



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica

Marcus Vinícius Costa Pereira

Relatório de Estágio Supervisionado

Campina Grande, Paraíba, Brasil
27 de março de 2025

Marcus Vinícius Costa Pereira

Relatório de Estágio Supervisionado

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Marcus Marinho Bezerra

Campina Grande, Paraíba, Brasil

27 de março de 2025

Marcus Vinícius Costa Pereira

Relatório de Estágio Supervisionado

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 27/03/2025

Prof. Marcus Marinho Bezerra

Orientador

Prof. Sérgio Natan Silva

Avaliador

Campina Grande, Paraíba, Brasil
27 de março de 2025

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus, pois tudo posso nEle. À Nossa Senhora das Graças, agradeço imensamente por ser intermediadora da graça de Deus em minha vida e minha intercessora.

Aos meus pais, José Pereira e Samara Costa, e minha irmã Maria Sophia, a eterna gratidão e amor por vocês que foram meu maior alicerce durante toda a jornada, toda minha vida, em meio a todos os percalços do dia a dia -que só nós sabemos- nos mantivemos sempre em constante vontade de sermos mais e, sem vocês, nada disso seria possível. É justo que tudo custe o que muito vale; com vocês, vale muito mais! Obrigado por serem tudo para mim!

Agradeço também à minha amada Isabelle. Sabemos tudo que significamos um ao outro e, ainda que busquemos entender tudo isso, sabemos que só há uma explicação e fundamento: Deus. Obrigado por me acompanhar, me incentivar e me encorajar em toda essa vida que temos um ao lado do outro.

Agradeço também à todos os meus amigos: mais antigos, mais recentes, da caminhada da igreja, da época do colégio, meus primos, tios, todos os familiares como um todo: Minha eterna gratidão por serem apoio para mim também.

Meu agradecimento ao Professor Dr. Marcus Marinho Bezerra, meu orientador de estágio e amigo particular, por prestar apoio constante em minha vida profissional -e pessoal-, me orientando diretamente nos encargos do estágio desenvolvido com êxito, concedendo-me novos aprendizados e desenvolvimentos.

Agradeço à Universidade Federal de Campina Grande pelas oportunidades de aprendizado e ensino, com todo seu arcabouço docente do Departamento de Engenharia Elétrica, cuja dedicação foram essenciais para minha jornada.

Lista de abreviaturas e siglas

UAEE	Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
CEEI	Centro de Engenharia Elétrica e Informática
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
ONS	Operador Nacional do Sistema elétrico
SIN	Sistema Interligado Nacional
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
MME	Ministério de Minas e Energia
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
MAPE	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>

Lista de ilustrações

Figura 1 – Visita ao ONS Recife - Abril de 2024	2
Figura 2 – Vale e Ponta média para Meses Frios.	8
Figura 3 – Ponta em finais de semana - Meses Frios.	9
Figura 4 – Ponta em dias de semana - Meses Frios.	9
Figura 5 – Vale em dias de semana - Meses Frios.	10
Figura 6 – Vale em finais de semana - Meses Frios.	10
Figura 7 – Vale e Ponta média para Meses Quentes.	11
Figura 8 – Ponta em finais de semana - Meses Quentes.	12
Figura 9 – Ponta em dias de semana - Meses Quentes.	12
Figura 10 – Vale em dias de semana - Meses Quentes.	13
Figura 11 – Vale em finais de semana - Meses Quentes.	13
Figura 12 – Vale e Ponta média para Meses de Transição.	14
Figura 13 – Ponta em finais de semana - Meses de Transição.	15
Figura 14 – Ponta em dias de semana - Meses de Transição.	15
Figura 15 – Vale em dias de semana - Meses de Transição.	16
Figura 16 – Vale em finais de semana - Meses de Transição.	16
Figura 17 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em finais de semana - Verão.	17
Figura 18 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em dias de semana - Verão.	18
Figura 19 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em finais de semana - Outono.	18
Figura 20 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em dias de semana - Outono.	19
Figura 21 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em finais de semana - Primavera.	19
Figura 22 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em dias de semana - Primavera.	20
Figura 23 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em finais de semana - Inverno.	20
Figura 24 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em dias de semana - Inverno.	21
Figura 25 – Sequência utilizada para extração dos dados.	22
Figura 26 – <i>Script SQL</i> utilizado no DBeaver.	22
Figura 27 – Configuração de conexão utilizada.	23
Figura 28 – <i>Heatmap</i> do MAPE.	24
Figura 29 – <i>Heatmap</i> do erro médio mensal.	24
Figura 30 – Boxplots por tipo de mês, em 2023.	25
Figura 31 – Boxplots por tipo de mês, em 2024.	25
Figura 32 – Análise mês a mês do modelo ECMWF, horizonte de um dia.	26
Figura 33 – Análise por tipo de mês do modelo ECMWF, horizonte de um dia.	26
Figura 34 – Análise hora a hora do modelo ECMWF, horizonte de um dia.	27
Figura 35 – Dash comparativo de modelos, horizonte de um dia.	27

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	1
1.2	Organização do Trabalho	1
2	LOCAL DE ESTÁGIO	2
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
3.1	Sistema Interligado Nacional - SIN	3
3.2	Micro e Minigeração Distribuída - MMDG, no Brasil	3
3.2.1	Curva de Pato	4
3.3	GlobalProtect e VPN	4
3.4	SQL e DBeaver	5
4	ATIVIDADES REALIZADAS	6
4.1	Contexto motivador	6
4.2	Extração de Dados - Análise da Curva de Carga	7
4.3	Análise da Curva de Carga	7
4.3.1	Por tipo de mês	7
4.3.1.1	Meses Frios	8
4.3.1.2	Meses Quentes	11
4.3.1.3	Meses de Transição	14
4.3.2	Por estação do ano	17
4.3.2.1	Verão	17
4.3.2.2	Outono	18
4.3.2.3	Primavera	19
4.3.2.4	Inverno	20
4.4	Análise dos Modelos de Previsão de Temperatura	21
4.4.1	Extração de Dados - Análise dos Modelos de Previsão de Temperatura	21
4.4.2	Análise utilizando <i>matplotlib</i>	23
4.5	Análise utilizando <i>plotly.express</i> e <i>Dash</i>	26
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
	REFERÊNCIAS	29

1 Introdução

Este relatório explicita as principais atividades executadas pelo aluno Marcus Vinícius Costa Pereira, do curso de graduação em Engenharia Elétrica, durante o período de estágio no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), de modalidade remota. O estágio ocorreu entre o período do dia 13/08/2024 até 12/02/2025, com carga horária de 30 horas semanais, focado na área de Ciência de Dados aplicada à dados históricos do Sistema Interligado Nacional (SIN) e no desenvolvimento de ferramentas de visualização do que fora realizado.

Durante o estágio, fui responsável pela coleta de dados históricos do ONS com o objetivo de analisar variáveis correlatas à uma problemática envolvendo a MMGD e o SIN, bem como no desenvolvimento de ferramentas de análise de dados históricos.

O estágio foi supervisionado por Gabriel Augusto Gonçalves, Engenheiro de Previsão e Acompanhamento de Carga IV do ONS, e orientado pelo professor Dr. Marcus Marinho Bezerra.

1.1 Objetivos

Neste trabalho são detalhadas as atividades realizadas durante o estágio na ONS, concentrando-se na área de Previsão e Acompanhamento de Carga. As principais tecnologias e ferramentas utilizadas ao longo do estágio incluíram *VPN*, *SQL*, *Python*, *Power BI*, entre outras, visando coletar e preparar dados históricos e projetados de carga do SIN, desenvolver ferramentas analíticas e de transformação de dados, além de criar interfaces de monitoramento para visualização em tempo real, a iniciativa também busca aprimorar habilidades técnicas e de gestão de projetos.

1.2 Organização do Trabalho

Este relatório está organizado, basicamente, em cinco capítulos. No Capítulo 1 tem-se a introdução, com uma descrição dos objetivos do estágio e uma visão geral dos tópicos abordados ao longo do relatório. O Capítulo 2 contém a apresentação do órgão, incluindo suas relações e atividades mais importante. No Capítulo 3, são apresentados os fundamentos teóricos que sustentam o trabalho realizado. No Capítulo 4 é apresentado tudo que fora desenvolvido em termos de atividades realizadas no estágio. O Capítulo 5, por fim, explicita as considerações finais, com o apanhado geral e as lições aprendidas após o período de estágio.

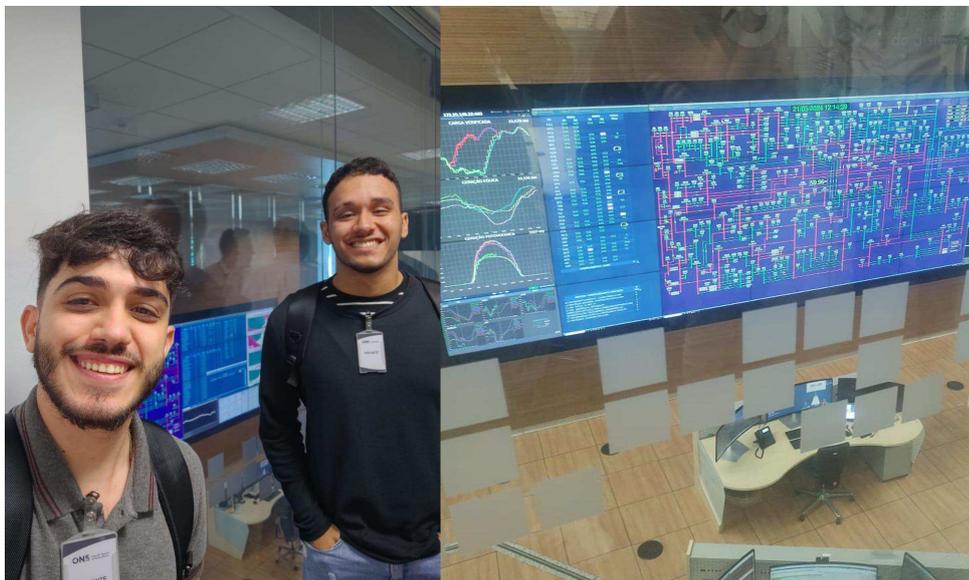
2 Local de Estágio

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2025) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação do sistema elétrico brasileiro, desde a geração até a transmissão de energia elétrica no SIN, bem como pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização da ANEEL (ANEEL, 2025), tendo ainda relação direta com o Ministério de Minas e Energia (MME).

O ONS é responsável por desenvolver uma série de estudos e atividades sobre o sistema para gerenciar o SIN, desenvolvendo atribuições como:

- Promover a otimização da operação do sistema eletroenergético, visando o menor custo para o sistema, seguindo critérios estabelecidos pela ANEEL;
- Garantir que todos os agentes tenham acesso à rede de transmissão de forma não discriminatória;
- Contribuir para que a expansão do SIN seja eficaz e não onerosa.

Figura 1 – Visita ao ONS Recife - Abril de 2024



Em Abril de 2024, ocorreu uma visita ao ONS, sede Recife (Figura 1), para uma jornada de aprendizado e explicitação de desafios, operação e inovação do órgão e seu corpo integrador. Nessa visita, foi possível denotar em tempo real as dificuldades do ONS em gerenciar o avanço da MMGD no SIN, que gera, por ventura, uma problemática que será descrita nos próximos tópicos.

3 Fundamentação Teórica

Com o objetivo de respaldar as atividades conduzidas ao longo do estágio e fornecer um embasamento técnico adequado, este capítulo apresenta a base teórica que norteou a realização das tarefas desempenhadas.

3.1 Sistema Interligado Nacional - SIN

O SIN é basicamente toda a infraestrutura elétrica responsável por suprir a maior parte da demanda de energia elétrica no Brasil, conectando as principais usinas geradoras, linhas de transmissão e centros consumidores por meio de uma rede integrada que cobre quase que todo o território nacional (SIN, 2025).

Dentre as características do SIN, as principais são:

- **Interligação:** Permitindo a transferência de energia entre diferentes regiões do país, otimizando o uso da geração e aumentando a segurança do fornecimento;
- **Matriz Energética Diversificada:** Sendo predominantemente de usinas hidrelétricas, conta também com participação crescente de fontes térmicas, eólicas e solares;
- **Coordenação:** O SIN é operado pelo ONS, que gerencia o despacho das usinas e garante a estabilidade da rede;
- **Regiões Atendidas:** Abrangendo todas as regiões brasileiras, exceto alguns sistemas isolados, principalmente na região Norte.

3.2 Micro e Minigeração Distribuída - MMGD, no Brasil

A Micro e Minigeração Distribuída dá-se, basicamente, pela geração de energia elétrica por consumidores a partir de fontes renováveis, conectando-se à rede de distribuição do SIN (MMGD, 2012). Essa prática permite que o excedente de energia produzido seja injetado na rede, gerando, por exemplo, créditos para compensação futura no consumo de energia elétrica do consumidor.

Esse tipo de geração é categorizado, basicamente de duas formas:

- **Microgeração Distribuída:** Centrais geradoras com potência instalada de até 75 quilowatts (kW);

- **Minigeração Distribuída:** Centrais com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 3 megawatts (MW), podendo chegar a 5 MW em situações específicas.

Vale salientar que a crescente da MMGD no Brasil tem sido considerável nos últimos anos. Em 2024, por exemplo, foram instalados 782.897 sistemas de MMGD, adicionando 8.845,5 megawatts (MW) à potência instalada no país. Desse total, 782.864 sistemas utilizaram painéis solares fotovoltaicos, 29 usinas termelétricas e quatro sistemas de energia eólica. Esse aumento beneficiou mais de 1 milhão de unidades consumidoras.

