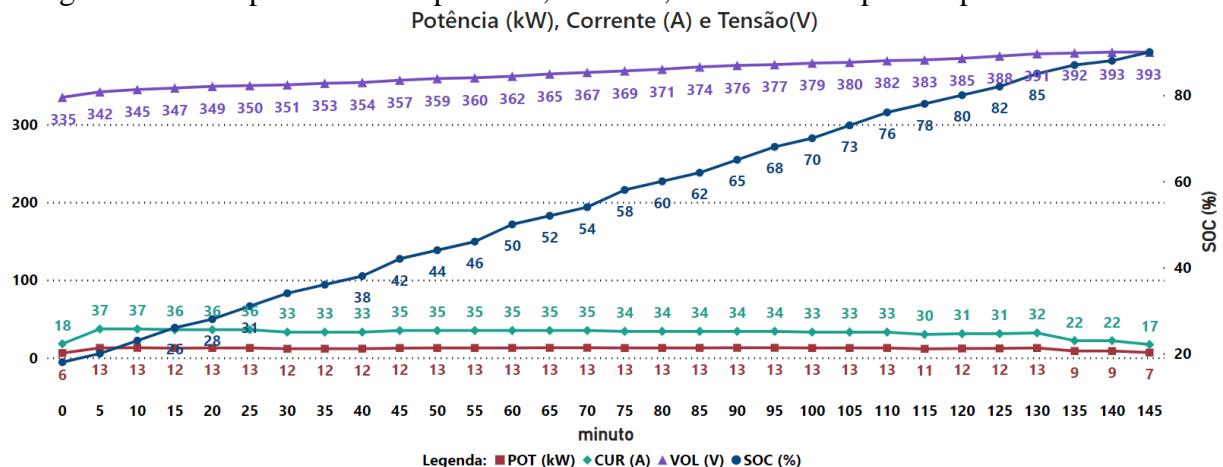


Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

O gráfico da potência é semelhante ao da corrente, assim como na primeira recarga.

A seguir, na Imagem 29, é apresentado um gráfico comparativo entre todos os dados analisados.

Imagen 29 – Comparativo entre potência, corrente, tensão e SOC por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

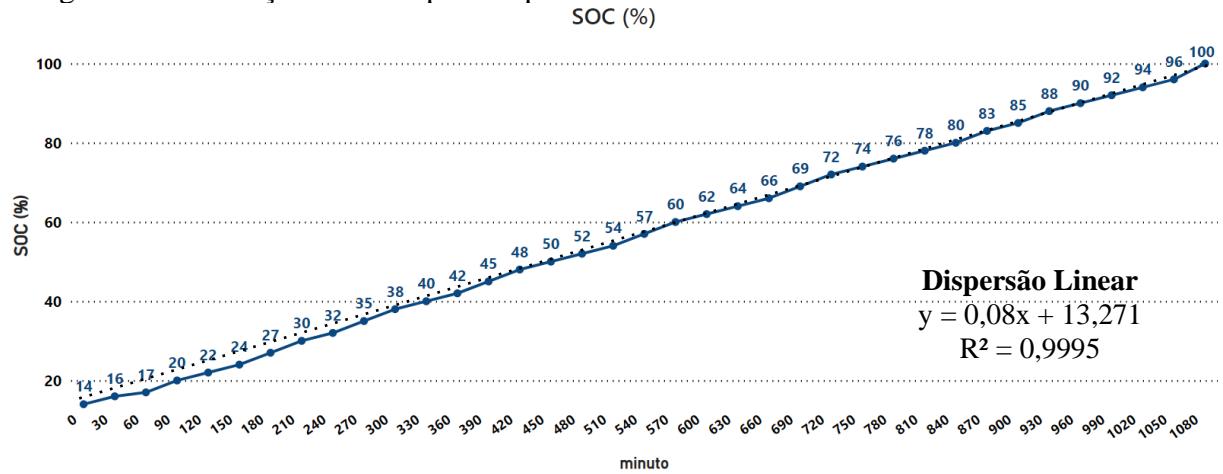
4.4 Recarga 4

A quarta recarga, realizada no dia 10/11/2023, utilizou carga lenta com o carregador de emergência de 3kW, conectado a uma tomada convencional na instituição de ensino PUC Minas, em Poços de Caldas/MG.

A recarga iniciou-se em 14% e finalizou-se em 100%, obteve duração total de 18h36min para o carregamento de 86% da bateria.

