

FORNECIMENTO DE SERVIÇOS DE SISTEMA EM CONTEXTO 100% RENOVÁVEL

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

Energia e Automação

Ángel Andrés Ramón Maldonado

Leiria, Novembro del 2021





ESCOLA SUPERIOR
DE TECNOLOGIA
E GESTÃO

FORNECIMENTO DE SERVIÇOS DE SISTEMA EM CONTEXTO 100% RENOVÁVEL

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

Energia e Automação

Ángel Andrés Ramón Maldonado

Dissertação sob a supervisão do Professor Luís Miguel Pires Neves

Leiria, Noviembre del 2021



ORIGINALIDADE E DIREITOS DE AUTOR

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, nomeadamente, o Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia e Automação, no ano letivo 2019/2020, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos (se aplicável).



DEDICATÓRIA

Este último trabalho é dedicado aos meus pais Andrés e Nancy que são a principal razão para culminar mais uma etapa na minha vida profissional, pelo seu grande esforço prestado durante os meus anos de vida, também à minha irmã Belén e à minha avó Amélia que são as pessoas que dão o seu apoio sempre para continuar o meu caminho e especialmente para o meu avô Angel que sempre cuida de mim do céu.



AGRADECIMENTOS

Este projeto foi realizado com a colaboração de diversas pessoas, por essa razão, expresso os meus sinceros agradecimentos:

Primeiro agradeço a Deus por ser o meu guia e acompanhar-me durante esta nova jornada num novo país e na minha vida universitária, dando-me a sua bênção e sabedoria para completar com sucesso os meus objetivos propostos.

Agradeço também ao meu assessor, o Professor Luís Miguel Pires Neves, toda a sua disponibilidade, correções e apoio técnico prestados. Graças a isso hoje posso terminar a minha dissertação.

Agradeço aos meus amigos que fiz neste país, especialmente JuanCa e Aly que sabiam como me ajudar nesta grande jornada neste país que me acolheu, e especialmente Mely por todo o tempo compartilhado e que sempre te levarei na minha mente e coração (pdst: perna 😊).



RESUMO

A introdução de fontes renováveis tais como a energia eólica, a energia fotovoltaica e mesmo a hidroelétrica, aumentou a dificuldade para garantir o equilíbrio entre oferta e a procura num sistema elétrico, dificultando a garantia de estabilidade e fiabilidade. Este tornou-se um dos problemas mais desafiantes devido à elevada variabilidade e às previsões difíceis também decorrentes das alterações climáticas, levando a uma necessidade crescente de serviços de sistema. Os serviços de sistema são serviços necessários para apoiar a rede na sua função de transmissão de energia da produção para o consumidor final, mantendo o sistema elétrico em boas condições de fiabilidade e garantindo níveis adequados de segurança e qualidade. Estes serviços podem ser prestados por geradores e outros equipamentos de produção, controlo e transporte existentes num sistema elétrico. Esta dissertação procura determinar a operação de um fornecedor de serviços de sistema baseado na gestão de um sistema de armazenamento de energia, com o objetivo de garantir o funcionamento de um sistema baseado exclusivamente em fontes de energia renovável. O estudo incidiu no fornecimento de reservas, seguindo planeamentos efetuados de acordo com as regras estipuladas pela ENTSO-E e pela REN, de acordo com as previsões de necessidades energéticas e de produção, testando cenários aleatórios de fornecimento efetivo.

O trabalho utiliza uma rede fictícia com base no modelo IEEE de 14 barramentos assumido como suportado a 100% com fontes renováveis, sendo usados séries temporais de produção e consumo baseadas nos dados obtidos a partir da REN, empresa responsável pela gestão do transporte de eletricidade e gás natural em Portugal, sujeitos a uma normalização para adequação ao modelo.

Foram realizados dois estudos para diferentes estações do ano, analisando três cenários diferentes relativos ao sistema de armazenamento. Como conclusão final foi determinada uma capacidade de armazenamento, potência e estado de carga inicial necessários para que o sistema de armazenamento forneça a flexibilidade necessária ao bom funcionamento do sistema.

Palavras-chave: Flexibilidade da carga, Armazenamento de energia, fornecimento de serviços de sistema, Sistemas Elétricos de Energia



ABSTRACT

The introduction of renewable sources such as wind, photovoltaics and even hydroelectric power has increased the difficulty in ensuring a balance between supply and demand in an electrical system, making it difficult to ensure stability and reliability. This has become one of the most challenging problems due to the high variability and difficult forecasts also arising from climate change, leading to a growing need for system services. System services are services needed to support the network in its power transmission function from production to the final consumer, keeping the electrical system in good reliability and ensuring adequate levels of safety and quality. These services can be provided by generators and other production, control and transport equipment existing in an electrical system. This dissertation seeks to determine the operation of a system service provider based on the management of an energy storage system, with the aim of ensuring the operation of a system based exclusively on renewable energy sources. The study focused on the supply of reserves, following planning carried out according to the rules stipulated by ENTSO-E and REN, according to the forecasts of energy and production needs, testing random scenarios of effective supply.

The work uses a fictitious network based on the IEEE model of 14 buses assumed to be supported at 100% with renewable sources, being used time series of production and consumption based on data obtained from REN, company responsible for the management of electricity and natural gas transport in Portugal, subject to a standardization to suit the model.

Two studies were conducted for months representing two different seasons of the year, analyzing three different scenarios related to the storage system. As a conclusion, a storage capacity, power, and initial load state required for the storage system to provide the necessary flexibility for the proper functioning of the system was determined.

Keywords: Demand Flexibility, Energy Storage, System Services supply, Electric Power Systems

Índice

ORIGINALIDADE E DIREITOS DE AUTOR	iii
DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. Revisão bibliográfica.....	3
2.1. Evolução histórica do sector elétrico	3
2.2. Mercado Ibérico de electricidade - Mibel	4
2.2.1. Estrutura e funcionamento do MIBEL	5
2.2.2. OMIE.....	6
2.2.2.1. Mercado diário	6
2.2.2.2. Mercado Intradiário.....	7
2.2.3. OMIP.....	8
2.3. Modelos de mercado de eletricidade	8
2.3.1. Pool simétrica.....	8
2.3.2. Pool assimétrica.....	9
2.3.3. Modelos obrigatórios e voluntários.....	9
2.3.4. Modelo bilateral	10
2.3.5. Modelo misto.....	10
2.4. Serviços de sistema.....	11
2.4.1. Restrições técnicas	13

2.4.2.	Controlo de frequência	13
2.4.2.1.	Reserva de Regulação Primária.....	14
2.4.2.2.	Reserva de Regulação Secundária.....	14
2.4.2.3.	Reserva de Regulação Terciária	15
2.4.3.	Controlo de tensão.....	16
2.4.4.	Reposição de serviço.....	16
2.4.5.	Resolução de Desvios.....	16
2.5.	Conceito de flexibilidade.....	17
2.5.1.	Mercado de reservas.....	18
2.5.1.1.	Dimensionamento de reservas primária	18
2.5.1.2.	Dimensionamento de reservas secundárias	19
2.5.1.3.	Dimensionamento das reservas terciárias	20
2.5.2.	Armazenamento de energia.....	21
2.5.3.	Resposta da procura	22
3.	METODOLOGIA	24
3.1.	Análise de requisitos	24
3.2.	Etapas de estudo.....	24
3.3.	Desenvolvimento da ferramenta de simulação	25
3.3.1.	Visualização de dados normalizados.....	25
3.3.2.	Gráfico dos barramentos	26
3.3.3.	Cálculo das reservas secundárias ENTSO-E e REN	26
3.3.1.	Cálculo das reservas terciárias	27
3.3.2.	Funcionamento do sistema de armazenamento	28
4.	Análise e resultados do estudo.....	30
4.1.	Rede de teste	30
4.2.	Definição de dados	30
4.2.1.	Normalização dos dados de consumo	31
4.2.2.	Normalização dos dados de geração	31
4.3.	Mês de análise de Janeiro.....	32

4.3.1.	Estudo de Etapa 1 - mês Janeiro.....	34
4.3.2.	Estudo de Etapa 2 - mês Janeiro.....	35
4.3.3.	Estudo de Etapa 3 - mês Janeiro.....	35
4.4.	Mês de análise de Junho	36
4.4.1.	Estudo de Etapa 1 - mês Junho.....	37
4.4.2.	Estudo de Etapa 2 - mês Junho.....	38
4.4.3.	Estudo de Etapa 3 - mês Junho.....	38
5.	CONCLUSÕES	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	ANEXOS I - GRÁFICOS DE PERCENTAGEM DE FLEXIBILIDADE MÊS JANEIRO	
	46	
	ANEXOS II - GRÁFICOS DE PERCENTAGEM DE FLEXIBILIDADE MÊS JUNHO	
	52	
	ANEXOS III CODIGO	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Estrutura verticalmente integrada do sector elétrico.....	3
Figura 2.2 – Esquema MIBEL.	5
Figura 2.3 – Curva agregada de oferta e procura.	7
Figura 2.4 – Sessões do Mercado Intradiário.	7
Figura 2.5 - Determinação do Market Clearing Price em pool simétrico.....	9
Figura 2.6 - Modelo misto do mercado elétrico.	11
Figura 2.7 - Estrutura verticalmente integrada do sector elétrico.....	14
Figura 3.1 - Visualização de dados.	25
Figura 3.2 - Visualização de gráficos.....	26
Figura 3.3 - Cálculo das reservas secundárias.....	27
Figura 3.4 - Cálculo das reservas terciárias com vento.	27
Figura 3.5 - Cálculo das reservas terciárias com energia hidroelétrica.	28
Figura 3.6 – Reservas a subir e baixar.	28
Figura 3.7 - Flexibilidade do sistema de armazenamento.	29
Figura 4.1 - Sistema IEEE 14-bus.....	30
Figura 4.2 - Valor de potência máxima mês de Janeiro.	31
Figura 3.2 - Valor máximo de geração mês de janeiro.....	32
Figura 4.2 - Cálculo das reservas mês Janeiro.	33
Figura 4.3 - Cálculo das reservas terciárias com vento mês Janeiro.	33
Figura 4.6 - Cálculo das reservas terciárias com energia hidroelétrica mês Janeiro.	34
Figura 4.6 - Cálculo das Reservas para o mês de Junho.	36
Figura 4.7 - Cálculo das reservas terciárias com vento mês Junho.	37
Figura 4.8 - Cálculo das reservas terciárias com geração hídrica para o mês de Junho.	37
Figura 1 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 1 mês Janeiro.	46
Figura 2 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 1 mês Janeiro.	46
Figura 3 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 1 mês Janeiro.	47
Figura 4 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 1 mês Janeiro.	47

Figura 5 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 2 mês Janeiro.	48
Figura 6 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 2 mês Janeiro.	48
Figura 7 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 2 mês Janeiro.	49
Figura 8 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 2 mês Janeiro.	49
Figura 9 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 3 mês Janeiro.	50
Figura 10 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 3 mês Janeiro.	50
Figura 11 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 3 mês Janeiro.	51
Figura 12 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 3 mês Janeiro.	51
Figura 13 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 1 mês Junho.	60
Figura 14 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 1 mês Junho.	60
Figura 15 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 1 mês Junho.	61
Figura 16 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 1 mês Junho.	61
Figura 17 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 2 mês Junho.	62
Figura 18 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 2 mês Junho.	62
Figura 19 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 2 mês Junho.	63
Figura 20 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 2 mês Junho.	63
Figura 21 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 3 mês Junho.	64
Figura 22 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 3 mês Junho.	64
Figura 23 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 3 mês Junho.	65
Figura 24 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 3 mês Junho.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 4. 1– Valores de β según formula REN	20
Tabela 5.1 - Mês de Resultados de Janeiro	32
Tabela 5.2 - Dados do sistema de armazenamento etapa 1 mês Janeiro	34
Tabela 5.3 - Dados do sistema de armazenamento etapa 2 mês Janeiro	35
Tabela 5.4 - Dados do sistema de armazenamento etapa 3 mês Janeiro	35
Tabela 5.5 - Resultados do mês de Junho	36
Tabela 5.6 - Dados do sistema de armazenamento etapa 1 mês Junho	38
Tabela 5.7 - Dados do sistema de armazenamento etapa 2 mês Junho	38
Tabela 5.8 - Dados do sistema de armazenamento etapa 3 mês Junho	39

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

AGCS	Allianz Global Corporate & Specialty
AGC	Automatic Generation Control
CA	Corrente Alternada
CPU	Central Processing Unit
DR	Resposta da Procura (Demand Response)
DRX	Resposta da Procura Intradiária
EDP	Energias de Portugal
EUPHEMIA	Pan-European Hybrid Electricity Market
ENTSO-E	European Network Of Transmission System Operators For Electricity
FERC	Comissão Federal Reguladora De Energia Elétrica
GGS	Gestor Global Do Sistema
GUI	Graphical User Interface
GB	Gigabyte
IEEE	Institute for Electrical and Electronics Engineers
MW	Megawatt
MVA	Megavoltampère
OMIE	Operador de Mercado Eléctrico
OMIP	Operador do Mercado Ibérico
PDBF	Programa Diário Base de Funcionamento
PC	Personal Computer
REN	Redes Energéticas Nacionais
REE	Red Eléctrica de España
RD	Rede de Distribuição
STATCOM	Static Synchronous Compensator
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
UCTE	Union for the Coordination of the Transmission of Electricity
VAR	Voltampère reativo

1. INTRODUÇÃO

A introdução de fontes renováveis tais como a energia eólica, a energia fotovoltaica e mesmo a hidroelétrica, aumentou a dificuldade para garantir o equilíbrio entre oferta e a procura num sistema elétrico, dificultando a garantia de estabilidade e fiabilidade (Kousksou et al., 2014). Este tornou-se um dos problemas mais desafiantes devido à elevada variabilidade e às previsões difíceis também decorrentes das alterações climáticas, levando a uma necessidade crescente de serviços de sistema. (Zhao et al., 2015)

Os serviços de sistema são serviços necessários para apoiar a rede na sua função de transmissão de energia da produção para o consumidor final, mantendo o sistema elétrico em boas condições de fiabilidade e garantindo níveis adequados de segurança e qualidade. Estes serviços podem ser prestados por geradores e outros equipamentos de produção, controlo e transporte existentes num sistema elétrico, garantindo o sustento dos serviços energéticos básicos. (Zhenhua Liu et al., 2013)

Ao mesmo tempo, os sistemas de armazenamento de energia têm sido objeto de avanços tecnológicos significativos, permitindo armazenar cada vez mais energia, de forma mais eficiente e a um preço cada vez mais reduzido, permitindo assim a sua utilização em várias aplicações. Por exemplo, são aplicados a nível residencial para prestar serviços de backup e melhoria do fator de carga, para corrigir ligeiras variações na produção de energia a partir do vento, constituindo assim uma alternativa à prestação de serviços de sistema, nomeadamente no contexto das designadas redes inteligentes. (Zhenhua Liu et al., 2013)

Esta dissertação procura determinar a operação de um fornecedor de serviços de sistema baseado na gestão de um sistema de armazenamento de energia, com o objetivo de garantir o funcionamento de um sistema baseado exclusivamente em fontes de energia renovável.

O estudo incidirá no fornecimento de reservas, seguindo planeamentos efetuados de acordo com as regras estipuladas pela ENTSO-E e pela REN, de acordo com as previsões de necessidades energéticas e de produção, testando cenários aleatórios de fornecimento efetivo.

O trabalho utiliza uma rede fictícia com base no modelo IEEE de 14 barramentos assumido como suportado a 100% com fontes renováveis, sendo usados séries temporais de produção e

consumo baseadas nos dados obtidos a partir da REN (<https://www.ren.pt/>), empresa responsável pela gestão do transporte de eletricidade e gás natural em Portugal, sujeitos a uma normalização para adequação ao modelo.

Este documento está dividido em 4 capítulos. Neste capítulo, são apresentados os principais objetivos deste trabalho, bem como a estrutura do documento.

O Capítulo 2, uma revisão literária, apresenta a evolução histórica do sector da eletricidade desde o seu início até à reestruturação, bem como as razões que o motivaram. Este capítulo explica o novo modelo do sector da eletricidade depois de ter sido afetado pela reestruturação e as novas interações entre as diferentes atividades. Nesse contexto, introduz o mercado ibérico da eletricidade (MIBEL) onde são negociadas as transações comuns aos sistemas elétricos de Portugal e Espanha, analisar as funções dos operadores de mercado OMIP e OMIE e os objetivos que motivaram a integração de dois mercados nacionais num mercado único regional. Seguidamente são apresentados diferentes modelos de mercado utilizados em sistemas elétricos de energia liberalizados. São igualmente descritos os diferentes serviços de sistema que num contexto liberalizado têm de ser transacionados para que os operadores de sistema disponham das ferramentas necessárias ao correcto funcionamento da rede. Finalmente é introduzido o conceito de flexibilidade e descritas as formas de a gerar, com recursos do lado da oferta, através da manutenção de reservas, com recursos de armazenamento de energia, e com recursos do lado da procura.

O Capítulo 3 descreve a metodologia e os requisitos para modelar o funcionamento de um fornecedor de flexibilidade baseado na capacidade de armazenamento. A metodologia foi implementada com recurso ao software MATLAB que fará o processamento de dados, após uma normalização feita no Excel, tendo sido desenvolvido um GUI para ajudar a desenvolver o estudo e obter os resultados.

O capítulo 4 descreve todas as etapas do estudo efetuado sobre um modelo de rede usado a título de exemplo, para o qual foram gerados dados a partir de séries temporais obtidas a partir do serviço de informação da REN. Os resultados foram obtidos para diferentes cenários capacidade, potência e estado inicial de carga do sistema de armazenamento, determinando a evolução temporal do estado de carga que garante a satisfação das necessidades.

O capítulo 5 descreve as principais conclusões retiradas da análise do funcionamento do sistema de armazenamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Evolução histórica do sector elétrico

O sector elétrico desenvolveu-se num longo período de tempo, com uma estrutura de propriedade diferente de país para país. Depois da Segunda Guerra Mundial, houve grandes mudanças na estrutura até então em vários países europeus, o sector da eletricidade foi muito afetado pela guerra e o esforço europeu para recuperar os países afetados e expandir as suas áreas eletrificadas, levando ao desenvolvimento de um Sistema elétrico em cada país. Em Portugal, até 1975, o sector da eletricidade foi organizado em termos de concessões atribuídas a entidades privadas, mas em 1975 ocorreu a nacionalização e integração vertical do setor com a criação da EDP (Energias de Portugal).

O cenário noutros países era diferente, por exemplo, nos Estados Unidos da América na década de 1970, cerca de 76% dos ativos do sector elétrico eram de empresas particulares e em países como Espanha ou Alemanha, o sector elétrico era essencialmente composto por várias companhias privadas nas atividades de produção, distribuição e transporte. Contudo, cada empresa tinha a concessão de uma área, em regime de monopólio, não existindo assim qualquer concorrência. (Ruiz Maldonado & Inga, 2019)

Outro aspeto importante a destacar foi a estrutura das empresas. Nessa altura, tinham uma estrutura verticalmente integrada, ou seja, tinham toda a cadeia de valor de energia elétrica, desde a produção à venda e até ao cliente final.

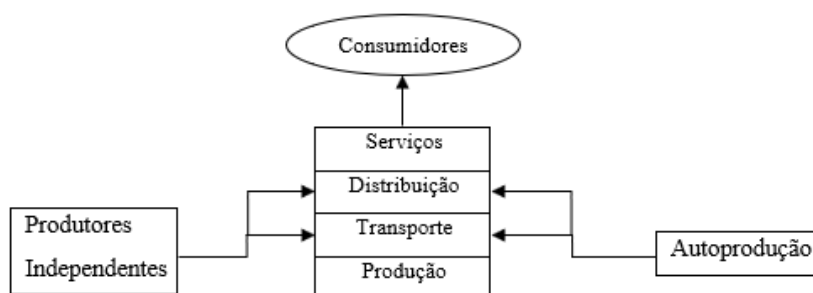


Figura 2.1 - Estrutura verticalmente integrada do sector elétrico.

Até à década de 1970, o ambiente económico era estável, mas o cenário mudou radicalmente com a crise petrolífera de 1973. O consumo de eletricidade começou a apresentar comportamentos mais erráticos, dificultando a previsão do consumo e a taxa de expansão.

Na década de 1980, várias atividades económicas, muitas delas relacionadas com serviços sociais e semelhantes ao fornecimento de eletricidade, começaram a ser desregulamentadas ou liberalizadas. Estas atividades incluíram a indústria aeronáutica, as telecomunicações e a distribuição de gás.

Este processo de reestruturação conduziu ao desenvolvimento de vários novos intervenientes nestes sectores, dando o aumento da concorrência um papel mais ativo aos consumidores devido à possibilidade de escolher o prestador de serviços. A tendência para a liberalização tem proliferado em várias áreas da economia. No entanto, o sector da eletricidade resistiu à liberalização até ao final da década de 1980, à exceção do Chile, onde o processo de reestruturação começou em 1979. Em 1990, na Grã-Bretanha, mais precisamente na Inglaterra e no País de Gales, sob o governo de Margarita Thatcher, o sector da eletricidade também iniciou o processo de reestruturação. Em consequência dessas primeiras experiências, a liberalização do sector da eletricidade desenvolveu-se noutros países de forma acelerada e generalizada.

2.2. Mercado Ibérico de electricidade - Mibel

A Diretiva Europeia aprovou em 1996 a liberalização das atividades no setor elétrico com o objetivo final de expandir os mercados regionais para um mercado elétrico europeu. Nesta perspetiva, o Mercado Ibérico de Eletricidade, MIBEL, é o resultado de um compromisso político entre os Governos de Portugal e Espanha. (Sousa, 2013a)

Na história do processo de criação do MIBEL, alguns eventos podem ser destacados, tais como:

- A assinatura, em novembro de 2001, do Protocolo de Colaboração entre as Administrações Espanhola e Portuguesa para a criação do MIBEL.
- A assinatura, em outubro de 2004 em Santiago de Compostela, do Acordo entre a República Portuguesa e o Reino de Espanha.
- XXII Cimeira Luso-Espanhola de Badajoz, realizada em novembro de 2006, onde ambas as administrações reafirmaram o seu empenho no aprofundamento do MIBEL.

- Em janeiro de 2008, assinou, em Braga, o Acordo que revê o Acordo de Santiago. (Nuno Miguel Pinto Correia, 2008)

2.2.1. Estrutura e funcionamento do MIBEL

Tem como foco uma bolsa gerida pelo Operador de Mercado Ibérico (OMI) que possui dois pólos, um em território espanhol responsável pelo mercado diário e outro em território português responsável pelo mercado intradiário, que se concentra no mercado de futuros. (Maria & Carneiro, 2016) Os dois polos fazem parte dos chamados Mercados Organizados, e ainda é possível participar da contratação de energia por meio dos Mercados Não Organizados. Os tipos de negociação possível são assim:

- A negociação organizada, através de licitações, para fornecimentos a ocorrer no dia seguinte (mercado diário), e para acertos no próprio dia (intradiário), estabelecendo os programas de compra e venda de energia elétrica a realizar no mesmo dia. Se for intradiário, um dia após o pregão, neste caso o mercado diário faz parte dos Mercados Organizados.
- A negociação de compromissos futuros de oferta, sob a forma de produtos financeiros derivados, num mercado específico coordenado pelo OMIP.
- A negociação direta sob a forma de contratos bilaterais entre agentes, não utilizando as estruturas do mercado organizado. (Braga da Cruz, 2013)

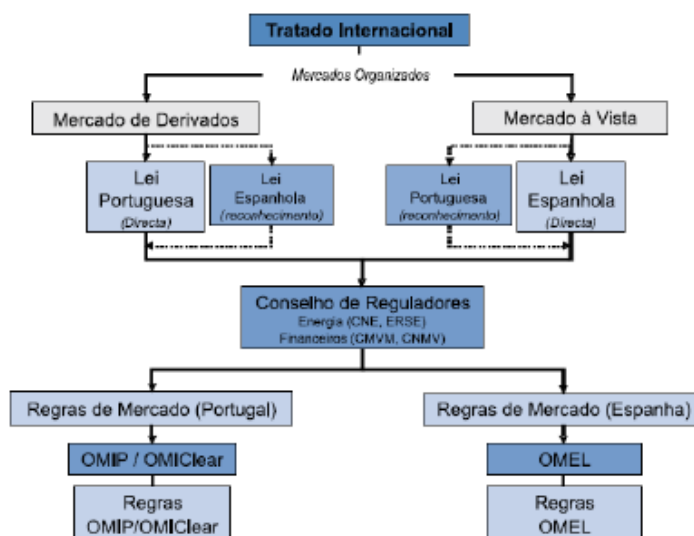


Figura 2.2 – Esquema MIBEL.