Até janeiro de 2025, o Brasil contava com aproximadamente 3,28 milhões de sistemas de MMGD conectados à rede de distribuição, totalizando cerca de 36,9 gigawatts (GW) de potência instalada. Cerca de 4,91 milhões de unidades consumidoras utilizam os excedentes e créditos gerados por esses sistemas.

3.2.1 Curva de Pato

Em 2015, a distribuidora americana CAISO apresentou o gráfico conhecido como "Curva de Pato", que ilustra a evolução da geração solar distribuída (MMGD) de 2012 a 2020. Este gráfico mostra o comportamento da demanda com o aumento da energia solar, onde a carga cai durante o dia com a alta geração solar e retorna rapidamente ao final do período de sol, especialmente entre 17:00h e 20:00h (DUCK, 2023).

Esse fenômeno portanto, viera a ocorrer também no SIN, o que culminou na urgência gradual em se buscar soluções para essa questão, exigindo que o operador do sistema tenha usinas flexíveis e prontamente acionáveis, além de outras fontes como hidrelétricas, com reservatórios, ou térmicas, para estabilizar a rede durante o pico de demanda.

3.3 GlobalProtect e VPN

O GlobalProtect é uma solução de VPN (Rede Privada Virtual) desenvolvida pela *Palo Alto Networks*. Ele permite que usuários remotos se conectem com segurança à uma rede corporativa, garantindo acesso protegido a recursos internos, independentemente da localização do usuário.

Basicamente, a conexão funciona da seguinte forma:

1. **Cliente VPN** O GlobalProtect possui um software cliente podendo ser instalado em dispositivos Windows, macOS, Linux, iOS e Android;
2. **Portal GlobalProtect:** Centralizando a autenticação e distribuindo configurações para os clientes VPN;

3. **Gateway GlobalProtect:** Estabelecendo a conexão segura entre o usuário remoto e a rede corporativa;
4. **Autenticação e Criptografia:** Usa protocolos como IPSec e SSL/TLS para proteger o tráfego de dados.

Desse modo, por se tratar de estágio de modalidade remota e, além disso, em virtude da segurança dos dados do ONS, esse foi o software utilizado para conectar-se à rede corporativa de dados do Operador Nacional.

3.4 SQL e DBeaver

O *DBeaver* é uma ferramenta de código aberto para gerenciamento de bancos de dados (SGBD, 2024). Ele fornece uma interface gráfica para facilitar a interação com bancos de dados relacionais e não relacionais.

O SQL (*Structured Query Language*), por sua vez, é uma linguagem de consulta estruturada usada para gerenciar e manipular bancos de dados relacionais (SQL,). Ele permite realizar operações como criação, inserção, atualização, exclusão e consulta de dados em bancos de dados.

Desse modo, o DBeaver -*software* utilizado no estágio para consultas SQL- é amplamente utilizado para trabalhar com SQL, permitindo a execução de queries SQL (*SELECT*, *INSERT*, *UPDATE*, *DELETE*) e a administração de bancos de dados, possui ainda um editor SQL com recursos como autocompletar comandos, destaque de sintaxe e visualização de resultados em tabelas.

4 Atividades Realizadas

4.1 Contexto motivador

O sistema elétrico brasileiro, tradicionalmente caracterizado por grandes usinas geradoras, extensas linhas de transmissão e redes de distribuição centralizadas, está passando por uma transformação significativa com o aumento da MMGD. A partir da Resolução Normativa N° 482/2012 (MMGD, 2012), a ANEEL introduziu um marco regulatório que permitiu a compensação da energia elétrica gerada por fontes renováveis, como a solar, com o consumo dos próprios geradores conectados à rede. Esse modelo também possibilita a exportação de excedentes para outras unidades consumidoras dentro da mesma área de concessão, promovendo a descentralização do sistema elétrico.

No entanto, os pequenos geradores distribuídos não são controlados diretamente pelos alimentadores de distribuição, e sua conexão descoordenada ao sistema pode gerar impactos na operação e no planejamento do SIN. A crescente penetração da MMGD introduz desafios como desequilíbrios entre carga e geração, perda de estabilidade do sistema e o risco de colapso em situações de contingências severas.

Um exemplo claro dos desafios causados por essa integração é o fenômeno conhecido como "Rampa de Carga", que ocorre na transição do horário diurno para o noturno, influenciada pela variabilidade na geração solar. Com a redução da radiação solar ao final do dia, a demanda por fontes convencionais de energia aumenta abruptamente, exigindo uma resposta rápida do sistema. Um caso emblemático desse fenômeno é a "Curva do Pato", observada na Califórnia, onde a rápida desconexão da geração solar entre 17h e 20h provoca um aumento significativo na demanda por outras fontes de energia. Esse cenário requer a disponibilidade de usinas flexíveis, como hidrelétricas e termelétricas, para garantir a estabilidade do sistema.

O crescimento da MMGD em outros países, como Austrália e Estados Unidos, tem exposto os riscos associados à perda de inércia e resiliência do sistema. No Brasil, especialmente na região Sul, o aumento da geração solar distribuída tem sido impulsionado pela queda dos custos e pela crescente demanda no setor residencial e comercial. Nos anos de 2022 e 2023, esse setor 3 apresentou um crescimento expressivo, com previsão de atingir 2.500 MW de capacidade instalada até o final de 2024.

Diante desse cenário, torna-se cada vez mais essencial adotar novas técnicas e serviços para integrar essas fontes de energia de forma eficiente, garantindo que o sistema elétrico brasileiro continue operando de maneira segura e confiável, ao mesmo tempo que atende à crescente demanda por energia renovável.

4.2 Extração de Dados - Análise da Curva de Carga

A base de dados, utilizada para posterior análise, foi extraída da API (Application Programming Interface) correspondente à Carga Global, utilizando o *Global Protect* para conexão com a rede corporativa de dados do ONS. Essa API supracitada contém os valores de carga líquida. Foram considerados dados semihorários no intervalo de janeiro de 2022 a agosto de 2024. A coleta abrangeu a região Sul do Brasil, com a devida segregação dos dados por estado, permitindo uma análise mais detalhada e específica para cada unidade federativa.

A mesma abordagem foi aplicada para os dados de temperatura, que foram obtidos para o mesmo período e igualmente segmentados por estado. Para assegurar a consistência e a representatividade da análise, dias considerados como especiais –incluindo feriados nacionais, pontos facultativos, feriados regionais e eventos excepcionais, como jogos da Copa do Mundo– foram excluídos do conjunto de dados. Esse procedimento visou evitar distorções nos resultados causadas por padrões atípicos de consumo ou variáveis climáticas nesses dias.

4.3 Análise da Curva de Carga

A fim de analisar de maneira mais detalhada as consequências da "Curva de pato", frente à crescente da MMGD, bem como para investigar as variáveis correlatas à esse fenômeno, buscou-se por analisar a curva de carga e seus parâmetros.

A análise foi parametrizada da seguinte forma:

- Estudo realizado para a região Sul, em virtude da massividade de dados do SIN, optou-se por estudar o Sul, que conta com apenas três diferentes estados;
- Período de tempo analisado: de Janeiro de 2022 à Agosto de 2024;
- Dias da semana, por padrão ONS, vai de terça-feira à sexta-feira e, dias de finais de semana, os demais;
- O banco de dados utilizado foi reorganizado para conter variável *booleana* para indicar se é feriado ou não.

4.3.1 Por tipo de mês

Com o objetivo de trazer escopos diferentes para análise, uma opção foi analisar as curvas de carga por tipos de mês. Foram utilizados, portanto, ferramentas como *Python*, como *Streamlit*, *Pandas* e *matplotlib* e *Power BI*. Além disso, foi explorado conceitos como

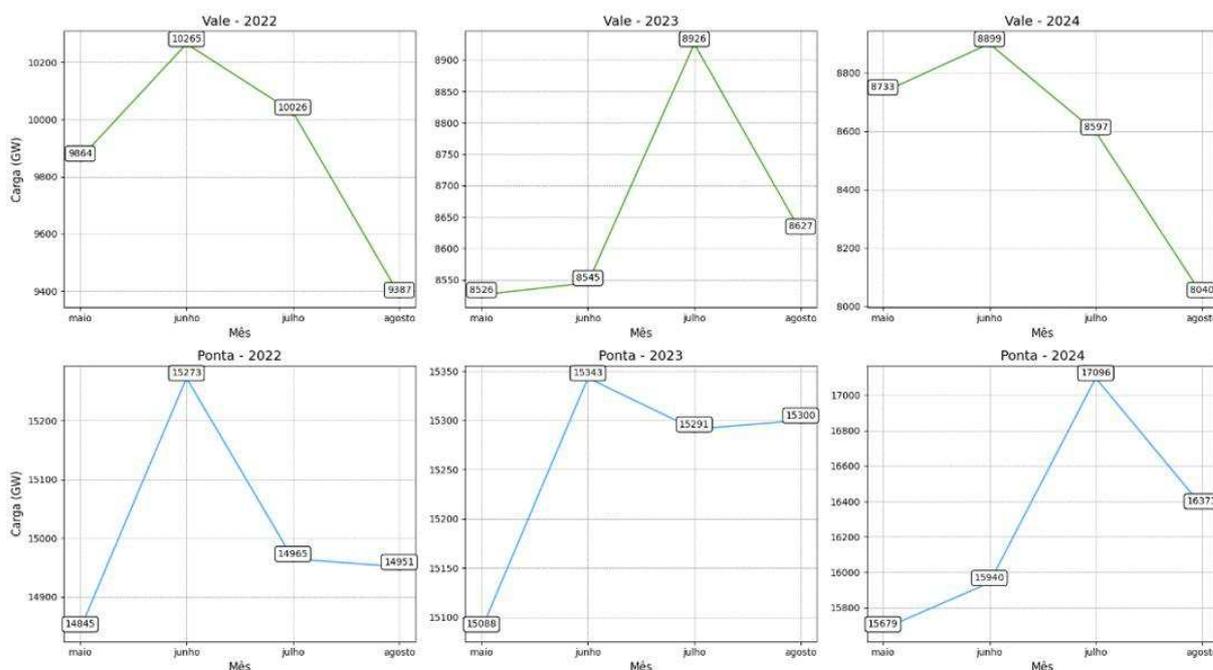
boxplots e série temporais. A categorização de meses deu-se da seguinte forma (baseado em dados do próprio ONS):

- **Frio:** Maio, Junho, Julho e Agosto;
- **Quente:** Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março;
- **Transição:** Abril, Setembro e Outubro.

4.3.1.1 Meses Frios

Nos meses de maio a agosto, foram identificadas as seguintes tendências para as cargas de ponta e de vale, conforme mostra a figura abaixo.

Figura 2 – Vale e Ponta média para Meses Frios.



Essas tendências mostram um comportamento consistente de redução na carga de vale ao longo dos meses de 2022 a 2024, variando entre -11,47 e -14,3 por cento, enquanto a carga de ponta apresentou aumento no mesmo período, com variações positivas de +4,3 a +14,2 por cento. Esses dados indicam um deslocamento do consumo de energia, com o uso mais concentrado nos horários de maior demanda (ponta), especialmente nos meses mais frios, provavelmente refletindo mudanças no perfil de consumo industrial e residencial.

A fim de elucidar ainda mais a mudança de comportamento de consumo, buscou-se por analisar os parâmetros de ponta e vale separadamente, para dias de semana (Terça à Sexta) e dias de finais de semana (Sábado e Domingo), como denotado nas figuras abaixo.

Figura 3 – Ponta em finais de semana - Meses Frios.

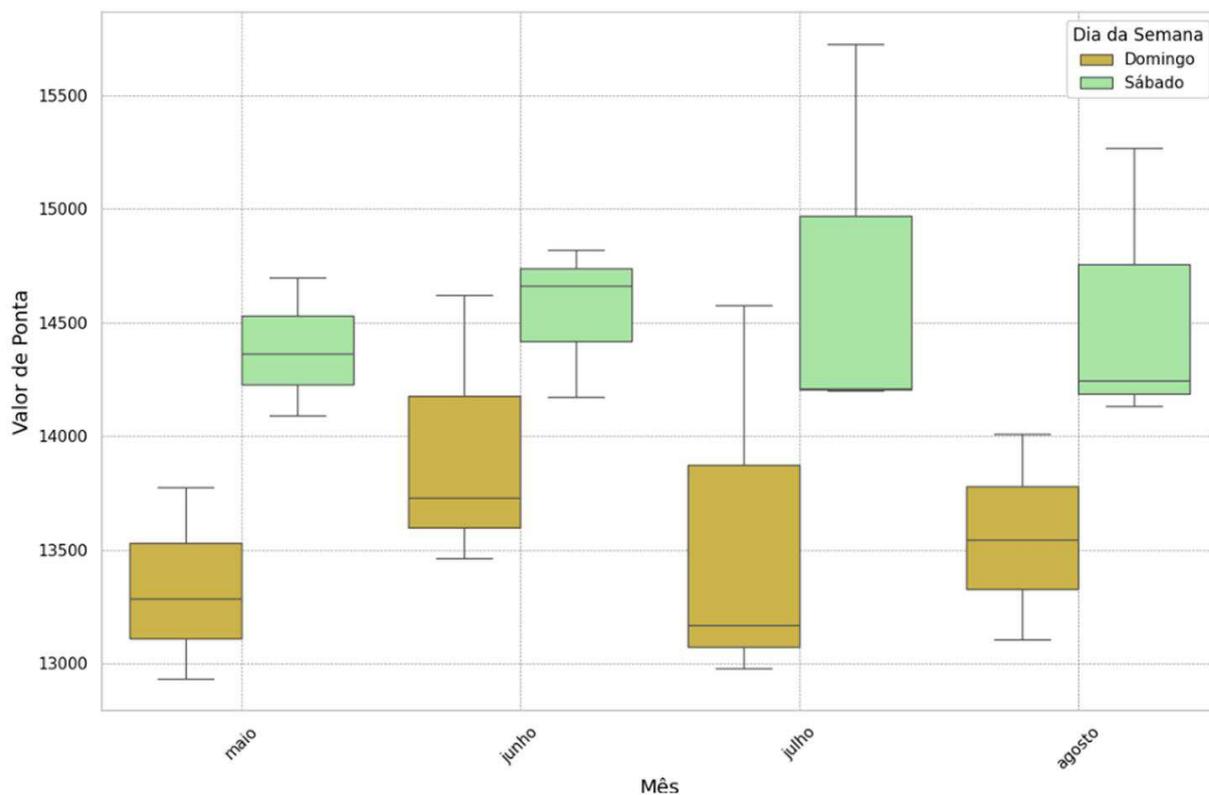


Figura 4 – Ponta em dias de semana - Meses Frios.