Após a coleta e tratamento dos dados foram obtidos gráficos as seguirem, sendo visualizados nas Imagens 30 a 34, por meio do Power BI:

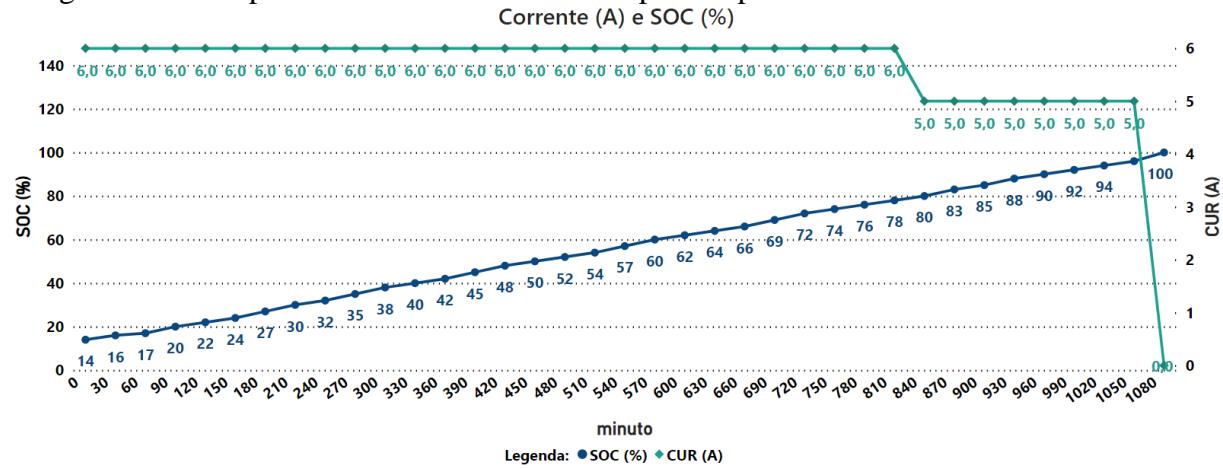
Imagen 30 – Evolução do SOC por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Como observado no gráfico acima, nota-se um padrão linear no processo de carregamento, com coeficiente de determinação próximo de 1 (0,9995).

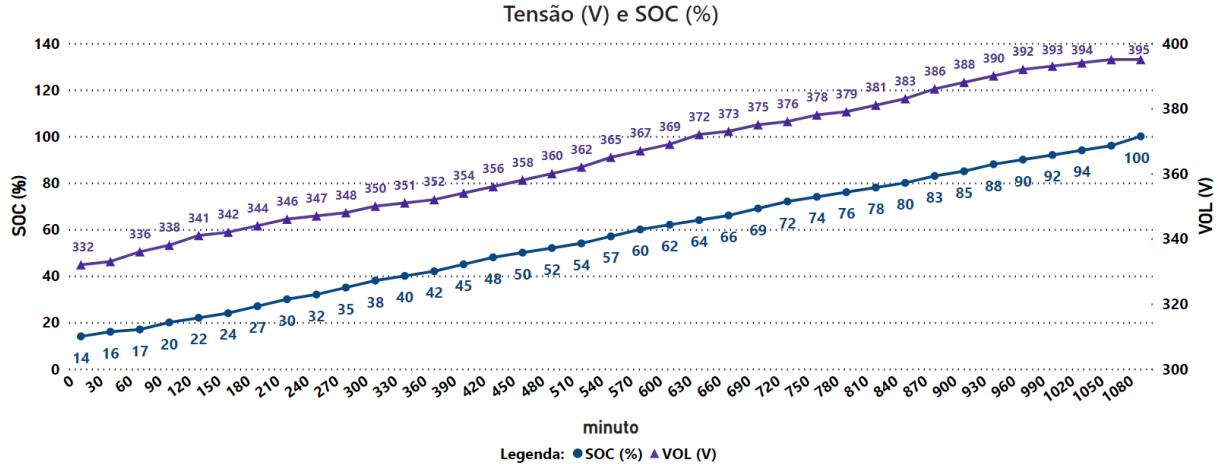
Imagen 31 – Comparativo entre corrente e SOC por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Por meio do gráfico observado na Imagem 31, nota-se um comportamento constante da corrente ao longo do tempo, no qual apresentou um valor de 6 A até os 810 minutos, com SOC em 78%, após isso, a corrente diminuiu para 5 A e manteve esse valor até 1080 minutos, em 96%. Por fim, a corrente zerou quando o SOC completou 100%.

