

# Capítulo 4

## Análise de Resultados

### 4.1 Rede Elétrica

A necessidade de garantir a continuidade de crescimento ao mercado exige o funcionamento interligado dos sistemas elétricos de potência, os quais formam redes complexas, definida pela conexão de elementos ativos e passivos capazes de gerar e transportar energia elétrica. por geradores de energia elétrica, transformadores de tensão e linhas de transmissão.

A rede analisada compreende os municípios de Manaus, Presidente Figueiredo, Iranduba e Manacapuru. Os níveis de tensão analisados compreendem o intervalo de 500kV a 69kV.

### 4.2 Cenário dos Experimentos

O consumo de eletricidade proveniente da rede elétrica cresce a uma taxa média de 3,4%, inferior de 2,8% e superior de 4,1%, de acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia, estudo produzido pela ONS. A fim de avaliar o caso de estresse mais intenso ao sistema elétrico, a taxa de crescimento de consumo foi considerada. A análise propõe-se a ser bianual, o que implica em um aumento de 8,2% entre os anos destacados.

Tabela 4.1: Cargas bianuais.

Ano	Potência (MW)
2026	1.642,69
2028	1.777,39
2030	1.923.14
2032	2.080.83
2034	2.251,46
2036	2.436.08

## 4.3 Avaliação da Margem de Estabilidade de Tensão

### 4.3.1 Margem de Estabilidade Convencional

A margem de estabilidade convencional é calculada considerando o ponto de máximo carregamento do sistema adequado ao valor mínimo seguro definido pelo ONS. A Fig. 4.1 apresenta o comportamento da rede sob estas condições.

$$PMC_{\text{sec}} = PMC \cdot (1 - 0,04) \quad (4.1)$$

Na qual:

$PMC_{\text{sec}}$  = Ponto de máximo carregamento adequado à margem de segurança.

$PMC$  = Ponto de máximo carregamento.

Em valores:

$$PMC_{\text{sec}} = 4187.97 \text{ MW} \quad (4.2)$$

Esta análise é generalista ao ponto de não considerar condições de operação seguras sob a ótica da tensão elétrica, mas é útil para avaliar a quanto estresse a rede consegue ser submetida. Para a quantidade de eletropostos nula, tem-se os valores de margem para o incremento bianual de carga. O restante do eixo representa a quantidade de eletropostos alocados aleatoriamente em cada uma das barras do sistema. Os valores de potência dos eletropostos são advindos de uma combinação de três dos quatro valores possíveis que um eletroposto pode assumir. Em números:

$$P_{\text{etp}} = (114, 147, 180, 213) \text{ kW} \quad (4.3)$$

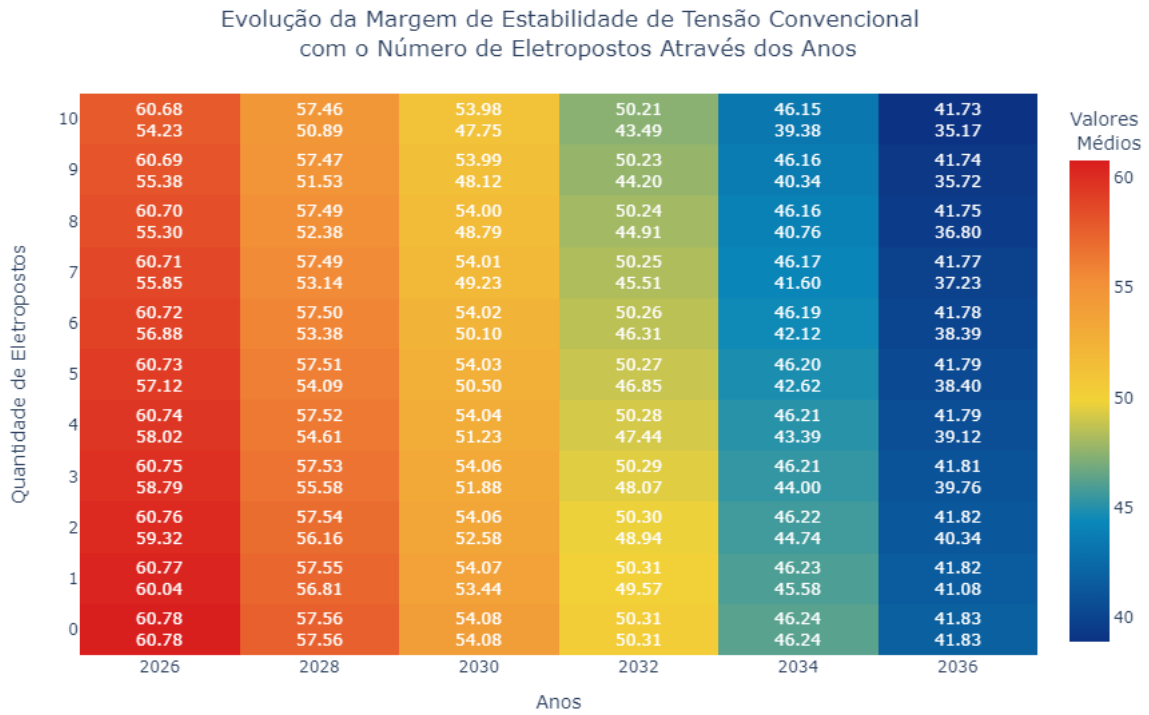


Figura 4.1: Evolução da Margem de Estabilidade de Tensão Convencional para Nível de Tensão de 138 kV com o Número de Eletropostos Através dos Anos.