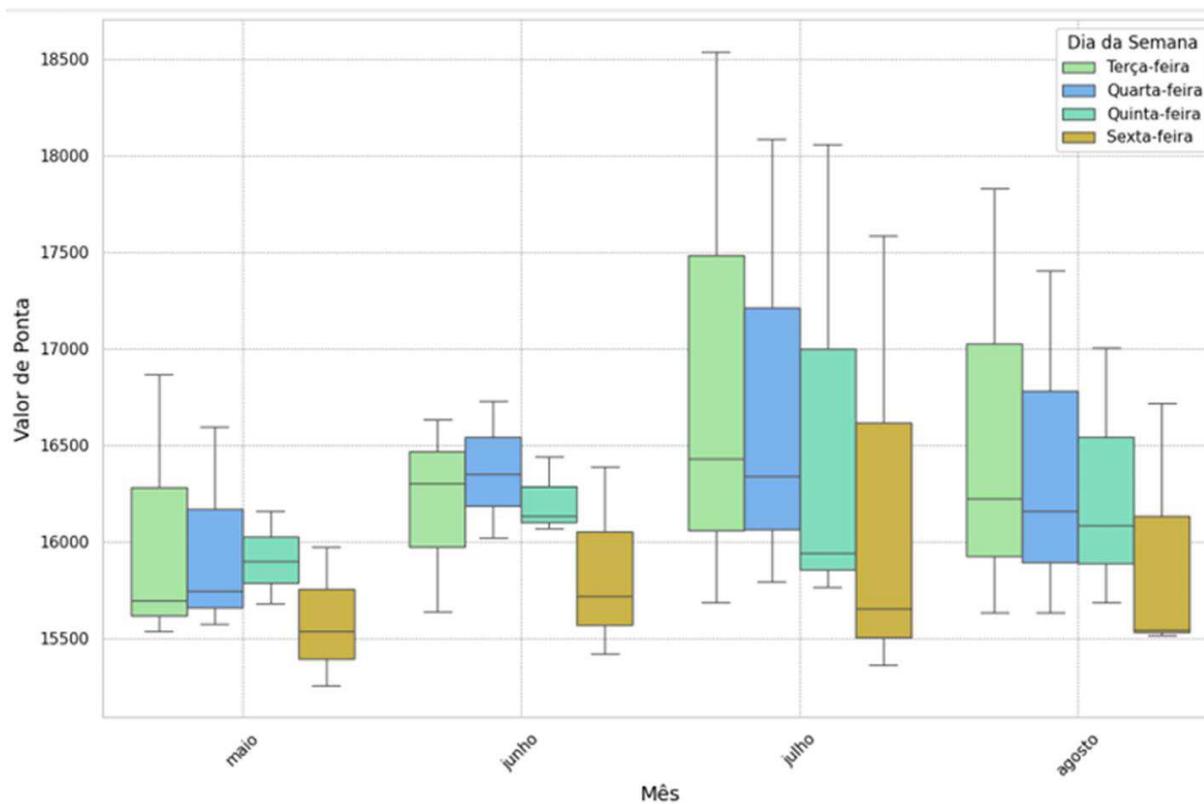


Figura 5 – Vale em dias de semana - Meses Frios.

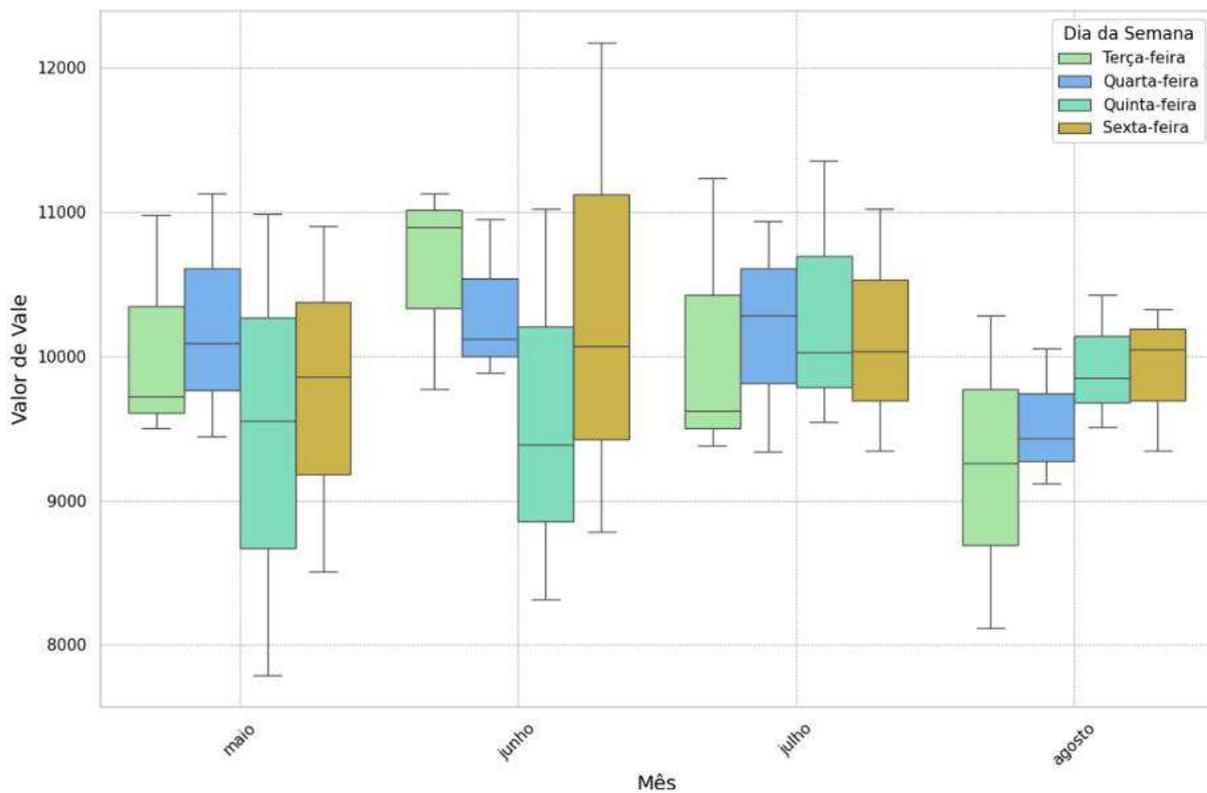
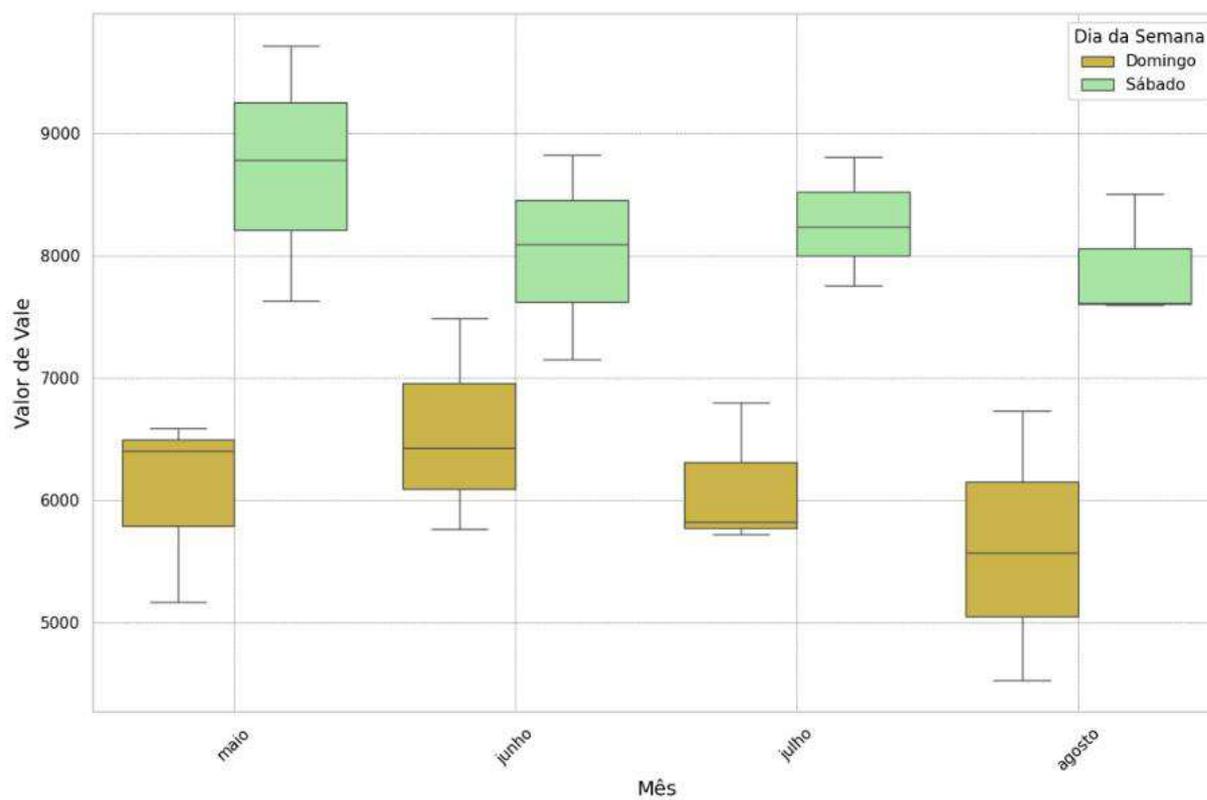


Figura 6 – Vale em finais de semana - Meses Frios.

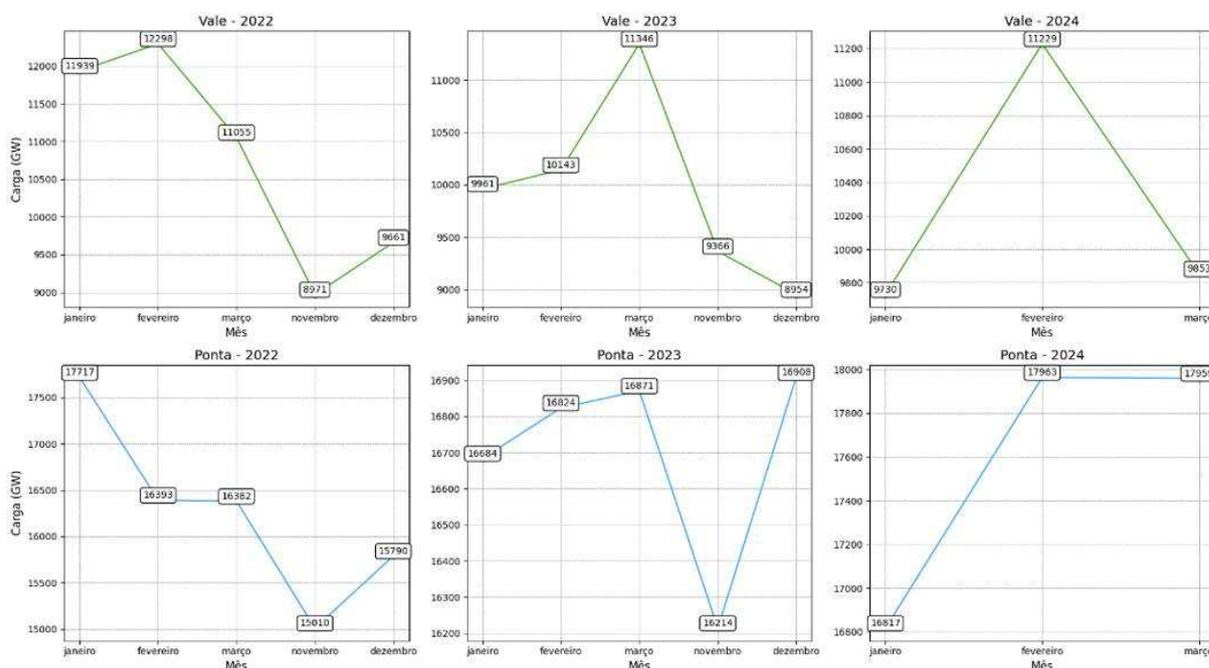


Esses resultados sugerem, não apenas uma diminuição na demanda de energia durante os finais de semana, especialmente aos domingos, possivelmente influenciada por mudanças nos hábitos de consumo ou pela redução das atividades econômicas nesses dias, mas fortalecem a mudança do perfil de consumo em dias de semana, em meses frios, na região Sul, atrelados ao uso intenso de aquecedores residenciais, por exemplo.

4.3.1.2 Meses Quentes

A análise dos meses de novembro a março no período de 2022 a 2024 revelou importantes variações nas cargas de vale e de ponta. Conforme mostra abaixo.

Figura 7 – Vale e Ponta média para Meses Quentes.



Obteve-se um padrão de flutuação nas cargas de vale e de ponta, com alguns meses apresentando aumentos nas duas modalidades de carga, como em novembro e fevereiro, enquanto outros meses mostram reduções, principalmente na carga de vale, como em dezembro, janeiro e março. Essas variações podem indicar mudanças no comportamento de consumo de energia ao longo do período, possivelmente influenciadas por fatores climáticos, econômicos e de adaptação às tarifas de energia.

