



# TransforPredict: Sistema Avançado de Diagnóstico e Priorização de Obras para Melhoramento de Baixa Tensão

**Tema:** Redes de Distribuição

**Autores:** Matheus Victor de Paiva Germano

**Co-Autores:** Cristiano Santos de Santana, Isaque de Santana dos Santos

**Empresa:** Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia - Neoenergia Coelba

---

## Resumo

O sistema *TransforPredict* da Neoenergia Coelba representa uma inovação significativa no diagnóstico e na priorização de obras para o melhoramento de baixa tensão. Utilizando análise avançada de dados do sistema elétrico, o *TransforPredict* identifica transformadores MT/BT e redes de baixa tensão que estão ou estarão em sobrecarga no horizonte dos próximos cinco anos. Através de uma matriz de riscos, o sistema prioriza as obras necessárias e define ações preventivas, resultando em uma redução de ocorrências por sobrecargas e problemas de nível de tensão. Além disso, melhora os indicadores de qualidade do fornecimento de energia, minimizando as compensações por transgressões de limites, refletindo diretamente na satisfação dos clientes, na eficiência operacional e financeira da distribuidora.

## 1. Introdução

Nos últimos anos, a Neoenergia Coelba vem crescendo significativamente o seu investimento em expansão de redes e melhorias no sistema elétrico da Bahia. Entretanto, apesar dos grandes investimentos realizados, houve também um aumento financeiro significativo em planos corretivos, indicando que há grandes oportunidades em planos preventivos que visam antecipar os problemas do futuro, reduzindo assim, a necessidade de intervenção na rede de forma emergencial e não programada.

A realização de obras emergenciais, além de não evitar o número de interrupções, é, de forma geral, mais cara e custosa para a distribuidora, refletindo diretamente na sua eficiência financeira. Com uma preditividade eficiente dos ativos em operação acima do seu limite de capacidade, a distribuidora poderá criar ações de contorno e realizar de forma eficiente a intervenção na rede, sem perda de ativos e insatisfação dos consumidores.

Esse diagnóstico culminou na necessidade de criar uma metodologia capaz de informar de forma assertiva as prioridades dos ativos que necessitam de ações preventivas. Entretanto, a Coelba possui em sua base de ativos mais de 312 mil transformadores MT/BT, o que demandaria um grande esforço caso a metodologia aplicada para a definição de diagnóstico não fosse automatizada.

Para enfrentar esses desafios, a Neoenergia Coelba desenvolveu uma aplicação que, através dos dados de faturamento de energia segmentados por classe de consumidor para cada transformador da companhia, determina o nível de carregamento dos transformadores e, consequentemente da sua rede BT. A ferramenta

analisa o transformador em cenário de carga e no cenário de geração, transformando os dados de energia em demanda aparente e realizando a comparação com a capacidade do transformador.

## 2. Desenvolvimento

A necessidade de automação do processo de diagnóstico da rede MT/BT, devido à alta quantidade de ativos na rede da Neoenergia Coelba, tornou-se uma das prioridades do planejamento MT/BT da distribuidora. O sistema teve seu desenvolvimento inicial em julho de 2024, com o objetivo principal de transformar os dados elétricos disponíveis de energia faturada em detecção de ativos em sobrecarga. Essas melhorias permitiram um diagnóstico mais preciso e eficiente, reduzindo o HH necessário para a realização do estudo. Para confecção do sistema, foi necessário a colaboração e envio de informação das seguintes áreas:

- 1) **Base de dados:** Unidade responsável pela atualização e gerência das informações georreferenciadas e técnicas da distribuidora.
- 2) **Pós-Operação:** Unidade responsável por acompanhar os dados das ocorrências por transformador e de conjuntos desenquadrados.
- 3) **Planejamento de Redes MT/BT:** Unidade responsável por transformar os *inputs* em diagnóstico e gerar as ações e proposições de obras de melhoramento.

Na Figura 1, podemos identificar o macrofluxo do processo e as áreas envolvidas no processo.