Fonte: Do autor.

A graduação do mapa de calor adota tons azuis a medida que o valor médio da margem de estabilidade de tensão diminui e tons vermelhos a medida em que aumenta. É evidente que o passar dos anos, e subsequente aumento de carga do sistema, e o número de eletropostos alocados por barra tem um impacto negativo na grandeza avaliada.

### 4.3.2 138 kV

Esta análise submete o sistema inteiro ao ponto de máximo carregamento da barra mais fraca pertencente ao nível de tensão de 138kV. A referência de potência é retirada da barra número 10540. Em valores:

$$PMC_{138_{\text{sec}}} = PMC_{138} \cdot (1 - 0,04) \quad (4.4)$$

$$PMC_{138_{\text{sec}}} = 2.412,95 \text{ MW} \quad (4.5)$$

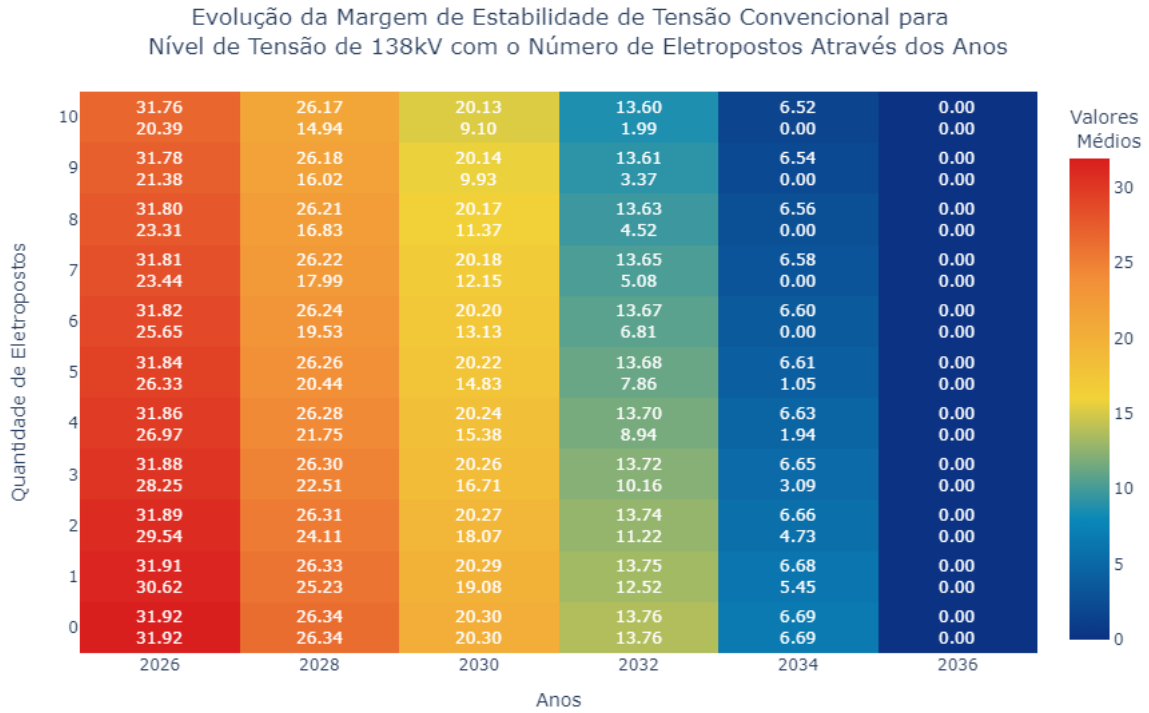


Figura 4.2: Evolução da Margem de Estabilidade de Tensão Convencional para Nível de Tensão de 138 kV com o Número de Eletropostos Através dos Anos.

Fonte: Do autor.

Através da avaliação da Fig. 4.2, é fácil notar que o sistema poderia sair da zona de segurança ainda em 2032, com nove eletropostos alocados por barra. Em 2034 a rede já não suportaria combinações das maiores potências de estações de carregamento elencadas. Em 2036 o sistema é completamente inábil de receber carga adicional.