A fim de elucidar ainda mais a mudança de comportamento de consumo, buscou-se por analisar os parâmetros de ponta e vale separadamente, para dias de semana (Terça à Sexta) e dias de finais de semana (Sábado e Domingo), como denotado nas figuras abaixo.

Figura 8 – Ponta em finais de semana - Meses Quentes.

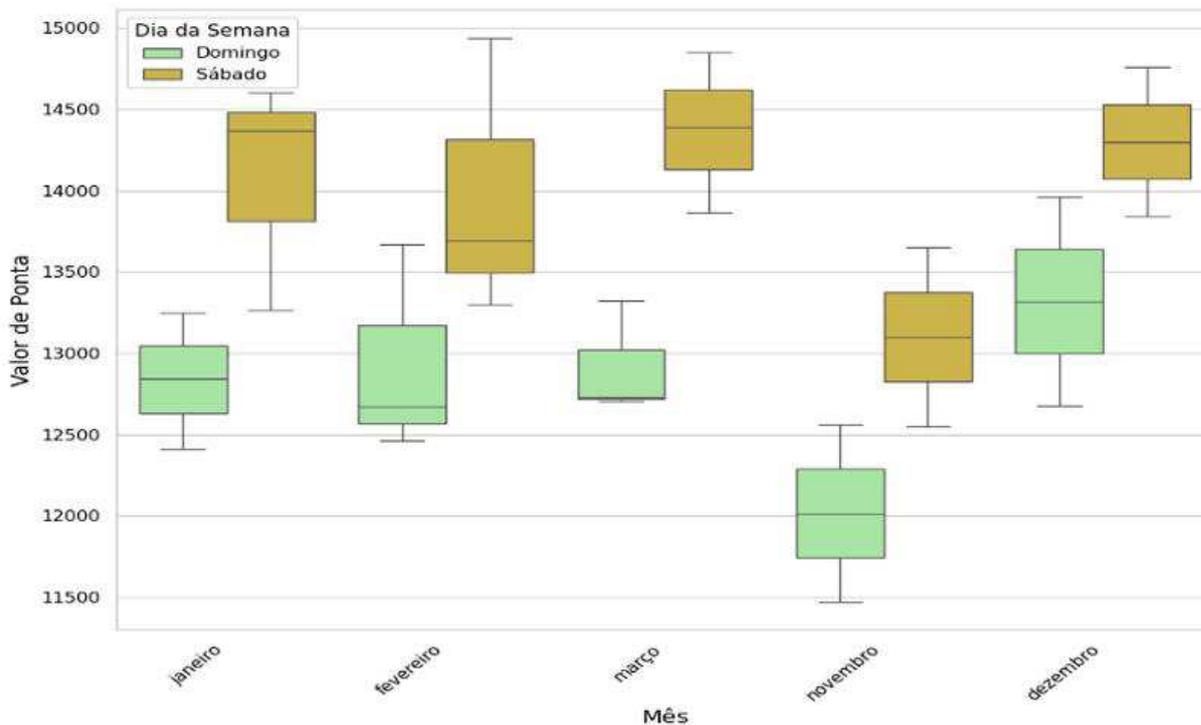


Figura 9 – Ponta em dias de semana - Meses Quentes.

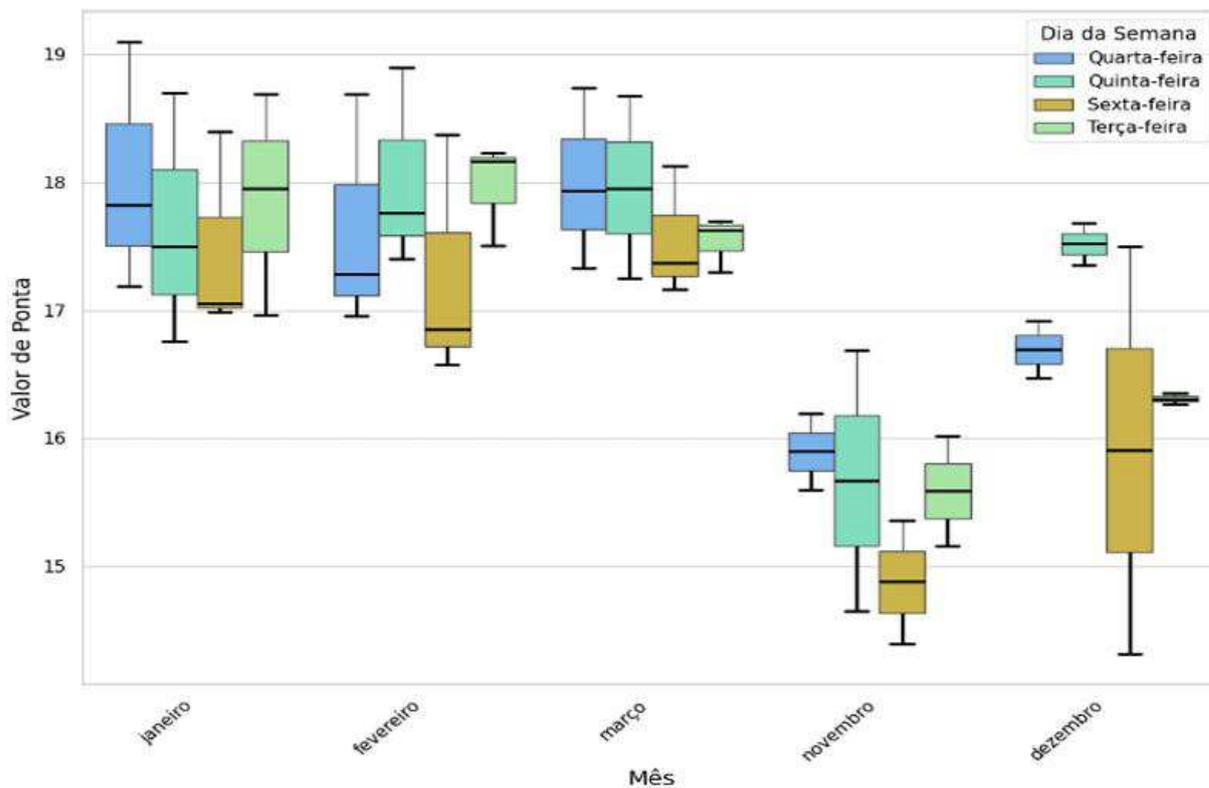


Figura 10 – Vale em dias de semana - Meses Quentes.

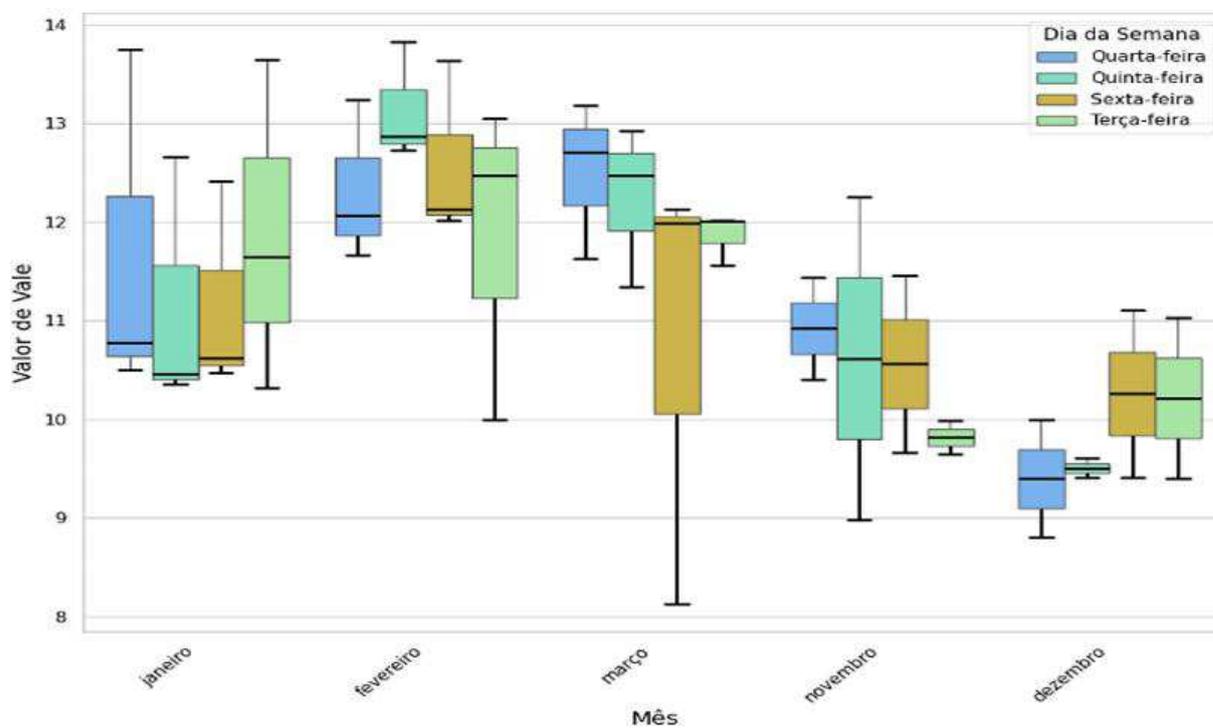
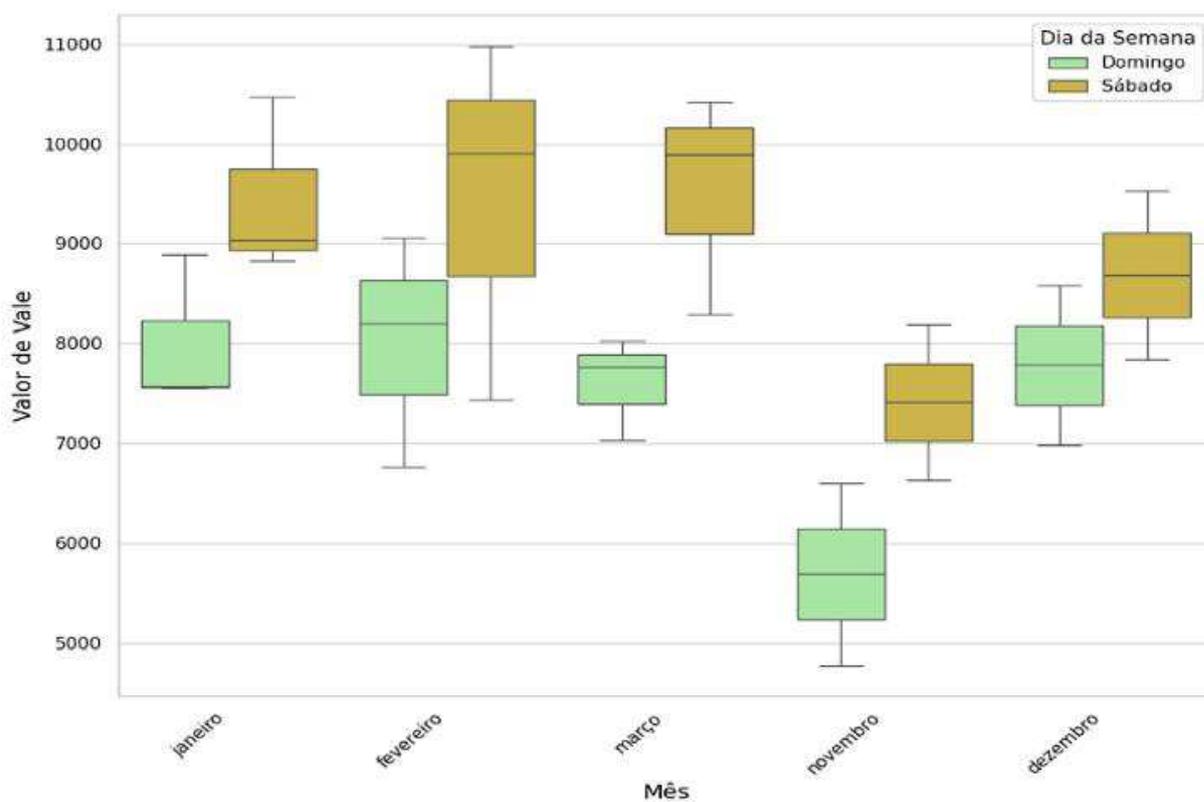


Figura 11 – Vale em finais de semana - Meses Quentes.



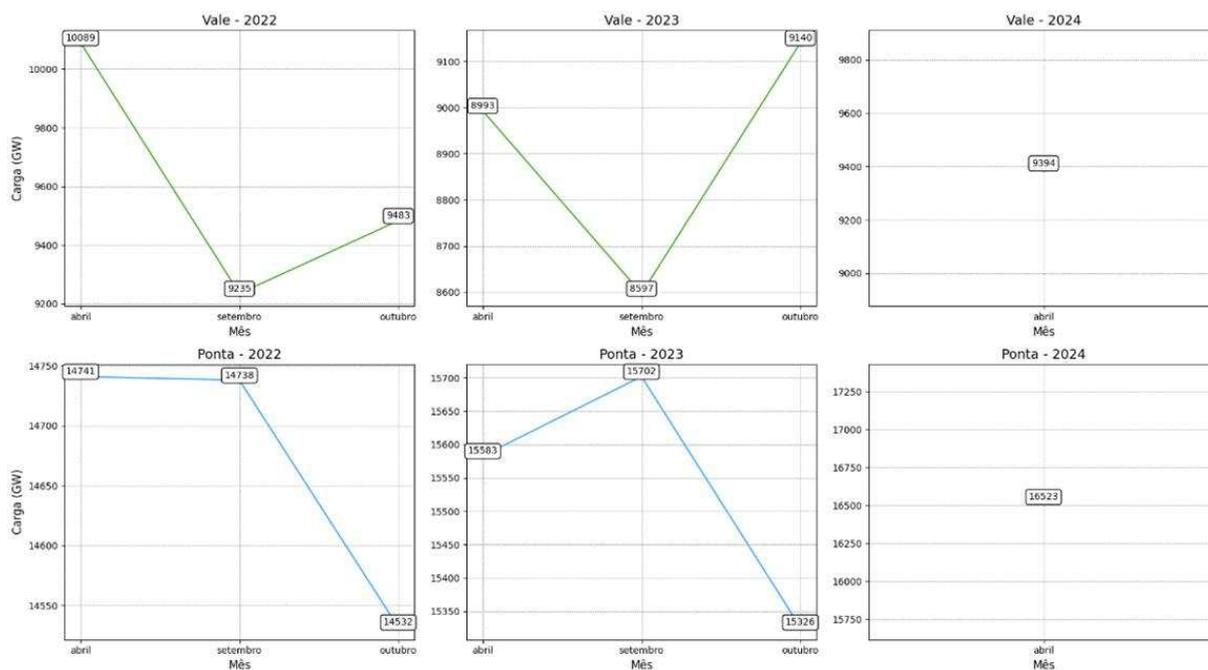
O aumento substancial no consumo entre 2022 e 2024 indica uma crescente necessidade de energia nos horários de ponta, especialmente nos meses de janeiro, fevereiro e março.