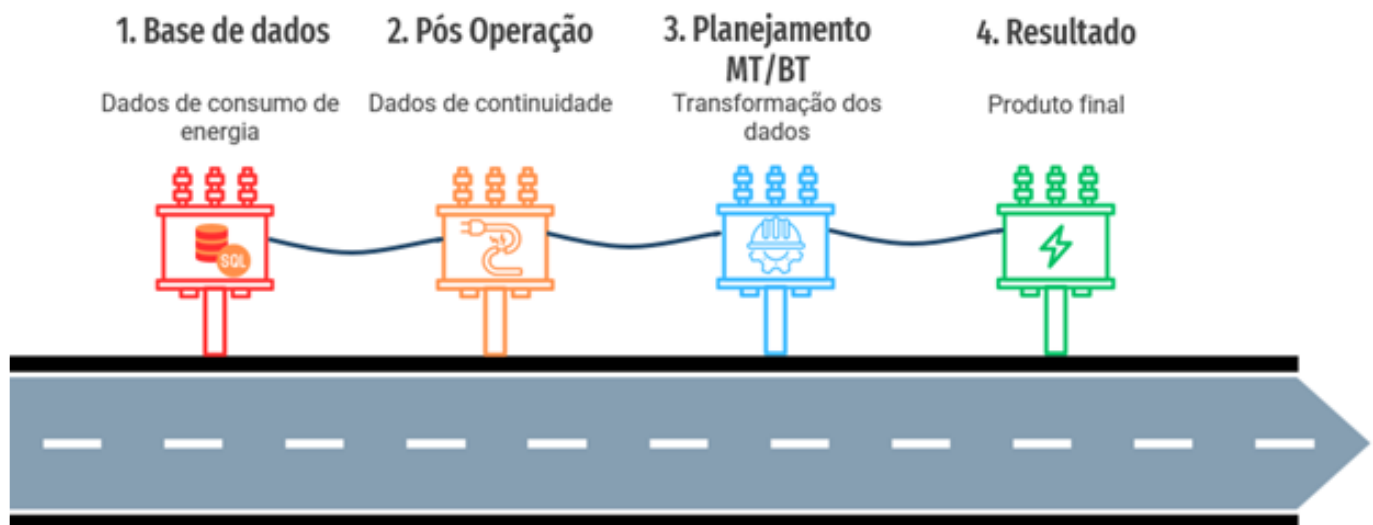


Figura 1: Esteira produtiva – Setores colaboradores.

### 2.1 Arquitetura do sistema

O *TransforPredict* foi desenvolvido utilizando a linguagem Python, sendo composto por três *inputs* principais: dados de energia faturada do transformador (injetada e consumida), dados técnicos e ocorrências associadas.

A partir desses *inputs*, a automação trata os dados inseridos e realiza os cálculos de transformação de energia para potência, além de definir a curva de demanda de acordo com curvas típicas para cada classe de consumo. Para alcançar o produto final, o *TransforPredict* passa por algumas etapas, conforme visualizado na Figura 2.