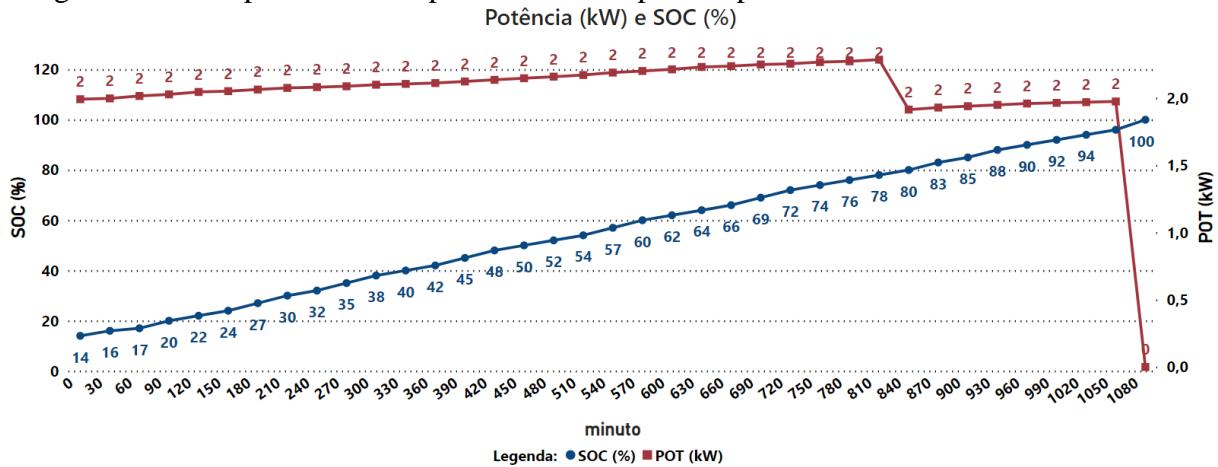
Imagen 32 – Comparativo entre tensão e SOC por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

A tensão demonstrou um comportamento linear ao longo do tempo, começando a recarga em 332 V e finalizando em 395 V, conforme a Imagem 32.

Imagen 33 – Comparativo entre potência e SOC por tempo.

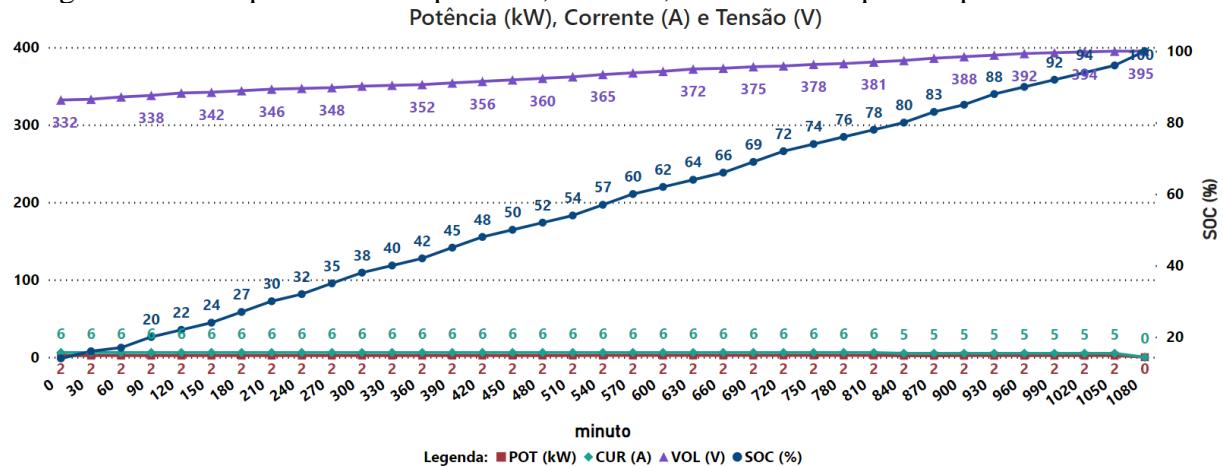


Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Observando o gráfico da Imagem 33, nota-se um padrão do gráfico de potência e da corrente, uma vez que a tensão exibe um comportamento linear. Assim, a potência é diretamente influenciada pela variação da corrente.

A seguir, na Imagem 34, é apresentado um gráfico comparativo entre todos os dados analisados.

Imagen 34 – Comparativo entre potência, corrente, tensão e SOC por tempo.