Em resumo, o consumo de energia nos finais de semana é mais variável, com os sábados sempre apresentando maior demanda do que os domingos. O aumento significativo dos valores de ponta entre 2022 e 2024 reflete uma crescente pressão sobre a infraestrutura de energia nos finais de semana, especialmente durante os meses de verão.

4.3.1.3 Meses de Transição

A análise dos meses de transição de 2022 a 2024 também elucidou importantes observações nas cargas de vale e de ponta, conforme denotado na figura abaixo.

Figura 12 – Vale e Ponta média para Meses de Transição.



Observe-se uma diminuição contínua da carga de vale ao longo do período, com reduções significativas entre os meses analisados. Em contrapartida, há um aumento consistente da carga de ponta, com variações de intensidade. Em abril, o crescimento da carga de ponta foi mais acentuado, enquanto em setembro e outubro o aumento foi mais moderado.

A fim de elucidar ainda mais a mudança de comportamento de consumo, buscou-se por analisar os parâmetros de ponta e vale separadamente, para dias de semana (Terça à Sexta) e dias de finais de semana (Sábado e Domingo), como denotado nas figuras abaixo.

Figura 13 – Ponta em finais de semana - Meses de Transição.

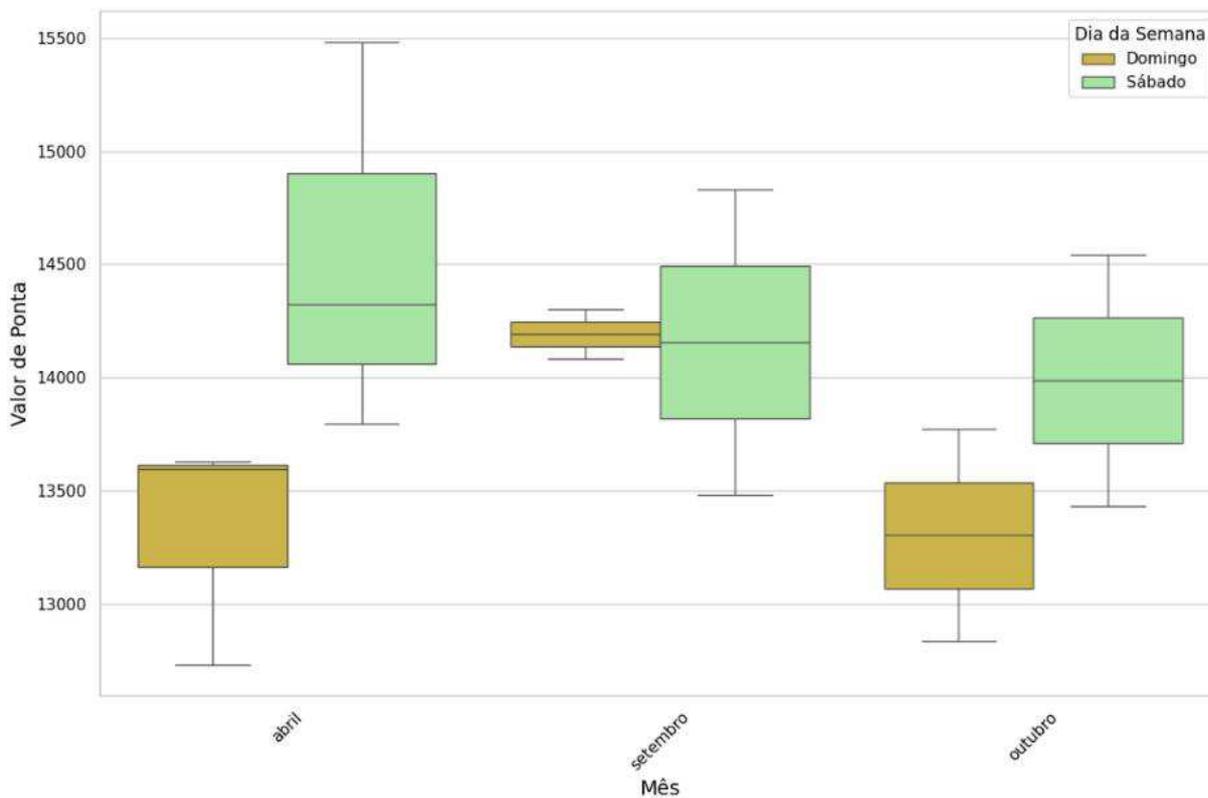


Figura 14 – Ponta em dias de semana - Meses de Transição.

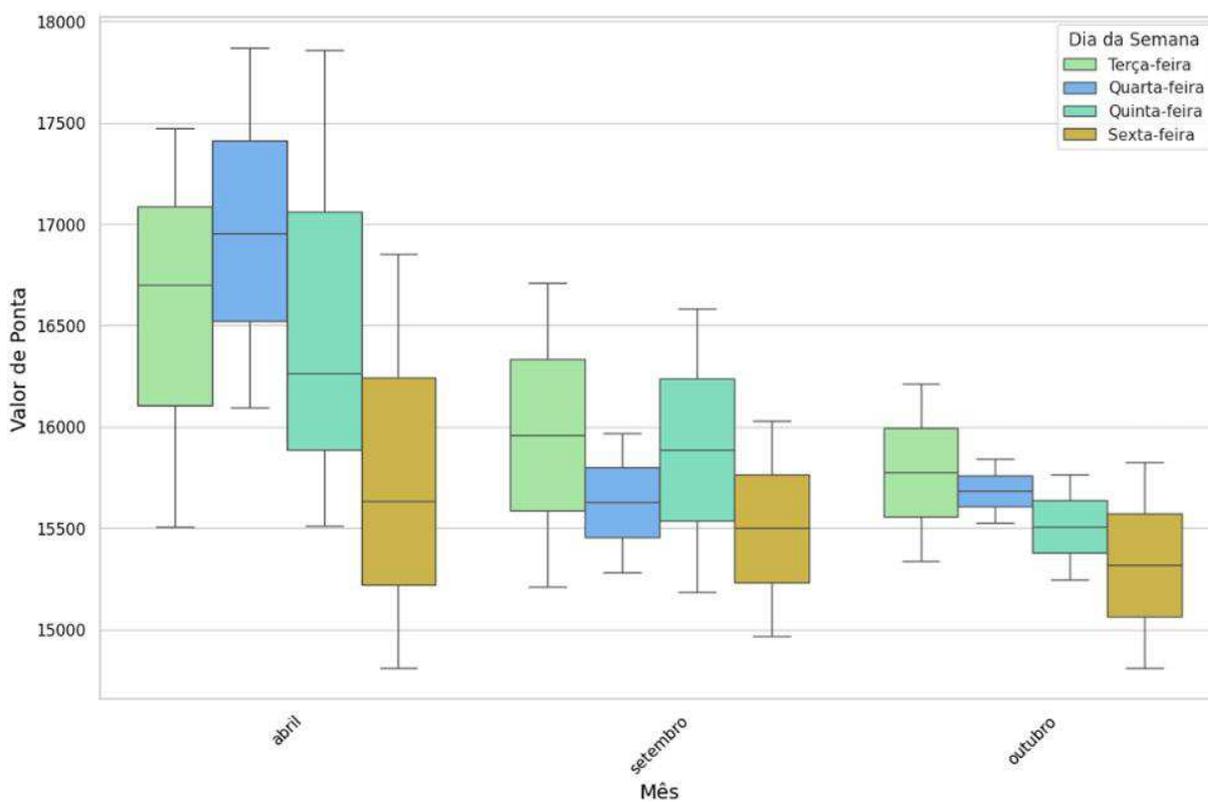


Figura 15 – Vale em dias de semana - Meses de Transição.

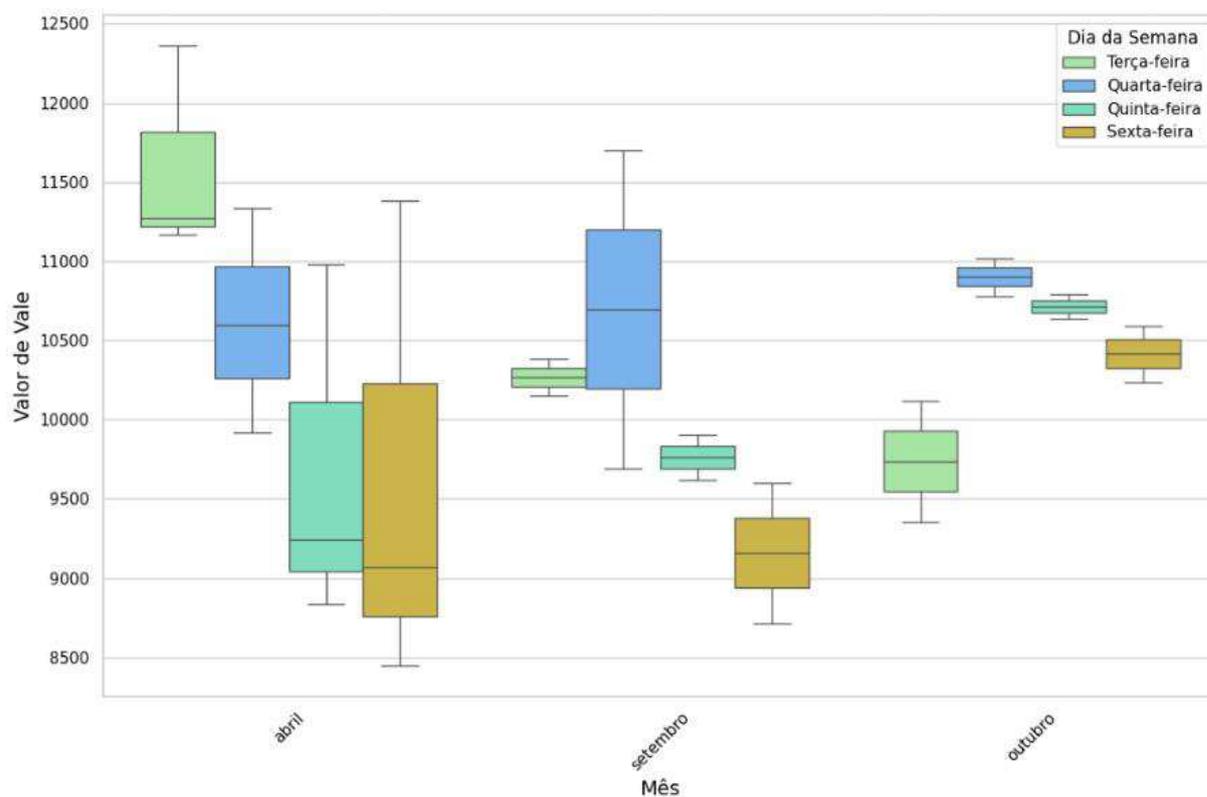
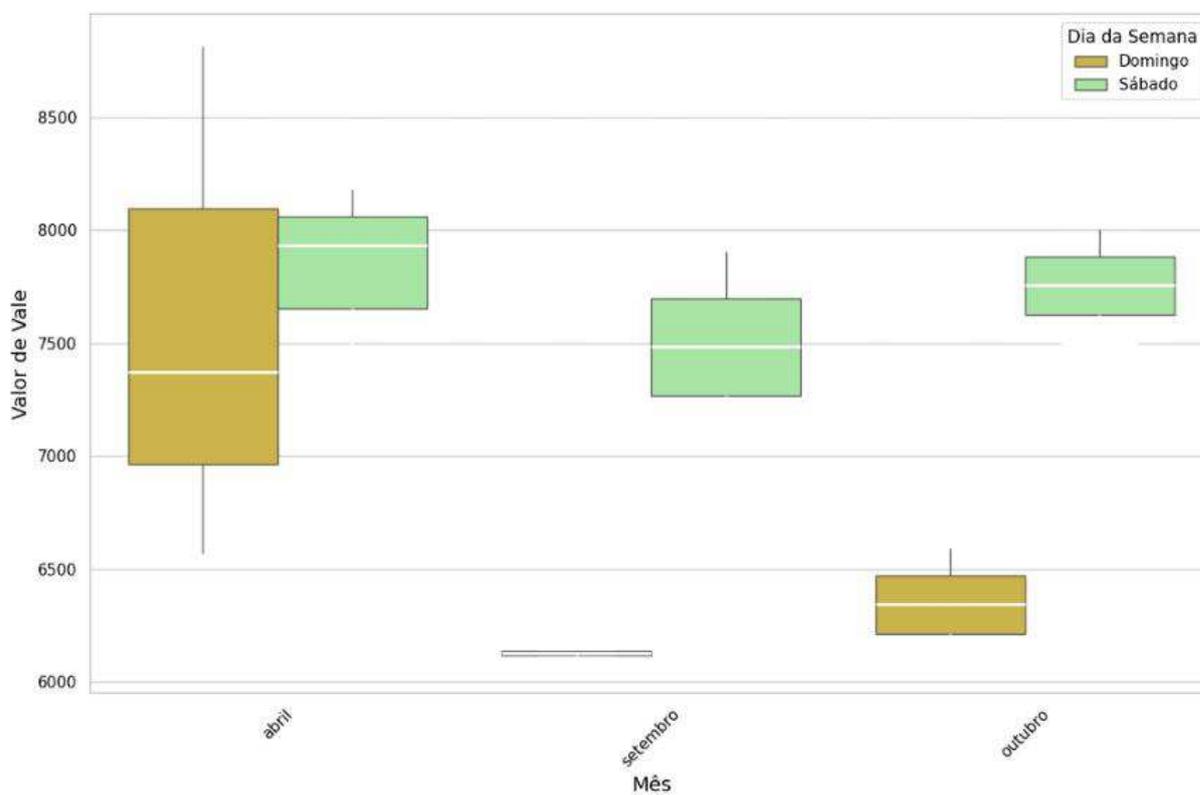


Figura 16 – Vale em finais de semana - Meses de Transição.