Fonte: (Maria & Carneiro, 2016)

Como principais objetivos são:

- Beneficiar os consumidores de energia elétrica de ambos os países.
- Estruturar o funcionamento do mercado liberalizado.
- Construir um preço único de referência para a Península Ibérica.
- Proporcionar livre acesso ao mercado, em condições de equidade e transparência.
- Promover a eficiência económica das empresas do setor elétrico. (Braga da Cruz, 2013)

2.2.2. OMIE

O pólo espanhol do Operador do Mercado Ibérico, OMIE, é a entidade gestora do mercado de contratação à vista, com uma componente diária e uma componente de ajustamento intradiário, em que se estabelecem os programas de venda (produção) e compra de eletricidade para o dia seguinte à negociação. Assim, o OMIE é a entidade responsável pela liquidação dos mercados diário e intradiário. (MIBEL, 2021)

2.2.2.1. Mercado diário

O maior volume de transações de energia entre os sistemas elétricos dos países que constituem a Península Ibérica realiza-se no mercado diário, neste mercado onde a energia é acordada para o dia seguinte à negociação. (Sousa, 2013a) A base deste mercado assenta na intersecção das ofertas de energia com a curva da procura de energia. Esta travessia é feita a cada hora do dia seguinte, ou seja, durante 365 dias, ou 366 dias, e 24 horas de cada dia. (Maria & Carneiro, 2016) Como se mostra na Figura 2.3

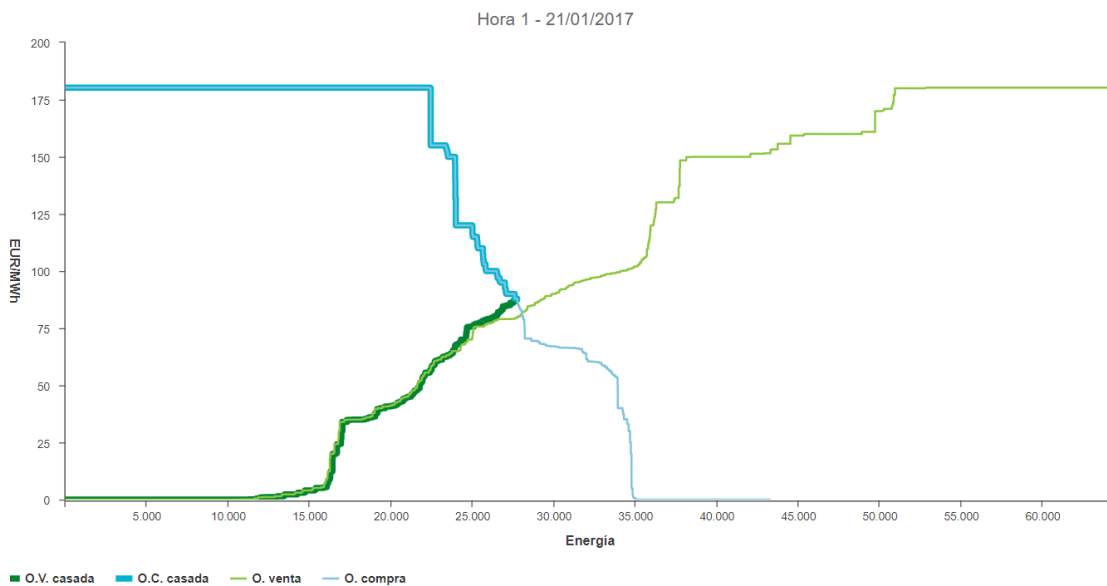


Figura 2.3 – Curva agregada de oferta e procura.

Fonte: (Maria & Carneiro, 2016)

2.2.2.2. Mercado Intradiário

A principal função desse mercado é administrar os desvios de curto prazo previstos no cronograma de produção de energia e seu consumo. Esse mercado também corresponde a um mecanismo necessário para solucionar eventuais congestionamentos na rede de transmissão, ou quebras de equipamentos presentes na rede elétrica, como interrupções imprevistas do serviço de um determinado gerador.

O mercado intradiário é composto por 7 sessões conforme mostra a Figura 2. programadas ao longo do dia, em cada uma das sessões, assim como no mercado diário, o preço de mercado é obtido cruzando as curvas das ofertas de compra com a curva de ofertas de vendas.

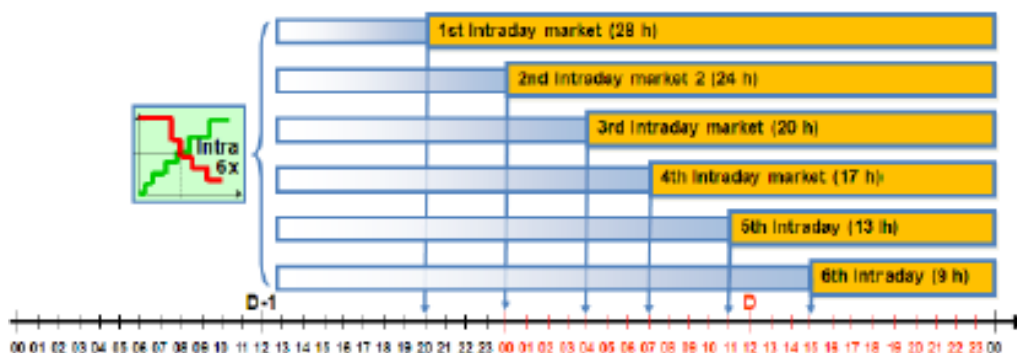


Figura 2.4 – Sessões do Mercado Intradiário.

Fonte: (Maria & Carneiro, 2016)

2.2.3. OMIP

É um mercado derivado do MIBEL, instalado em Portugal, os contratos futuros são contratos padronizados de compra ou venda de energia para um determinado horizonte de tempo, por outro lado, os contratos a prazo diferem dos contratos a prazo, especialmente na liquidação. Por fim, os contratos de SWAP são padronizados e exclusivamente financeiros. Essas negociações são feitas em diferentes horários, ou seja, é possível fazer um contrato para o ano seguinte, o mês seguinte, a semana seguinte e até o dia seguinte. (Maria & Carneiro, 2016)

2.3. Modelos de mercado de eletricidade

O sector da eletricidade é um sector específico que consiste em quatro atividades, como se pode ver na figura 2.1: em primeiro lugar, a produção, ou seja, toda a função de produção de eletricidade; em segundo lugar, o transporte, que envolve todo o transporte de eletricidade na rede de alta e muito alta tensão; Terceira distribuição, que envolve o transporte de eletricidade em estações de média e baixa tensão, a fim de abastecer o cliente final; por último, a comercialização que cubra a venda e a revenda de eletricidade ao consumidor final, incluindo o serviço pós-venda.

2.3.1. Pool simétrica

A versão mais frequente do mercado em pool simétrico caracteriza-se pela possibilidade de apresentar ofertas de comprar e venda de energia, associada a um maior grau de liberdade. As ofertas de venda são o nó que fornece energia à rede, a disponibilidade de produção e o preço mínimo ao qual se pretende pagar o serviço. As ofertas de compra incluem o ponto de entrega, a potência desejada para cada intervalo de tempo, e o preço máximo que o comprador está disposto a pagar.

O operador de mercado recebe e organiza propostas de compra e venda construindo as curvas agregadas das ofertas das mesmas. As ofertas de venda são ordenadas de forma crescente consoante o preço, enquanto as compras são organizadas de forma decrescente. O ponto de intersecção entre estas duas curvas corresponde ao preço de reunião de mercado denominado

preço de compensação, e a eletricidade transacionada é designada Market Clearing Quantity como mostra na Figura 2.5.

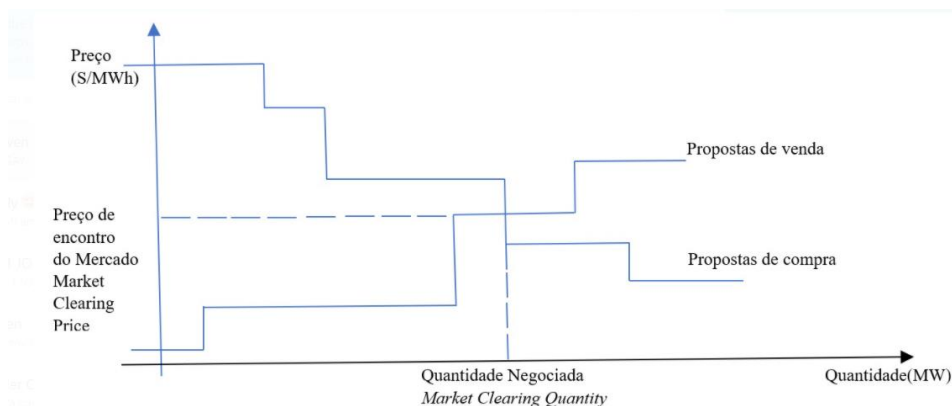


Figura 2.5 - Determinação do Market Clearing Price em pool simétrico.

Fonte:(André & Soares, 2016)

As ofertas de compra e venda presentes à esquerda do ponto de intersecção são aceites, diferenciam-se com as propostas aceites localizadas à direita desse mesmo ponto, uma vez que não existem ofertas de compra cujo preço exceda o preço das ofertas de venda ainda não expedidas. Se o apuramento for tecnicamente viável, os geradores serão pagos e os encargos pagarão o preço da reunião de mercado. Isto significa que os produtores, com exceção do produtor cuja proposta de venda foi a última a ser aceite, poderão obter uma remuneração apelativa, uma vez que o preço de mercado excede os custos médios de produção.

2.3.2. Pool assimétrica

Os mercados assimétricos diferem-se dos mercados simétricos, uma vez que apenas permitem propostas de venda. Isto implica que a carga é inelástica, ou seja, que os compradores estão dispostos a pagar qualquer preço pela energia (Tomé Saraiva, João Paul; Pinto Pereira da Silva, 2002).

2.3.3. Modelos obrigatórios e voluntários

Os mercados em Pool podem ser classificados como mercados obrigatórios e voluntários. Esta designação está relacionada com a existência de disposições legais, com propostas de venda ou compra a todos os produtores, comerciantes e consumidores elegíveis. O carácter obrigatório transforma a pool numa super-entidade que atua como intermediário entre toda a produção e consumo. Por outro lado, existe o Pool Voluntário, que permite, para além da apresentação de

propostas de compra e venda através do pool, uma relação comercial direta entre produtores, por um lado, e comerciantes e consumidores elegíveis, por outro.

2.3.4. Modelo bilateral

Num modelo de pool, as entidades compradoras não conseguem identificar as identidades de produção que a alimentam, tal como os produtores não sabem a quem fornecer energia porque a pool corresponde a um mecanismo anónimo. Os contratos bilaterais são uma forma alternativa de relacionamento entre as entidades envolvidas, permitindo a sua relação direta. Isto reduz o risco inerente ao funcionamento dos mercados de curto prazo e permite às comercializadores a capacidade real de escolher o fornecedor com quem querem trabalhar. Existem dois tipos de contratos bilaterais, contratos físicos e financeiros(Sousa, 2013a)

Os contratos bilaterais cobrem um período prolongado de 1 ano ou mais e especificam um certo número de condições em relação à transação energética, tais como o preço do serviço fornecido ou o nó de absorção ou de injeção. Existem algumas restrições associadas ao congestionamento da rede, embora a indicação dos pontos de entrega signifique que este tipo de contrato afeta efetivamente as condições de funcionamento do sistema elétrico, nomeadamente ao nível dos trânsitos energéticos. O operador da rede deve ser informado das quantidades de energia comercializadas a fim de permitir a transferência da energia, mas não é necessário tornar público o preço negociado da energia.

2.3.5. Modelo misto

Dado que os modelos simétricos, assimétricos e o modelo bilateral têm vantagens e desvantagens que se complementam, a maioria dos países optou por estruturas mistas onde ocorreu uma reestruturação do sector da eletricidade, com um mercado centralizado tipo pool, mas mantendo a possibilidade de um agente optar por estabelecer contratos bilaterais físicos(Sousa, 2013a) Desta forma, a pool é voluntária. O funcionamento do mercado é ilustrado na figura seguinte.

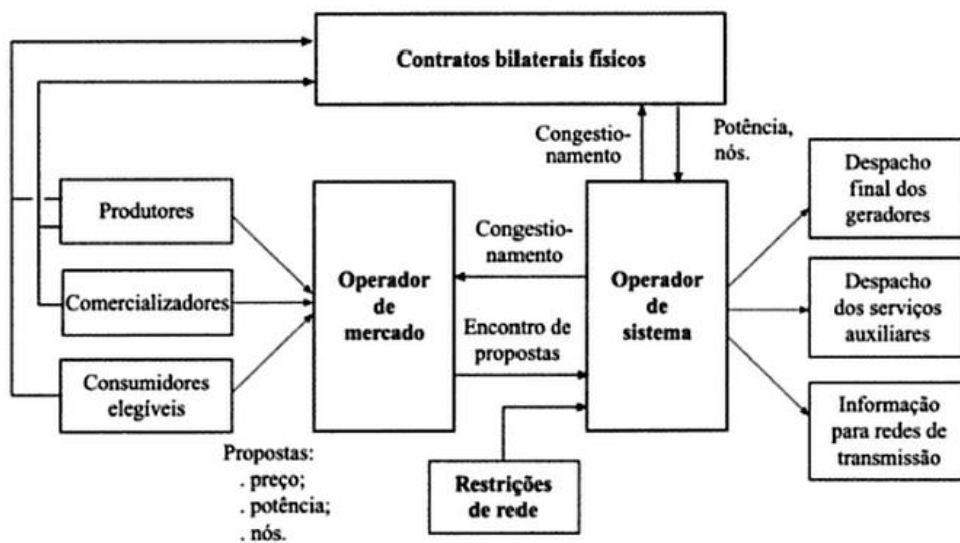


Figura 2.6 - Modelo misto do mercado elétrico.

Fonte: (Nuno Miguel Pinto Correia, 2008)

Os produtores, os comercializadores e os consumidores elegíveis apresentam as suas propostas ao operador do mercado. Este organiza as ofertas de venda e ofertas de compra, criando as curvas de oferta para compra e venda de eletricidade. Uma vez construídas as curvas, é determinado o ponto de intersecção entre as duas, Funcionamento em pool as informações provenientes de propostas aceites que contenham energia e nós são enviadas ao Operador da Rede. Do mesmo modo, a informação relativa sobre contratos bilaterais físicos também é enviada ao Operador do Sistema. Tendo todos estes dados necessários, o Operador de Sistema aprova a viabilidade técnica da expedição do Operador de Mercado e dos contratos bilaterais. Se este conjunto for viável, o apuramento final será enviado aos produtores, contratando o Operador da Rede de Distribuição os níveis de serviço de sistema exigidos, bem como enviando a mesma informação para a rede de transporte (Sousa, 2013a)

Em caso de violação de qualquer restrição, por exemplo, existe congestionamento, o Operador do Sistema devolve esta informação aos participantes, podendo ativar os mercados de ajustamento que recebem propostas de aumentos ou reduções de potência tendo em conta a situação existente. (Sarmiento, 2013)

2.4. Operação de sistema

A reestruturação do sector da eletricidade centrou-se na promoção da segurança no fornecimento de eletricidade, procurando manter os níveis de segurança e fiabilidade no fornecimento de eletricidade. A reestruturação revolucionou o sector e surgiram novas

estruturas e agentes, como os Operadores de Sistema, e alterações nas funções e atividades de alguns participantes anteriormente existentes. Para responder à crescente necessidade de fiabilidade e segurança dos sistemas elétricos, o desempenho dos serviços de sistema é cada vez mais importante na implementação de mercados de serviços de sistema em várias regiões, operando em coordenação com os mercados diário e intradiário. A concorrência imposta neste aspeto do sistema elétrico é benéfica para o melhor funcionamento geral do sistema, bem como para a manutenção dos níveis de segurança necessários para o seu funcionamento. (Miguel et al., 2008)

No caso dos EUA, a Comissão Reguladora Federal da Eletricidade (FERC) afirma que os Serviços de Sistema são "os serviços necessários para a transmissão de energia elétrica do vendedor ao comprador, dadas as obrigações de cada sistema de controlo de área e equipamentos de transporte inseridos nestas áreas, de forma a manter o nível de fiabilidade das operações entre sistemas elétricos interligados". A mesma referência indica também que os serviços de sistema podem ser prestados pela produção, transmissão e controlo da rede. (Miguel et al., 2008)

Os serviços de sistema, são classificados pela FERC em três grupos, que asseguram o equilíbrio entre a produção e a carga serviços de energia ativa que incluem reservas primárias, secundárias e terciárias, e os serviços de energia reativa representam as operações necessárias à reposição de serviço como o controlo de tensão, e o black start. Contudo, tanto a definição como a lista de serviços incluídos no conceito de Serviços de Sistema não são uniformes para os especialistas. (Bordons & García, Félix, 2015)

As ações realizadas pelo Operador de Sistema para garantir o bom funcionamento da rede e para as quais se torna necessária a aquisição de serviços de sistema são:

- Restrições técnicas.
- Controlo de frequência.
- Controlo de tensão.
- Restabelecimento total ou parcial de serviço.

2.4.1. Restrições técnicas

Estes serviços asseguram a viabilidade dos programas dos mercados diário e intradiário, como o bom funcionamento do sistema em tempo real, com base nas ofertas apresentadas pelos agentes, e desenvolvem-se em três fases distintas: mercado diário, intradiário e em tempo real. (Nuno Miguel Pinto Correia, 2008)

Resolvem-se as restrições técnicas efetuadas em base a os resultados encontrados no mercado diário e os modelos bilaterais estabelecidos pelos intervenientes no mercado. Consiste em duas fases e deve assegurar que a energia mobilizada para cima seja igual à energia mobilizada para baixo, mantendo assim o equilíbrio entre produção e consumo. Efetua-se na reprogramação das unidades de produção e bombagem de forma a eliminar o possível desequilíbrio entre produção e consumo resultante da mobilização/desmobilização realizada na primeira fase. Em cada hora, são pagos de custos adicionais para geração. (Sousa, 2013)

O processo de resolução de restrições técnicas, é efetuado sobre cada um dos resultados das sessões do mercado intradiário e a sua solução passa pela eliminação das ofertas que as originaram, pelo que não comporta quaisquer custos para o sistema. (Nuno Miguel Pinto Correia, 2008)

Por último, os constrangimentos técnicos detetados em tempo real resolvem-se mobilizando as ofertas de reserva regulamentar, sendo pagos os custos adicionais para todos os consumos efetuados nessa altura, como é o caso da resolução de restrições técnicas associadas ao mercado diário.

2.4.2. Controlo de frequência

Um serviço relacionado com a energia produzida, consumida e a frequência do sistema elétrico. A produção e o consumo devem ter valores iguais a qualquer momento. Numa situação desejável, a produção e o consumo são iguais à frequência da rede e estabilizados pelo seu valor facial, 50 Hz. No entanto, devido à variação normal das cargas ou erros de previsão, surgem variações inesperadas tanto no consumo como na produção, causando instabilidades temporárias nas máquinas primárias que fazem que a frequência se desvie do seu valor nominal. Numa situação em que o consumo excede a produção, a frequência tende a diminuir. Na situação oposta, a frequência aumenta.

Para compensar os desvios no sistema e devolver o valor de frequência a 50 Hz, são ativadas as reservas de energia ativa. Os serviços relacionados com as reservas de energia ativa dividem-se de acordo com o tempo decorrido. Os serviços existentes são:

- Reservas primárias.
- Reservas secundárias.
- Reservas terciárias.

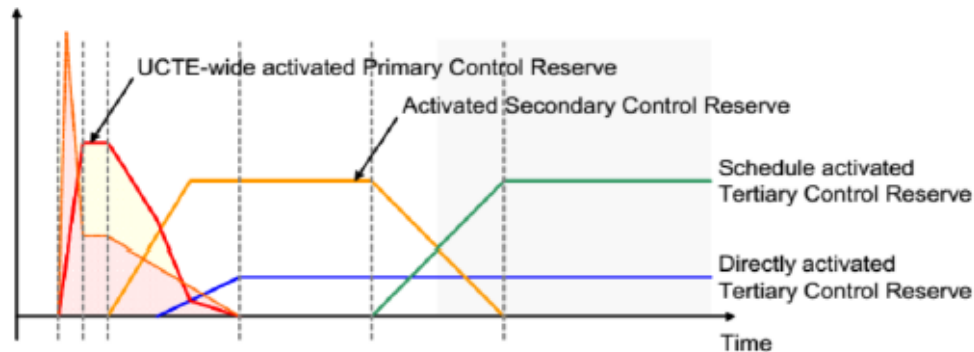


Figura 2.7 - Estrutura verticalmente integrada do sector elétrico.

Fonte: (Maria & Carneiro, 2016)

2.4.2.1. Reserva de Regulação Primária

A regulação da frequência primária corrige pequenos desvios entre a produção e o consumo, resultando em desequilíbrios, em base no desempenho dos reguladores de velocidade dos grupos geradores. São ativados alguns segundos após o incidente, e geralmente não são suficientes para devolver a frequência ao valor nominal. Os principais custos associados à disponibilização de reservas dizem respeito ao capital investido dos grupos geradores utilizados, reguladores de velocidade e equipamentos necessários instalados para este serviço. Estão também custos variáveis normalmente, relacionados com o aumento dos custos operacionais e de manutenção e com a redução da eficiência e a redução da vida útil das unidades de produção devido ao aumento constante e diminuição da energia produzida a que estavam sujeitas.

2.4.2.2. Reserva de Regulação Secundária

Quando ocorre uma perturbação no sistema elétrico, a reserva de regulação primária é ativada para evitar grandes variações de frequência. Isto nem sempre é possível resolver o problema, e este serviço pode não ser capaz de redefinir a frequência ao seu valor nominal, 50 Hz. Para tal, são utilizadas reservas de regulação de frequências secundárias que respondem à manutenção

da eletricidade nas interligações. Estas reservas são disponibilizadas por geradores que conseguem injetar energia na rede num curto espaço de tempo com a capacidade de corrigir os desvios energéticos existentes.

Esta margem de variação da potência que o operador da rede pode acionar automaticamente em ambas as direções, a partir do ponto de funcionamento em que encontra em cada momento. A mesma fonte indica que o valor de reserva é dado pelo montante, em valor absoluto, das contribuições individuais dos grupos sujeitos a este tipo de regulação. Este serviço é fornecido pelo Sistema de Regulação Centralizado que controla a frequência do sistema, estabelecendo o equilíbrio entre a energia gerada e consumida no sistema.

A reserva secundária da regulação é um serviço remunerado, através da apresentação de ofertas para a venda de unidades de produção, ou através de contratos bilaterais. A regulação secundária pode ser completada com reservas terciárias rápidas em casos excecionais, no caso de reserva secundária ser insuficiente para cobrir a perda da unidade de produção com maior capacidade.

2.4.2.3. Reserva de Regulação Terciária

A reserva de regulação terciária visa restaurar a reserva regulamentar secundária que tem sido utilizada através da adaptação dos programas operacionais dos geradores que estão em serviço ou não, podendo ser definida como a variação máxima na potência do programa de geração que pode ser realizada numa área de produção e equilíbrio.

O valor mínimo a ser contratado para a reserva terciária em cada período é definido pelo Operador da Rede, normalmente de acordo com a perda de capacidade de produção que o sistema pode suportar numa contingência simples, da carga esperada para esse período.

Geralmente, a reserva terciária é um serviço de oferta voluntária e remunerado, transformado num ambiente de mercado, onde os preços marginais podem ser fixados para a reserva mobilizada. Os custos fixos decorrentes das reservas secundárias e terciárias estão associados ao capital investido nos grupos geradores utilizados para prestar este serviço e em equipamentos de controlo.