### 4.3.3 69 kV

Esta análise submete o sistema inteiro ao ponto de máximo carregamento da barra mais fraca pertencente ao nível de tensão de 69kV. A referência de potência é retirada da barra número 10480. Em valores:

$$PMC_{69_{\text{sec}}} = PMC_{69} \cdot (1 - 0,04) \quad (4.6)$$

$$PMC_{69_{\text{sec}}} = 1.943, 50\text{MW} \quad (4.7)$$

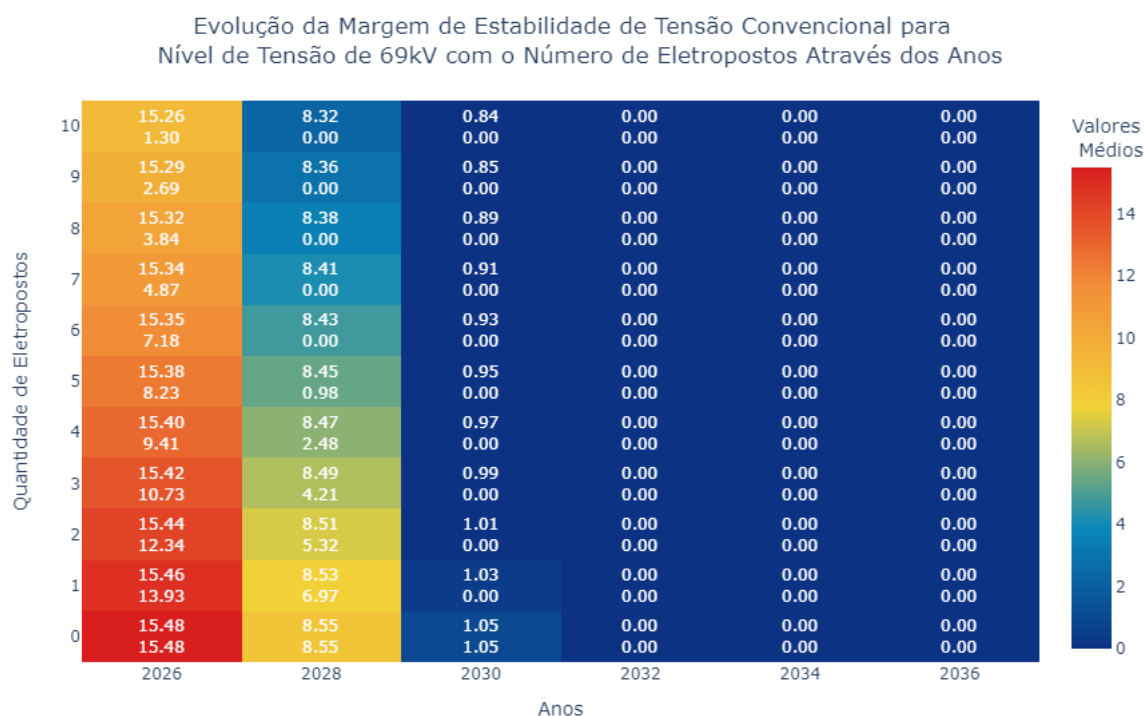


Figura 4.3: Evolução da Margem de Estabilidade de Tensão Convencional para Nível de Tensão de 69 kV com o Número de Eletropostos Através dos Anos.

Fonte: Do autor.

Observando a Fig. 4.3 nota-se que o sistema poderia sair da zona de segurança logo em 2028, a depender dos valores de potência das estações, com quatro eletropostos alocados por barra. Em 2030 os valores mais otimistas de margem ainda estão muito próximas da instabilidade. Em 2032 o sistema é completamente inábil de receber carga adicional.

#### 4.3.4 Margem de Estabilidade por Nível de Tensão

A análise dos valores da margem de estabilidade por nível de tensão visa determinar a grandeza alvo a partir do agrupamento de barras em um mesmo nível, mesmo que o alocamento de postos não faça tal distinção. O ponto de máximo carregamento passa a ser o valor de potência que garante a condição segura de tensão de operação.