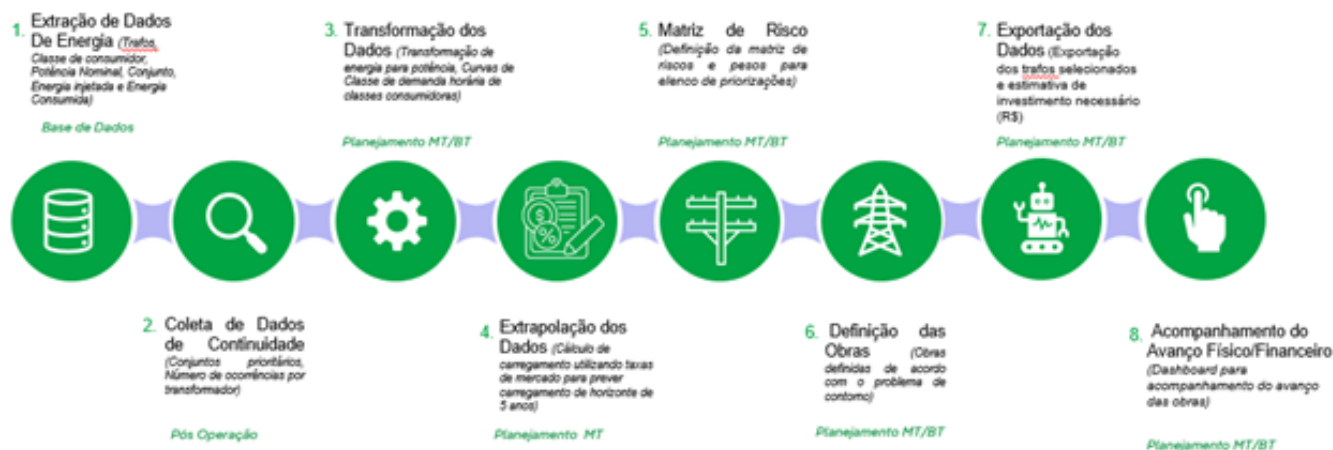


Figura 2 – Fluxograma das etapas.

## 2.2 Transformação de energia em potência

Para prever possíveis sobrecargas, considerou-se a média semestral dos últimos meses a partir da data de extração dos dados da energia consumida por cada conta contrato, aplicando uma equação que converte os dados de consumo de energia (kWh/mês) de cada conta contrato associada aos transformadores estudados em potência aparente (kVA). Essa abordagem permite uma análise para descrever a carga suportada pelos transformadores, facilitando a identificação de unidades que necessitam de intervenção.

Consideramos a Tabela 1, conforme norma vigente (NEOENERGIA, 2022, p. 21), com as seguintes descrições de consumidores e, seus respectivos fatores de carga e potência.

Tabela 1 – Fator de carga e potência por classe consumidora.

Descrição	Fc	Fp
Residencial	0,21	0,95
Comercio	0,47	0,88
Industria	0,25	0,78
Serviço público	0,42	0,88
Poder público	0,31	0,86

Utilizando a tabela de fator de carga a demanda ativa da classe consumidora, através da Equação 1.

$$kW = \frac{kWh}{(720 . FC)} \quad (1)$$

Utilizando a tabela de fator de potência e a demanda ativa, podemos calcular a demanda aparente através da Equação 2.

$$kVA = \frac{kW}{FP} \quad (2)$$

kWh: é uma medida da energia elétrica consumida por um aparelho durante um determinado período de funcionamento.

kW: é uma medida da energia elétrica consumida por um aparelho durante um determinado período de funcionamento.

kVA: é soma da potência ativa (potência realmente útil) e da potência reativa (potência que não realiza um trabalho efetivo).

FC: razão entre a demanda média e a demanda máxima da unidade consumidora, ocorridas no mesmo intervalo de tempo;

FP: razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativa e reativa, consumidas em um mesmo período.

720: média de horas considerado por mês.

Após a conversão dos dados de consumo, obtemos a potência aparente de cada transformador. Em seguida, avaliamos esses valores em relação aos limites térmicos dos transformadores instalados na rede aérea, utilizando curvas de carga convencionais de 150% para determinar a sobrecarga dos equipamentos, conforme as normas técnicas vigentes (NEOENERGIA, 2022, p. 21).

### 2.3 Projeção de cargas (horizonte de 5 anos)

A taxa de crescimento de carregamento do transformador MT/BT considerou a projeção de carregamento do alimentador da rede de média tensão ao qual o transformador está associado. Para determinar o crescimento do alimentador, foi utilizada a extrapolação dos dados de medições de corrente dos últimos três anos, gerando valores em porcentagem de crescimento anual. Esses valores de crescimento foram atribuídos ao longo dos anos ao carregamento dos transformadores, identificando ano a ano o carregamento e o enquadramento no limite máximo de 150% em relação à sua potência nominal.

### 2.4 Matriz de risco e priorização

Para a metodologia de priorização foi definido pesos para posteriormente a montagem de uma matriz de risco, para elencar os transformadores prioritários que foram detectados com sobrecarga.

Tabela 2 – Priorização e Pesos.