2.4.3. Controlo de tensão

O controlo de tensão num sistema de alimentação CA é realizado através do desempenho na produção e absorção de energia reativa. A produção de energia reativa pode ser ativada para resolver situações em que o nível de tensão é baixo ou alto, é ativada a absorção de energia reativa. Este serviço funciona dinamicamente para evitar variações de tensão súbita.

A principal função do controlo de tensão é manter o módulo de tensão nos nós de rede dentro dos limites estipulados nos regulamentos que regem a operação de transmissão, de modo que a operação seja efetuada em condições de segurança e fiabilidade. Trata-se geralmente de um serviço voluntário e não remunerado, dada a importância crucial de uma operação do sistema e devido à dificuldade de alocar um custo à energia reativa.

Vários tipos de equipamento são utilizados para efetuar o controlo de tensão tais como baterias de condensadores, compensadores síncronos, compensadores estáticos, ajuste da excitação de geradores e mesmo transformadores com tomadas. Estes equipamentos diferem nas suas características, tais como a velocidade de resposta, a sua capacidade de suportar alterações de tensão e os custos de funcionamento e manutenção (Sousa, 2013).

2.4.4. Reposição de serviço

Em Portugal o Operador da Rede define planos a seguir em caso de contingências e também planos de reposição de serviços em caso de desso oferta. Este serviço garante a produção em situações de perda total ou parcial do sistema. O objetivo dos planos de substituição de serviços visa reencham proteção de eletricidade de forma ordenada, segura e o mais rapidamente possível. Mais eficientemente na restauração do serviço, os seguintes planos são conjuntamente elaborados pelos dois operadores ibéricos do sistema, REN e REE, tirando assim partido das interligações existentes (Sousa, 2013).

2.4.5. Resolução de Desvios

O objetivo deste serviço é a resolução de desvios entre geração e consumo. O Operador da Rede prepara e publica uma previsão de consumo até às 16.00 horas diárias, abrangendo o período compreendido entre 23 horas por dia e 23 horas do dia d+1. Cerca de 90 minutos antes do fecho diário do mercado, o operador do sistema atualiza a previsão do consumo de energia por hora

publicada durante o período entre as 23 horas desse dia e as 23 horas do dia seguinte(Sousa, 2013a).

Após a criação do PDBF (Programa Diário de Base de Funcionamento), o Operador de Sistema desenvolve uma curva para incremento e outra para a redução da geração. Com base nestas curvas, o Operador do Sistema estabelece um Programa de Reserva Planeada desde que a produção de PDBF seja diferente do consumo esperado. Este programa consistirá na mobilização ou desmobilização da geração capaz de reequilibrar o equilíbrio entre produção e consumo. As energias regulatórias mobilizadas são valorizadas ao preço marginal de cada período de programação, distinguindo a reserva para aumentar e o fundo (Lund, 2007).

2.5. Conceito de flexibilidade

Os requisitos de flexibilidade foram historicamente fornecidos pelas centrais elétricas, enquanto as principais fontes de variação e incerteza foram a procura e a avaria do equipamento. No entanto, em diversos sistemas em todo o mundo, a incorporação de novos recursos para proporcionar flexibilidade é reconhecida e incentivada, tais como a resposta à procura, a participação de energias renováveis variáveis em serviços complementares, a os sistemas de armazenamento, e a reconfiguração das ligações existentes, entre outros.(Palma et al., 2019)

A flexibilidade expressa a capacidade de um sistema elétrico manter uma alimentação contínua face às variações de geração ou consumo, independentemente da sua origem. Corresponde, em certa medida, à capacidade disponível para fazer face a alterações, seja num sentido positivo ou negativo. Nas diferentes escalas de tempo, a flexibilidade condiciona o funcionamento do sistema desde o planeamento até ao funcionamento em tempo real, com efeitos variados na fiabilidade e custos do sistema. A médio prazo, procura equilibrar desvios e incertezas sazonais, a curto prazo, diariamente e de hora a hora, e em tempo real para garantir a estabilidade, a segurança e a qualidade do serviço no sistema. (Palma et al., 2019)

Do mesmo modo, as contribuições para a flexibilidade não se limitam à geração e à procura, mas incluem também os restantes componentes do sistema, como as redes de transporte e distribuição. Por outro lado, a flexibilidade está relacionada com outros desafios no sector, como o aumento da resiliência dos sistemas e das comunicações, em contas com os avanços nas telecomunicações e dispositivos inteligentes.(Palma et al., 2019)

2.5.1. Mercado de reservas

Para manter um equilíbrio entre o que é consumido e o que é produzido é necessário possuir em cada instante reservas capazes de acomodar as variações no consumo e na produção. A qualidade deste serviço é de grande importância na exploração de sistemas elétricos. É necessário manter a alimentação das cargas de forma contínua mantendo os valores de tensão e frequência. Considerando uma pequena rede composta por um gerador e uma carga, ignorando as perdas, onde podemos afirmar o equilíbrio energético pela seguinte equação. (Maria & Carneiro, 2016)

$$\Delta P_M - \Delta P_C = \frac{dW_{cin}}{dt}$$

Quando:

PM – Potência mecânica fornecida pelo gerador.

PC – Potência elétrica.

Wcin – Energia cinética das massas.

Um desequilíbrio, causado pela variação da energia cinética armazenada nos grupos em serviço, poderá levar a uma alteração da frequência ou pelo contrário uma variação da potência de carga, devido ao efeito de elasticidade. Considerando a grande barreira existente para o armazenamento da energia esta situação exige uma rápida resolução, é neste sentido que os Serviços de Sistemas operam de modo que o balanço seja nulo. (Maria & Carneiro, 2016)

2.5.1.1. Dimensionamento de reservas primária

Este tipo de reserva atua quando há registo de pequenas variações entre o consumo e a produção, quando todos os geradores estão ligados à RNT tendo influência direta sobre esta regulação, baseando se na função automática do regulador de velocidade para ajustar a potência do gerador, e o resultado é um desvio de frequência.

Para cada sistema nacional, a regulação de reserva primária (RP) é determinada pela seguinte equação.

$$RP = \frac{E}{E_t} \times RP_t$$

Onde:

RP – Reserva de Regulação Primária (MW).

RP_t – Reserva mínima de regulação primária estabelecida para o sistema europeu interligado

E – Energia total produzida no ano anterior pelos sistemas interligados.

2.5.1.2. Dimensionamento de reservas secundárias

O dimensionamento destas reservas foi aplicado de acordo com os operadores da rede empiricamente, através da fórmula ENTSO-E como método de cálculo para determinar a regulamentação mínima necessária para manter o correto funcionamento do sistema elétrico. (Maria & Carneiro, 2016)

$$RS = \sqrt{a \times L_{max} + b^2} - b$$

Onde:

RS – Reserva de Regulação Secundária (MW).

a e b – Coeficientes empíricos, a=10 MW e b=150 MW.

L_{max} – Consumo máximo de pico MW.

A REN, empresa que tem o papel de operador de sistema, utiliza a seguinte fórmula (Equação 4) para determinar as suas necessidades, com base na formulação matemática utilizada pela UCTE, para determinar o valor mínimo recomendado. (André & Soares, 2016)

$$NRS = \beta \times \sqrt{a \times Consumo + b^2} - b$$

Onde:

NRS – Necessidades de reserva secundária.

a e b – Coeficientes empíricos, a=10 MW e b=150 MW.

Consumo – Potência de consumo MWh.

β – Coeficiente empírico variável, estipulado na REN.

O valor β varia entre os valores de 1,2 e 1,6 como mostrado na tabela.

Tabela 4. 1– Valores de β según formula REN

Fonte: (Maria & Carneiro, 2016)

Hora	β
1 / 2 / 8 / 9 / 24	1,6
3 / 7 / 10 / 11 / 19 / 20	1,4
4	1,3
5 / 6 / 12 / 13 / 14 / 15 / 16 / 17 / 18 / 21 / 22 / 23	1,2

Aplicando os valores acima para o dia em que o cálculo foi obtido o seguinte:

$$NRS = 1,2 \times \sqrt{10 \times 259 + 150^2} - 150$$

$$NRS = 40,077 \text{ MW}$$

Como se pode ver, o valor apresentado pela REN no mercado para aquela hora seria de 40.077 MW.

2.5.1.3. Dimensionamento das reservas terciárias

O gestor do sistema determinará a reserva de regulação mínima a ser elevada através da equação, com base numa previsão de consumo e produção, pode ser eólica, hidroelétrica, gás, biomassa, entre outras, com uma certa percentagem que dependerá do tipo de energia renovável para cada hora do dia. (Sousa, 2013a)

$$RS_h = 2\% \times C_h + 10\% \times E_h \text{ [MW]}$$

Onde:

RS_h – Reservas terciárias a serem elevadas a cada hora (MW).

C_h – Previsão de consumo por hora (MW).

E_h – Previsão de produção de energia renovável (MW).

As reservas a angariar são calculadas desta forma com base na reserva estabelecida pela GGS, com base na estimativa da perda máxima de produção causada diretamente pela simples falha de um elemento da SEN, aumentada em 2% do consumo previsto e em 10% da produção prevista. (Nuno Miguel Pinto Correia, 2008)

Por outro lado, a reserva a baixar é obtida através da fórmula semelhante à anterior:

$$RB_l = 2\% \times C_l + 10\% \times E_l \text{ [MW]}$$

Onde:

RB_l – Reservas terciárias a serem reduzidas a cada hora (MW).

C_l – Previsão de consumo por hora (MWh).

E_l – Previsão de produção de energia renovável (MW).

As reservas a reduzir são estabelecidas de acordo com a SEN, aumentando em 2% do consumo esperado e 10% da produção de energia renovável. Para o cálculo são considerados determinados pontos.

- Unidades desligadas por longos períodos de tempo.
- Unidades que estão em manutenção.
- Níveis de combustível das máquinas.
- Limites relacionados a restrições ambientais como a existência de água e vento, etc.
- A topologia da rede, uma vez que pode causar retrocessos no trânsito de energia.

Esta reserva pode responder a diferentes situações, pode ser o consumo horário superior que resulta no mercado diário e intradiário. Outro caso de previsão é a perda de geração, devido a falha ou atraso na colocação em funcionamento. (Maria & Carneiro, 2016)

2.5.2. Armazenamento de energia

Caracteriza-se pela sua principal função no mercado da energia para acumular a energia excedentária de um determinado momento e colocá-la noutras alturas em que é mais eficiente para o mercado. As baterias e as centrais hidroelétricas com bombagem são as ferramentas mais

estudadas e também reconhecidas como benéficas para a operação devido a sua capacidade de armazenamento para descongestionar a rede de transporte tanto para acréscimo ou redução desta energia da rede. (Palma et al., 2019)

Os sistemas de armazenamento de energia podem funcionar como uma ferramenta que pode transformar qualquer tipo de carga numa carga controlável, atuando como uma UPS. Com uma bateria do tamanho certo para a energia, poderia continuar a funcionar durante um certo período sem perturbar os utilizadores enquanto vendia a potência total à rede ao mesmo tempo no esquema DR. (Lopes, 2015)

Para integrar plenamente as fontes de energia renováveis, os sistemas de armazenamento de energia têm um papel fundamental devido à natureza variável dos recursos, nem sempre alinhados com a procura típica, o que implica falta de disponibilidade em determinadas horas do dia e disponibilidade excessiva noutros. (Fernandes, 2012)

Com armazenamento da energia elétrica é teoricamente possível estabelecer um sistema 100% renovável, permitindo acomodar períodos com excesso de disponibilidade de recursos face à procura de modo a dispor de energia na situação inversa. O armazenamento permite estabilizar uma rede elétrica com um elevado nível de penetração de fontes renováveis, tornando-as completamente fiáveis como fonte primária de energia. (Luca Zampighi, 2020)

2.5.3. Resposta da procura

A Resposta da Procura (Demand Response, ou DR) é definida como "o estímulo à ocorrência de alterações na utilização da eletricidade por parte dos clientes finais relativamente aos seus padrões normais, em resposta a alterações no preço da eletricidade ao longo do tempo, ou a pagamentos de incentivos concebidos para induzir uma utilização de eletricidade mais baixa ou mais elevada em momentos de preços altos ou baixos do mercado grossista, ou quando a fiabilidade do sistema está comprometida". (Federal Energy Regulatory Commission, 2012)

O objetivo da DR é ajustar a carga à disponibilidade de geração de forma a tornar o sistema economicamente mais eficiente, evitando ter demasiada capacidade de rede inativa ou ter de arrancar unidades de geração caras. (Luca Zampighi, 2020)

A DR é uma das principais estratégias a promover para garantir a segurança e o fornecimento da rede e pode ser dividida pela forma como a mudança de consumo é estimulada: baseada em incentivos e baseada em preços. A DR baseada em incentivos consiste em motivar os clientes

através de incentivos ou bónus, que se baseiam na alteração do uso de eletricidade necessário calculado a priori e oferecido pelo operador local. (Qin Zhang, 2012)

Os benefícios da DR podem ser vistos de acordo com cada parte envolvida

- Para clientes participantes: diminuição relevante nos valores da fatura da eletricidade ou um pagamento de incentivo.
- Para outros clientes: Os custos mais baixos do sistema devido a uma maior eficiência económica global.
- Para a rede: O aumento de Fiabilidade pela redução da probabilidade de falhas do sistema que causem custos económicos elevados e outros inconvenientes.

3. METODOLOGIA

3.1. Análise de requisitos

Para esta dissertação optou-se por modelar o funcionamento de um fornecedor de flexibilidade para operar no mercado de serviços de sistema como serviços de reserva, baseado na gestão do sistema de armazenamento. Para tal é necessário:

- Conhecer estimativas de consumos e produção.
- Determinar as reservas de acordo com os processos de cálculo normalmente usados pelo operador do sistema.
- Simular a entrega efetiva de potência de reserva de acordo com as limitações próprias do sistema de armazenamento.

Para determinar as reservas é necessário conhecer os parâmetros e fórmulas de cálculo usadas pelo operador do sistema. Dado que as regras de cálculo da REN diferem das ENTSO-E foi decidido usar ambas.

3.2. Etapas de estudo

De forma a perceber as diferenças decorrentes de variação de disponibilidade das energias renováveis e dos consumos ao longo do ano são analisados 2 meses específicos representando duas estações do ano, inverno e verão. O processo tem 4 etapas:

Etapa 1: Em primeiro lugar é efetuada a leitura de dados de produção e consumo, determinando o valor máximo de potência consumida no mês de estudo.

Etapa 2: Seguidamente, efetua-se o cálculo das necessidades de reservas secundárias utilizando as fórmulas ENTSO-E e REN, com os parâmetros empíricos especificados no Capítulo 3.3.3, a com o valor de 10MW e b com o valor de 150 MW.

Etapa 3: Em terceiro lugar, determinam-se as reservas terciárias em função da escolha do tipo de geração: eólica, hidroelétrica e tendo em conta a previsão de consumo e produção, obtendo a banda de potência a subir ou a descer, como especificado no capítulo 3.3.1.

Etapa 4: Finalmente são criados cenários de teste que representam as necessidades efetivas de reserva, gerando vetores binários aleatórios que serão multiplicados pelas potências para subir e descer, e a partir destes dados é gerada uma simulação de como essas necessidades são satisfeitas a partir do sistema de armazenamento, permitindo assim analisar a capacidade de carga e as limitações de potência ao longo de um dia.

3.3. Desenvolvimento da ferramenta de simulação

Optou-se pelo uso do MATLAB para o desenvolvimento devido à sua robustez e à disponibilidade de bibliotecas de funções necessárias a diferentes partes do problema. Para o efeito foi criado um interface gráfico (GUI) para visualizar o comportamento do sistema com base nos dados e parâmetros estabelecidos, permitindo a entrada contínua de dados.

3.3.1. Visualização de dados normalizados

Os dados apresentados na Figura 3.4, confirma a informação do mês de 16 de Janeiro da potência máxima. Aqui será escolhido o mês de estudo a analisar, o que mostrará o máximo de potência nesse mês e a normalização nas barras da rede escolhida.

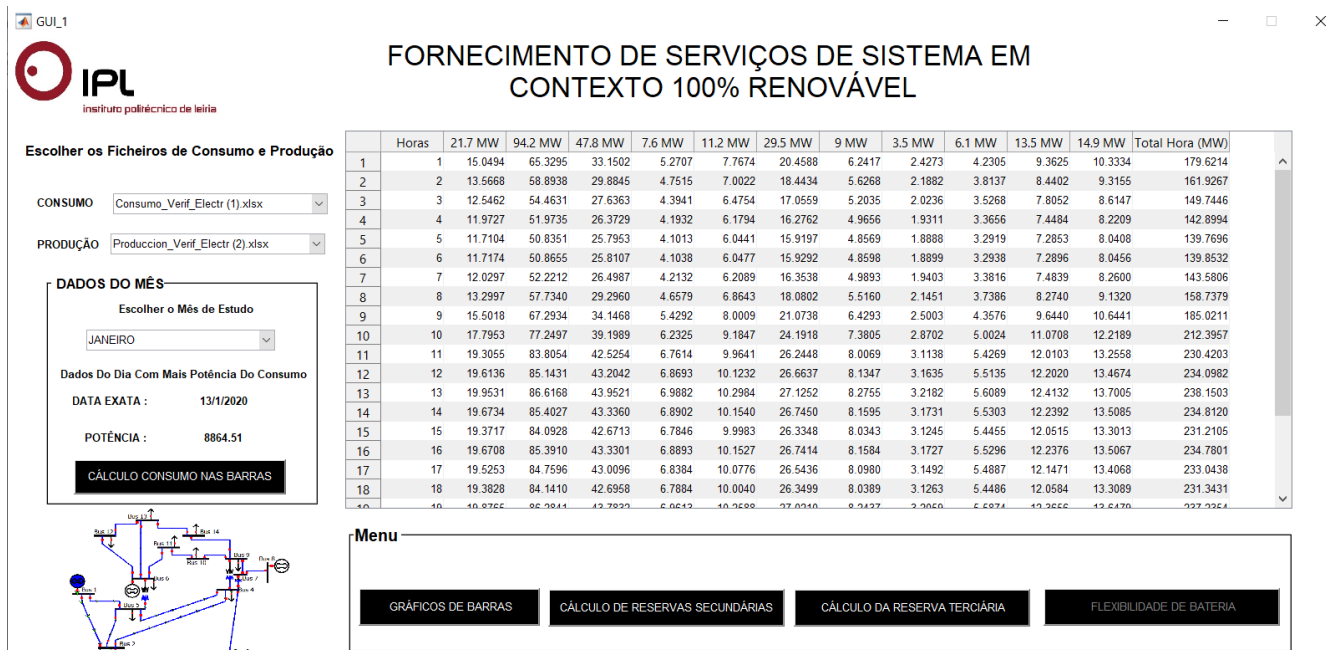


Figura 3.1 - Visualização de dados.

3.3.2. Gráfico dos barramentos

Como apresentado na Figura 3.5 existe um botão chamado gráfico de barras, que permite verificar os gráficos de consumo em cada uma das barras e o gráfico de consumo total de 16 de Janeiro de 2020.

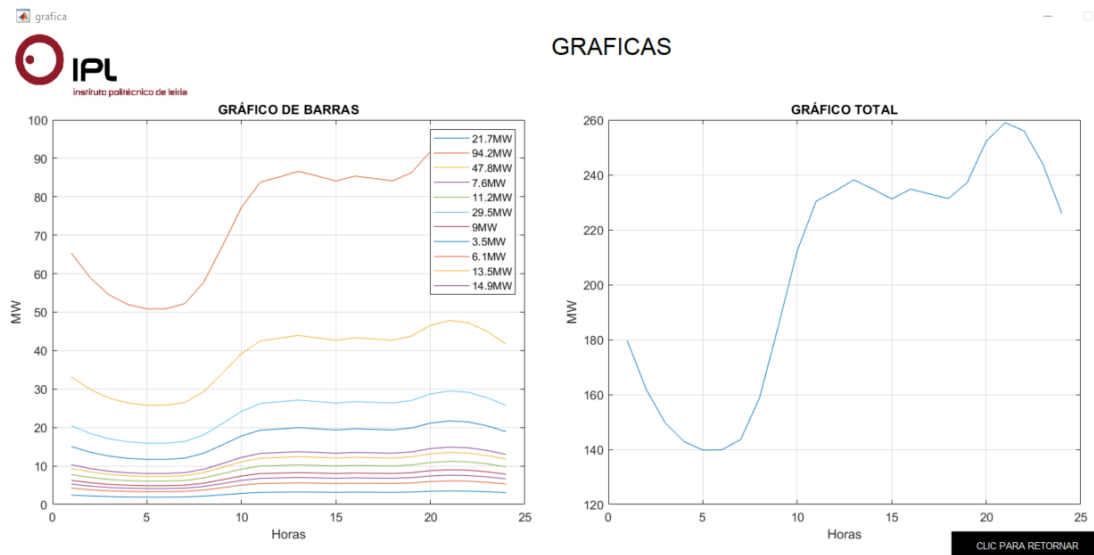


Figura 3.2 - Visualização de gráficos.

3.3.3. Cálculo das reservas secundárias ENTSO-E e REN

Para o estudo de caso é realizado no período de 1 de Janeiro de 2020 até 1 de Janeiro de 2021, aplicando a fórmula ENTSO-E com as seguintes restrições apresentadas no capítulo 3.4 para os valores empíricos de a e b, respetivamente, estes valores são utilizados para obter Lmax e o consumo máximo num dado momento.

Aplicando a fórmula REN para restrições apresentadas no capítulo 4.4 para os valores empíricos de a e b respetivamente, nestes valores são utilizados para obter, beta e consumo máximo num dado momento.

A GUI que foi desenvolvida mostra a variação de dados entre as reservas primárias e secundárias estudadas em um mês escolhido. Na Figura 3.6 encontramos dados das reservas secundárias que o sistema utiliza para um determinado dia.

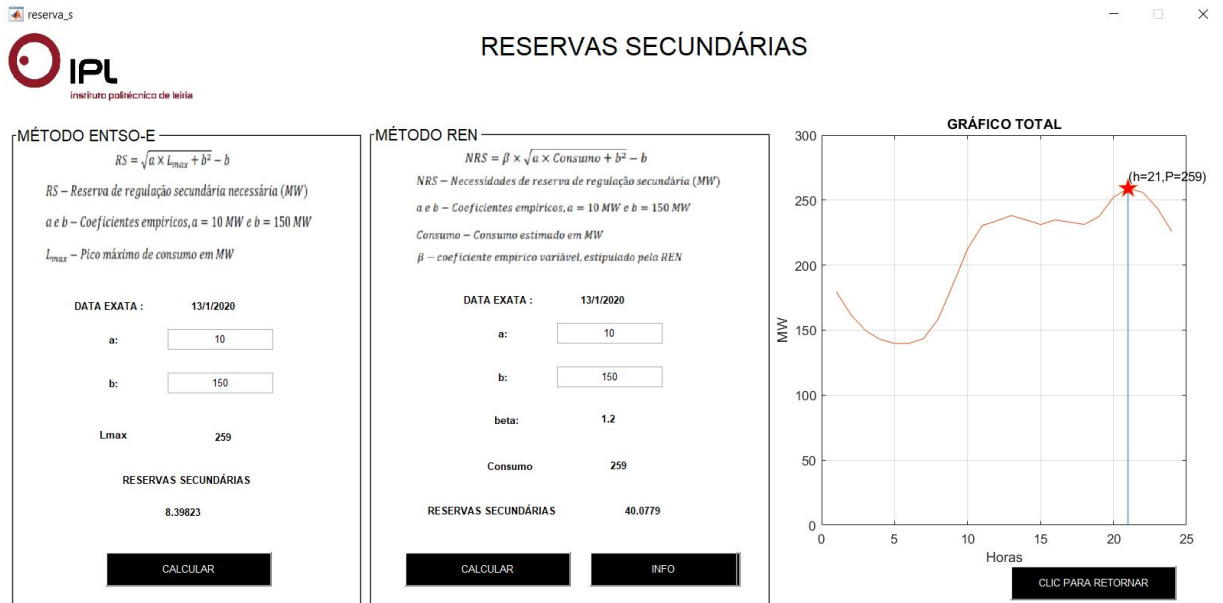


Figura 3.3 - Cálculo das reservas secundárias.