#### 4.3.4.1 138 kV

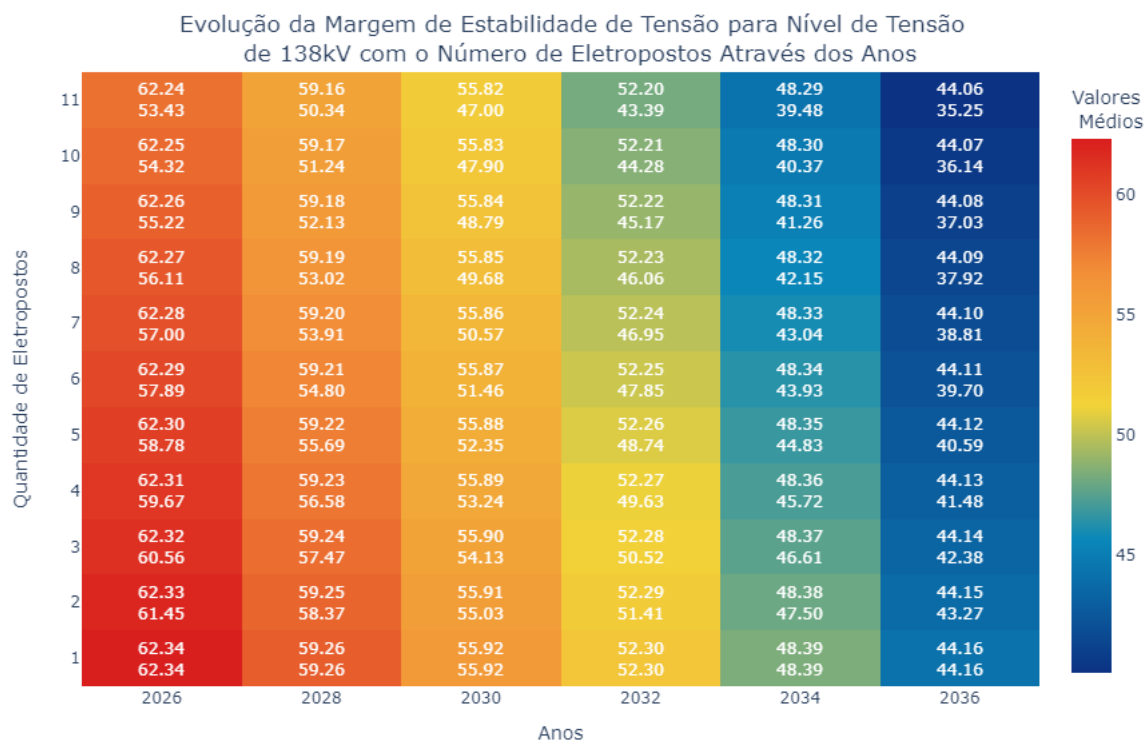


Figura 4.4: Evolução da Margem de Estabilidade de Tensão para Nível de Tensão de 138kV com o Número de Eletropostos Através dos Anos.

Fonte: Do autor.

A margem de estabilidade de tensão segue a tendência de diminuir com o passar dos anos e o aumento da quantidade de eletropostos alocados, como é possível enxergar na Fig. 4.4.

#### 4.3.4.2 69 kV

A Fig. 4.5 mostra que o comportamento para 69 kV segue como esperado, mas registra os menores valores para as margens em comparação ao cenário anterior. O resultado não é surpreendente, visto que é neste nível de tensão que a barra com a menor potência limite para operacionabilidade está alocada.