Prioridade	Indicador	Peso
1	Carregamento	3
2	Ocorrências	2.5
3	Conjunto Prioritário	2
4	Compensação	1.5
5	Quantidade de Unidade Consumidoras	1.3

## 2.5 Definição dos transformadores e exportação dos dados

Para determinar o carregamento dos transformadores é necessário determinar o carregamento das classes de consumidores existentes associados a cada transformador. Essas curvas são utilizadas para refletir a demanda em diferentes períodos do dia, pois o carregamento do transformador deve ser considerado de forma não coincidente, ou seja, o somatório das demandas em cada um dos 24 patamares do dia. A Figura 3 representa a demanda de uma unidade comercial.

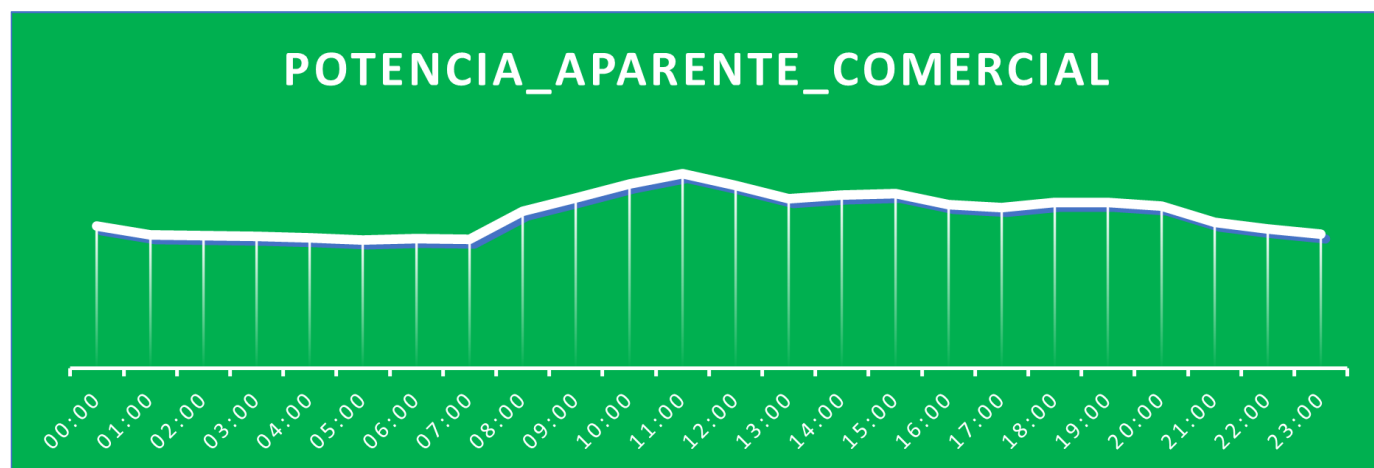


Figura 3 – Curva típica horário consumidor comercial.

A Figura 4 representa a demanda de uma unidade residencial nos 24 patamares do dia.



Figura 4 – Curva típica horário consumidor residencial.

Para realização do cálculo de carregamento do transformador, é preciso também considerar as gerações conectadas a este transformador, já que as gerações têm grande impacto no carregamento dos transformadores atualmente. Outro ponto importante a se considerar, é que já há transformadores que entram em sobrecarga em períodos de pico de geração, principalmente em dias úteis e em regiões residenciais com alta incidência de microgerações.

Para considerar estas gerações, foi adotado a curva típica de demanda de geração, representado na Figura 5.