3.3.1. Cálculo das reservas terciárias

Aplicando a fórmula com as seguintes restrições apresentadas no capítulo 3.5, aplicar-se-á ao vento, e à geração hidroelétrica, tal como indicado nas figuras 3.7, 3.8 os valores do valor previsto do consumo C_h e da produção, E_h obtidos em cada hora, resultando na subida e queda dos dados de potência.

$$RS_h = 2\% \times C_h + 10\% \times E_h [MW]$$

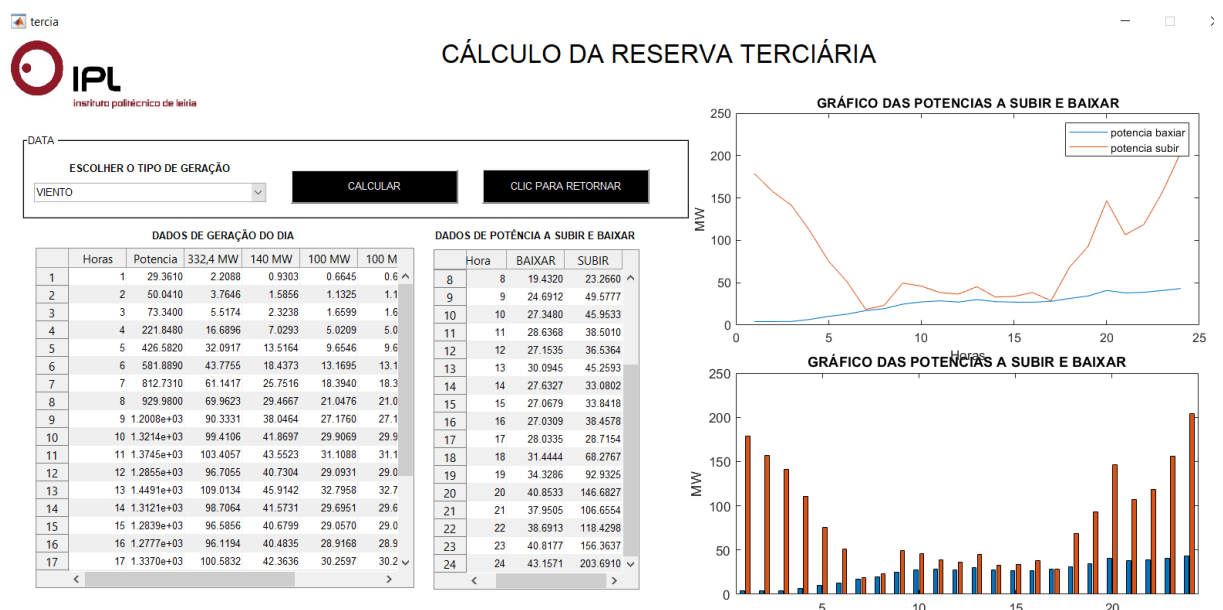


Figura 3.4 - Cálculo das reservas terciárias com vento.

CÁLCULO DA RESERVA TERCIÁRIA

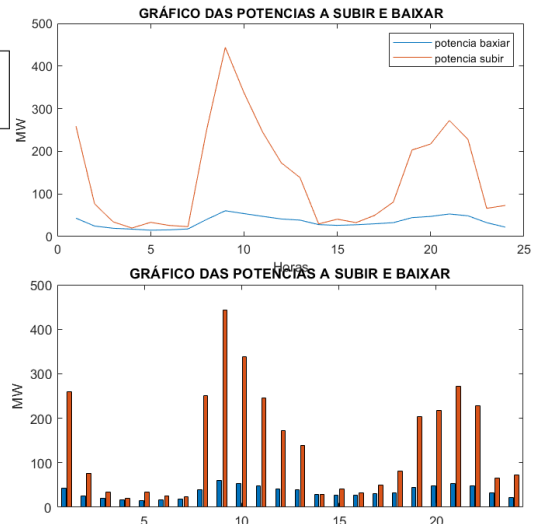


Figura 3.5 - Cálculo das reservas terciárias com energia hidroelétrica.

3.3.2. Funcionamento do sistema de armazenamento

O funcionamento do sistema de armazenamento foi simulado de forma a satisfazer as necessidades efetivas de reserva, geradas pela afetação aleatória das necessidades. Assim, quando for necessário entregar reserva a subir, o sistema deverá descarregar, entregando a potência de reserva durante o período previsto, e quando for necessária reserva a descer, o sistema deverá carregar, consumindo a potência em causa. O resultado está ilustrado na Figura 3.9.

CÁLCULO DA RESERVA TERCIÁRIA

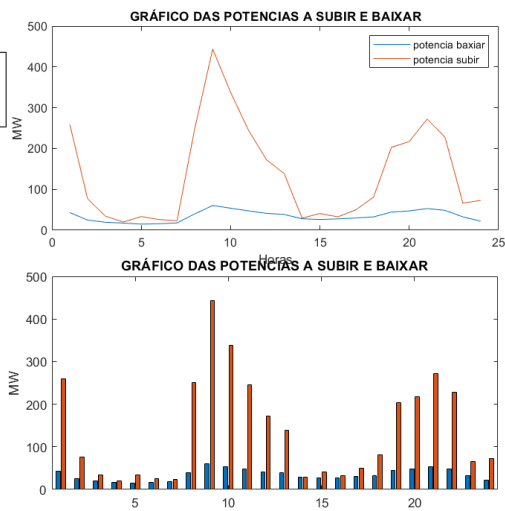


Figura 3.6 – Reservas a subir e baixar.

No gráfico da bateria são mostrados os dados que serão analisados paralelamente, esta é uma simulação que pode acontecer durante um dia normal uma vez que funciona com dados realistas e permite analisar este tipo de eventos, onde podem estimar uma solução para um possível excesso ou escassez de consumo e tomar decisões que melhoram o desempenho na rede.

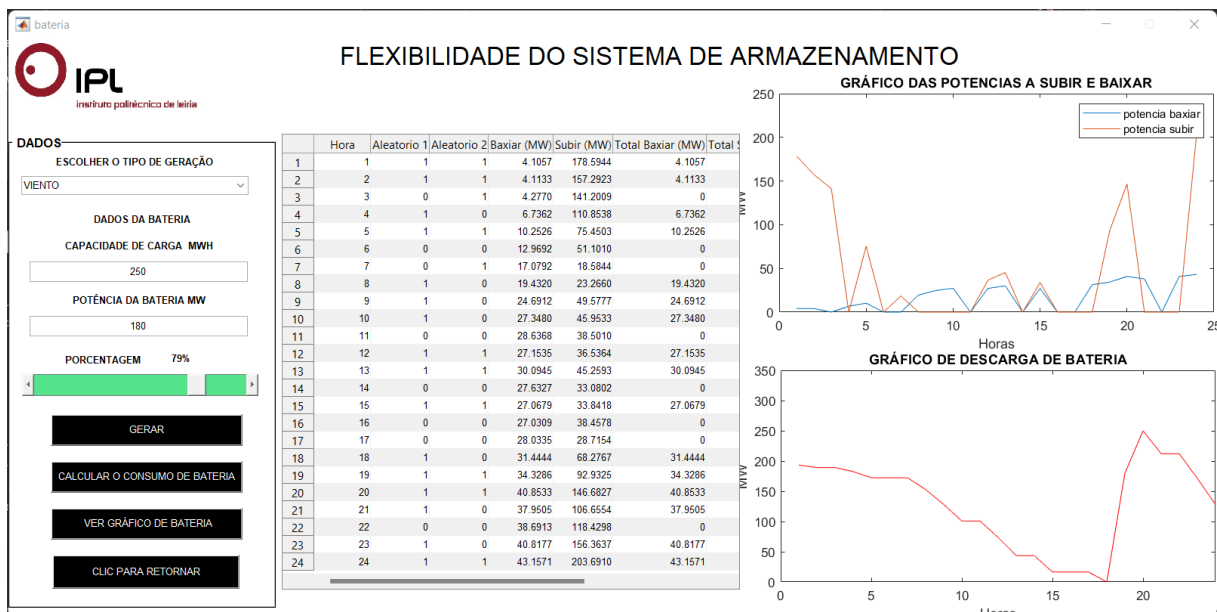


Figura 3.7 - Flexibilidade do sistema de armazenamento.

4. ANÁLISE E RESULTADOS DO ESTUDO

Para testar a metodologia proposta foi necessário obter dados que caracterizam uma rede elétrica de teste, nomeadamente dados do consumo e geração. Para o trabalho apresentar escolheu-se utilizar uma rede fictícia com base no modelo IEEE de 14 barramentos assumido como suportado a 100% com fontes renováveis.

4.1. Rede de teste

A rede padrão IEEE de 14 barramentos representa uma parte do sistema elétrico americano, como apresentado na Figura 4.1. A rede originalmente incluía 5 máquinas síncronas, três das quais são compensadores síncronos utilizados apenas para suporte de energia tratando-se apenas do balanço de potência ativa e considerando os geradores como representando uma determinada tecnologia de produção.

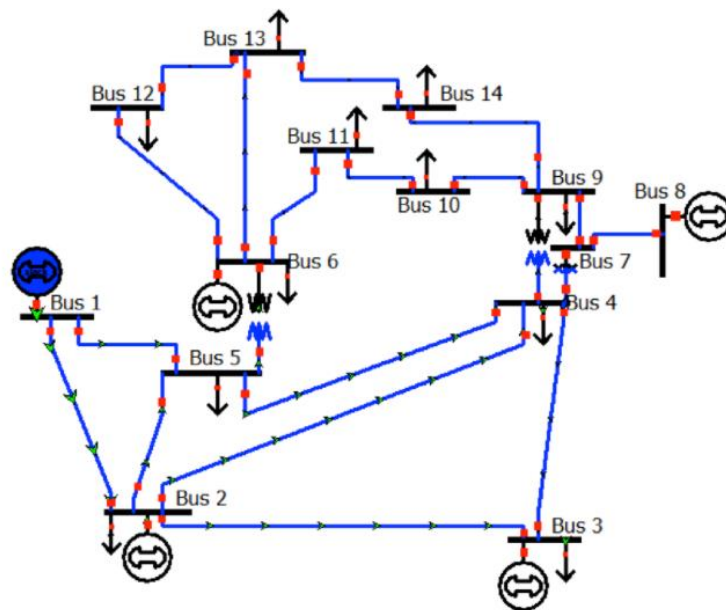


Figura 4.1 - Sistema IEEE 14-bus.

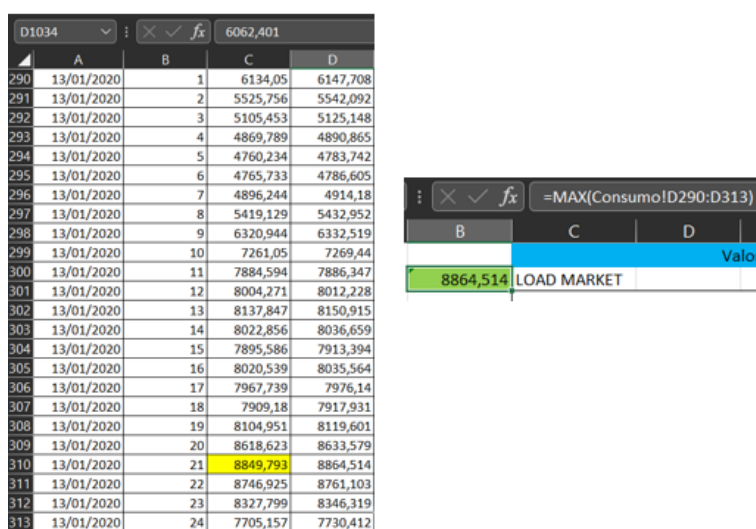
4.2. Definição de dados

O procedimento a seguir durante o tratamento de dados realistas será descrito pelos processos fornecidos pela REN durante 1 ano, neste caso, a data inicial foi tomada de 1 de Janeiro de 2020 a 31 de dezembro de 2020.

Para definir as séries temporais de produção e consumo, foram descarregados do site da REN dados de consumo e produção renovável correspondentes ao ano de 2020.

4.2.1. Normalização dos dados de consumo

Os dados de consumo são determinados primeiro automaticamente pela seleção do dia em que ocorre o maior consumo do mês escolhido. Os dados são seguidamente normalizados, dividindo os valores pela potência máxima do dia. A Figura 4.2 mostra a identificação da potência máxima do mês de Janeiro que ocorre no dia 13 com um valor de 8864.514 MW.



	A	B	C	D
290	13/01/2020	1	6134,05	6147,708
291	13/01/2020	2	5525,756	5542,092
292	13/01/2020	3	5105,453	5125,148
293	13/01/2020	4	4869,789	4890,865
294	13/01/2020	5	4760,234	4783,742
295	13/01/2020	6	4765,733	4786,605
296	13/01/2020	7	4896,244	4914,18
297	13/01/2020	8	5419,129	5432,952
298	13/01/2020	9	6320,944	6332,519
299	13/01/2020	10	7261,05	7269,44
300	13/01/2020	11	7884,594	7886,347
301	13/01/2020	12	8004,271	8012,228
302	13/01/2020	13	8137,847	8150,915
303	13/01/2020	14	8022,856	8036,659
304	13/01/2020	15	7895,586	7913,394
305	13/01/2020	16	8020,539	8035,564
306	13/01/2020	17	7967,739	7976,14
307	13/01/2020	18	7909,18	7917,931
308	13/01/2020	19	8104,951	8119,601
309	13/01/2020	20	8618,623	8633,579
310	13/01/2020	21	8849,793	8864,514
311	13/01/2020	22	8746,925	8761,103
312	13/01/2020	23	8327,799	8346,319
313	13/01/2020	24	7705,157	7730,412

Figura 4.2 - Valor de potência máxima mês de Janeiro.

Os valores normalizados são multiplicados pela potência máxima resultante do dia com o maior consumo de energia, resultando da soma das potencias de carga dos barramentos da rede proposta.

4.2.2. Normalização dos dados de geração

De acordo com o tipo de geração de energia renovável desejado para o estudo, entre as opções eólica e hidroelétrica, aplica-se uma normalização idêntica à anteriormente descrita. A Figura 4.3 ilustra o dia de maior produção eólica do mês de janeiro.

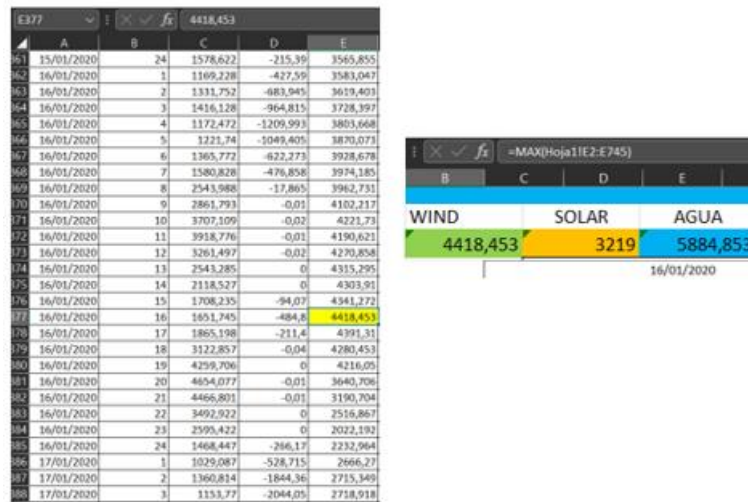


Figura 4.3 - Valor máximo de geração mês de janeiro.

Os valores normalizados são multiplicados pela potência máxima resultante do dia com a maior geração de energia, resultando da soma das potencias de geração dos barramentos da rede proposta.

4.3.Mês de análise de Janeiro

Procedemos à carga dos dados para a etapa 1 e para a etapa 2, como mostrado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Mês de Resultados de Janeiro

Max Potência (MW)	Reserva Secundária ENTSO-E (MW)	Necessidade de Reserva Secundária REN (MW)
8864,51	8,4	40,07

A etapa 2 apresenta os valores calculados tal como indicado na Figura 5.1

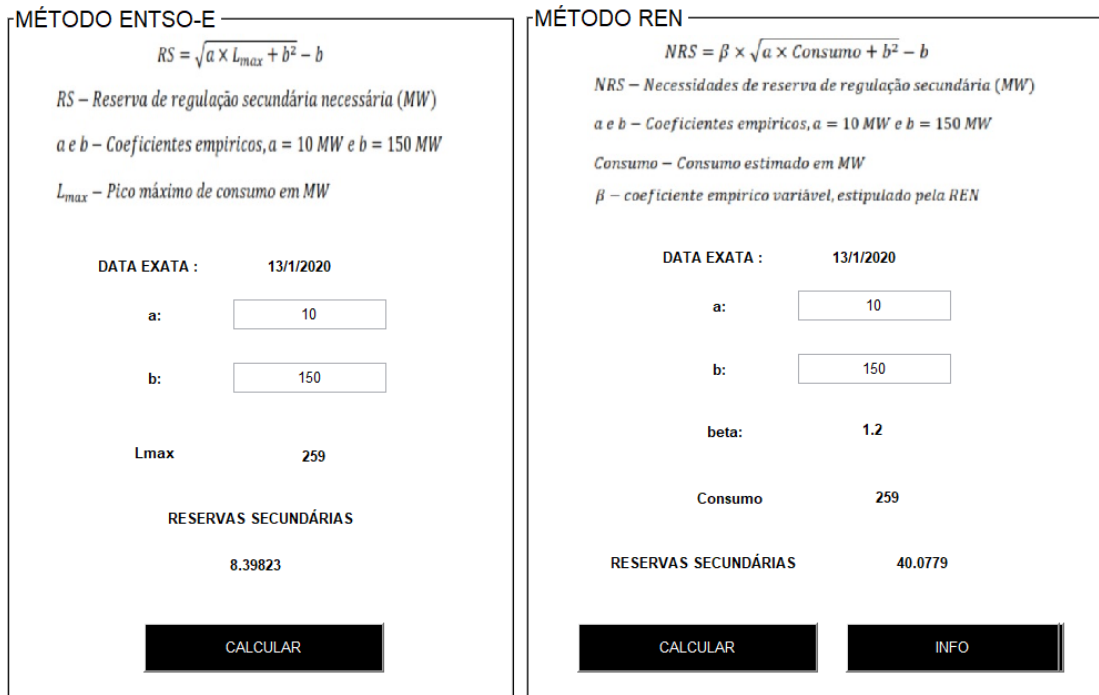


Figura 4.4 - Cálculo das reservas mês Janeiro.

A etapa 3 determina as reservas de potência a subir e a descer, com base na geração renovável, como é mostrado na Figura 4.2, 4.3 e 4.4.

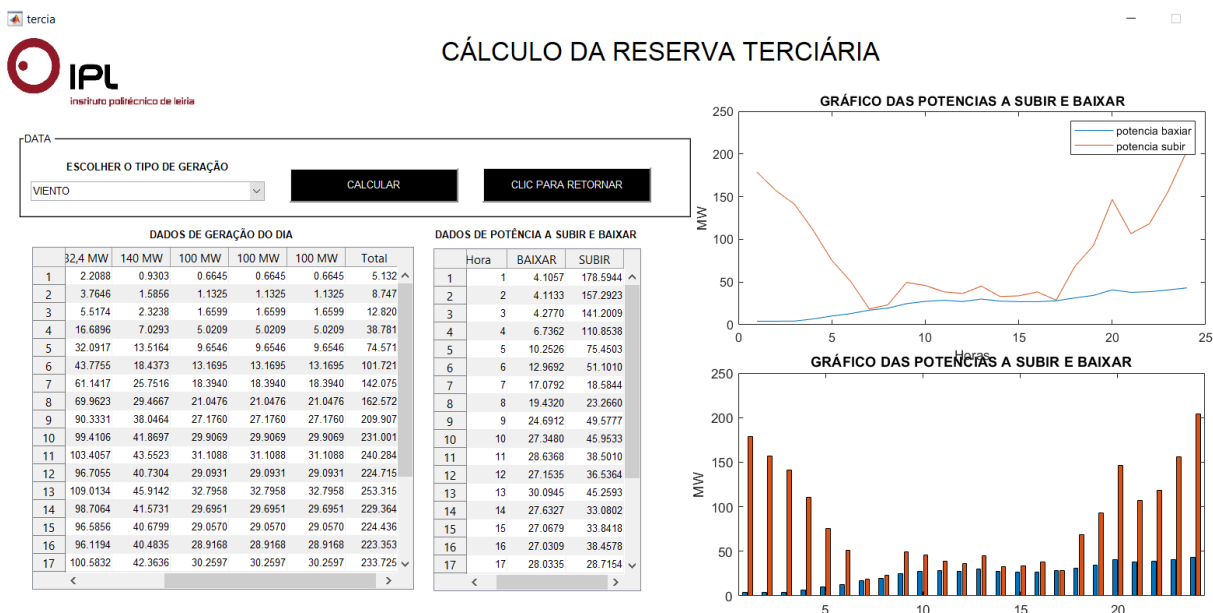


Figura 4.5 - Cálculo das reservas terciárias com vento mês Janeiro.

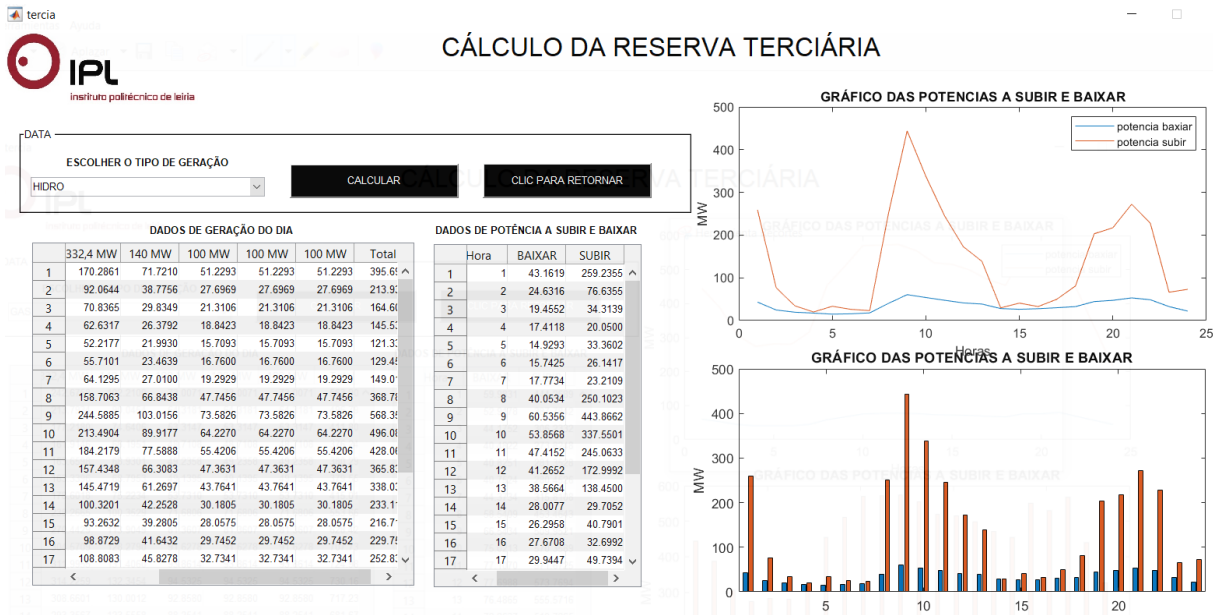


Figura 4.6 - Cálculo das reservas terciárias com energia hidroelétrica mês Janeiro.

Na etapa 4 é finalmente determinado o comportamento do sistema de armazenamento para reagir à necessidade de assegurar o fornecimento das reservas pré-estabelecidas de acordo com os cenários aleatórios gerados. Na figura 4.2 a potência máxima no consumo da nossa rede é 259 MW.

4.3.1. Estudo de Etapa 1 - mês Janeiro

Para este estudo, foi considerado a Tabela 5.2 seguinte, onde o sistema armazenamento e a potência da bateria serão mantidas e a variação será feita no estado inicial de carga.

Tabela 5.2 - Dados do sistema de armazenamento etapa 1 mês Janeiro

Capacidade de carga (MWh)	Potência (MW)	Estado inicial de carga (%)
75	35	25
75	35	50
75	35	75
75	35	100

O estudo da etapa foi realizado e os seguintes resultados foram como e mostrado ANEXO I.