Os valores de ponta são geralmente mais elevados nas terças e quartas-feiras, diminuindo progressivamente até a sexta-feira. A diminuição mais acentuada ocorre às sextas-feiras, possivelmente devido à preparação para o fim de semana, quando muitas atividades industriais e comerciais começam a desacelerar. Este padrão é consistente ao longo dos anos analisados.

Os domingos apresentam consistentemente os menores valores de vale, refletindo a baixa demanda de energia nas madrugadas e manhãs devido à redução de atividades econômicas e industriais. Embora também com valores de vale relativamente baixos, os sábados mostram uma maior demanda em relação aos domingos. Isso se deve à continuidade parcial de atividades econômicas no início do final de semana.

4.3.2 Por estação do ano

Outra tipologia para análise foi analisar as curvas de carga por estação do ano, (baseado em (INPE, 2025)) uma vez que as estações são bem melhores definidas na região Sul. Fora utilizado também, nessa análise, soluções diretas em *Python*, como *Streamlit*, *Pandas* e *matplotlib*, a fim de explorar outras tecnologias e potencializar o estudo.

O estudo envolveu várias diferentes análises, mas em suma -e de maneira mais focada- foram analisados os parâmetros de vale e ponta, bem como a curva média de carga para cada estação do ano

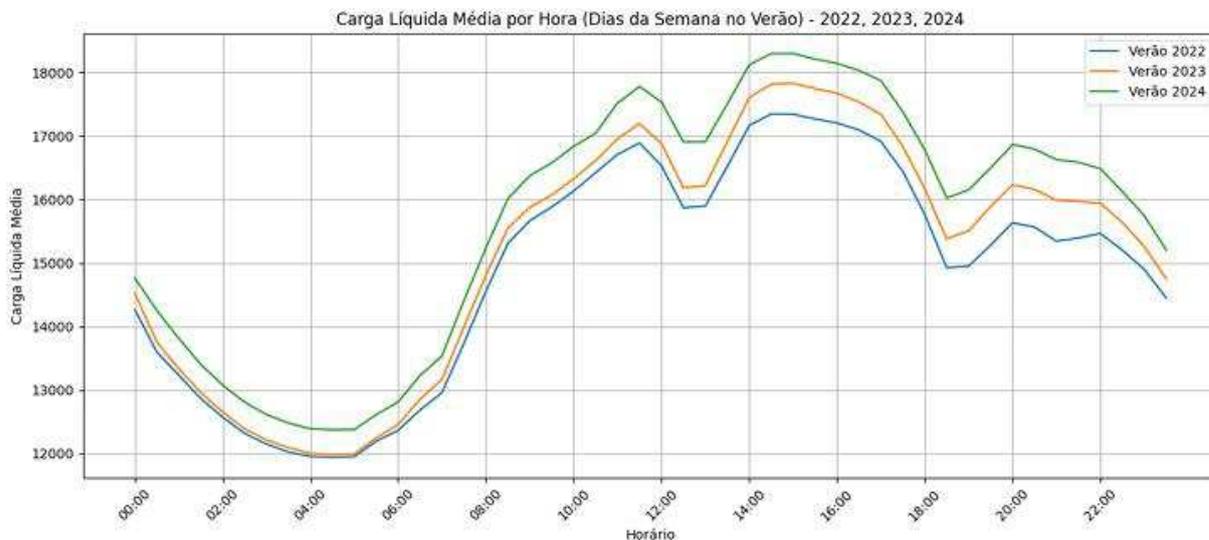
4.3.2.1 Verão

Inicialmente, optou-se por analisar o comportamento, hora a hora, para a estação do Verão, a fim de analisar a curva média de carga ao longo do dia, para cada diferente estação do ano, conforme denotado na figuras abaixo.

Figura 17 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em finais de semana - Verão.



Figura 18 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em dias de semana - Verão.



Após as devidas inferências denotadas nas curvas de carga líquida média nas estações do verão, observou-se um aumento nos valores de vale e ponta, o que vem atrelado não apenas pela expansão natural do SIN, mas também acompanhada pela presença do fenômeno chamado de "Curva de Pato", com rampas sempre graduais com a chegada do pôr do sol.

4.3.2.2 Outono

Optou-se também por analisar o comportamento da curva de carga para a estação do Outono ao longo do dia, para cada diferente ano, conforme denotado nas figuras abaixo.

Figura 19 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em finais de semana - Outono.

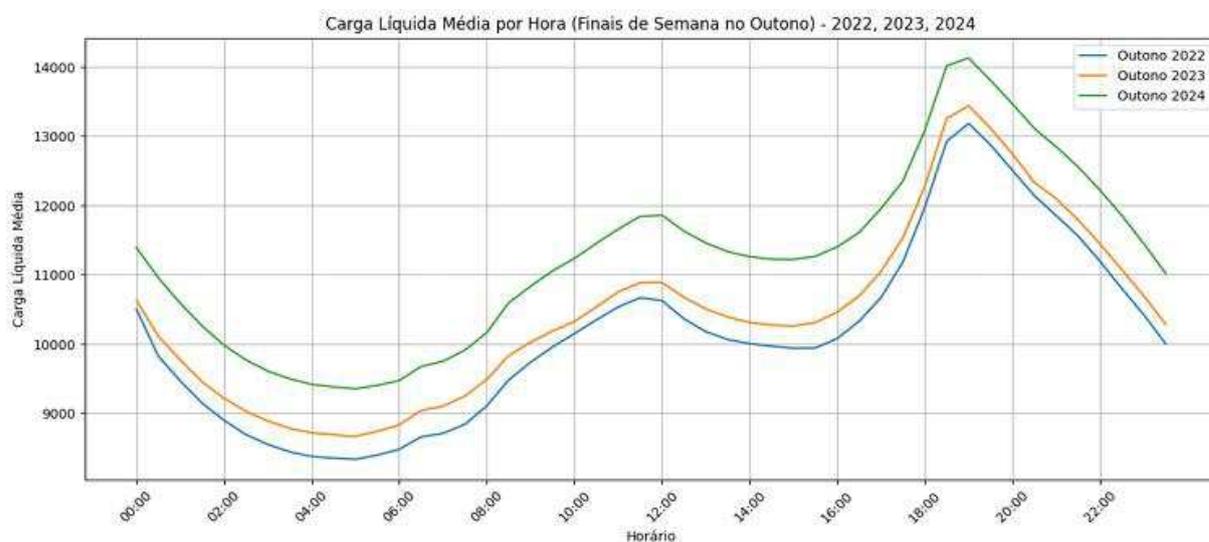
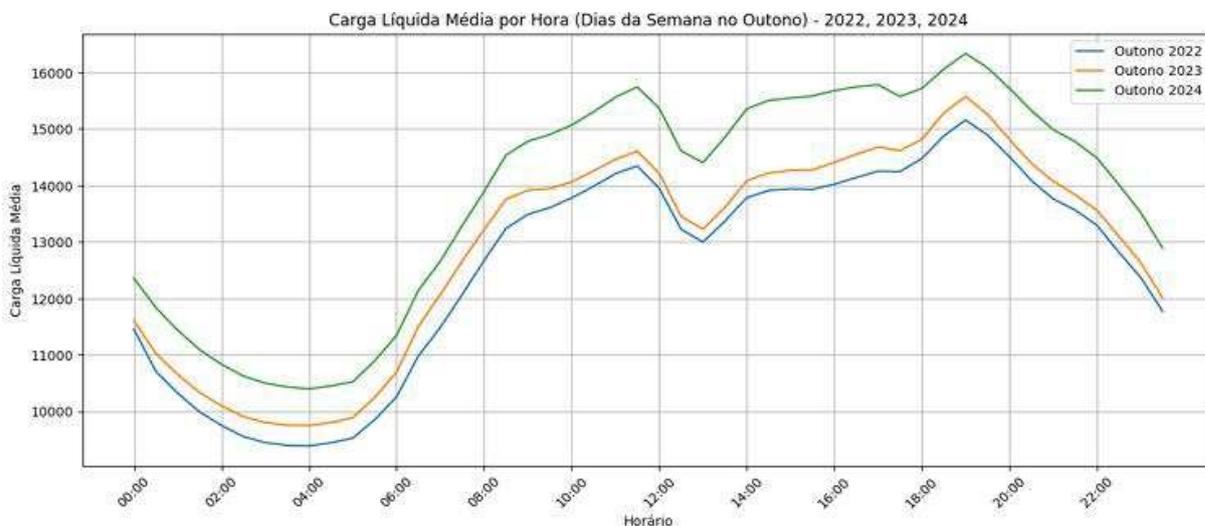


Figura 20 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em dias de semana - Outono.



A expansão natural do SIN é explicitado na evolução das curvas de carga média acima, que também mostra-se acompanhada pela presença do fenômeno chamado de "Curva de Pato", especialmente em finais de semana, com rampas de carga após às 16h.

4.3.2.3 Primavera

Fora feito, em primeiro momento, a análise da curva média de carga ao longo do dia, para cada diferente ano (nesse caso apenas para 2022 e 2023, pois não haviam dados do ano de 2024 completo), conforme denotado nas figuras abaixo.

Figura 21 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em finais de semana - Primavera.

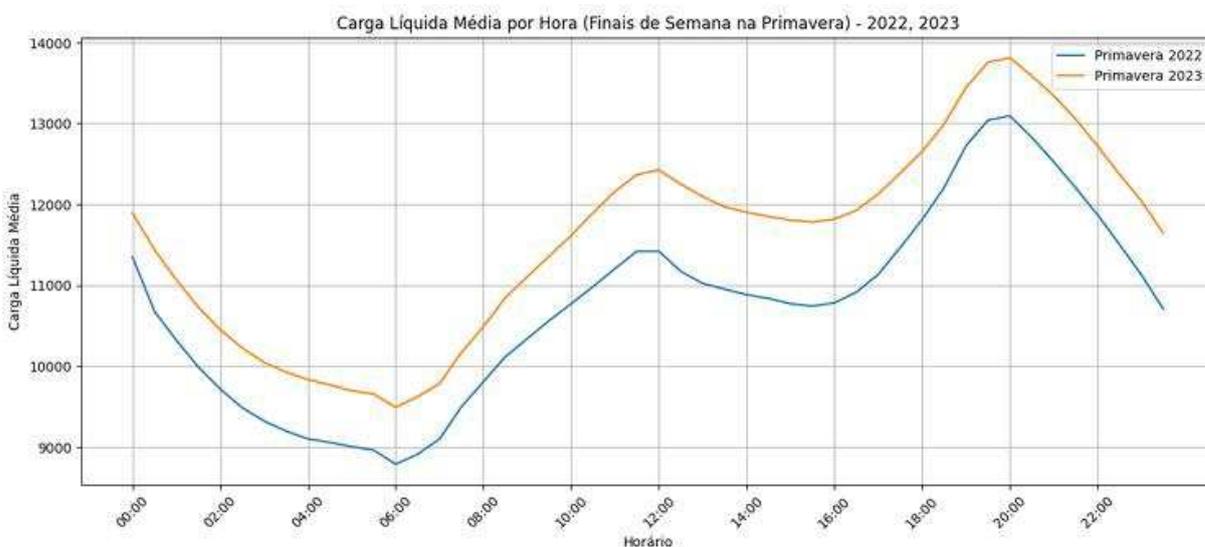


Figura 22 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em dias de semana - Primavera.



O mesmo comportamento das estações anteriores foram denotados em finais de semana: alterações nos valores de pontas e vales, natural da expansão do SIN.

4.3.2.4 Inverno

Inicialmente, foi realizada também a análise do comportamento, hora a hora, para a estação do Inverno, a fim de analisar a curva média de carga ao longo do dia, para cada diferente ano, conforme denotado nas figuras abaixo.

Figura 23 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em finais de semana - Inverno.