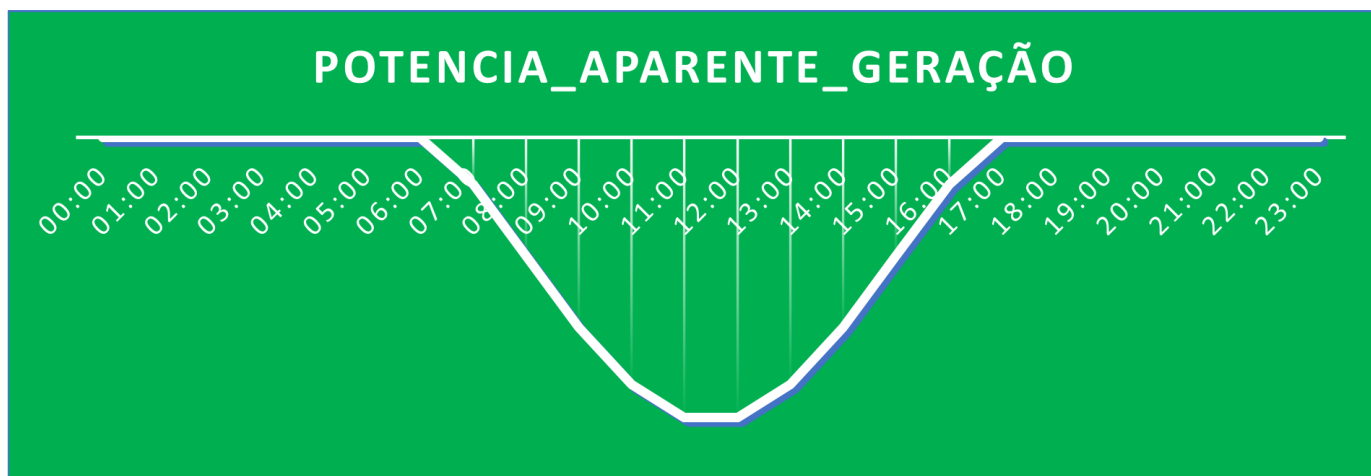


Figura 5 – Curva típica horário geração.

A obtenção do carregamento dos transformadores se dá com a somatória horária das curvas de demanda para cada transformador. A Figura 6, demonstra o carregamento de um transformador de 75 kVA, detectado em sobrecarga de 162% nos patamares de 19:00h e 20:00h.

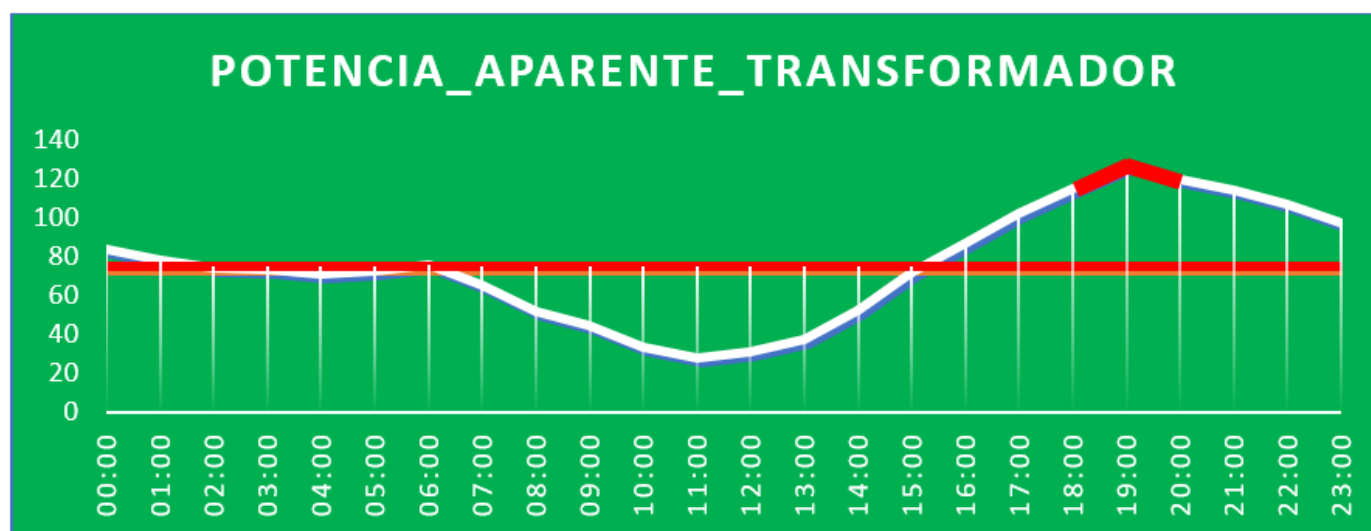


Figura 6 – Curva típica horário consumidor comercial.