4.3.2. Estudo de Etapa 2 - mês Janeiro

Para este estudo, foi considerado a Tabela 5.3 seguinte, onde o sistema armazenamento e a potência da bateria será de maior capacidade e a variação será feita no estado inicial de carga.

Tabela 5.3 - Dados do sistema de armazenamento etapa 2 mês Janeiro

Capacidade de carga (MWh)	Potência (MW)	Estado inicial de carga (%)
150	80	25
150	80	50
150	80	75
150	80	100

O estudo da etapa foi realizado e os seguintes resultados foram como e mostrado ANEXO I.

4.3.3. Estudo de Etapa 3 - mês Janeiro

Para este estudo, foi considerado a Tabela 5.4 seguinte, onde o sistema armazenamento e a potência da bateria será de maior capacidade e a variação será feita no estado inicial de carga.

Tabela 5.4 - Dados do sistema de armazenamento etapa 3 mês Janeiro

Capacidade de carga (MWh)	Potência (MW)	Estado inicial de carga (%)
220	150	25
220	150	50
220	150	75
220	150	100

O estudo da etapa foi realizado e os seguintes resultados foram como e mostrado ANEXO I.

4.4. Mês de análise de Junho

Procedemos à carga dos dados para a etapa 1 e para a etapa 2, como mostrado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Resultados do mês de Junho

Max Potência (MW)	Reserva Secundária ENTSO-E (MW)	Necessidade de Reserva Secundária REN (MW)
6447,41	8,3	40,07

A etapa 2 apresenta mostra os valores calculados tal como indicado na Figura 4.5

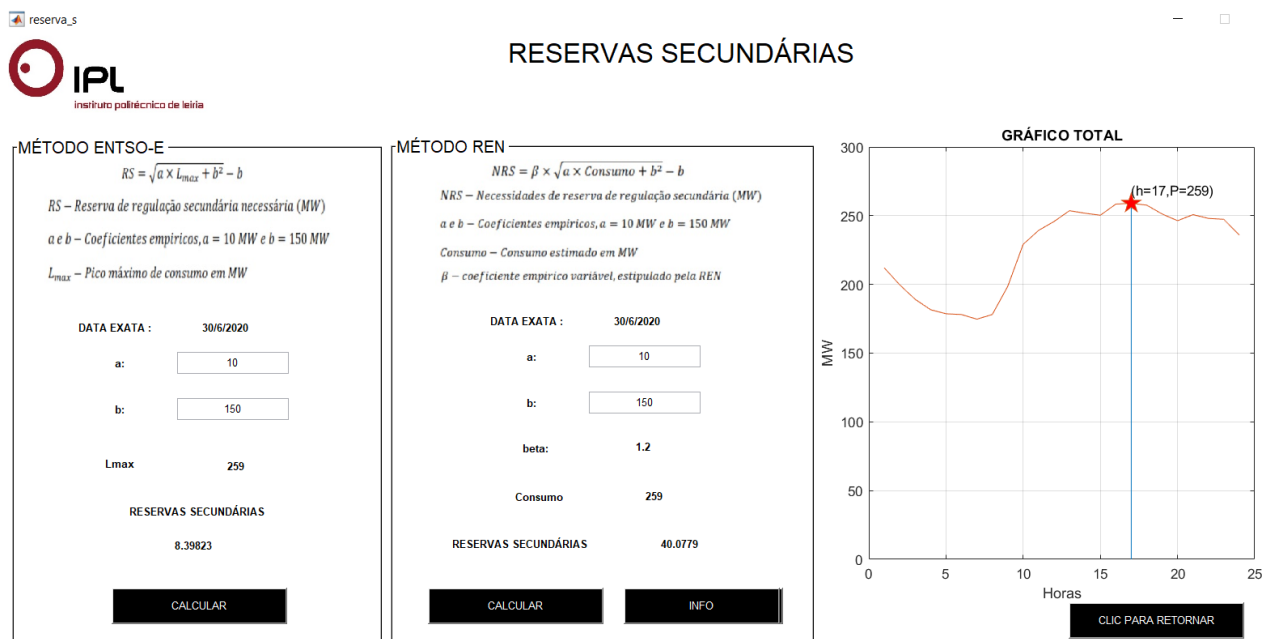


Figura 4.7 - Cálculo das Reservas para o mês de Junho.

A etapa 3 determina a subida e queda da energia eólica e da hidroelétrica, como e mostrado na Figura 4.7, 4.8 e 4.9.

CÁLCULO DA RESERVA TERCIÁRIA

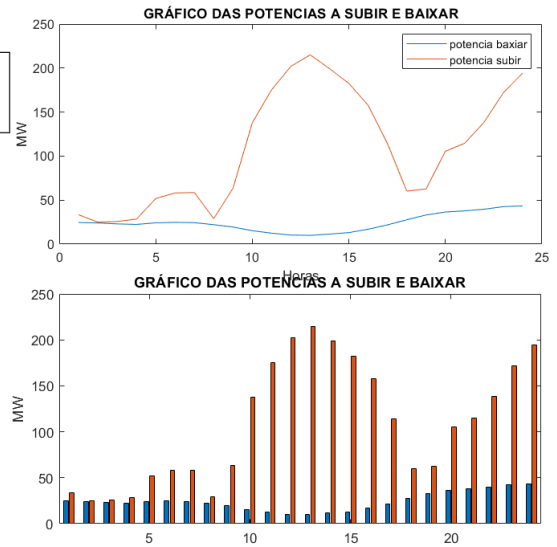
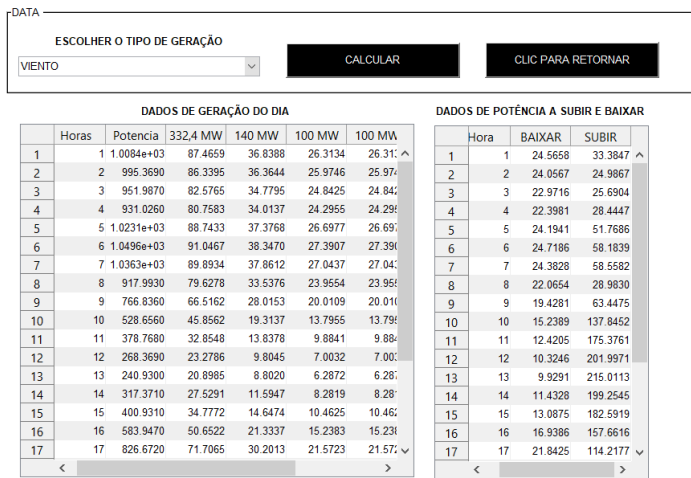


Figura 4.8 - Cálculo das reservas terciárias com vento mês Junho.

CÁLCULO DA RESERVA TERCIÁRIA

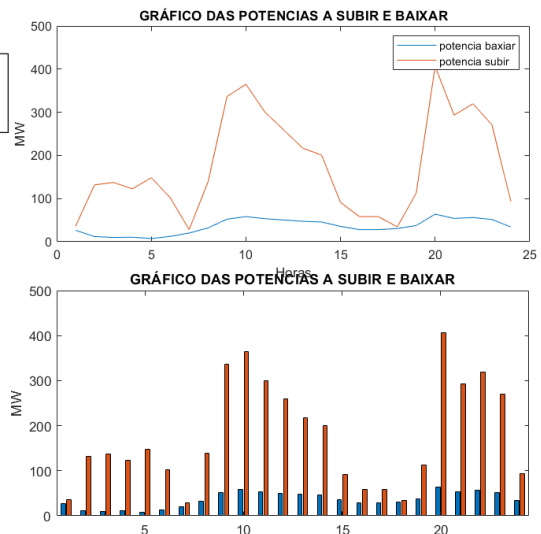


Figura 4.9 - Cálculo das reservas terciárias com geração hídrica para o mês de Junho.

4.4.1. Estudo de Etapa 1 - mês Junho

Para este estudo, foi considerado a tabela 5.6 seguinte, onde o sistema armazenamento e a potência da bateria serão mantidas e a variação será feita no estado inicial de carga.

Tabela 5.6 - Dados do sistema de armazenamento etapa 1 mês Junho

Capacidade de carga (MWh)	Potência (MW)	Estado inicial de carga (%)
75	35	25
75	35	50
75	35	75
75	35	100

O estudo da etapa foi realizado e os seguintes resultados foram como e mostrado ANEXO II.

4.4.2. Estudo de Etapa 2 - mês Junho

Para este estudo, foi considerado a Tabela 5.7 seguinte, onde o sistema armazenamento e a potência da bateria será de maior capacidade e a variação será feita no estado inicial de carga.

Tabela 5.7 - Dados do sistema de armazenamento etapa 2 mês Junho

Capacidade de carga (MWh)	Potência (MW)	Estado inicial de carga (%)
150	80	25
150	80	50
150	80	75
150	80	100

O estudo de etapa foi realizado e os seguintes resultados foram como e mostrado ANEXO II.

4.4.3. Estudo de Etapa 3 - mês Junho

Para este estudo, foi considerado a Tabela 5.8 seguinte, onde o sistema armazenamento e a potência da bateria será de maior capacidade e a variação será feita no estado inicial de carga.

Tabela 5.8 - Dados do sistema de armazenamento etapa 3 mês Junho

Capacidade de carga (MWh)	Potência (MW)	Estado inicial de carga (%)
220	150	25
220	150	50
220	150	75
220	150	100

O estudo da etapa foi realizado e os seguintes resultados foram como e mostrado ANEXO II.

5. CONCLUSÕES

A flexibilidade tornou-se uma palavra comum para a transição energética, sendo necessária mais flexibilidade nos futuros sistemas elétricos para otimizar o investimento nas fontes de energia renováveis. O fornecimento de flexibilidade requer assim a capacidade de adaptar o sistema às variações de produção e consumo, independentemente da sua origem, mantendo níveis adequados de segurança e qualidade.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo de fornecimento de flexibilidade baseado na gestão de capacidade de armazenamento de energia, em resposta às necessidades efetivas de reservas a subir ou a descer. Para isso, foram usados dados de consumo e produção realistas, obtidos no site oficial da REN, adaptados a uma rede de referência com cinco unidades de geração e onze barramentos. O estudo, incidiu em dois meses do ano, Janeiro e Junho, selecionando o dia do mês com maior consumo.

Para a primeira análise no mês de Janeiro de 2020, no dia 13, foi obtido um consumo máximo de energia de 8864,51 MWh. As reservas secundárias foram calculadas com base em dois métodos, ENTSO-E e REN. Com o método ENTSO-E, foram utilizados coeficientes empíricos típicos obtendo uma reserva secundária de 8,39 MW considerando o pico de consumo máximo de 259 MW ocorrido às 21:00 horas. Para o cálculo com o método REN, foi também utilizado um coeficiente empírico, que depende momento em que o pico máximo de consumo ocorre, obtendo uma reserva secundária de 40,07 MW, um valor que parece melhor refletir as condições específicas do momento em que ocorreu o pico máximo de consumo.

A determinação das necessidades efetivas de reservas foi gerada de forma aleatória, criando um vetor binário que determina a ativação das reservas a subir ou descer. Foram também estudadas diferentes características do sistema de armazenamento, tais como a capacidade de carga, a potência e o estado inicial de carga (%), sendo efetuados três estudos de caso para diferentes capacidade e potência:

Para o primeiro caso trabalhamos com uma capacidade de carregamento de 75 MWh e 35 MW de potência. Com um estado inicial de carga de 25% da sua capacidade, a descarga ocorre num tempo razoavelmente curto, verificando-se três ciclos de carga durante o dia, com aproximadamente 3 horas em cada carga. Modificando o estado inicial de carga para 50%, 75% e 100% observou-se que os ciclos de carga são 2 por dia com um tempo aproximado de 3 horas,

tendo como conclusão que para este caso, o carregamento do sistema acontece a qualquer hora do dia, gerando assim um custo elevado para que possa atingir 100% da sua capacidade.

Para o segundo caso, trabalhamos com uma capacidade de carregamento de 150 MWh e 80 MW de potência. Com estados iniciais de carga a 25% e 50% o sistema realiza 2 ciclos de carga ao longo do dia com uma duração de 2 horas. O estado inicial de 75% e 100% o sistema fez um ciclo de carga único por dia com uma duração de 2 horas. Assim, no caso 2 estes parâmetros permitem satisfazer as necessidades de flexibilidade se o estado inicial for superior a 50%.

Para o terceiro caso, trabalhamos com uma capacidade de carregamento de 220 MWh e 150 MW de potência. Nas quatro percentagens de estado inicial de carga, o sistema realizou um ciclo de carga único por dia com uma duração de 2 horas. Estes parâmetros serão favoráveis a atingir 100% da capacidade da bateria e a partir desse momento começará a haver uma flexibilidade de carga no sistema.

Para o segundo estudo do mês de Junho, no dia 30, foi obtido um consumo máximo diário de energia de 6447,41 MWh. O cálculo das reservas secundárias com o método ENTSO-E e o método REN resultou em valores idênticos aos obtidos para o mês de Janeiro, uma reserva secundária de 8,39 MW (ENTSO-E) e 40,07 MW (REN) já que o valor normalizado resulta num pico de potência idêntico de 259 MW, mas neste caso ocorrido às 17:00 horas. De notar que, embora o método REN tenha em consideração a hora a que ocorre o pico, o coeficiente aplicado para as 17:00 é igual ao coeficiente aplicado às 21:00, hora a que ocorre o pico no exemplo do mês de janeiro.

De novo para o primeiro caso trabalhamos com uma capacidade de carregamento de 75 MW e 35 MW de potência. Com um estado inicial de carga de 25% da sua capacidade, a descarga ocorre num tempo razoavelmente curto, verificando-se três ciclos de carga durante o dia, com aproximadamente 2 horas em cada carga. Modificando o estado inicial de carga para 50% apresentou 2 ciclos de carga durante o dia com uma duração de carregamento de 2 horas. Modificando o estado inicial de carga para 75% e 100% satisfaz parcialmente a necessidade de carregamento só com 1 ciclo de carga, concluindo que com percentagens superiores a 50% permitiu satisfazer um desempenho ideal.

Para o segundo caso, trabalhamos com uma capacidade de carregamento de 150 MWh e 80 MWh, a bateria a 25%, 50% e 75% da sua capacidade satisfaz parcialmente a necessidade de carregamento para consumo de energia o ciclo de carga por dia será 2 vezes com um tempo de

carregamento de 2 horas. A bateria com uma carga de 100% prolongou consideravelmente o tempo de descarga que satisfaz o consumo de energia, o ciclo de carga era de 1 vez por dia, conclui-se que neste tipo de caso a percentagem abaixo de 75% não proporcionará uma boa flexibilidade de carregamento no sistema.

Para o terceiro caso, trabalhamos com uma capacidade de carregamento de 220 MWh e 150 MWh de potência, a bateria a 25%, satisfaz parcialmente as necessidades de carga para o consumo de energia. A bateria a 50% e 75% prolongou consideravelmente o tempo de descarga atingindo um ponto semelhante. A bateria a uma carga de 100% satisfaz consideravelmente todo o dia de consumo. Em todos os quatro casos a bateria tinha um único ciclo de carga com um tempo de 2 horas. Concluindo que sob estes parâmetros, haverá flexibilidade no sistema.

Realizados os dois estudos nos meses de Janeiro e Junho selecionados, e analisando os três casos que variam os parâmetros da bateria como conclusão final, determina-se que a capacidade de armazenamento deve ser superior a 150 MWh, com uma potência de 80MW, e pelo menos um estado inicial de carga de 50% para que o sistema de armazenamento contribua com a energia em falta para a rede gerando um valor económico considerável, e alcançar a flexibilidade no sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- André, J., & Soares, P. (2016). Energy Resource Management in Smart Grids with Intensive Use of Electric Vehicles: Heuristic and Deterministic Approaches. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 173-184.
- Bordons, C., & García, Félix, L. V. (2015). Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable. RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial, 12(2), 117–132. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2015.03.001>
- Braga da Cruz, L. (2013). A liberalização do sector da energia, o MIBEL (Mercado Ibérico de Electricidade) e o OMIP (Operador do Mercado Ibérico de Energia-pólo português). OMIP, 83-90
- Federal Energy Regulatory Commission. 2012. Assessment of Demand Response & Advanced Metering - Staff Report, www.ferc.gov/oversight.
- Federal Energy Regulatory Commission. (2012). State of the Markets Report for 2012. Staff Report, www.ferc.gov/oversight.
- Fernandes, L. V. N. (2012). Um sistema elétrico 100% renovável na geração de eletricidade: o caso português. Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Mestrado em Gestão Ambiental, 30-83
- Kousksou, T., Bruel, P., Jamil, A., el Rhafiki, T., & Zeraouli, Y. (2014). Energy storage: Applications and challenges. In Solar Energy Materials and Solar Cells (Vol. 120, Issue PART A, pp. 59–80). <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.08.015>
- Lopes, S. A. S. (2015). Tecnologias de armazenamento de energia para fornecimento de serviços de sistema. Universidade de Coimbra. Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, 107.
- Luca Zampighi. (2020). Optimizing the Use of Energy Storage as a Demand Response Tool. Instituto Politécnico de Leiria. Master degree in Electrical and Electronic Engineering, 3-108.

- Lund, H. (2007). Renewable Energy Strategies for Sustainable Development. *Energy*, 32(6), 912–919. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.10.017>
- Maria, C., & Carneiro, S. (2016). Mecanismos de Funcionamento do Mercado de Serviços de Sistema-Aplicação ao Mibel. Instituto Superior de Engenharia Porto. Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia, 1-122.
- MIBEL. (2021). Mibel – Mercado Ibérico de Electricidade. Staff Report. https://www.mibel.com/es/home_es/
- Miguel, N., Correia, P., João, D., Tomé, P., Co-Orientador, S., Engenheira, & Clara, M. J. (2008). Serviços de Sistema-Determinação dos Níveis Requeridos, Metodologias de Alocação e Princípios de Harmonização, 1-150.
- Nuno Miguel Pinto Correia. (2008). Serviços de Sistema-Determinação dos Níveis Requeridos, Metodologias de Alocação e Princípios de Harmonização. Universidade do Porto, 1-3.
- Qin Zhang, J. L. (2012). Demand Response in Electricity Markets. 2012 9th International Conference on the European Energy Market. 10.1109/EEM.2012.6254817
- Palma, R., Matus, M., Torres, R., Benavides, C., Sierra, E., Sepúlveda, R., & Riquelme, F. (2019). Universidad de Chile. Concepto de Flexibilidad en el Sistema Eléctrico Nacional. www.centroenergia.cl
- Ruiz Maldonado, M. G., & Inga, E. (2019). Asignación Óptima de Recursos de Comunicaciones para Sistemas de Gestión De Energía. *Enfoque UTE*, 10(1), 141–152. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1.447>
- Sarmiento, P. P. (2013). Análise dos Resultados do Mercado Ibérico de Electricidade no Ano de 2013 e no Primeiro Semestre de 2014 M 2015. Universidade do Porto. Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, 1-193.
- Sousa, J. C. L. (2013a). Os Serviços de Sistema no MIBEL – Regras de fornecimento e de contratação e resultados obtidos de 2010 a 2012. Universidade do Porto. Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, 1-201.
- Tomé Saraiva, João Paulo; Pinto Pereira da Silva, J. L. (2002). Mercados de Electricidade – Regulação e Tarificação de Uso das Redes (1^a). Universidade do Porto. Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. isbn. 972-752-053-7, 11-253.

University of Illinois Board of Trustees. (2021). IEEE 14-Bus System - Illinois Center for a Smarter Electric Grid (ICSEG). <https://icseg.iti.illinois.edu/ieee-14-bus-system/>

Zhao, H., Wu, Q., Hu, S., Xu, H., & Rasmussen, C. N. (2015). Review of energy storage system for wind power integration support. *Applied Energy*, 137, 545–553. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.103>.

Zhenhua Liu, Adam Wierman, Yuan Chen, & Benjamin Razon. (2013). Data Center Demand Response: Avoiding the Coincident Peak via Workload Shifting and Local Generation. 70, October 2013, 770-791 <https://doi.org/10.1016/j.peva.2013.08.014>.

ANEXOS I - GRÁFICOS DE PERCENTAGEM DE FLEXIBILIDADE MÊS JANEIRO

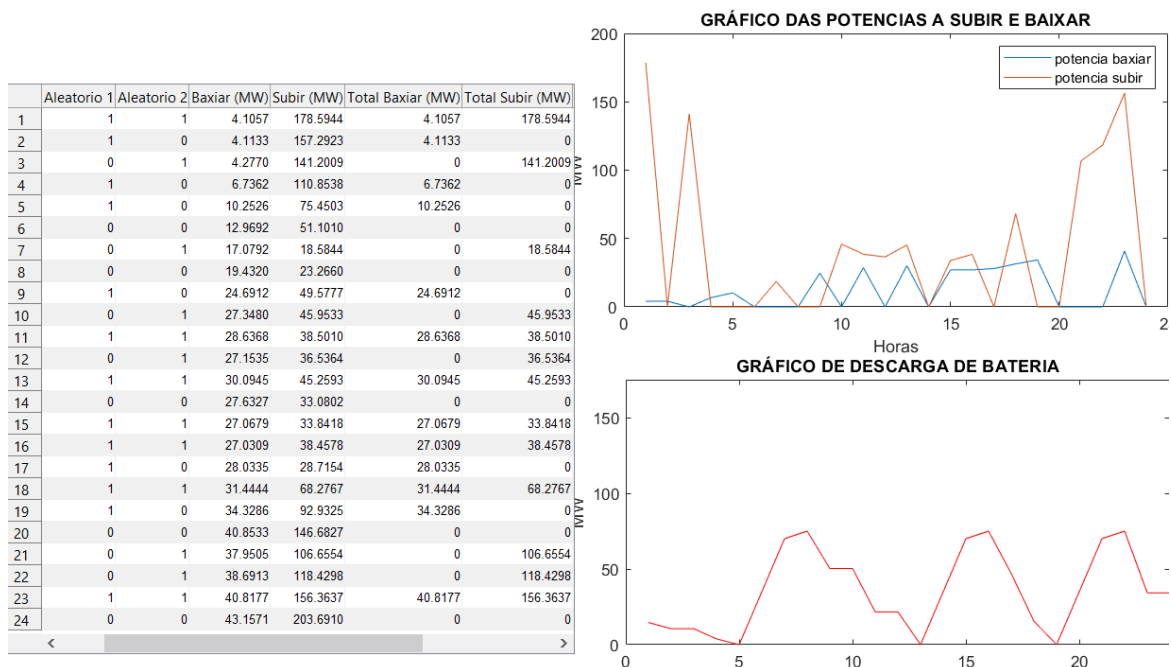


Figura 1 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 1 mês Janeiro.

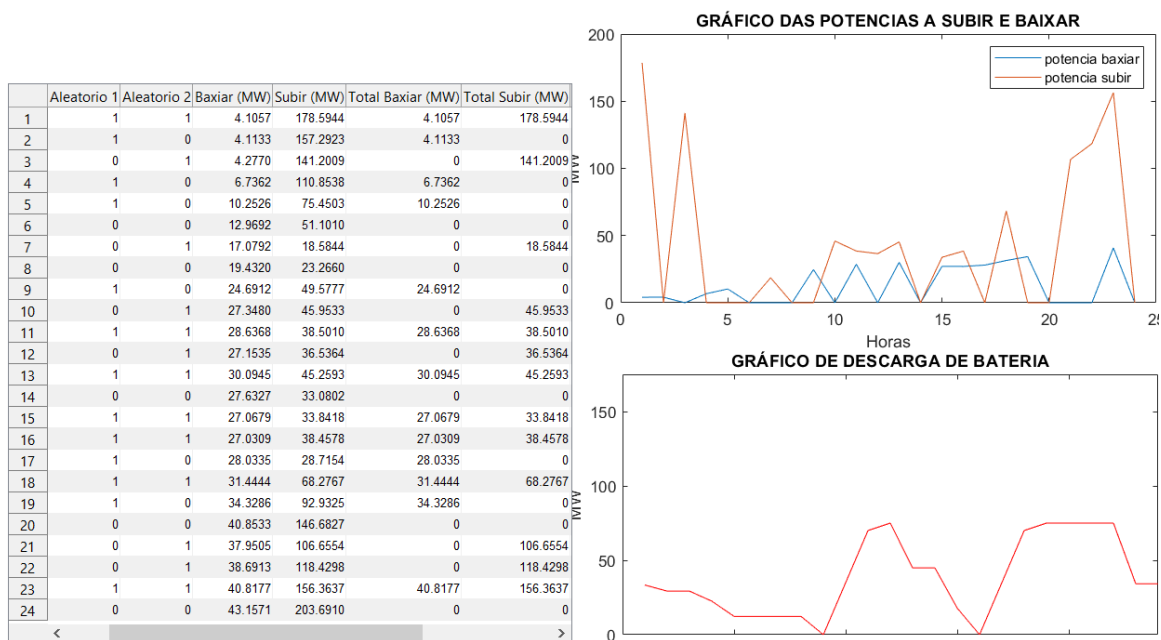


Figura 2 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 1 mês Janeiro.