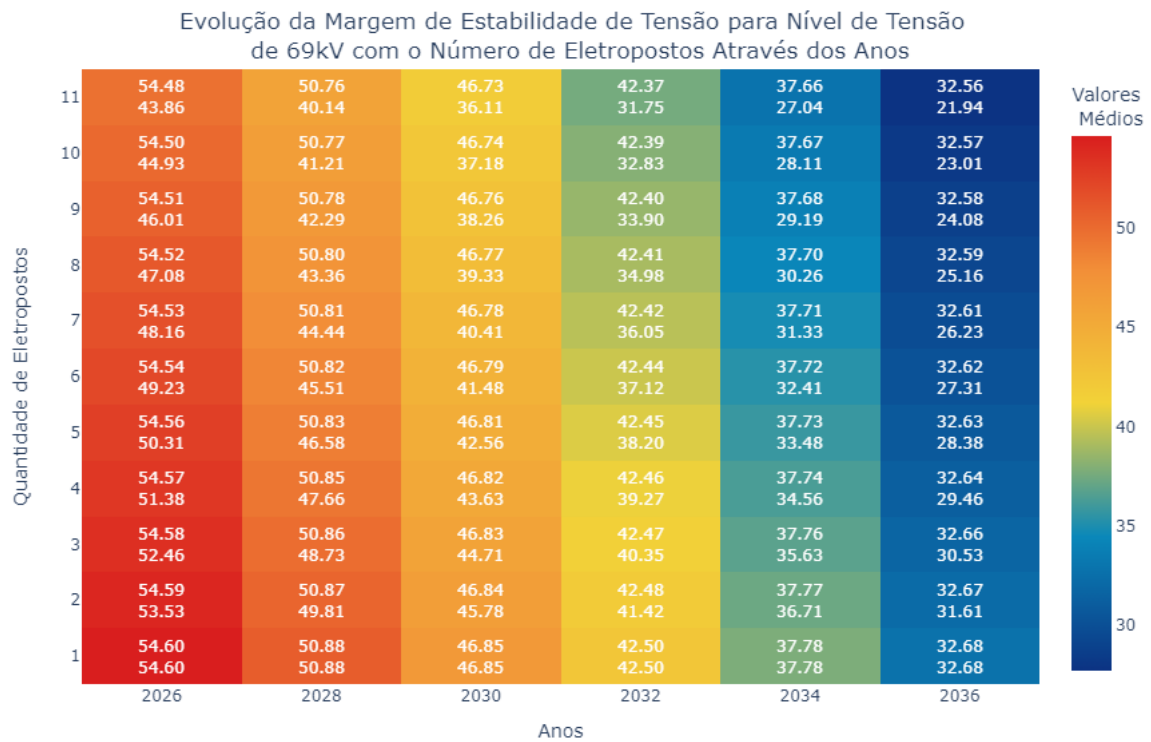


Figura 4.5: Evolução da Margem de Estabilidade de Tensão para Nível de Tensão de 138kV com o Número de Eletropostos Através dos Anos.

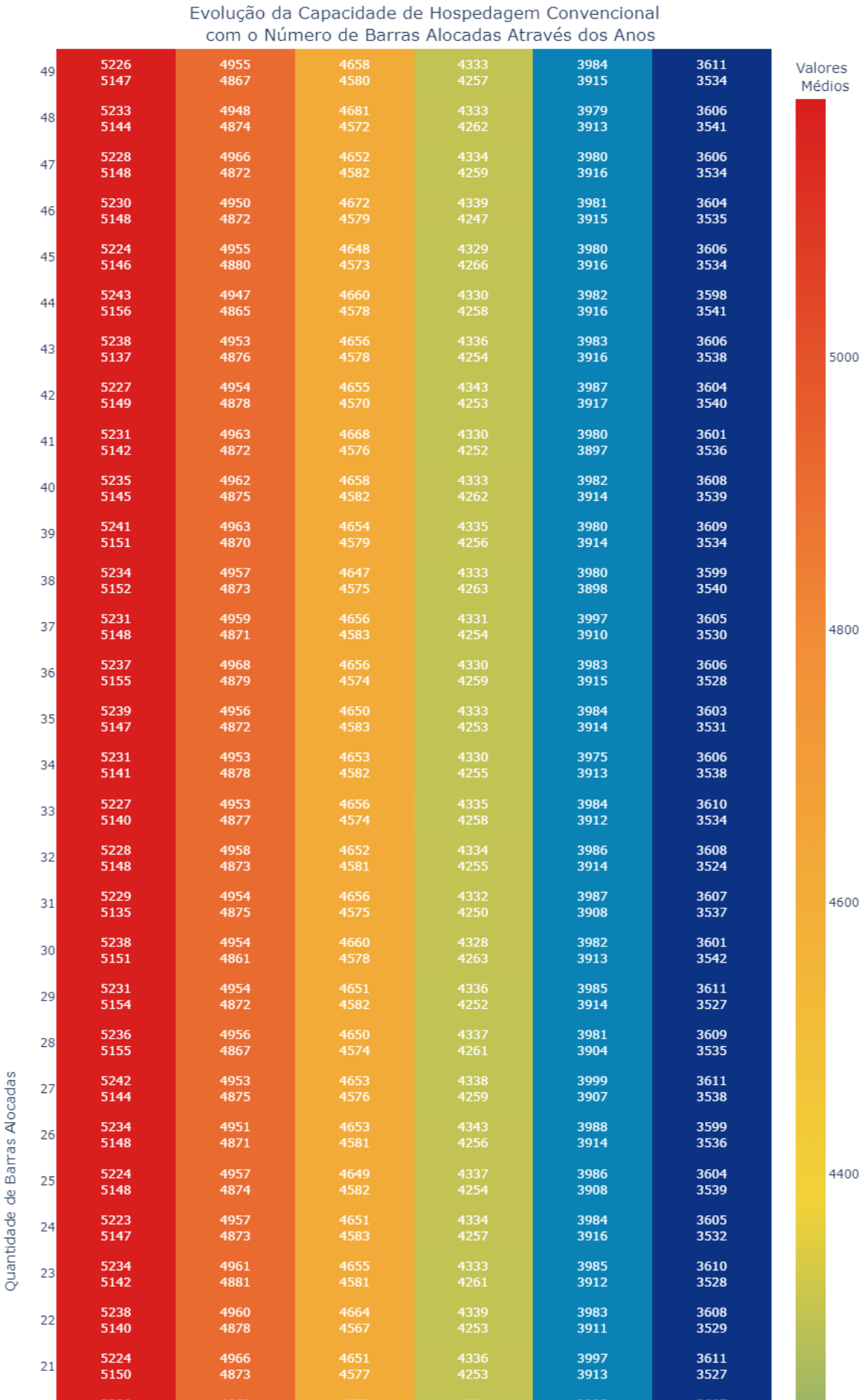
Fonte: Do autor.