Após a detecção do carregamento dos transformadores, é utilizado o georreferenciamento dos ativos para plotagem de mapas de calor e validações visuais de áreas com grande número de sobrecargas. Os dados são exportados via *Python* e plotados através de um arquivo em *HTML*, que pode ser utilizado de forma interativa em qualquer navegador *web*. Esses dados além de nos mostrarem áreas de grande crescimento de carga e/ou geração, nos dá *inputs* de regiões prioritárias de obras preventivas de melhoramento. A Figura 7 representa o mapa de calor dos transformadores identificados com sobrecarga no cenário de carga no horizonte de 5 anos. É possível constatar através da plotagem dos pontos no site criado em *HTML* que os pontos identificados com sobrecarga se trata de grandes centros urbanos ou consumidores.



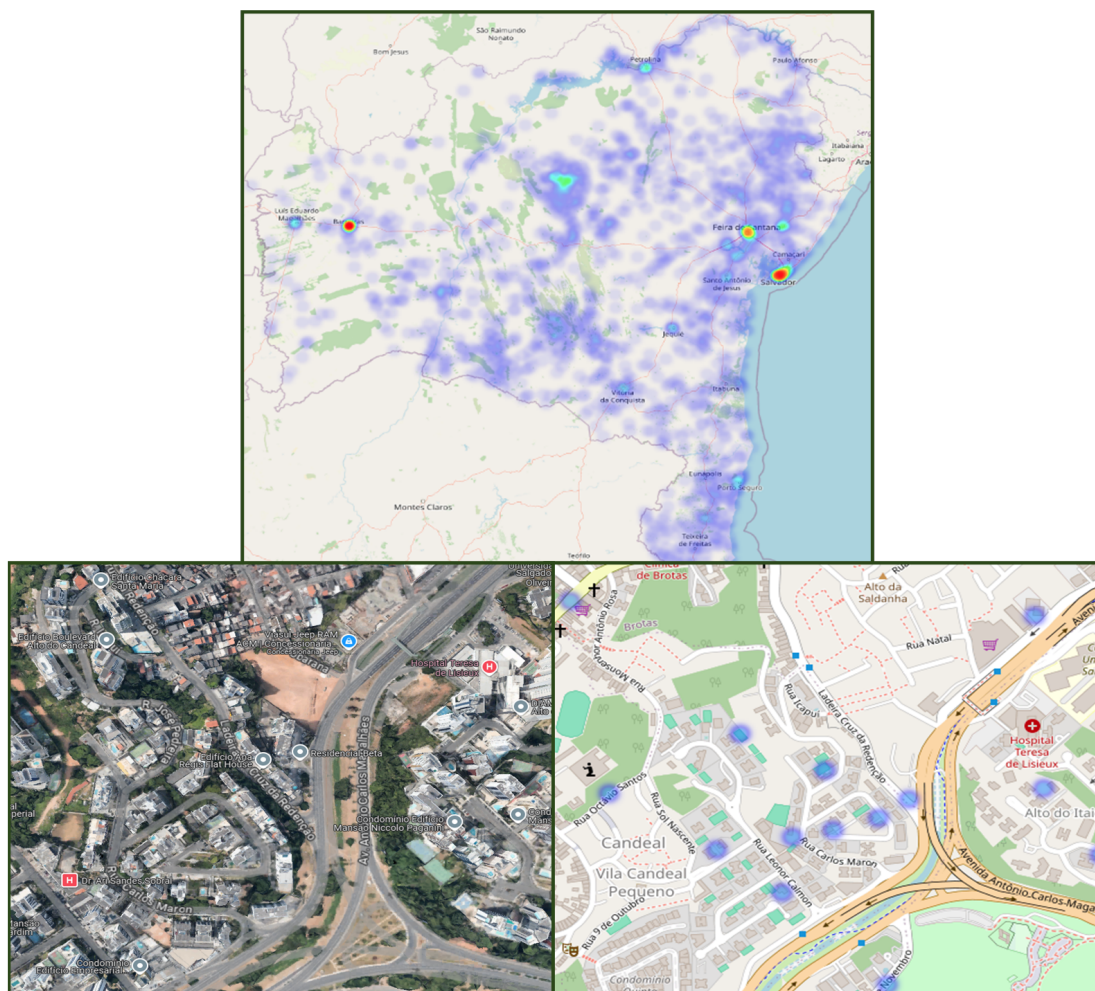


Figura 7 – Mapa de calor de transformadores em sobrecarga em cenário de carga.