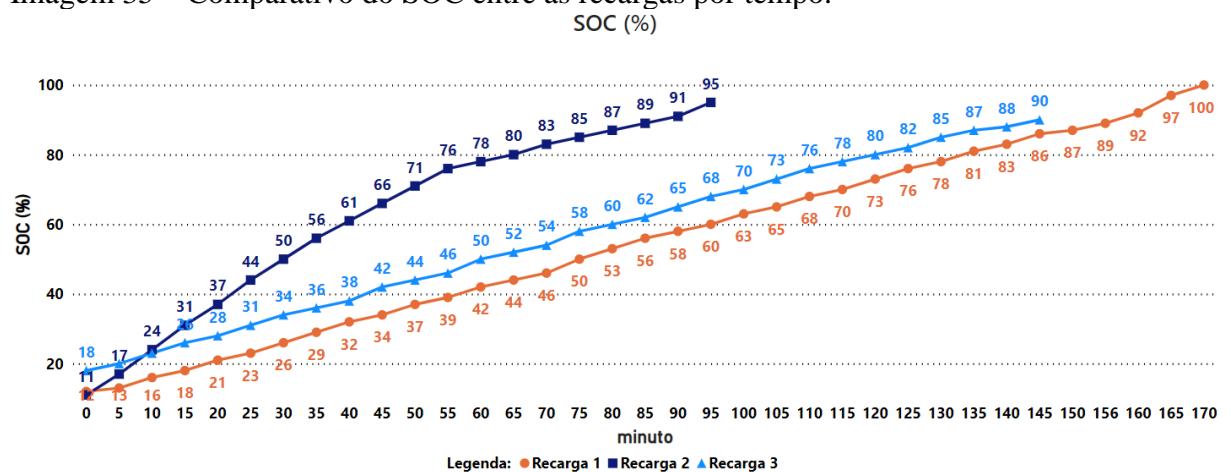
Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

4.5 Comparação entre as recargas rápidas e semirrápidas

Para uma comparação mais detalhada entre as recargas realizadas, foram gerados gráficos de SOC, corrente, tensão e potência ao longo do tempo. Inicialmente foi efetuada a análise entre as recargas rápidas e semirrápidas, visto que a base temporal de análise gráfica foi a mesma, de 5 em 5 minutos.

Em relação ao SOC, é possível observar na Imagem 35 que a recarga 2 (recarga rápida), realizada no eletroposto da Fepasa, finalizou primeiro, chegando a 95% em 95 minutos. As recargas 1 e 3 (recarga semirrápida) feitas no eletroposto localizado na PUC Minas obtiveram resultados muito semelhantes, apresentando o mesmo comportamento, sendo a recarga 1 finalizada em 170 minutos.

Imagen 35 – Comparativo do SOC entre as recargas por tempo.

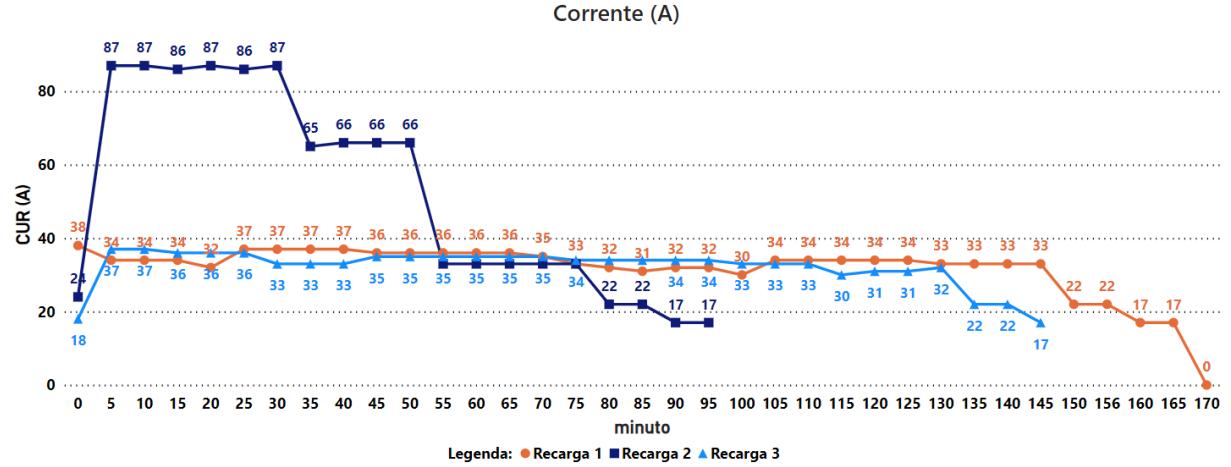


Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Em relação à corrente, é possível observar na Imagem 36 que a recarga 2 iniciou-se com uma corrente média de 87 A até chegar aos 30 minutos de carregamento, sendo 50% do SOC, após isso, permaneceu em 66 A até os 55 minutos, sendo 76% do SOC. Entre 55 minutos e 75 minutos a corrente apresentou valor de 35 A, e neste momento se aproximou dos valores das demais recargas. Após os 75 minutos, a corrente decaiu até chegar a 17 A, com a carga finalizando em 100%.