### 4.3.5 Capacidade de Hospedagem dos Eletropostos

A capacidade de hospedagem do sistema baseia-se na quantidade de eletropostos possíveis de serem alocados no intervalo de potência disponível a partir do ponto de operação até o ponto de máximo carregamento considerado, que para esta análise, será o máximo PMC.

#### 4.3.5.1 Capacidade de Hospedagem Convencional

Assim como a margem de estabilidade convencional, a capacidade de hospedagem convencional avalia a capacidade bruta de alocação de novas cargas, mesmo que a condição segura de operação não seja garantida. O eixo vertical, diferente das figuras anteriores, representa o número de barras nas quais os eletropostos seriam conectados.





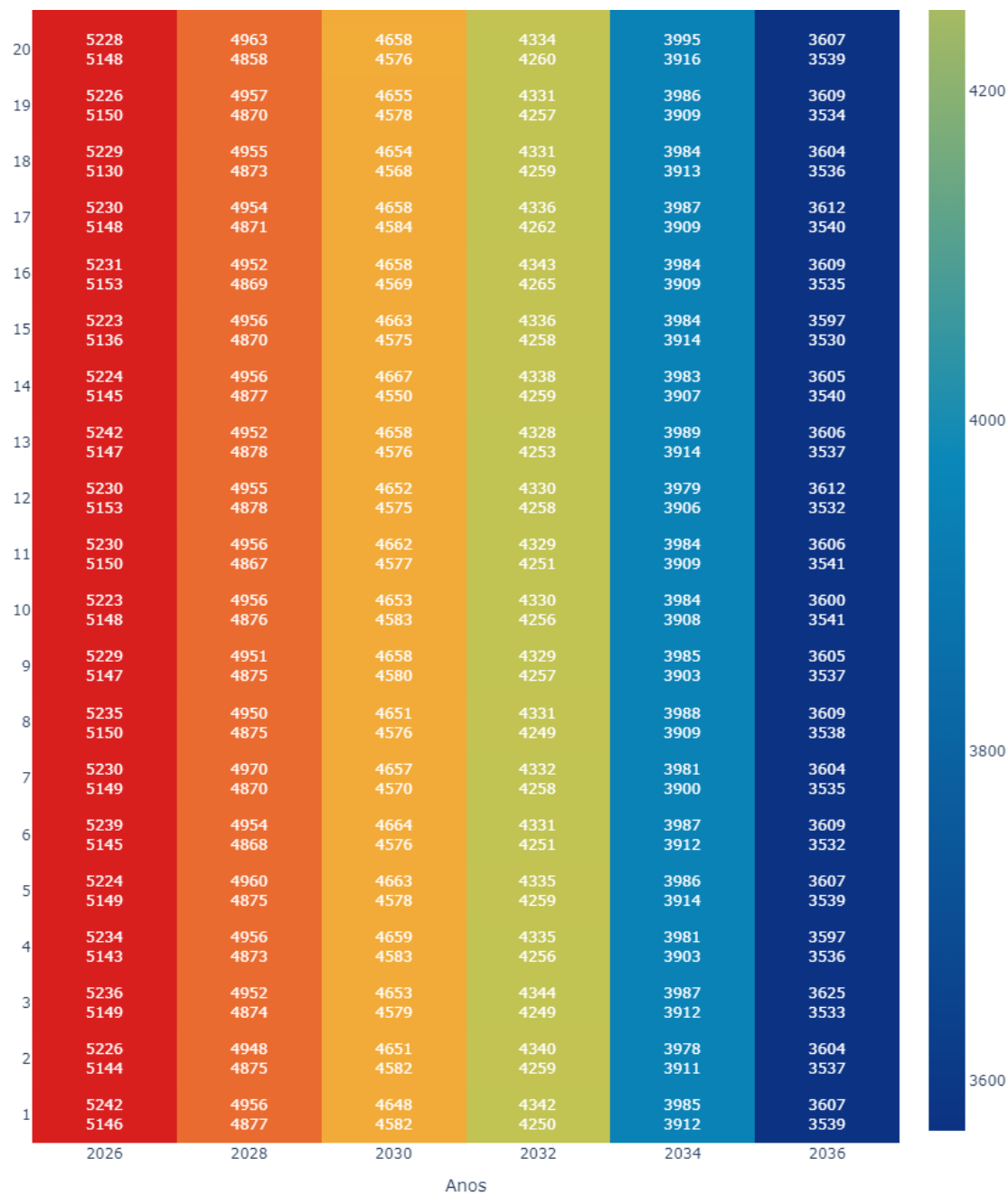


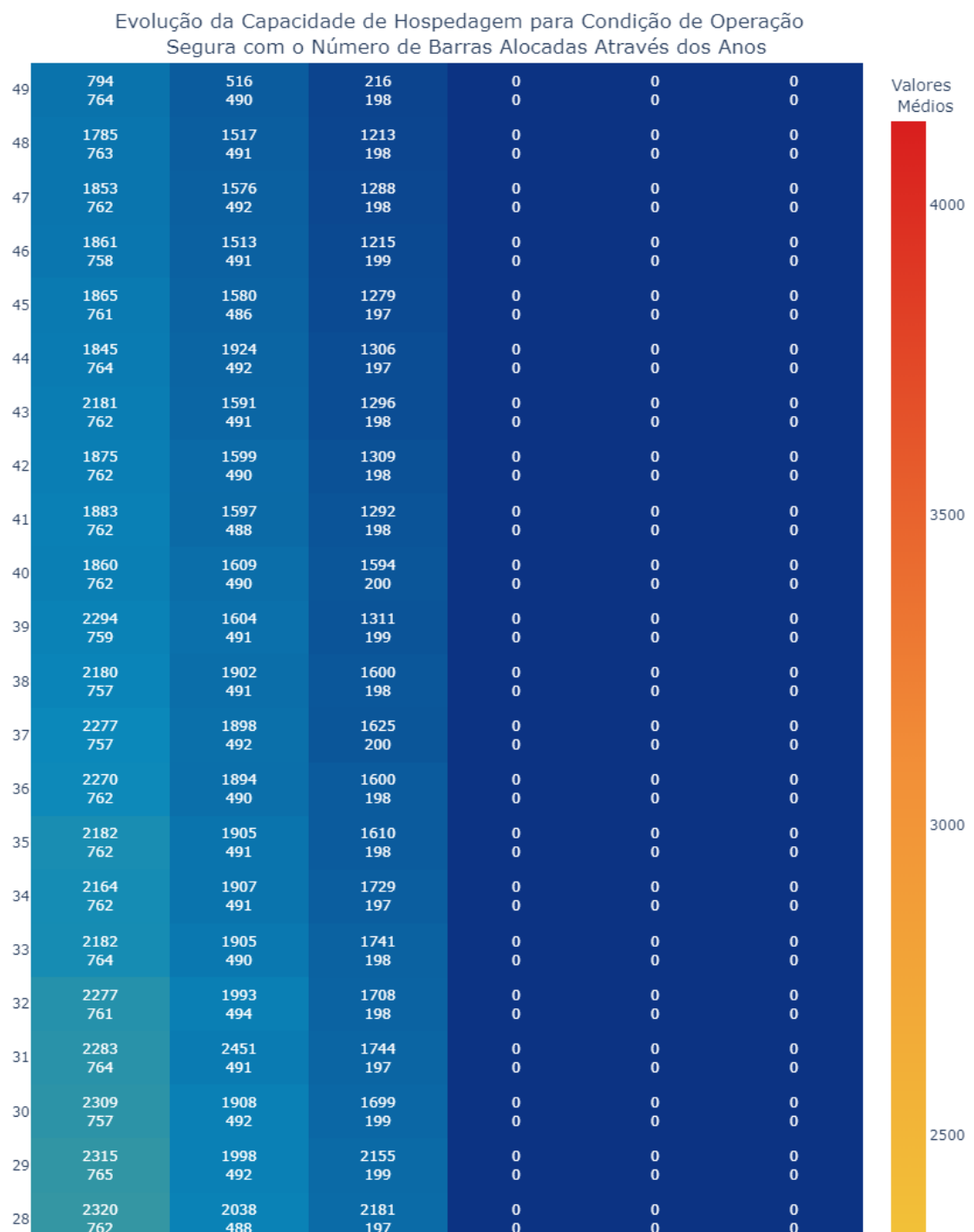
Figura 4.6: Evolução da Capacidade de Hospedagem Convencional com o Número de Barras Alocadas Através dos Anos.

Fonte: Do autor.

Na Fig. 4.6 fica evidente que, quando analisado de maneira isolada, o número de barras alocadas tem pouca influência na capacidade de hospedagem. Por outro lado, é notável a diminuição da capacidade ao longo dos anos. Apesar dessa tendência, é importante ressaltar que os valores alcançados ainda são consideráveis.

### 4.3.6 Capacidade de Hospedagem para Condição de Operação Segura

Desta vez, o limite de potência para a operação segura passa a ser o ponto máximo de carregamento de cada uma das barras. O cálculo é feito a partir da iteração entre todas as barras e inclusão de sucessivos valores de potência possíveis dos eletropostos, de maneira aleatória.