A Figura 8 representa o mapa de calor dos transformadores identificados com sobrecarga em cenário de geração no horizonte de 5 anos. Esses transformadores têm uma alta probabilidade de ocorrências de sobrecarga e de nível de tensão. Através da plotagem é possível identificar visualmente que os grandes pontos de calor são localidades com alto índice de gerações.

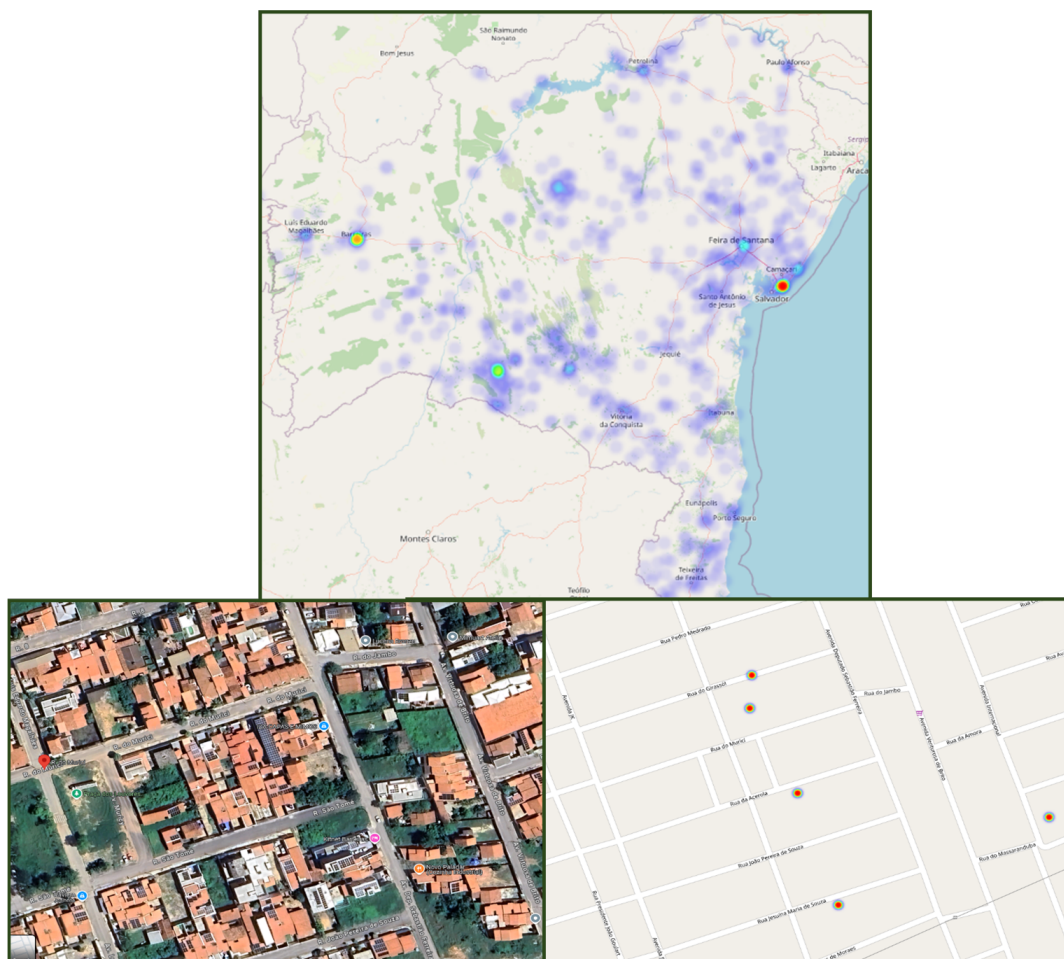


Figura 8 – Mapa de calor de transformadores em sobrecarga em cenário de geração.