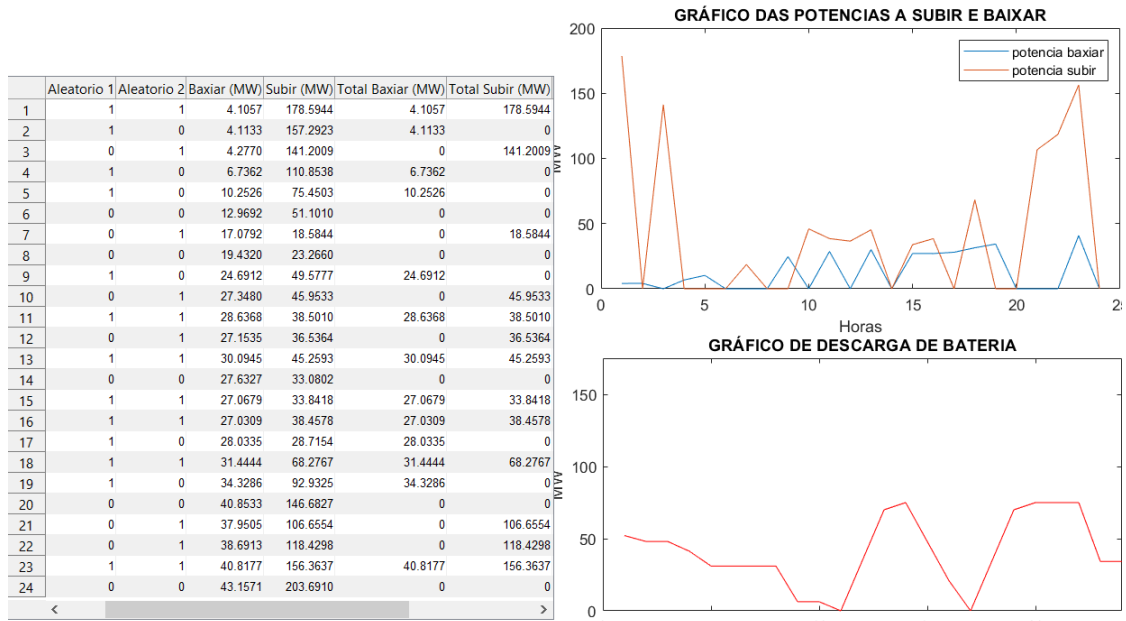


Figura 3 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 1 mês Janeiro.

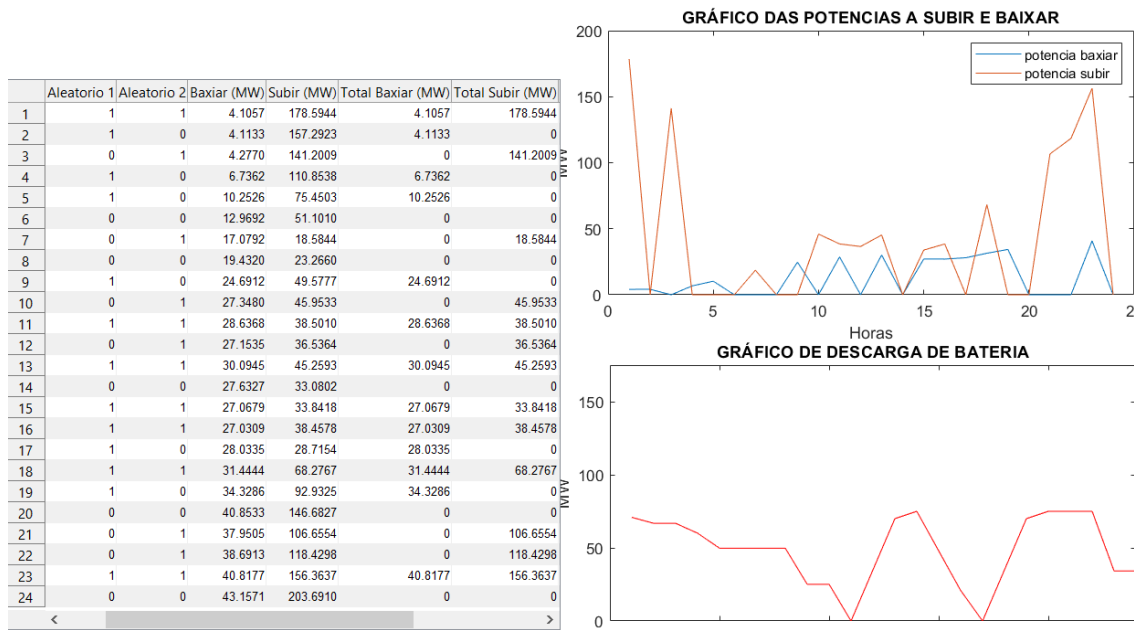


Figura 4 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 1 mês Janeiro.

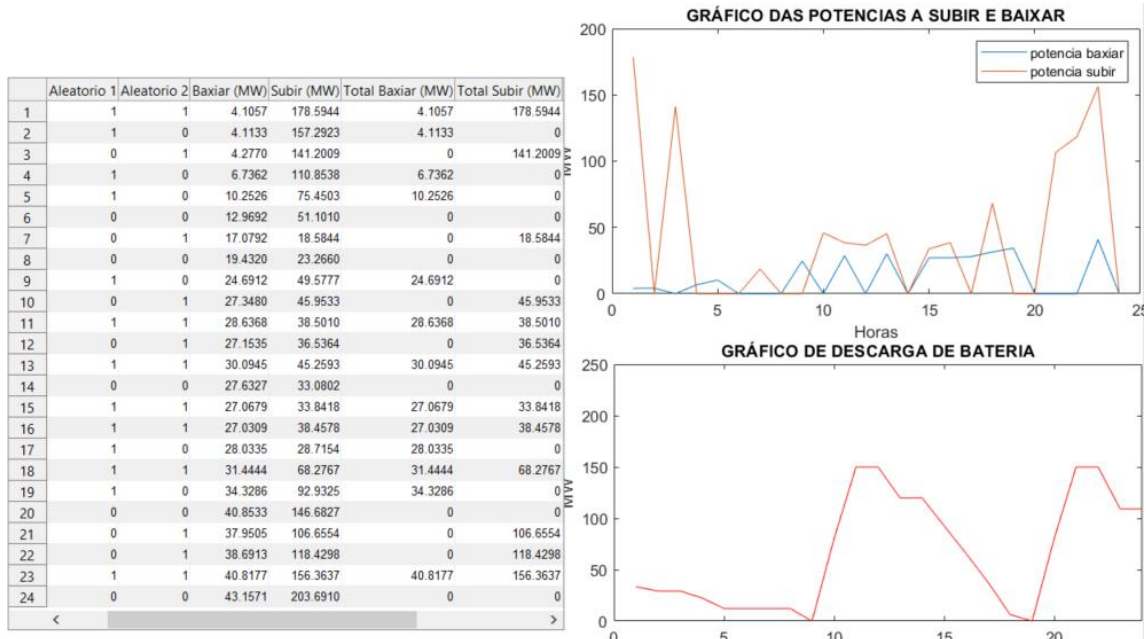


Figura 5 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 2 mês Janeiro.

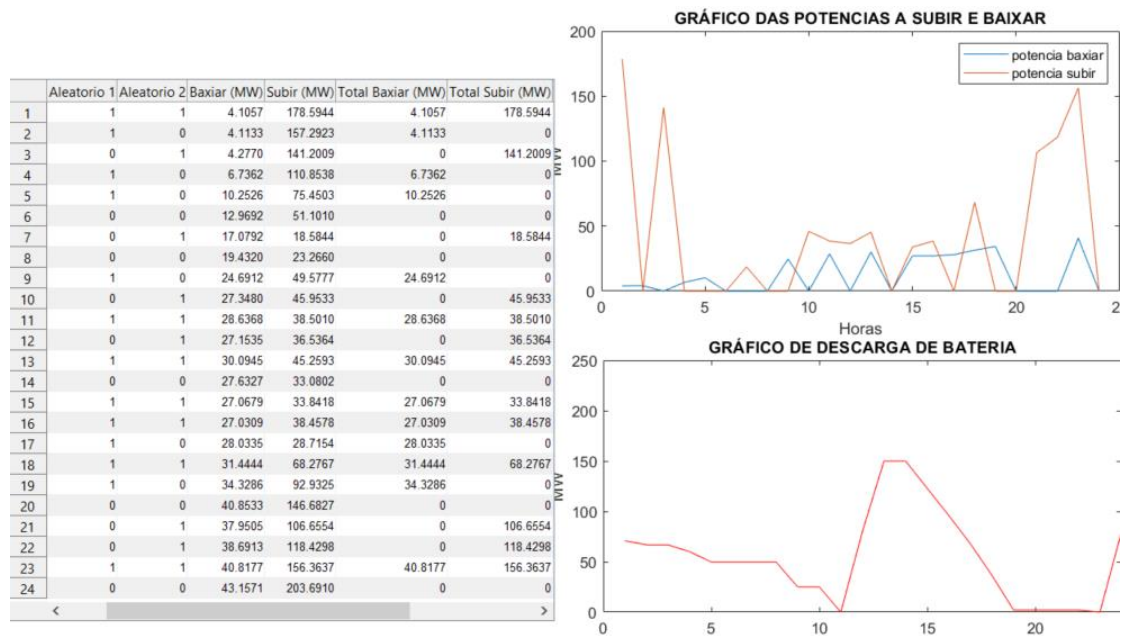


Figura 6 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 2 mês Janeiro.

	Aleatorio 1	Aleatorio 2	Baxiar (MW)	Subir (MW)	Total Baxiar (MW)	Total Subir (MW)
1	1	1	4.1057	178.5944	4.1057	178.5944
2	1	0	4.1133	157.2923	4.1133	0
3	0	1	4.2770	141.2009	0	141.2009
4	1	0	6.7362	110.8538	6.7362	0
5	1	0	10.2526	75.4503	10.2526	0
6	0	0	12.9692	51.1010	0	0
7	0	1	17.0792	18.5844	0	18.5844
8	0	0	19.4320	23.2660	0	0
9	1	0	24.6912	49.5777	24.6912	0
10	0	1	27.3480	45.9533	0	45.9533
11	1	1	28.6368	38.5010	28.6368	38.5010
12	0	1	27.1535	36.5364	0	36.5364
13	1	1	30.0945	45.2593	30.0945	45.2593
14	0	0	27.6327	33.0802	0	0
15	1	1	27.0679	33.8418	27.0679	33.8418
16	1	1	27.0309	38.4578	27.0309	38.4578
17	1	0	28.0335	28.7154	28.0335	0
18	1	1	31.4444	68.2767	31.4444	68.2767
19	1	0	34.3286	92.9325	34.3286	0
20	0	0	40.8533	146.6827	0	0
21	0	1	37.9505	106.6554	0	106.6554
22	0	1	38.6913	118.4298	0	118.4298
23	1	1	40.8177	156.3637	40.8177	156.3637
24	0	0	43.1571	203.6910	0	0

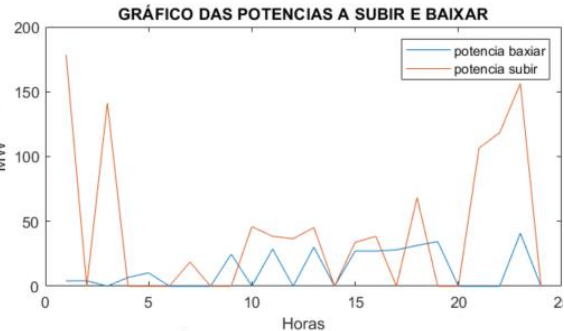


Figura 7 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 2 mês Janeiro.

	Aleatorio 1	Aleatorio 2	Baxiar (MW)	Subir (MW)	Total Baxiar (MW)	Total Subir (MW)
1	1	1	4.1057	178.5944	4.1057	178.5944
2	1	0	4.1133	157.2923	4.1133	0
3	0	1	4.2770	141.2009	0	141.2009
4	1	0	6.7362	110.8538	6.7362	0
5	1	0	10.2526	75.4503	10.2526	0
6	0	0	12.9692	51.1010	0	0
7	0	1	17.0792	18.5844	0	18.5844
8	0	0	19.4320	23.2660	0	0
9	1	0	24.6912	49.5777	24.6912	0
10	0	1	27.3480	45.9533	0	45.9533
11	1	1	28.6368	38.5010	28.6368	38.5010
12	0	1	27.1535	36.5364	0	36.5364
13	1	1	30.0945	45.2593	30.0945	45.2593
14	0	0	27.6327	33.0802	0	0
15	1	1	27.0679	33.8418	27.0679	33.8418
16	1	1	27.0309	38.4578	27.0309	38.4578
17	1	0	28.0335	28.7154	28.0335	0
18	1	1	31.4444	68.2767	31.4444	68.2767
19	1	0	34.3286	92.9325	34.3286	0
20	0	0	40.8533	146.6827	0	0
21	0	1	37.9505	106.6554	0	106.6554
22	0	1	38.6913	118.4298	0	118.4298
23	1	1	40.8177	156.3637	40.8177	156.3637
24	0	0	43.1571	203.6910	0	0

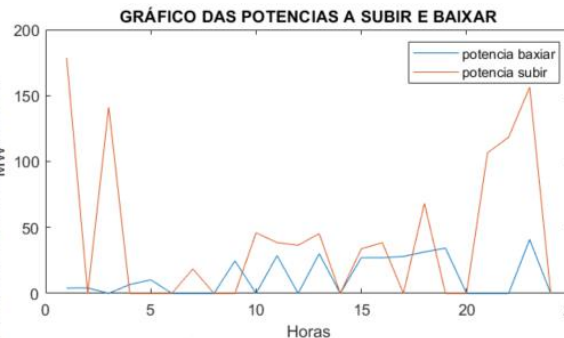


Figura 8 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 2 mês Janeiro.

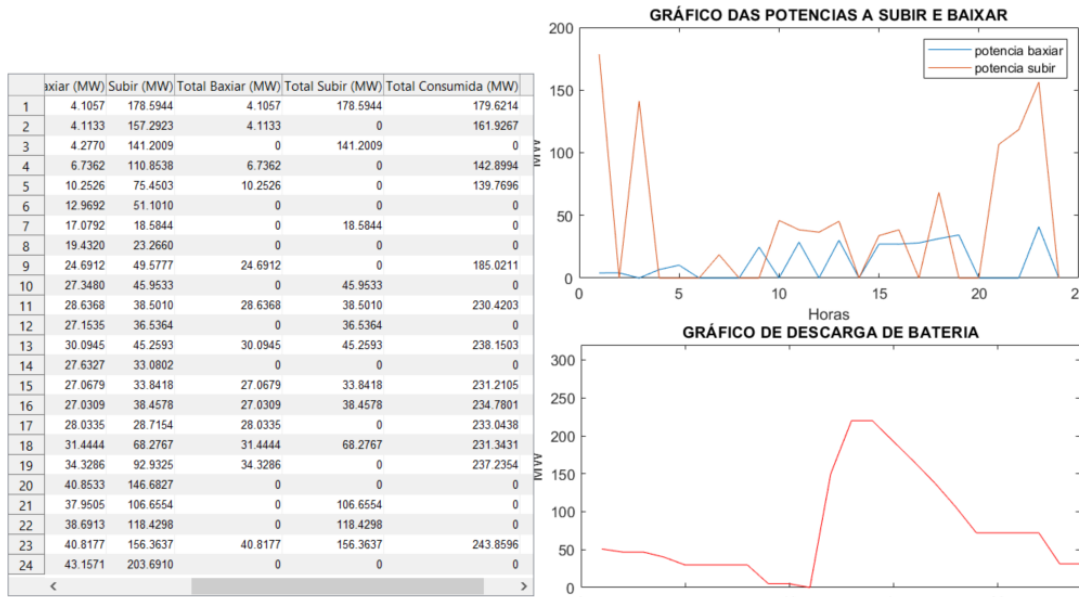


Figura 9 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 3 mês Janeiro.

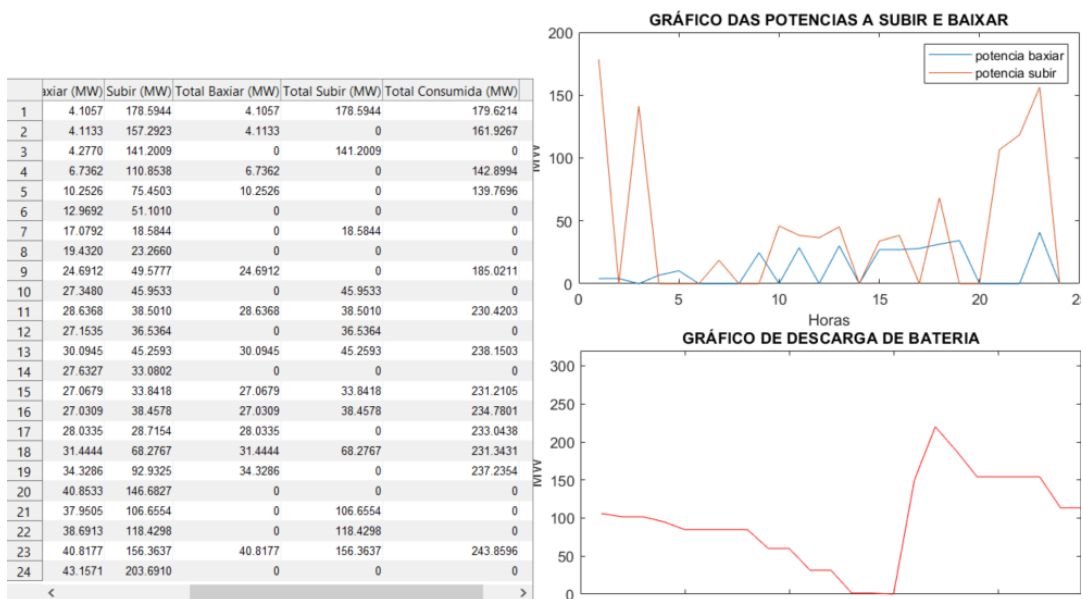


Figura 10 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 3 mês Janeiro.

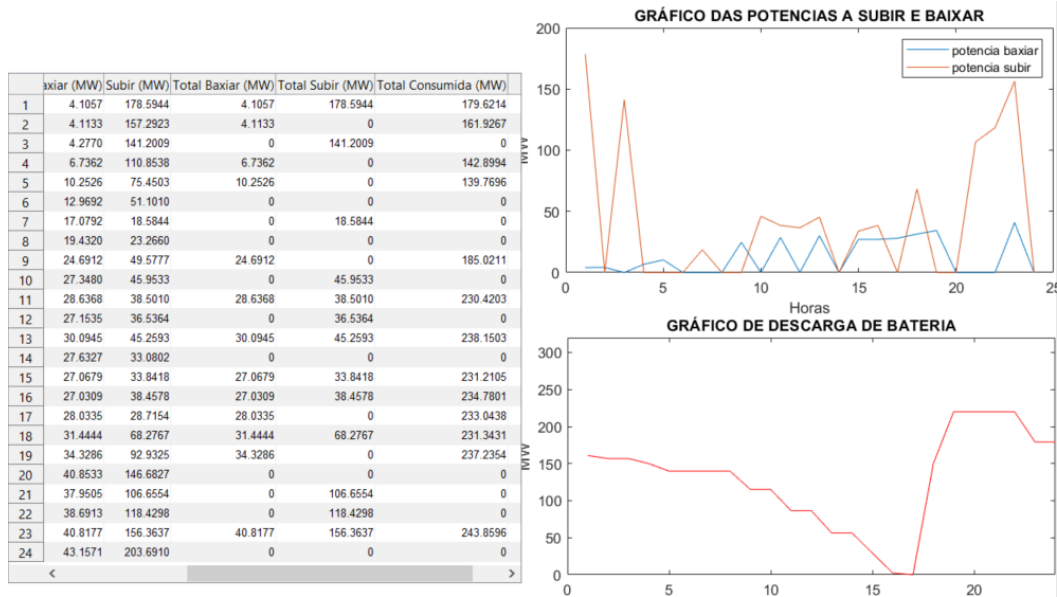


Figura 11 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 3 mês Janeiro.

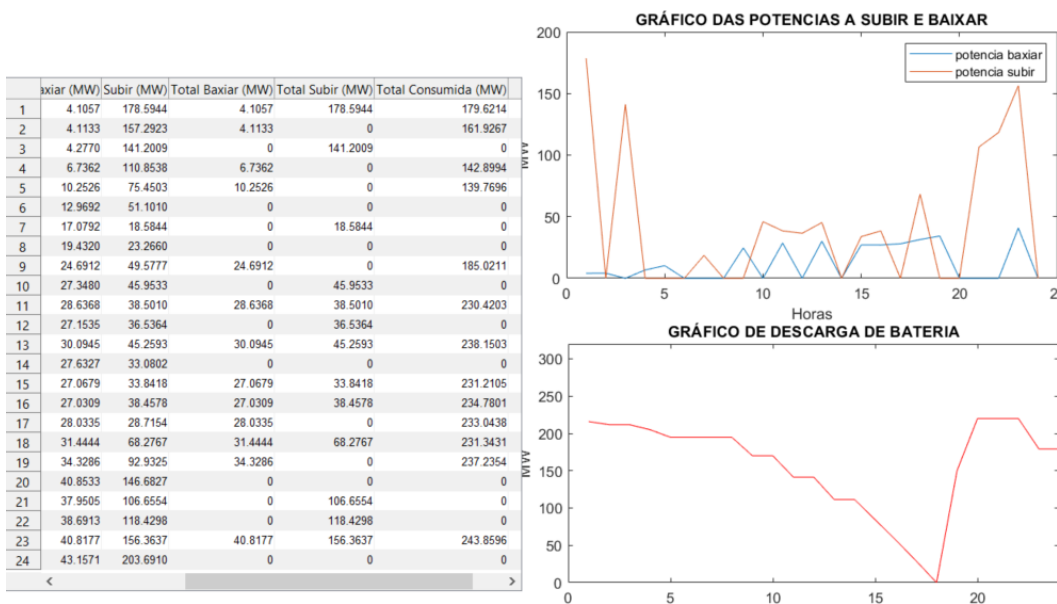


Figura 12 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 3 mês Janeiro.