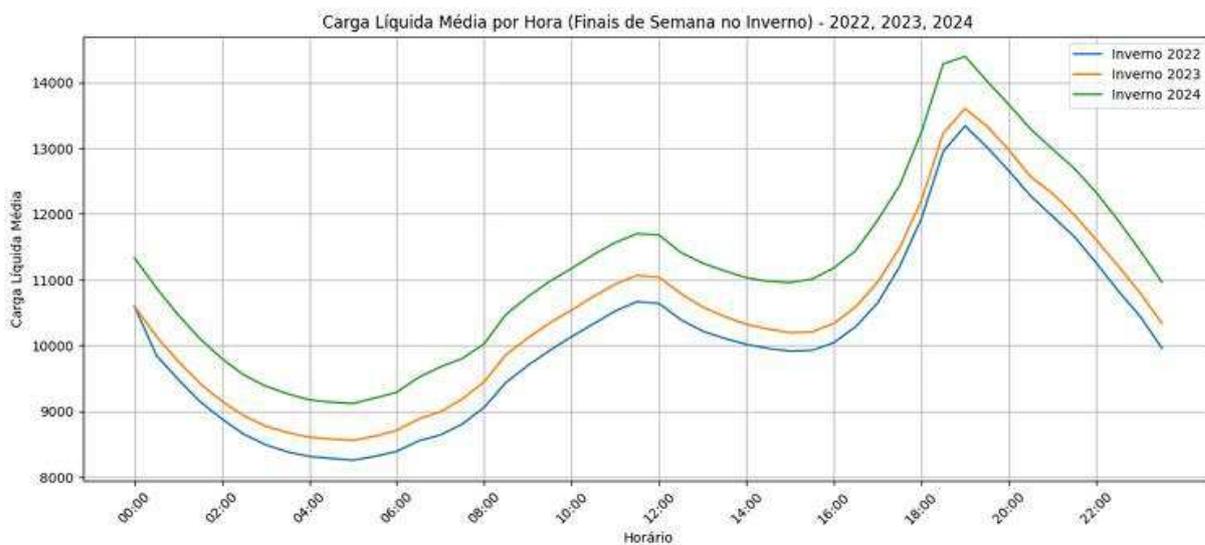


Figura 24 – Curva Média de Carga ao longo do dia, em dias de semana - Inverno.



As curvas médias de carga no mês do Inverno denotam fortemente a mudança de perfil de consumo com o uso de aquecedores e equipamentos que envolvem a transformação de energia elétrica para energia térmica, o que está naturalmente atrelado ao alto índice de consumo.

4.4 Análise dos Modelos de Previsão de Temperatura

Após as análises das Curvas de Carga, surgiu-se a demanda de se investigar a eficácia dos Modelos de Previsão de Temperatura utilizados no ONS. Dessa forma, investiguei os 3 modelos mais gerais utilizados: ECMWF, GFS e WRF.

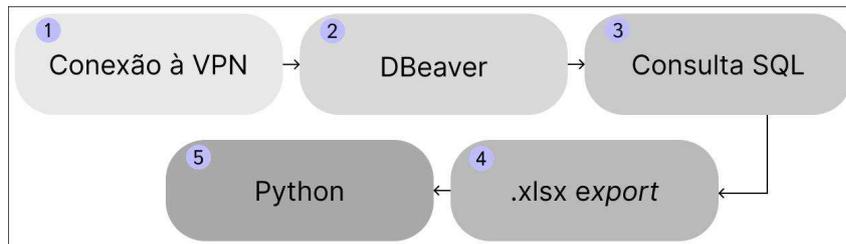
Para o estudo da eficácia dos modelos de previsão, fora objetivado apenas Curitiba, uma vez que existem quatro bases de dados da região Sul: Maringá, Curitiba, Porto Alegre e Florianópolis e, inicialmente, optou-se por um dos existentes. Com o término do estágio, não foi possível concluir os estudos para os demais centros e, apenas foi possível analisar as previsões com horizonte de um dia (dia seguinte).

Vale salientar também que foram utilizados soluções em *Python*, *Jupyter*, bem como *libraries*: *pandas*, *dash*, *plotly.express*, *matplotlib*, *seaborn*, *numpy*, entre outros.

4.4.1 Extração de Dados - Análise dos Modelos de Previsão de Temperatura

A extração de dados para análise dos Modelos de Previsão de Temperatura seguiu a sequência citada na figura abaixo.

Figura 25 – Sequência utilizada para extração dos dados.



O *script SQL* utilizado e as configurações para conexão com a base corporativa de dados podem ser denotados nas figuras abaixo.

Figura 26 – *Script SQL* utilizado no DBeaver.

```

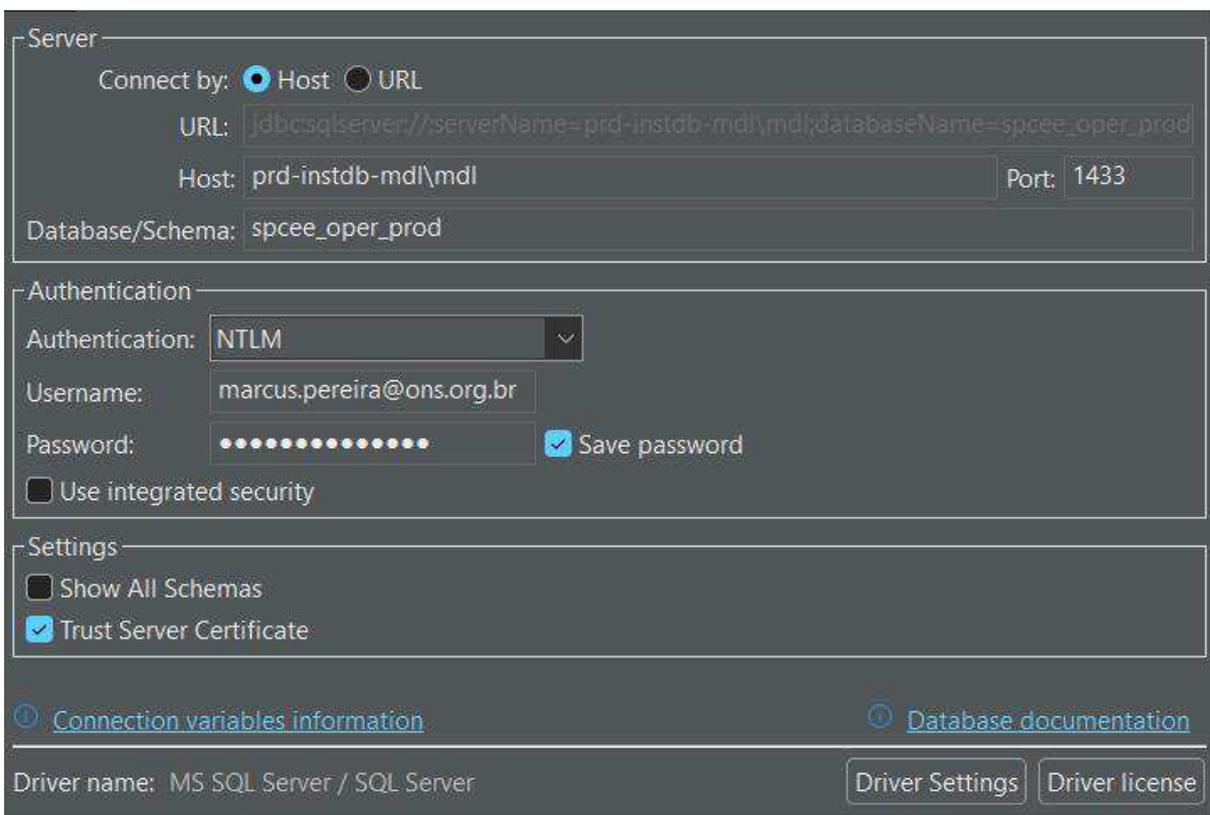
-- Consulta Temperatura Prevista e Verificada

● USE SPCEE_OPER_PROD
-- Maringa 912 |||      1007 ECMWF/ 936 WRF / 870 GFS
-- Curitiba 176 |||    994 ECMWF / 935 WRF / 869 GFS
-- Porto Alegre 182 ||| 1011 ECMWF/ 947 WRF / 877 GFS
-- Floripa 183 |||    998 ECMWF / 949 WRF / 878 GFS

● DECLARE @verificado integer = 176
DECLARE @previsto integer = 869
DECLARE @diaini AS DateTime = '2023-01-01'
DECLARE @diafim AS DateTime = '2024-12-20'

● SELECT A.id_seriehistorica
      ,A.din_ocorrencia
      ,A.din_origem
      ,DATEPART(HOUR,A.din_ocorrencia) AS hora
      ,ROUND(A.val_itemserieoriginal,1) AS previsto
      ,B.val_itemserieoriginal AS verificado
      , ROUND((B.val_itemserieoriginal - A.val_itemserieoriginal),1) dif_graus
      , ROUND(abs(((B.val_itemserieoriginal-A.val_itemserieoriginal) / B.val_itemserieoriginal) * 100),1) AS ape
FROM [gr_itemserie] A
INNER JOIN
  (SELECT id_seriehistorica
      ,din_ocorrencia
      ,val_itemserieoriginal
  FROM [gr_itemserie]
  WHERE id_seriehistorica = @verificado AND
        (din_ocorrencia >= @diaini AND din_ocorrencia < @diafim )
  ) B
ON A.din_ocorrencia=B.din_ocorrencia
WHERE A.id_seriehistorica = @previsto AND
      (A.din_ocorrencia >= @diaini AND A.din_ocorrencia <= @diafim )
AND datediff(day, A.din_origem, A.din_ocorrencia) = 1
ORDER BY A.din_origem, A.din_ocorrencia
  
```

Figura 27 – Configuração de conexão utilizada.



The image shows a configuration window for a database connection, divided into three main sections: Server, Authentication, and Settings.

- Server:** The 'Connect by' radio buttons are set to 'Host'. The 'URL' field contains 'jdbc:sqlserver://serverName=prd-instdb-mdl\mdl;databaseName=spcee_oper_prod'. The 'Host' field contains 'prd-instdb-mdl\mdl' and the 'Port' field contains '1433'. The 'Database/Schema' field contains 'spcee_oper_prod'.
- Authentication:** The 'Authentication' dropdown is set to 'NTLM'. The 'Username' field contains 'marcus.pereira@ons.org.br'. The 'Password' field is masked with dots, and the 'Save password' checkbox is checked. The 'Use integrated security' checkbox is unchecked.
- Settings:** The 'Show All Schemas' checkbox is unchecked, and the 'Trust Server Certificate' checkbox is checked.

At the bottom, there are links for 'Connection variables information' and 'Database documentation'. The 'Driver name' is 'MS SQL Server / SQL Server', and there are buttons for 'Driver Settings' and 'Driver license'.

4.4.2 Análise utilizando *matplotlib*

Após a extração dos dados de cada modelo de previsão, foi realizado um *merge* -utilizando *Python*- entre os dados, para ter um *database* completo para realizar as investigações em um único local. Valendo salientar que haviam apenas dados de 2023 em diante, por padrão.

Inicialmente, optou-se por investigar os dados previstos com os dados verificados para apenas um modelo (ECMWF), a fim de explorar possibilidades de análise de dados, para posterior expansão com os três Modelos de Previsão de Temperatura.

Esse estudo, num primeiro momento, deu-se na análise em *matplotlib* e desenvolvimento manual das inferências em células de *markdown* em arquivos *Jupyter Notebook*. Conforme denotado nas imagens abaixo, foram explorados conceitos como *MAPE*, erro médio mensal e *boxplots*.

Figura 28 – Heatmap do MAPE.

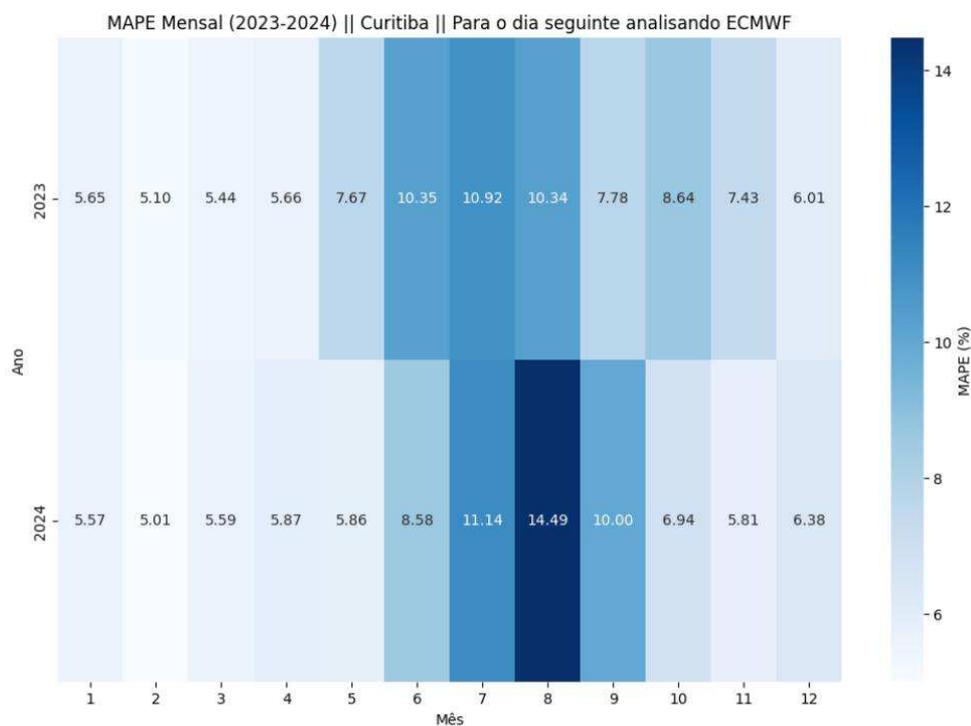


Figura 29 – Heatmap do erro médio mensal.