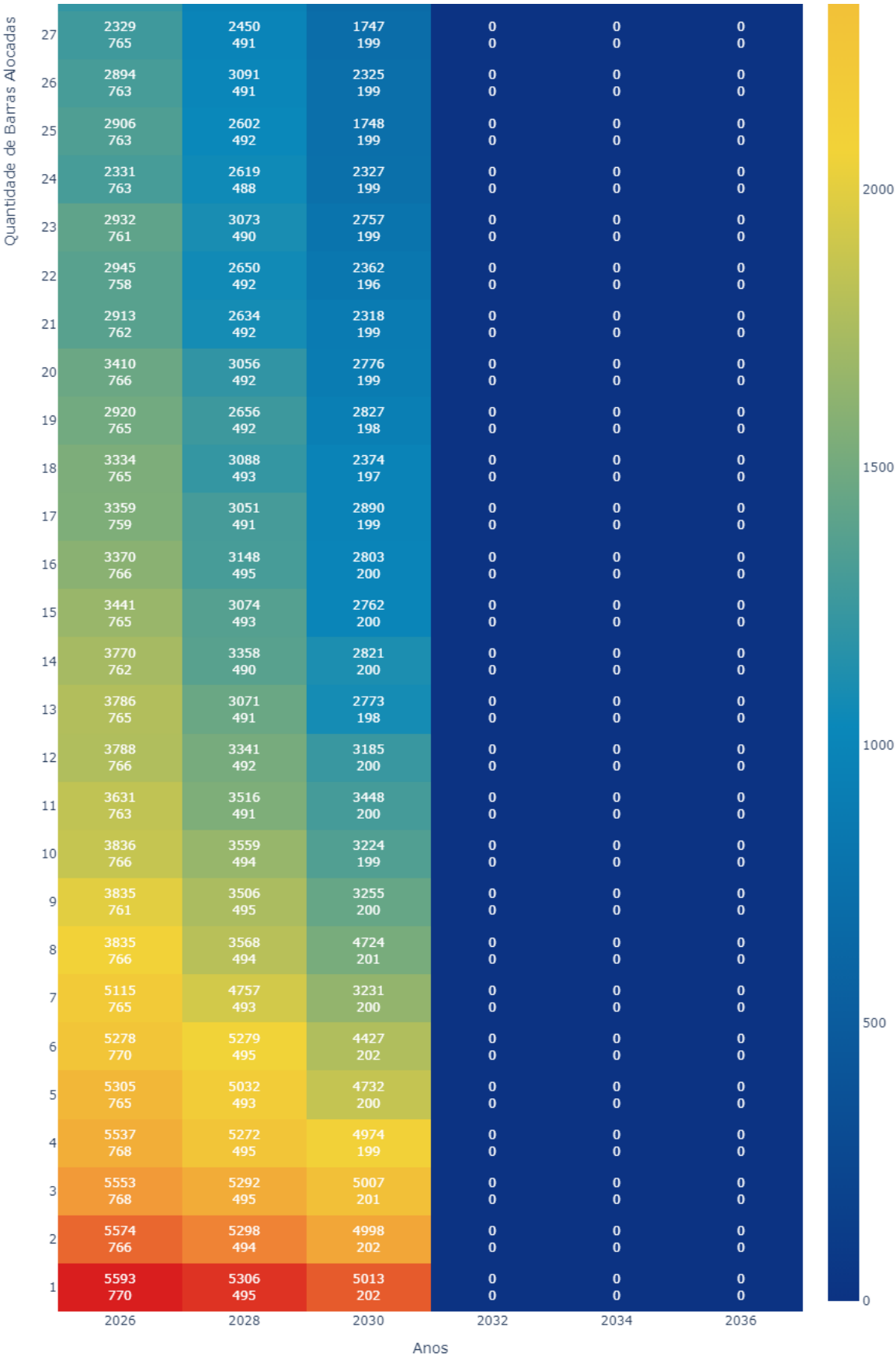


Figura 4.7: Evolução da Capacidade de Hospedagem para Condição de Operação Segura com o Número de Eletropostos Através dos Anos.

Fonte: Do autor.

Pela Fig. 4.7 vê-se que a resposta do sistema às condições de análise é interessante e demonstra sua fragilidade. Em 2032 o sistema já não é capaz de receber nenhuma estação de carregamento. Isso acontece pois no ano mencionado, o ponto de operação inicial já é maior que o potência limite de determinada barra do sistema, por isso a impossibilidade de receber novas estações.

### 4.3.7 Considerações Finais

O crescimento anual de consumo de energia elétrica acarreta um aumento de carga a qual a rede elétrica de Manaus e suas adjacências imediatas é submetida. Esse aumento de consumo afeta o comportamento do sistema elétrico, à medida em que mais consumidores, residenciais, comerciais ou industriais, elevam a demanda por energia.

Aumentar a carga na rede elétrica significa deslocar o ponto de operação do sistema e aproximá-lo do ponto de máximo carregamento, causando diminuição nos valores de margem de estabilidade, que são os níveis de segurança que garantem que a rede elétrica possa lidar com flutuações e contingências imprevistas.

A amplificação do consumo impacta a potência disponível para a alocação de outros recursos, como postos de carregamento de carros elétricos, alvo desta pesquisa. Portanto, o crescimento do consumo de energia elétrica não apenas afeta a estabilidade do sistema elétrico, mas também influencia a capacidade de expandir e acomodar novas tecnologias.