ANEXOS II - GRÁFICOS DE PERCENTAGEM DE FLEXIBILIDADE MÊS JUNHO

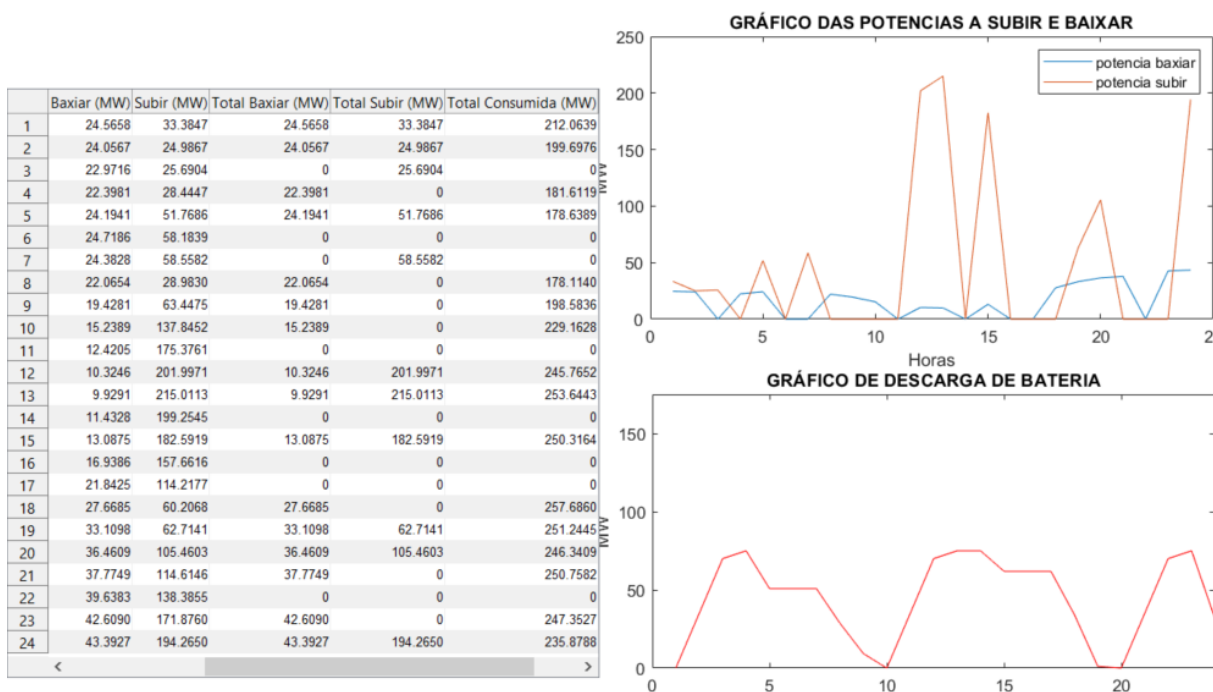


Figura 13 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 1 mês Junho.

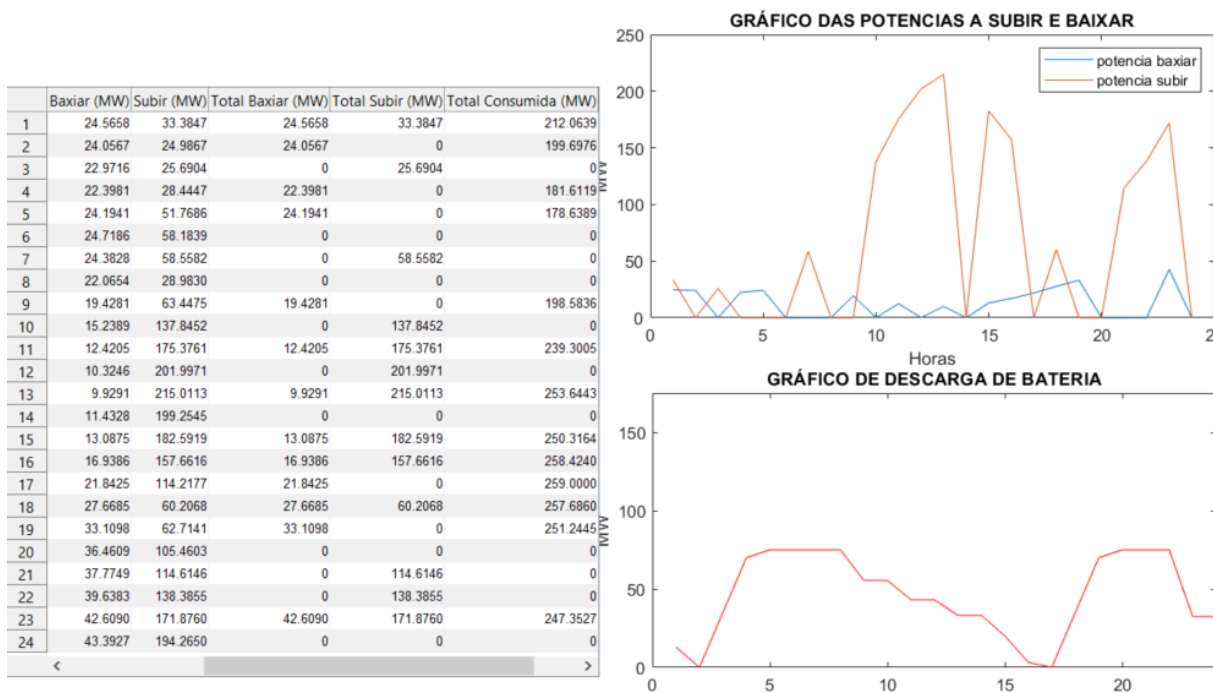


Figura 14 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 1 mês Junho.

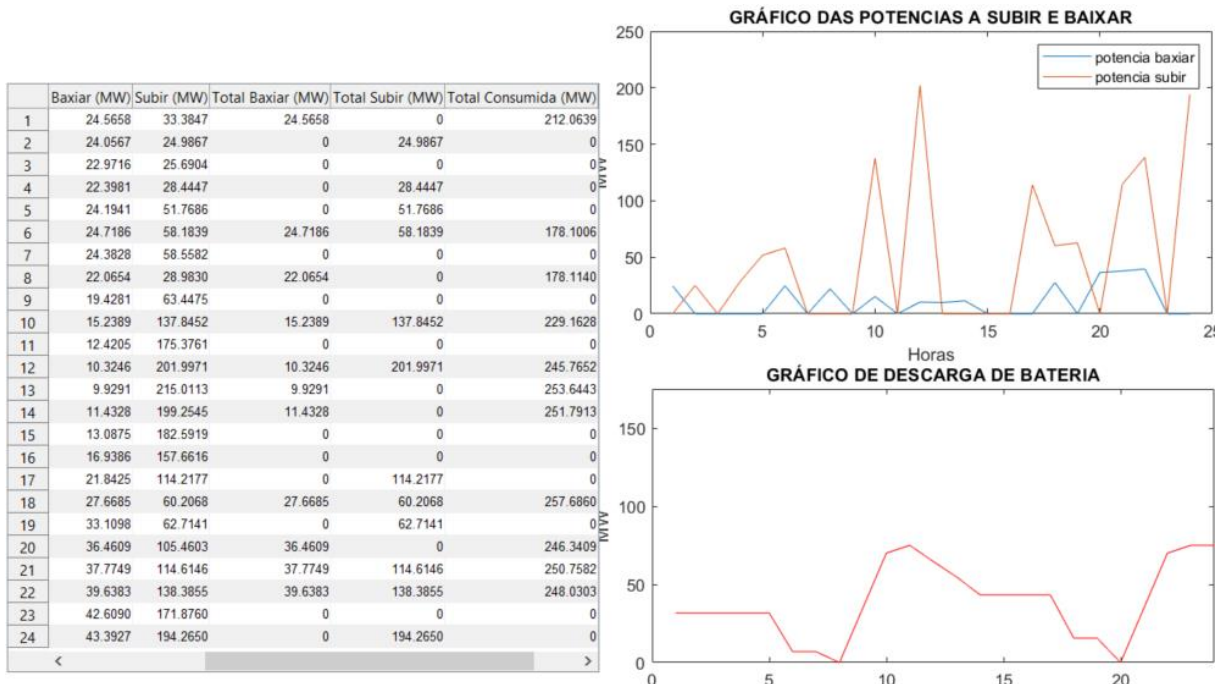


Figura 15 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 1 mês Junho.

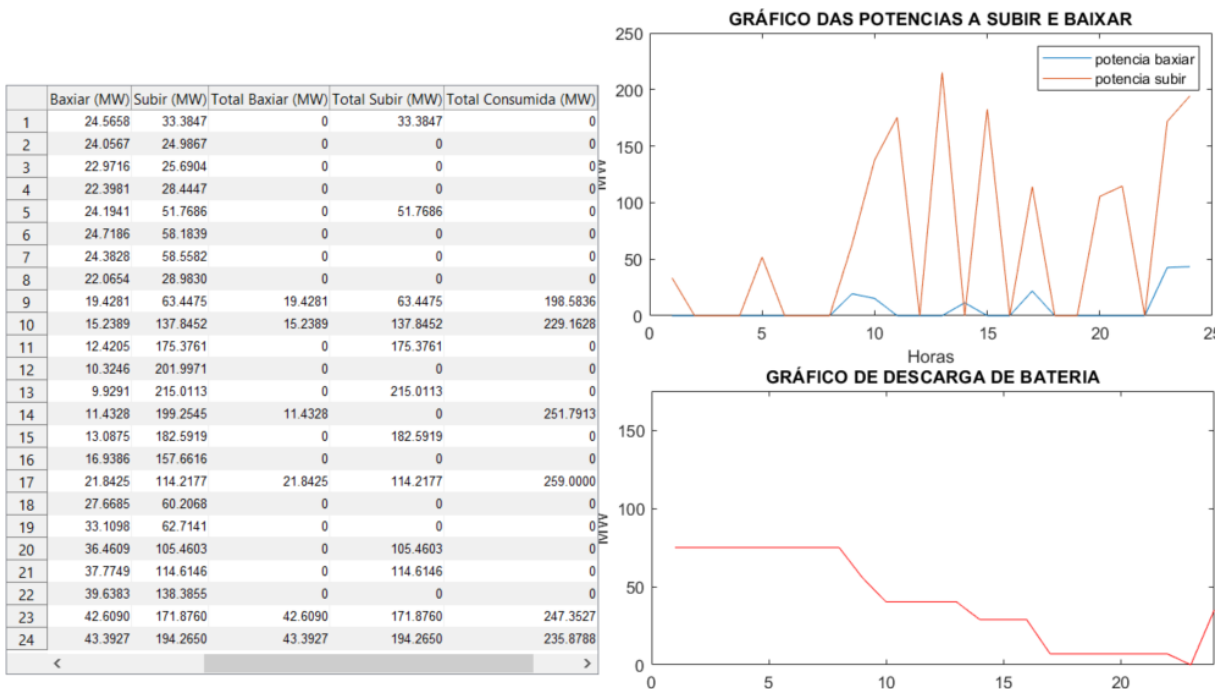


Figura 16 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 1 mês Junho.

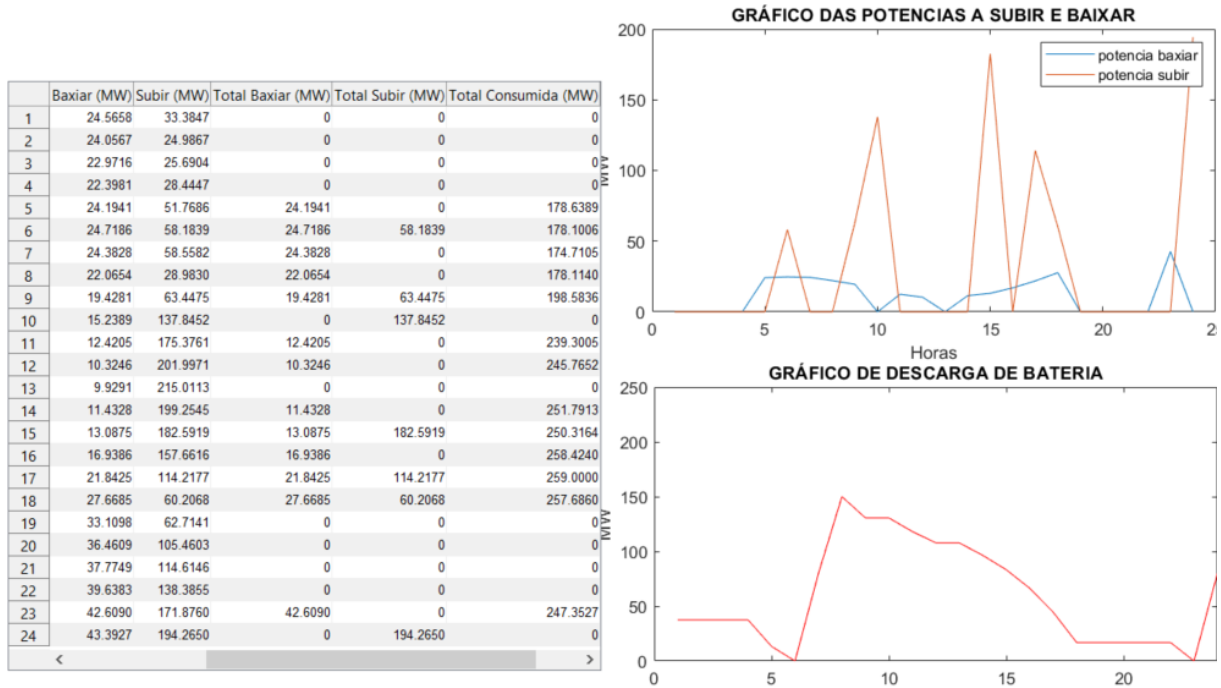


Figura 17 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 2 mês Junho.

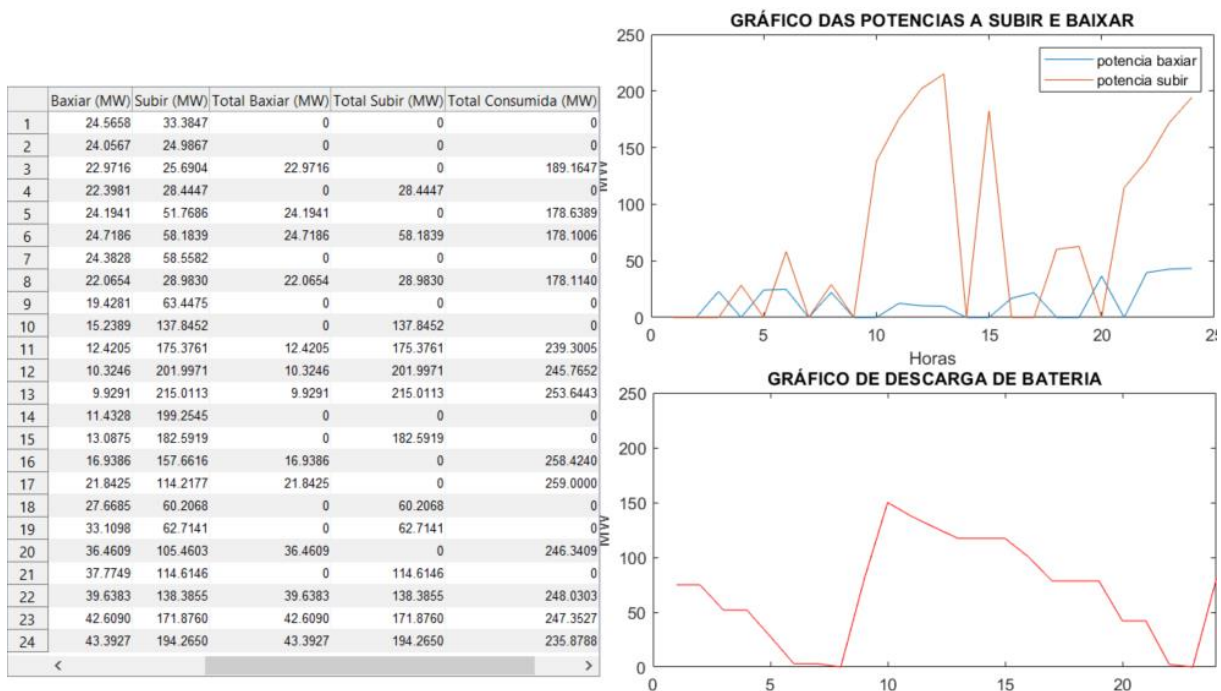


Figura 18 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 2 mês Junho.

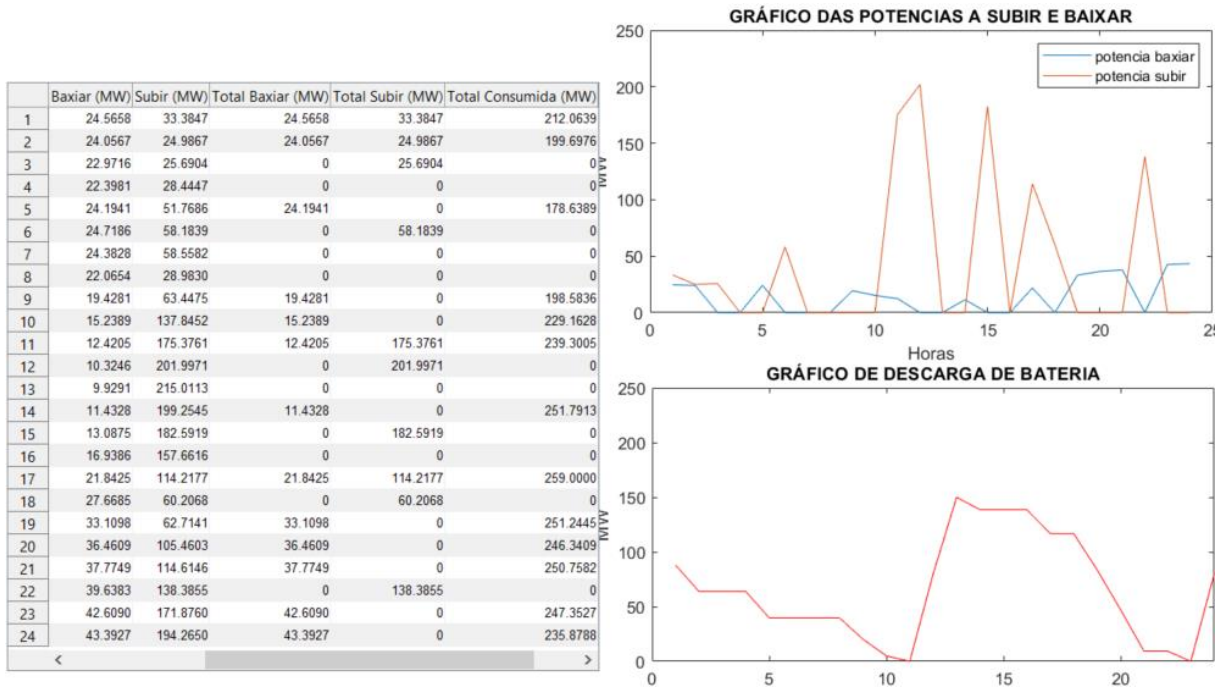


Figura 19 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 1 mês Junho.

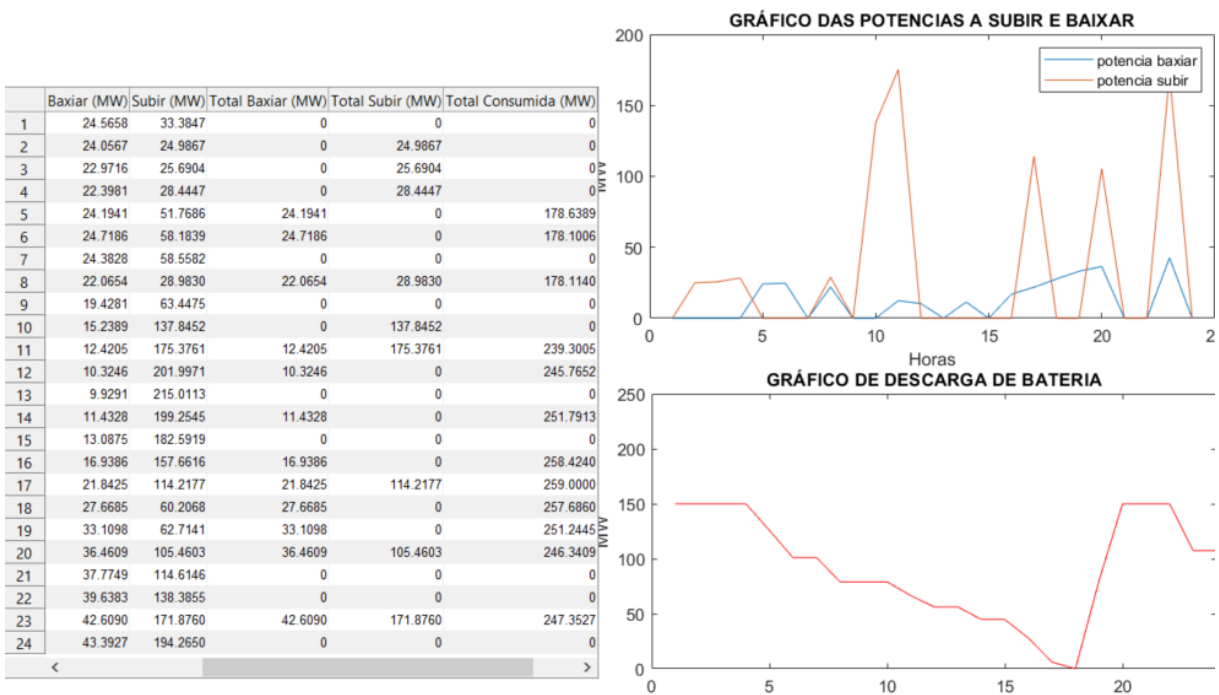


Figura 20 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 2 mês Junho.

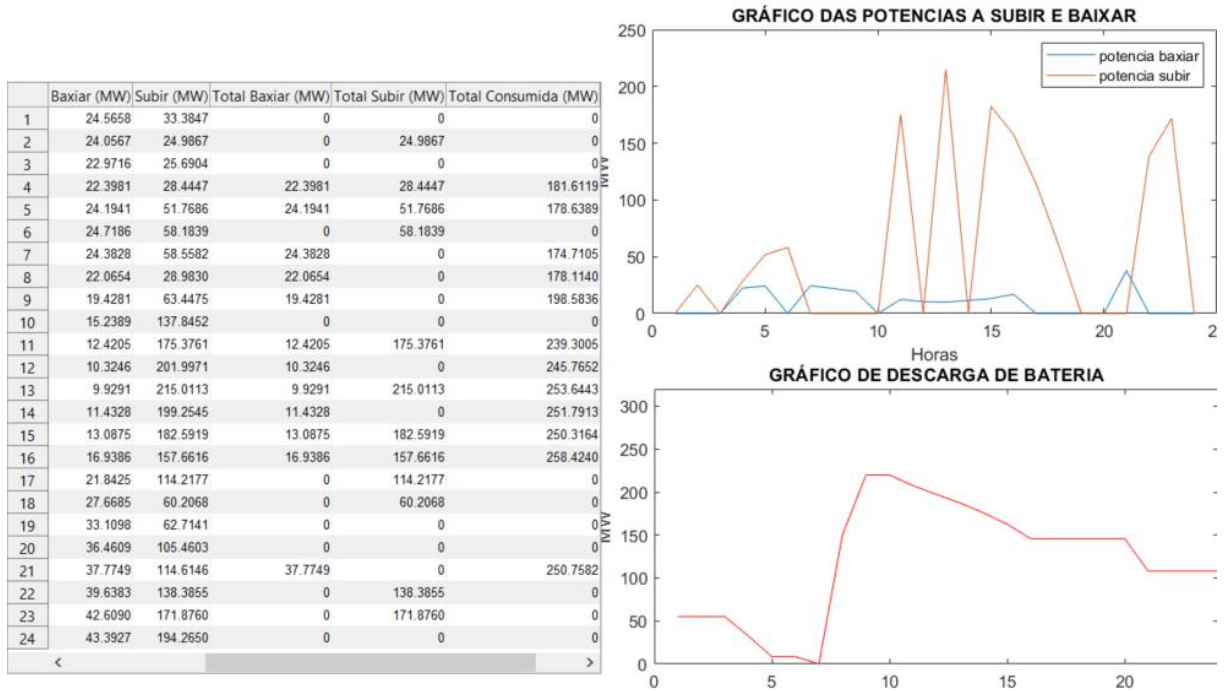


Figura 21 - Flexibilidade da bateria a 25% etapa 3 mês Junho.