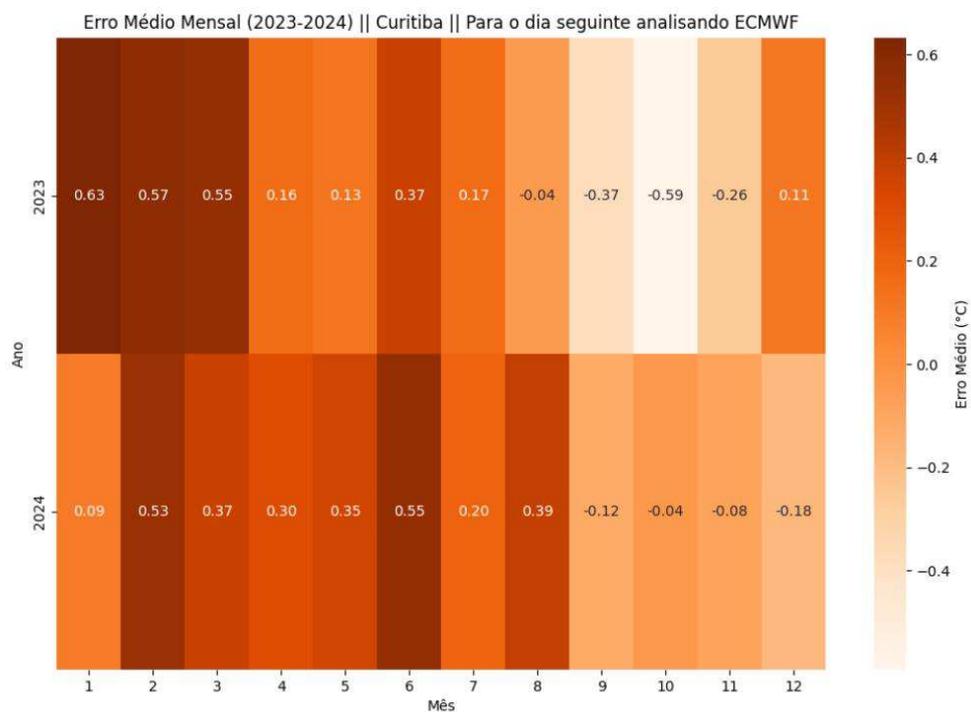


Figura 30 – Boxplots por tipo de mês, em 2023.

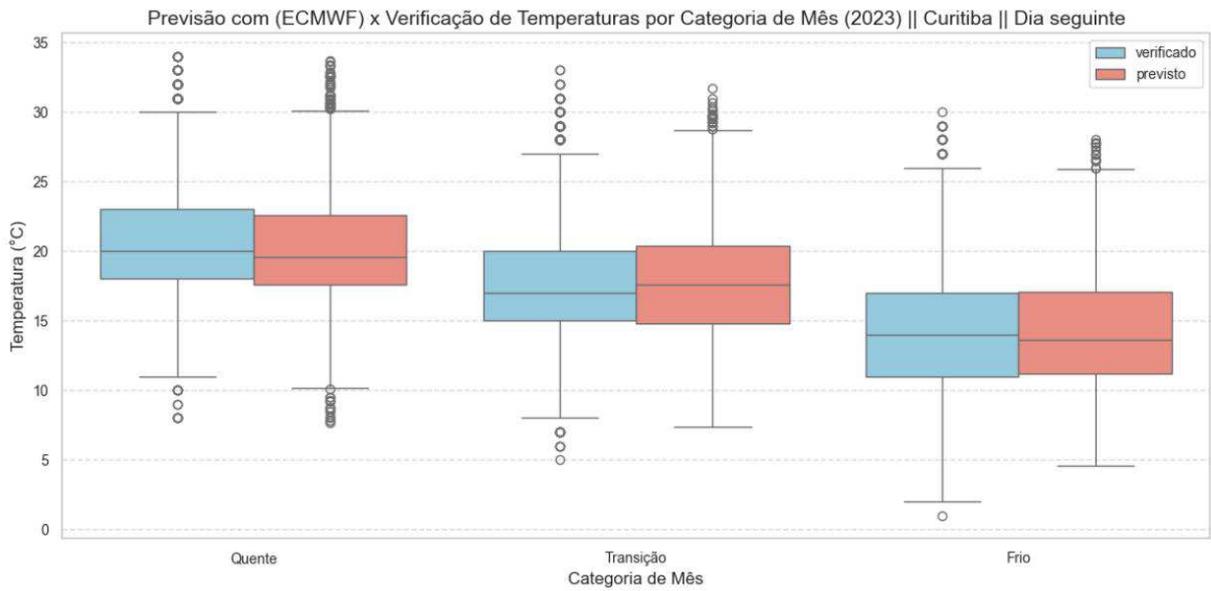
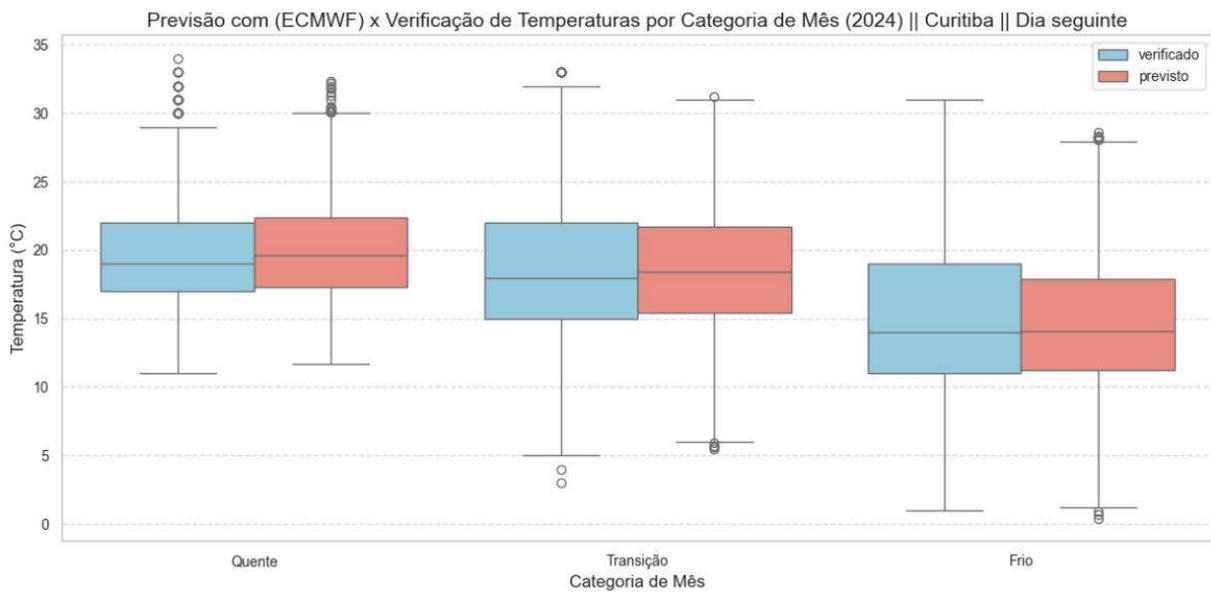


Figura 31 – Boxplots por tipo de mês, em 2024.



Nessa abordagem, foi possível denotar uma concentração maior de erro entre a previsão e a verificação da temperatura entre o mês 6 e 9, de acordo com a Figura 28 que explicita o Erro Percentual Absoluto Médio. Além disso, em primeiro momento, o ECMWF mostrou-se eficaz na previsão de temperatura com horizonte de um dia para a cidade de Curitiba.

4.5 Análise utilizando *plotly.express* e *Dash*

Com as análises iniciais em *matplotlib*, optou-se por utilizar a biblioteca *plotly* a fim de explorar novas possibilidades no estudo da eficácia dos Modelos de Previsão de Temperatura.

Abaixo, são denotados algumas das análises que puderam ser realizadas para detalhar ainda mais o estudo realizado.

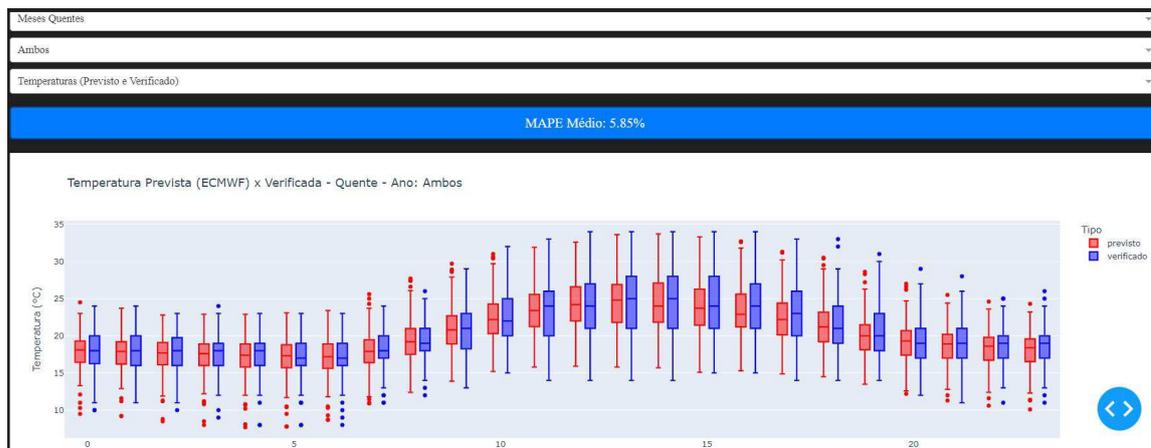
Figura 32 – Análise mês a mês do modelo ECMWF, horizonte de um dia.



Figura 33 – Análise por tipo de mês do modelo ECMWF, horizonte de um dia.

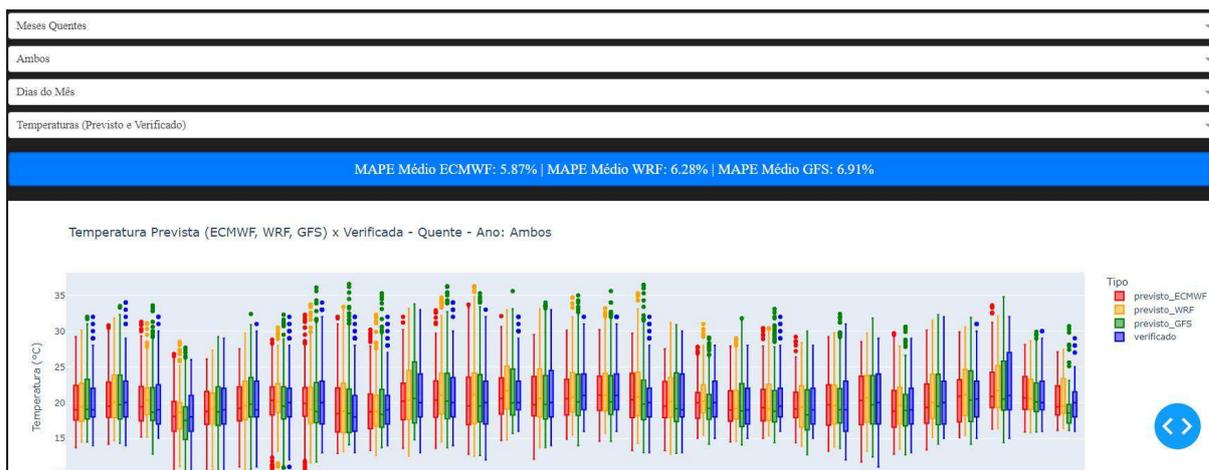


Figura 34 – Análise hora a hora do modelo ECMWF, horizonte de um dia.



Com as inferências analisadas, partiu-se para análise conjunta e comparativa dos três modelos (ECMWF, GFS e WRF) como pode ser denotado nas figuras abaixo.

Figura 35 – Dash comparativo de modelos, horizonte de um dia.



Nessa solução desenvolvida, foi possível selecionar a análise em anos específicos ou ambos os anos, se no eixo x seria plotado para cada dia do mês ou hora a hora, qual o tipo do mês (quente, frio ou de transição), boxplots para temperatura previstas e verificado ou erro percentual médio para cada modelo. Alternativa bastante interessante, pois foi possível conferir os dados com os dados verificados anômalos com os dados fornecidos em um aplicativo desenvolvido pelo próprio ONS e, dessa forma, confirmar -mesmo que não integralmente- a veracidade dos dados.

5 Considerações Finais

Este relatório apresenta as atividades desenvolvidas durante o estágio no ONS e enfatiza ainda mais a importância dessa experiência para formação profissional. Durante o período no órgão, foi possível aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação e desenvolvê-los por conta própria, em um ambiente prático e desafiador, voltado para *DataScience* e desenvolvimento de soluções analíticas para dados.

Foi possível, portanto, explorar tecnologias como *VPN, SQL, Python, Power BI*, entre outras, e coletar e preparar dados históricos e projetados de carga do SIN, desenvolver ferramentas analíticas e de transformação de dados, além de criar interfaces de monitoramento para visualização dos aspectos objetivados para estudo.

Em suma, o estágio no ONS não apenas consolidou o conhecimento teórico aprendido durante a graduação, mas também me preparou para enfrentar problemas reais, aplicar soluções tecnológicas e colaborar, de forma contundente e prática, em equipes profissionais. Essa vivência foi essencial para aprimorar as habilidades requeridas para atuar em cenários tecnológicos desafiadores e em constante evolução.

Referências

ANEEL. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br>>. 2

DUCK. 2023. Disponível em: <<https://synertics.io/blog/72/understanding-the-duck-curve>>. 4

INPE. 2025. Disponível em: <<https://clima.cptec.inpe.br/>>. 17

MMGD. 2012. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. 3, 6

ONS. 2025. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/>>. 2

SGBD. 2024. Disponível em: <<https://dbeaver.com/2024/11/21/empowering-modern-dbas-how-dbeaver-enhances-efficiency-and-security-for-your-organization/#:~:text=Tool%20Fatigue,and%20a%20noticeable%20error%20reduction.>> 5

SIN. 2025. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. 3

SQL. Disponível em: <<https://support.microsoft.com/pt-br/topic/acessar-sql-conceitos-b%C3%A1sicos-vocabul%C3%A1rio-e-sintaxe-444d0303-cde1-424e-9a74-e8dc3e460671>>. 5