Por outro lado, as recargas 1 e 3 mantiveram valores médios de correntes até chegar próximo de 85% de carga, e após isso, começaram a decair.

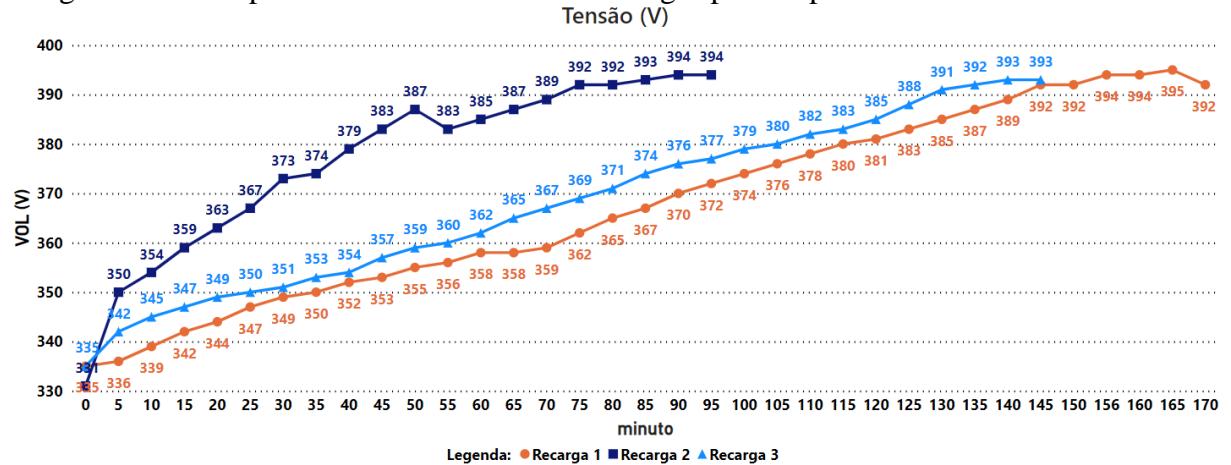
Imagen 36 – Comparativo de corrente entre as recargas por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Em relação a tensão, é possível observar na Imagem 37 que as três recargas obtiveram curvas lineares, variando entre 335 V e 394 V.

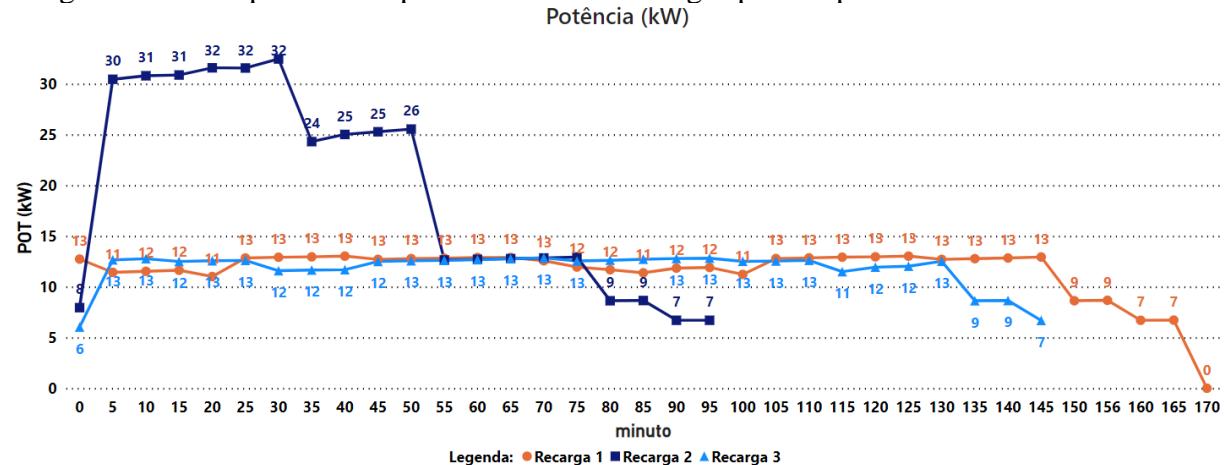
Imagen 37 – Comparativo de tensão entre as recargas por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Ao analisar o gráfico apresentado na Imagem 38, é evidente um padrão consistente entre o gráfico de potência e o de corrente, enquanto a tensão demonstra um comportamento linear. Portanto, a variação da corrente exerce uma influência direta sobre a potência.

