



# NEXUS - Algoritmo Estatístico e de Inteligência Artificial para Otimização na Seleção de Alvos de Inspeção de Irregularidades

**Tema:** Recuperação de energia - Perdas não-técnicas

**Autores:** Brenda Silva Porto

**Co-Autores:** Thiago Valfré Lecchi

**Empresa:** EDP Espírito Santo Distribuição de Energia S.A.

## Resumo

O Nexus é um algoritmo estatístico desenvolvido para otimizar a seleção de alvos de inspeção relacionados às perdas não técnicas no consumo de energia elétrica, como furtos, fraudes e falhas. O sistema analisa dados de consumo, informações cadastrais e serviços operacionais das unidades consumidoras (UCs) para identificar padrões atípicos e priorizar alvos com maior probabilidade de irregularidades. A ferramenta aprimora a precisão das inspeções, detectando variações no consumo e reincidências de fraudes, mesmo diante de comportamentos sazonais. Integrado ao Power BI, o Nexus facilita a visualização e análise estratégica dos dados. Os resultados incluem um aumento na taxa de acerto e no volume de energia recuperada, consolidando o Nexus como uma ferramenta essencial para reduzir as perdas não técnicas e aumentar a eficiência operacional das distribuidoras de energia.

## 1. Introdução

No desafiador cenário da distribuição de energia elétrica, a busca por eficiência operacional e a redução de perdas tornaram-se prioridades indiscutíveis para as empresas do setor. As perdas do sistema elétrico referem-se à energia gerada que não é comercializada, podendo ser por motivos técnicos ou comerciais, classificadas em técnicas e não técnicas.

As perdas técnicas são resultantes da energia dissipada no processo de transporte, transformação de tensão e medição. As perdas não técnicas se originam principalmente dos furtos (ligação clandestina, desvio direto da rede), fraudes (adulterações no medidor ou desvios), erros de leitura, medição e faturamento. Elas são calculadas pela diferença entre a energia total fornecida aos consumidores e a quantidade faturada. (ANEEL, 2024).

Detectar e corrigir essas irregularidades de maneira eficiente é essencial, uma vez que o furto de energia representa uma perda substancial de receita e pode comprometer a estabilidade e a confiabilidade do sistema elétrico. Além disso, o furto de energia pode sobrecarregar as redes elétricas, elevar os custos operacionais e colocar em risco a segurança dos consumidores e dos trabalhadores do setor.

As inspeções de irregularidades voltadas ao combate às perdas não técnicas são fundamentais e incluem a identificação, investigação e correção dos desvios diretos da rede, manipulações ou adulterações em medidores de energia, conexões clandestinas e outras práticas fraudulentas que resultam em consumo não registrado ou subfaturado de energia elétrica. Para viabilizar tais ações, são empregadas técnicas e

tecnologias avançadas, incluindo análise de dados, monitoramento remoto, inspeções visuais e auditorias físicas em campo. (EDP, 2024).

A aplicação de algoritmos de inteligência artificial (IA) para detectar comportamentos irregulares e padrões de consumo atípicos é uma prática cada vez mais comum. O avanço dessas tecnologias permite identificar alvos que seriam difíceis de detectar com métodos tradicionais, melhorando significativamente a eficiência na seleção de alvos para inspeção.

Nesse contexto, foi desenvolvido o algoritmo Nexus, que integra métodos matemáticos, estatísticos e inteligência artificial para a seleção de alvos com maior probabilidade de irregularidades. Seu objetivo principal é aumentar o ticket médio, que representa a quantidade média de energia recuperada por inspeção bem-sucedida, e melhorar o acerto no direcionamento de inspeções. O Nexus prioriza alvos com maior retorno energético estimado, maximizando a eficiência das ações de combate às perdas não técnicas e otimizando os recursos operacionais.

Baseado em variações atípicas no padrão de consumo de cada unidade consumidora (UC), o Nexus identifica comportamentos suspeitos, analisa dados históricos, como alterações na titularidade ou responsabilidade das UCs e notas de serviços comerciais executadas, e detecta reincidências de furtos e fraudes de energia, falhas na medição e classifica perfis de consumo.