Além do mapa de calor, a automação exporta um arquivo completo, contendo todas as informações necessárias para geração das obras de melhoramento, ranqueando os transformadores priorizados nos próximos anos. Na Figura 9 é mostrado o resumo da tabela exportado pelo *TransforPredict*.

Transformadores	Pot Nominal	Carregamento	Ocorrências	Conj. Prioritario	Compensação	Unidades Consumidoras	Peso	Carimbo	Plano 2025
A34893	102,5	200%	2	SM	NÃO	42	23,34	Carregamento	Sim
J03143	75	200%	3	SM	SM	134	21,8	Compensação	Sim
W73465	30	199%	1	SM	NÃO	181	20,4	Carregamento	Sim
F42553	45	198%	2	SM	NÃO	121	19,5	Carregamento	Sim
H28079	102,5	198%	24	SM	SM	100	19,3	Compensação	Sim
H36286	75	197%	5	SM	NÃO	70	18,0	Carregamento	Sim
F23402	102,5	196%	3	SM	SM	62	17,4	Compensação	Sim
A63879	45	195%	3	SM	NÃO	56	16,2	Carregamento	Sim
F02809	102,5	194%	1	SM	NÃO	40	13,2	Carregamento	Sim
F21127	75	194%	3	SM	NÃO	42	13,1	Carregamento	Sim
H35093	102,5	194%	3	SM	NÃO	134	12,4	Carregamento	Sim
Y02269	45	194%	1	SM	NÃO	181	12,3	Carregamento	Sim
F12765	102,5	194%	5	SM	SM	121	11,5	Compensação	Sim
W79626	75	192%	3	SM	NÃO	100	9,8	Carregamento	Sim
F19467	102,5	191%	1	SM	NÃO	70	9,1	Carregamento	Sim
F35887	45	191%	5	SM	SM	62	8,9	Compensação	Sim
F42153	102,5	191%	24	SM	NÃO	56	8,4	Carregamento	Sim
F41057	75	191%	5	SM	SM	40	8,1	Carregamento	Sim

Figura 9 – Tabela de dados exportados ao fim do processo.

## 2.6 Resultados e Benefícios



A atualização do *TransforPredict* trouxe diversos resultados positivos e benefícios significativos para a Neoenergia Coelba:

- Atualização do processo de melhoramento BT: Novo modelo de fluxo para o planejamento de melhoramento BT.
- Agilidade no atendimento: Com a inovação espera-se reduzir em 20% o tempo médio de atendimento (TMAE) de ocorrências associadas a sobrecargas de transformadores.
- Assertividade no planejamento: Planejamento mais assertivo utilizando diferentes bases e indicadores para definição das obras prioritárias (dados de energia, ocorrências e conjunto desenquadrados).
- Eficiência financeira e operacional: Espera-se uma redução em 21% no número de ocorrências em abertura por sobrecarga com a implementação da metodologia.

### **3. Conclusão**

A criação do *TransforPredict* pela Neoenergia Coelba representa um avanço significativo nas ações de planejamento da distribuidora. Com a contribuição da inovação, obtivemos ganhos no fluxo do processo, desenvolvendo metodologias de diagnóstico, definição de prioridades, agilidade e assertividade no planejamento de soluções para a melhoria das redes de baixa tensão. Essas contribuições trarão grandes benefícios nos indicadores de qualidade do produto e serviço, reduzindo a quantidade de intervenções emergenciais na rede e corroborando com o espírito da Neoenergia de tornar seus processos mais eficientes e gerar ganhos operacionais, trazendo cada vez mais satisfação aos seus clientes.

### **4. Referências bibliográficas**

ENERGÊS. Entenda tudo sobre o Fator de Capacidade (FC). Disponível em: <https://energes.com.br/fator-de-capacidade/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

NEOENERGIA. Critérios para Elaboração de Projeto de Rede de Distribuição Aérea. Norma DIS-NOR-012, p. 21-76. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/web/sp/normas-tecnicas>. Acesso em: 29 nov. 2024.