Imagen 38 – Comparativo de potência entre as recargas por tempo.



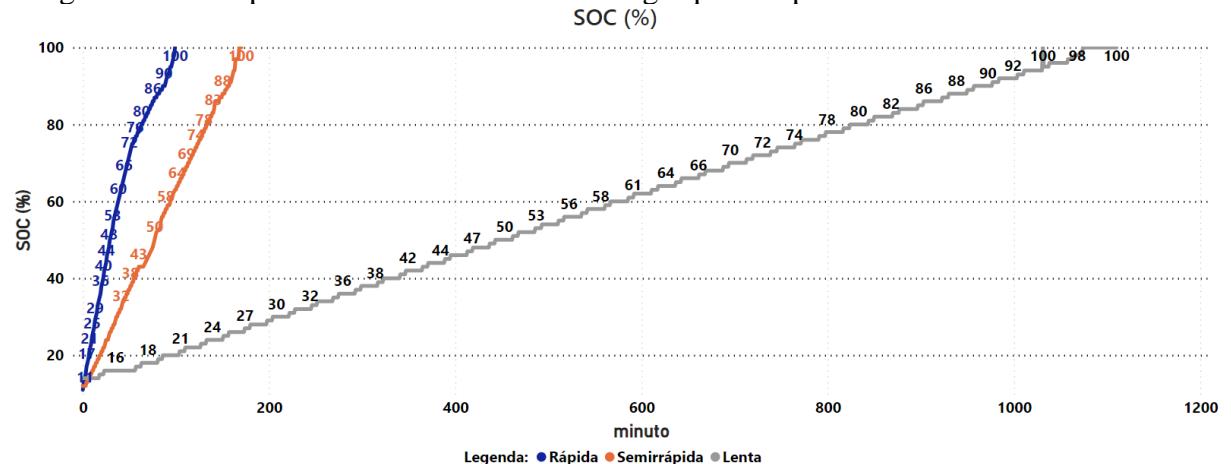
Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

4.5 Comparação entre as recargas rápidas, semirrápidas e lentas

Após as análises comparativas entre as recargas rápidas e semirrápidas, foi realizado a comparação também com a recarga lenta, utilizando como parâmetro da recarga semirrápida a recarga nº 1, pois seus valores são semelhantes a recarga nº 3.

Em relação ao SOC, é possível observar na Imagem 39 grandes diferenças entre os tempos de recargas de carregadores rápido e semirrápido em relação ao carregador lento.

Imagen 39 – Comparativo do SOC entre as recargas por tempo.

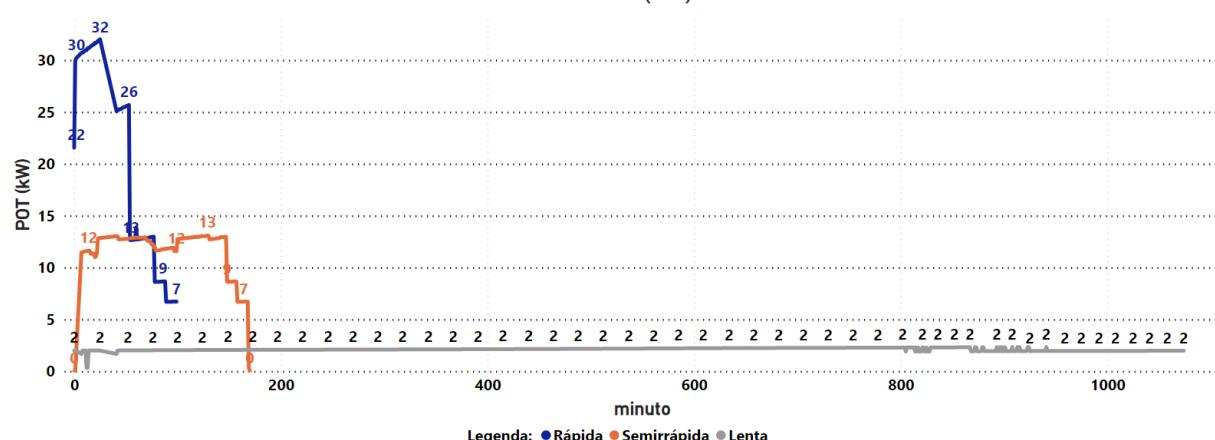


Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O *POWER BI*, 2023).