O Nexus também é capaz de reconhecer comportamentos sazonais de UCs, como variações típicas de zonas rurais durante períodos de plantio e colheita ou de regiões litorâneas durante a alta temporada de verão. O processamento é realizado automaticamente na nuvem, por meio de integrações com DataLake e SQL, garantindo agilidade e precisão na gestão dos dados.

Ao aliar tecnologias avançadas de análise e inteligência artificial, o Nexus não apenas aprimora a gestão do combate às perdas, mas também otimiza o direcionamento das inspeções, contribuindo para resultados mais eficazes e sustentáveis no setor elétrico.

## 2. Desenvolvimento

O processo de seleção de alvos para inspeções de irregularidades combina tecnologias avançadas de análise de dados, inteligência artificial e estatística. As principais etapas envolvem:

- **Análise de Padrões de Consumo:** identificação de variações atípicas no histórico de consumo das UCs, como degraus abruptos de aumento ou redução, sazonalidades anormais ou padrões incompatíveis com o perfil cadastral do cliente.
- **Utilização de Algoritmos de IA:** modelos preditivos, como redes neurais, *Random Forest* e *K-means*, são aplicados para detectar comportamentos suspeitos e priorizar alvos com base na probabilidade de irregularidade.
- **Integração de Dados Cadastrais e Operacionais:** informações adicionais, como histórico de serviços, reincidências, mudanças de titularidade e localização geográfica, enriquecem a análise e permitem maior assertividade na definição de prioridades.

O algoritmo Nexus combina análise estatística avançada de padrões de consumo com a integração de dados cadastrais e operacionais, oferecendo uma abordagem abrangente e precisa para a identificação de irregularidades no consumo de energia. Por meio de técnicas estatísticas, o Nexus identifica variações atípicas no histórico de consumo das unidades consumidoras (UCs), considerando aspectos como degraus abruptos de consumo, padrões sazonais incompatíveis e desvios significativos em relação às expectativas.

Essa metodologia possibilita a seleção de alvos com maior ticket médio, otimizando recursos e priorizando inspeções com maior potencial de recuperação de energia. Além disso, contribui para aumentar o índice de acerto no direcionamento de inspeções, promovendo ações mais eficazes e impactantes na recuperação de energia não faturada.

A integração de dados cadastrais, como perfil do cliente, categoria de consumo e histórico de titularidade, possibilita uma análise personalizada e contextualizada para cada UC. Dados operacionais, como registros de notas de serviços, histórico de inspeções e ocorrências de irregularidades, enriquecem ainda mais o modelo analítico. Dessa forma, o Nexus aumenta significativamente a assertividade na identificação de fraudes ou falhas, consolidando-se como uma ferramenta estratégica no enfrentamento das perdas não técnicas.

## 2.1. METODOLOGIA

O cálculo de um degrau de consumo de energia elétrica consiste em identificar variações abruptas ou anômalas no consumo de uma UC ao longo do tempo. Este processo estatístico é essencial para detectar possíveis irregularidades, como furto, fraudes ou falhas, ou mudanças significativas no perfil de consumo.

### 2.1.1. Definição dos Dados de Entrada

- Consumo histórico da UC: vetor contendo os valores mensais de consumo de energia elétrica registrados ao longo do tempo.
- Dados cadastrais da UC: informações como classe, nível de tensão, número de fases e alterações de titularidade ou responsabilidade.
- Histórico de notas de serviços da UC: registros de visitas técnicas, incluindo inspeções de irregularidades, substituições de medidores de energia elétrica, além de desligamentos e religamentos de energia.

### 2.1.2. Pré-processamento dos Dados

- Remoção de *outliers* extremos: aplicação de métodos estatísticos, como o intervalo interquartil, para identificar e excluir valores atípicos que possam comprometer a integridade e a precisão da análise.
- Preenchimento de valores ausentes: substituição dos valores ausentes por zero, refletindo a ausência de registro de consumo nos períodos em questão.