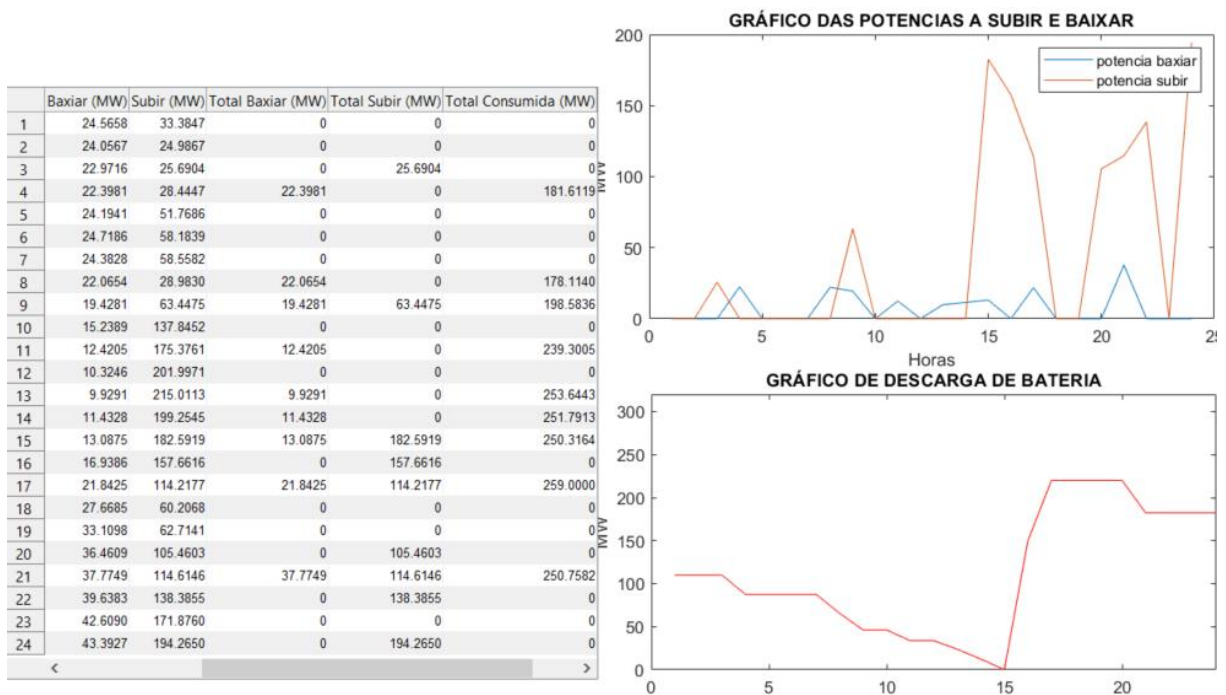


Figura 22 - Flexibilidade da bateria a 50% etapa 3 mês Junho.

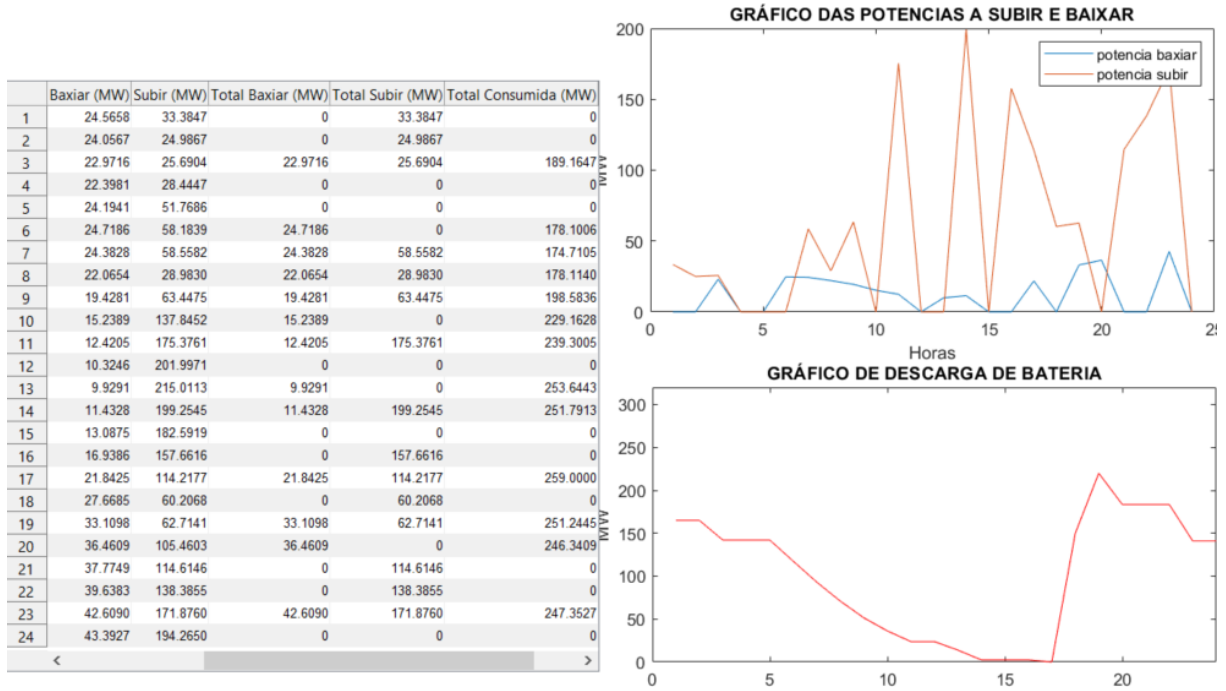


Figura 23 - Flexibilidade da bateria a 75% etapa 3 mês Junho.

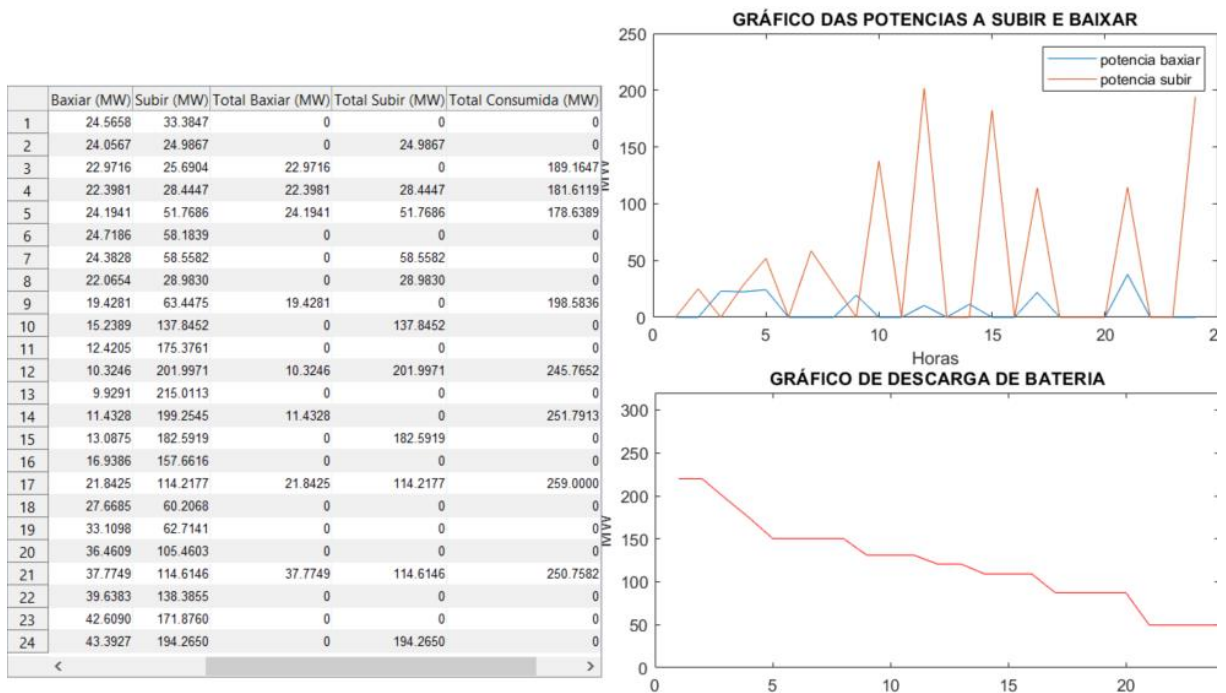


Figura 24 - Flexibilidade da bateria a 100% etapa 3 mês Junho.

ANEXOS III CODIGO

Anexo A

```
function varargout = GUI_1(varargin)
% GUI_1 MATLAB code for GUI_1.fig
%     GUI_1, by itself, creates a new GUI_1 or raises the
existing
%     singleton*.
%
%     H = GUI_1 returns the handle to a new GUI_1 or the
handle to
%     the existing singleton*.
%
%     GUI_1('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
%     function named CALLBACK in GUI_1.M with the given
input arguments.
%
%     GUI_1('Property','Value',...) creates a new GUI_1
or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left,
property value pairs are
%     applied to the GUI before GUI_1_OpeningFcn gets
called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes
property application
%     stop. All inputs are passed to GUI_1_OpeningFcn
via varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose
"GUI allows only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help GUI_1

% Last Modified by GUIDE v2.5 04-Nov-2021 11:04:07

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
```

```

        'gui_OpeningFcn', @GUI_1_OpeningFcn,
    ...
        'gui_OutputFcn', @GUI_1_OutputFcn, ...
        'gui_LayoutFcn', [], ...
        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if narginout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before GUI_1 is made visible.
function GUI_1_OpeningFcn(hObject, ~, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% varargin   command line arguments to GUI_1 (see
VARARGIN)

% Choose default command line output for GUI_1
global datosW datosG datosH
handles.output = hObject;
axes(handles.axes1)
handles.imagen=imread('imagenes/ipl.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off
axes(handles.axes2)
handles.imagen=imread('imagenes/W14.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off
arch=dir('*.xlsx');
[m , ~]=size(arch);
d=[" "];
for i=1:m
    d=[d strcat(arch(i).name,"")];
end
set(handles.produccion, 'String',d)

```

```
set(handles.consumo, 'String', d)
try
datosW=varargin{1}
datosG=varargin{2}
datosH=varargin{3}
set(handles.bateria, 'enable', 'on')
catch
    disp('error')
end
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes GUI_1 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the
command line.
function varargout = GUI_1_OutputFcn(~, ~, handles)
% varargout cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on selection change in produccion.
function produccion_Callback(~, eventdata, handles)
% hObject handle to produccion (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global dia mes anio hora load market wind gas hidro
mese = {'JANEIRO', 'FEVEREIRO', 'MARÇO', 'ABRIL', 'MAIO',
'JUNHO', 'JULHO', 'AGOSTO', 'SETEMBRO', 'OUTUBRO',
'NOVEMBRO', 'DEZEMBRO'}
archiv=get(handles.consumo, 'String');
archiv=archiv{get(handles.consumo, 'Value')}

archiv1=get(handles.produccion, 'String');
archiv1=archiv1{get(handles.produccion, 'Value')}
```

```
[datos,txt,~] = xlsread(archiv);
[datos2,txt2,~] = xlsread(archiv1);
data1=txt(:,1);
horas=datos(:,1);
loader=datos(:,2);
markets=datos(:,3);
wind=datos2(:,4);
gas=datos2(:,8);
hidro=datos2(:,2);
dia=[];
mes=[];
anio=[];
hora=[];
load=[];
market=[];

for i = 2:length(data1)
    date = char(data1(i));
    idx = strfind(date, '/');
    dia = [dia str2num(date(1:idx(1)-1))];
    mes = [mes str2num(date(idx(1)+1:idx(2)-1))];
    anio = [anio str2num(date(idx(2)+1:length(date)))]];
    hora= [hora horas(i-1)];
    load= [load loader(i-1)];
    market=[market markets(i-1)];
end
set(handles.mes, 'String', mese)
msgbox('Se cargo la informacion.', 'Informacion');
```



```
% Hints: contents = cellstr(get(hObject, 'String')) returns
production contents as cell array
%         contents{get(hObject, 'Value')} returns selected
item from production
```



```
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function produccion_CreateFcn(hObject, ~, ~)
% hObject    handle to produccion (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called
```

```
% Hint: popupmenu controls usually have a white background
on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in mes.
function mes_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to mes (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global dia mes anio max vall val market fecha diaA maxW
maxH maxG wind gas hidro
val= get(handles.mes,'Value')
max=0;
vall=0;
maxW=0;
maxG=0
maxH=0;
for i = 1:length(dia)

    if mes(i)==val
        if market(i)>max
            max=market(i);
            vall=i;
        end
        if wind(i)>maxW
            maxW=wind(i);
        end
        if gas(i)>maxG
            maxG=gas(i);
        end
        if hidro(i)>maxH
            maxH=hidro(i);
        end
    end
end
end
fecha=strcat(num2str(dia(vall)), '/', num2str(mes(vall)), '/'
, num2str(anio(vall)))
diaA=dia(vall);
set(handles.fecha,'String',fecha)
```

```
set(handles.potencia, 'String', max)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject, 'String')) returns
mes contents as cell array
%         contents{get(hObject, 'Value')} returns selected
item from mes

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function mes_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to mes (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background
on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Executes on button press in calcular.
function calcular_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to calcular (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global dia mes max vall val market hora dataR wind gas
hidro maxH maxG maxW dataG dataW dataH
barras=[ 21.7 94.2 47.8 7.6 11.2 29.5 9 3.5 6.1 13.5
14.9];
geradores=[ 332.4 140 100 100 100];
dataR=[];
dataW=[]
dataG=[]
dataH=[]
for i = 1:length(dia)
    b1=[];
    b2=[];
    b3=[];
    b4=[];
```

```

if mes(i)==val && dia(i)==dia(val1)
    b1=[b1 hora(i)];
    sum=0;
    for j=1:length(barras)
        b1=[b1 (market(i)*barras(j)/max)];
        sum=sum+(market(i)*barras(j)/max);
    end
    sum1=0;
    sum2=0;
    sum3=0;

    b2=[b2 hora(i) wind(i)];
    b3=[b3 hora(i) gas(i)];
    b4=[b4 hora(i) hidro(i)];
    for j=1:length(generadores)
        b2=[b2 (wind(i)*generadores(j)/maxW)];
        sum1=sum1+(wind(i)*generadores(j)/maxW);

        b3=[b3 (gas(i)*generadores(j)/maxG)];
        sum2=sum2+(gas(i)*generadores(j)/maxG);

        b4=[b4 (hidro(i)*generadores(j)/maxH)];
        sum3=sum3+(hidro(i)*generadores(j)/maxH);
    end

    b1=[b1 sum];
    b2=[b2 sum1];
    b3=[b3 sum2];
    b4=[b4 sum3];
    dataR=[dataR;b1];
    dataW=[dataW;b2];
    dataG=[dataG;b3];
    dataH=[dataH;b4];
end
end

set(handles.tabla,'data',dataR)
msgbox('Los datos se vizualizaran en la
tabla','Informacion');
set(handles.graficas,'enable','on')
set(handles.reservaS,'enable','on')
set(handles.reservaT,'enable','on')

% --- Executes on button press in graficas.
function graficas_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```
% hObject      handle to graficas (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global dataR
grafica(dataR)

% --- Executes on button press in reservaS.
function reservaS_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to reservaS (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global dataR diaA fecha
reserva_s(dataR, fecha)

% --- Executes on selection change in consumo.
function consumo_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to consumo (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns
consumo contents as cell array
%           contents{get(hObject,'Value')} returns selected
item from consumo

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function consumo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to consumo (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background
on Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
        set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Executes on button press in reservaT.
function reservaT_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to reservaT (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global dataW dataG dataH dataR fecha maxH maxG maxW
tercia(dataW,dataG, dataH, dataR, fecha, maxH, maxG, maxW)

% --- Executes on button press in bateria.
function bateria_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to bateria (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global dadosW dadosG dadosH dataR fecha
bateria(dadosW, dadosG, dadosH, dataR, fecha)
```

Anexo B

```
function varargout = bateria(varargin)
% bateria MATLAB code for bateria.fig
%     bateria, by itself, creates a new bateria or raises
the existing
%     singleton*.
%
%     H = bateria returns the handle to a new bateria or
the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     bateria('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
%     function named CALLBACK in bateria.M with the given
input arguments.
%
%     bateria('Property','Value',...) creates a new
bateria or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left,
property value pairs are
```

```
% applied to the GUI before bateria_OpeningFcn gets
called. An
% unrecognized property name or invalid value makes
property application
% stop. All inputs are passed to bateria_OpeningFcn
via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose
"GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help
bateria

% Last Modified by GUIDE v2.5 20-Nov-2021 22:07:59

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',      mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @bateria_OpeningFcn,
                  ...
                  'gui_OutputFcn',  @bateria_OutputFcn,
                  ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before bateria is made visible.
function bateria_OpeningFcn(hObject, ~, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
```

```
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% varargin     command line arguments to bateria (see
VARARGIN)
% Choose default command line output for bateria
handles.output = hObject;
global dadosW dadosG dadosH dataR fecha

axes(handles.axes1)
handles.imagen=imread('imagenes/ipl.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off
dadosW=varargin{1}
dadosG=varargin{2}
dadosH=varargin{3}
dataR=varargin{4}
fecha=varargin{5}

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes bateria wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the
command line.
function varargout = bateria_OutputFcn(~, ~, handles)
% varargout    cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject     handle to figure
% eventdata   reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on selection change in arquivos.
function arquivos_Callback(~, eventdata, handles)
% hObject     handle to arquivos (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
```

```
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns
archivos contents as cell array
%           contents{get(hObject,'Value')} returns selected
item from arquivos

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function arquivos_CreateFcn(hObject, ~, ~)
% hObject      handle to arquivos (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background
on Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in mes.
function mes_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to mes (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns
mes contents as cell array
%           contents{get(hObject,'Value')} returns selected
item from mes

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
```

```
function mes_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to mes (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background
on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in calcular.
function calcular_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to calcular (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% --- Executes on button press in regesar.
function regesar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to regesar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
guide=get(0,'CurrentFigure');
delete(guide);
GUI_1

% --- Executes on button press in reservaS.
function reservaS_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to reservaS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
% --- Executes on button press in gerar.
function gerar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to gerar (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global dadosW dadosG dadosH dataR fecha dados nb
dadosD=[];
val= get(handles.popupmenu4, 'Value')
if val == 2
    dadosD=dadosW
end
if val == 3
    dadosD=dadosG
end

if val == 4
    dadosD=dadosH
end

alea1=[]
alea2=[]

for i=1:24
    if(rand()>=0.5)
        alea1=[alea1 1];
    else
        alea1=[alea1 0];
    end
end
for i=1:24
    if(rand()>=0.5)
        alea2=[alea2 1];
    else
        alea2=[alea2 0];
    end
end

alea1=alea1';
alea2=alea2';
hora=dadosD(:,1)
bajar=dadosD(:,2)
subir=dadosD(:,3)
potencia=dataR(:,13)
nb=bajar.*alea1;
```

```
ns= subir.*alea2;
pot= (potencia.*alea1);
datos=[hora alea1 alea2 bajar subir nb ns pot]
set(handles.tabla, 'data', datos)
axes(handles.axes5)
plot(hora,nb)
hold on
plot(hora,ns)
hold off
title('GRÁFICO DAS POTENCIAS A SUBIR E BAIIXAR')
xlabel('Horas')
ylabel('MW')
legend('potencia baxiar','potencia subir')

% --- Executes on selection change in popupmenu4.
function popupmenu4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to popupmenu4 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns
popupmenu4 contents as cell array
%           contents{get(hObject,'Value')} returns selected
item from popupmenu4

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function popupmenu4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to popupmenu4 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background
on Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

end

```
function capacidad_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to capacidad (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
capacidad as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of capacidad as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function capacidad_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to capacidad (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function energia_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to energia (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of energia
as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of energia as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function energia_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to energia (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on slider movement.
function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to slider1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
val= get(handles.slider1,'Value')*100;
val=round(val);
set(handles.por,'string',strcat(num2str(val),'%'))

% Hints: get(hObject,'Value') returns position of slider
%         get(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to
determine range of slider

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function slider1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to slider1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: slider controls usually have a light gray
background.
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
set(hObject, 'BackgroundColor', [.9 .9 .9]);
end

% --- Executes on button press in pushbutton5.
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton5 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global datos nb dataBat
pot=datos(:,7);
hora1=datos(:,1);
capacidad=str2num(get(handles.capacidad, 'String'));
porcentaje=round(get(handles.slider1, 'value')*100);
bateria= capacidad*porcentaje/100;
potenciaB= str2num(get(handles.energia, 'String'));
tc=capacidad/potenciaB
dataB1=[];
act = 0;
j=0;
potE=capacidad/tc
hora=[];

cla(handles.axes6)
axes(handles.axes6)
estado=[];
for i=1:24

    if act == 0
        bateria = bateria - nb(i);
        estado=[estado; 0]
        if bateria<=0
            bateria=0;
            act=1;
        end
    else

        j=j+1;
        if j>=tc
            act=0;
            j=0;
            bateria=capacidad;
        else
            bateria=bateria+potE;
        end
    end
end
```

```
estado=[estado; 1];

end
dataB1=[dataB1; bateria];
hora=[hora i];
plot(hora, dataB1, 'r')
ylim([0 capacidad+100])
xlim([0 24])
title('GRÁFICO DE DESCARGA DE BATERIA')
xlabel('Horas')
ylabel('MW')
pause(0.1)

end
msgbox('Termino', 'Informacion');
set(handles.bateria_ver, 'enable', 'on')
dataBat=[horal dataB1 estado];

% --- Executes on button press in bateria_ver.
function bateria_ver_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to bateria_ver (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global dataBat
verB(dataBat)
```

Anexo C

```
function varargout = grafica(varargin)
% grafica MATLAB code for grafica.fig
% grafica, by itself, creates a new grafica or raises
the existing
% singleton*.
%
% H = grafica returns the handle to a new grafica or
the handle to
% the existing singleton*.
%
```

```
% grafica('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
% function named CALLBACK in grafica.M with the given
input arguments.
%
% grafica('Property','Value',...) creates a new
grafica or raises the
% existing singleton*. Starting from the left,
property value pairs are
% applied to the GUI before grafica_OpeningFcn gets
called. An
% unrecognized property name or invalid value makes
property application
% stop. All inputs are passed to grafica_OpeningFcn
via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose
"GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help
grafica

% Last Modified by GUIDE v2.5 27-Oct-2021 15:46:42

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name', mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @grafica_OpeningFcn,
                  ...
                  'gui_OutputFcn', @grafica_OutputFcn,
                  ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
```

```
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before grafica is made visible.
function grafica_OpeningFcn(hObject, ~, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% varargin   command line arguments to grafica (see
VARARGIN)

% Choose default command line output for grafica
handles.output = hObject;
barras=[ 21.7 94.2 47.8 7.6 11.2 29.5 9 3.5 6.1 13.5
14.9];
axes(handles.axes1)
handles.imagen=imread('imagenes/ipl.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off
data=varargin{1}
x=data(:,1)
axes(handles.axes2)
for i=2:12
    y=data(:,i)
    plot(x,y)
    hold on
end
legend(strcat(num2str(barras(1)), 'MW'),strcat(num2str(barr
as(2)), 'MW'),strcat(num2str(barras(3)), 'MW'),strcat(num2st
r(barras(4)), 'MW'),strcat(num2str(barras(5)), 'MW'),strcat(
num2str(barras(6)), 'MW'),strcat(num2str(barras(7)), 'MW'),s
trcat(num2str(barras(8)), 'MW'),strcat(num2str(barras(9)), '
MW'),strcat(num2str(barras(10)), 'MW'),strcat(num2str(barra
s(11)), 'MW'))
title('GRÁFICO DE BARRAS')
xlabel('Horas')
ylabel('MW')
grid on
axes(handles.axes3)
y=data(:,13)
plot(x,y)
title('GRÁFICO TOTAL')
xlabel('Horas')
ylabel('MW')
```

```
grid on
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes grafica wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the
command line.
function varargout = grafica_OutputFcn(~, ~, handles)
% varargout cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on selection change in arquivos.
function arquivos_Callback(~, eventdata, handles)
% hObject handle to arquivos (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns
archivos contents as cell array
% contents{get(hObject,'Value')} returns selected
item from arquivos

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function arquivos_CreateFcn(hObject, ~, ~)
% hObject handle to arquivos (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
```

```
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background
on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in mes.
function mes_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to mes (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns
mes contents as cell array
%      contents{get(hObject,'Value')} returns selected
item from mes

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function mes_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to mes (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background
on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in calcular.
function calcular_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject    handle to calcular (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
% --- Executes on button press in regresar.
function regresar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to regresar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
guide=get(0,'CurrentFigure');
delete(guide);
GUI_1s
```

```
% --- Executes on button press in reservaS.
function reservaS_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to reservaS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```