Em relação à potência, é possível observar na Imagem 40 que a recarga lenta demonstrou valores contínuos ao longo do tempo, no qual iniciou-se com uma potência média de 2,2 kW até chegar próximo de 800 minutos de carregamento, sendo 78% do SOC, após isso, permaneceu em 2 kW até os 1100 minutos, sendo 96% do SOC.

Por outro lado, as recargas rápidas e semirrápidas variaram ao longo do tempo, atingindo valores máximos no início da recarga, sendo que a recarga rápida obteve uma queda na potência por volta dos 50% e 75% do SOC, e a recarga semirrápida diminuiu a potência em 85% do SOC.

Imagen 40 – Comparativo de potência entre as recargas por tempo.



Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS UTILIZANDO O POWER BI, 2023).

4.6 Comparação de resultados práticos e teóricos

Após a finalização dos testes realizados, foram elaboradas duas tabelas agrupando as principais informações de cada recarga e o comparativo entre os testes práticos e os dados teóricos, conforme as Tabelas 4 e 5 a seguir.

Tabela 4 – Informações sobre cada recarga.

	Carga Inicial (%)	Carga Final (%)	Duração da Recarga	Corrente Máx. de Recarga (A)	Tensão Máx. de Recarga (V)	Potência Máx. de Recarga (kW)
Recarga 1	12%	100%	02h50min	38 A	395 V	13,0 kW
Recarga 2	11%	100%	01h39min	87 A	394 V	32,5 Kw
Recarga 3	18%	90%	02h25min	37 A	393 V	12,8 kW
Recarga 4	14%	100%	18h36min	6 A	395 V	2,3 kW

Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS, 2023).

Tabela 5 – Comparação entre valores teóricos e práticos.

Recarga	Testes Práticos				Dados teóricos	
	Carga Inicial (%)	Carga Final (%)	Duração da Recarga	Potência Máx. de Recarga (kW)	Duração da Recarga	Potência Carregador (kW)
Rápida	11%	100%	01h39min	32,5 kW	02h	50 kW
Semirrápida	12%	100%	02h50min	13,0 kW	03h	24 kW (limitado a 13 kW)
Lenta	14%	100%	18h36min	2,3 kW	22h	3 kW

Fonte: (ELABORADO PELAS AUTORAS, 2023).

Por meio das informações apresentadas nas tabelas, a recarga rápida demonstrou uma potência máxima de 32,5 kW, visto que o veículo possui capacidade de potência de 40 kWh, e a duração de recarga foi de 01h39min. A recarga semirrápida apresentou potência máxima de 13 kW, sendo igual a potência limitada do carregador, e o tempo de recarga foi de 02h50min, próxima ao tempo estimado pelo fabricante. Por fim, a recarga lenta apresentou potência máxima de 2,3 kW e duração da recarga de 18h36min.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os desafios da mobilidade elétrica e estudos da viabilidade do uso de veículos elétricos no mundo são de grande importância, visto o aumento significativo das vendas nos últimos anos impulsionado principalmente devido aos incentivos para a diminuição da poluição excessiva de carbono, proveniente dos veículos à combustão. Por meio do estudo em questão, foi possível analisar as principais grandezas físicas em diferentes recargas de um veículo elétrico, avaliando assim, a melhor maneira de realizar uma recarga, visando maior eficiência e alternativas para a mobilidade elétrica no futuro próximo.

Assim, sendo, os gráficos levantados nesse estudo obtiveram os resultados esperados para todas as recargas efetuadas, visto a comparação entre os resultados práticos com as informações teóricas disponibilizadas pelo fabricante. Por meio das análises estudadas, foi possível identificar os padrões e diferenças no processo de recarga, em decorrência da relação entre SOC e o tempo decorrido, comparados ao comportamento da corrente e da tensão, atingindo então considerações e soluções para otimizar o processo de recarga dos veículos elétricos.

Pode ser observado que nas recargas rápida e semirrápida, nota-se um padrão, quando o SOC atinge em média os 76% e 86% respectivamente, ocorre uma queda na corrente e consequentemente na potência, elevando então o tempo médio de recarga, isso ocorre por uma questão de segurança e de conservação da vida útil da bateria. Percebe-se que esse comportamento é mais acentuado na recarga rápida, que a partir dos 76% tem seus valores de corrente similares ao carregador semirrápido.

A carga lenta é recomendada pelo fabricante para uma durabilidade maior da bateria, pode-se observar o porquê pelo seu padrão de carregamento, é notável que a corrente é constante durante quase todo o processo, logo observa-se o mesmo comportamento na potência, causando assim uma conservação maior da bateria. Apesar de seu longo tempo de recarga é a melhor opção para ser utilizada no dia-a-dia, já que é possível fazer essa recarga durante a noite, por exemplo, que seria um longo período em que o carro não estaria sendo utilizado.

Por fim, para atender à demanda crescente por veículos elétricos, torna-se fundamental a evolução na infraestrutura de postos de recarga, visto o tempo de carregamento dos veículos frente às poucas estações disponíveis. Além disso, conforme apresentado no estudo, há boas maneiras de realização da recarga, otimizando tempo e agregando na eficiência, visto que a recarga rápida e semirrápida apresenta valores semelhantes após 76% de carga. Uma opção em eletropostos com várias estações de carregamento, seria carregar o carro em média até os 76% em um carregador de carga rápida e terminar o seu SOC em um de carga semirrápida, geralmente nesses eletropostos a quantidade de carregadores de carga rápida é bem inferior aos de carga semirrápida, portanto usando esse método de carregamento, tais carregadores rápidos seriam desocupados com mais facilidade, liberando para que outro carro pudesse ser carregado.

REFERÊNCIAS

ABVE. Associação Brasileira dos Veículos Elétricos. **Vendas de eletrificados leves disparam em julho.** Brasil, ago./ 2023. Disponível em: <http://www.abve.org.br/vendas-de-eletrificados-leves-disparam-em-julho-e-batem-novo-recorde/>. Acesso em: 14 ago. 2023.

ABNT, 2013a. ABNT. NBR IEC 61851-1 - **Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos - Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

BARCELONA, Eduardo Bianucci. **Metodologia para definir o comportamento do motorista em veículos elétricos através da tomada OBD.** 2021. Monografia (Graduação Engenharia Elétrica) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Poços de Caldas, 2021. Disponível em: :::: Pontificia Universidade Catolica de Minas Gerais :::: (pucminas.br) Acesso em: 01 de abr. 2022.

COSTA, J. E. G.; DELGADO, F.; FEBRARO, J.; SILVA, T. B. da. **Caderno Carros elétricos**, ano 4, n. 7, mai. 2017. Disponível em:
<https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.

DE OLIVEIRA; Lediane, A.; JERONIMO; Michele, B.; JUSTUS JUNIOR, Zanderlei, C. **ESTUDO DE INFRAESTRUTURA PARA RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS.** 2021. 71f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021. Disponível em: <https://nupet.dae.lt.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2020_1_18/2020_1_18_final.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.

IEA. International Energy Agency. **Global EV Outlook 2023.** Paris, jul./ 2023. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/executive-summary>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

IEA. International Energy Agency. **Vendas de carros elétricos, 2016-2023.** Paris, abr./ 2023. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-sales-2016-2023>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

JACMOTORS. Jianghuai Automobile Co Ltda. **Manual do carro.** Disponível em:
<<https://www.jacmotors.com.br/servicos/manual>>. Acesso em: 07 nov. 2023.

MOTOR1. **Carros elétricos no Brasil, uma história mais que centenária.** 2021. Disponível em: <<https://motor1.uol.com.br/features/553763/carros-eletricos-brasil-historia-centenaria/>>. Acesso em: 07 nov. 2023.

NEOCHARGE. **Bateria de um veículo elétrico.** Brasil, 2021. Disponível em:
<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/bateria-veiculo-eletrico>. Acesso em: 14 ago. 2023.

NEOCHARGE. **Conheça os tipos de carros elétricos.** Brasil, 2021. Disponível em:
<<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos>>. Acesso em: 28 set. 2023.

NEOCHARGE. Glossário do carro elétrico. Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/glossario>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

NEOCHARGE. O que são veículos elétricos. Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/veiculo-eletro>>. Acesso em: 07 nov. 2023.

NEOCHARGE. Tempo de carga de um carro elétrico. Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tempo-carga-veiculo-eletro#:~:text=Isso%20acontece%20porque%20o%20carregamento,cabo%2C%20basta%20consultar%20o%20fabricante>>. Acesso em: 30 out. 2023.

RIBEIRO, Suellen. Mobilidade Elétrica e Estações de Recarga para Veículos Elétricos: Um Estudo. 2022. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Elétrica. Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/241865/TCC%20Suellen%20Ribeiro.docx.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 04 nov. 2023.