### 2.1.3. Cálculo de Média e Degrau

Cálculo de média móvel (janela deslizante): O cálculo do degrau de consumo utilizando a métrica de janela deslizante é realizado por meio da média do consumo de energia em uma janela de 12 meses. Essa janela se desloca mês a mês ao longo do histórico disponível. A cada novo mês, a janela é ajustada, incluindo o mês atual e excluindo o mês mais antigo da janela anterior. Essa abordagem permite calcular, para cada mês, a média dos últimos 12 meses, refletindo variações sazonais ou mudanças no padrão ao longo do tempo. A média móvel de degrau é eficaz na identificação de quedas significativas no consumo, ou seja, os "degraus", ao comparar o valor atual com a média dos meses anteriores. Isso possibilita uma análise dinâmica do comportamento da UC e a detecção de padrões atípicos ou anômalos, como apresentado na equação (1). (SNOWFLAKE, 2024).

$$MediaMovel = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t Consumo_i \quad (1)$$

Para  $n = 12$ , sendo que  $n$  é o tamanho da janela.

Onde  $t \geq x$  e  $t \leq y$ , sendo que  $t$  é a variação dos meses dentro da janela,  $x$  é o primeiro mês de consumo da UC e  $y$  é o mês mais atual.

#### 2.1.4. Critérios de Identificação de Degrau

- Queda significativa: Intervalo de 70 a 80% do consumo anterior.
- Validação de quedas relevantes: 120%.
- Retorno à normalidade: 90%.

#### 2.1.5. Datas e Períodos

- Identificação do período do degrau.
- Comparação com médias antes e após a queda.

#### 2.1.6. Cálculo da Perda Total (Valor do Degrau)

A perda total associada ao degrau de consumo é calculada como a soma das diferenças mensais de energia entre o consumo esperado e o consumo efetivamente registrado durante os 12 meses subsequentes ao ponto de identificação do degrau, conforme expresso na equação (2).

$$EnergiaDegrau12Meses = \sum_{i=1}^{12} (Media12Meses - ConsumoMes_i) \quad (2)$$

#### 2.1.7. Validação do Degrau

- Consistência temporal: verificar se o degrau persiste nos períodos seguintes.
- Cruzamento com outros dados: validar o degrau identificado com informações complementares, como alterações de titularidade, mudanças estruturais no local ou notificações de manutenção.
- Saída do Algoritmo (resultados por instalação): identificação da instalação, mês de detecção do degrau e valor do degrau ou energia prevista para recuperação.

Esse algoritmo é frequentemente implementado em sistemas baseados em *analytics* ou inteligência artificial, como o monitoramento de padrões de consumo em distribuidoras de energia elétrica. Ele pode ser combinado com técnicas de aprendizado de máquina para refinar as análises e incorporar contextos adicionais que impactam o consumo de energia.

### 2.2. ESTUDOS DE CASOS

#### 2.2.1. Primeiro Caso

O algoritmo Nexus identificou que, em novembro de 2022, uma determinada UC apresentou um degrau de consumo significativo. Nos 12 meses anteriores à constatação da variação, a unidade mantinha uma média de consumo de 1.268kWh, que reduziu para uma média de 326Kwh nos 12 meses subsequentes ao degrau. Essa mudança abrupta foi detectada por meio da análise estatística de padrões de consumo, sugerindo uma possível irregularidade ou alteração no perfil de utilização da UC.

Com a suspeita mapeada, uma inspeção de irregularidade foi direcionada para o local. Durante a vistoria, realizada em junho de 2024, foi constatada uma ligação direta no ponto de entrega da UC, realizada por meio de um jumper, conhecido também como "jacaré". No ato da inspeção, as correntes medidas no desvio eram de 38A na fase A, 35A na fase B e 32A na fase C. A irregularidade identificada atendia bombas de irrigação destinadas ao plantio de café.

Após a regularização do desvio de energia, o consumo da UC apresentou uma evolução abrupta, alcançando patamares ainda maiores do que os registrados no período anterior à constatação da irregularidade.

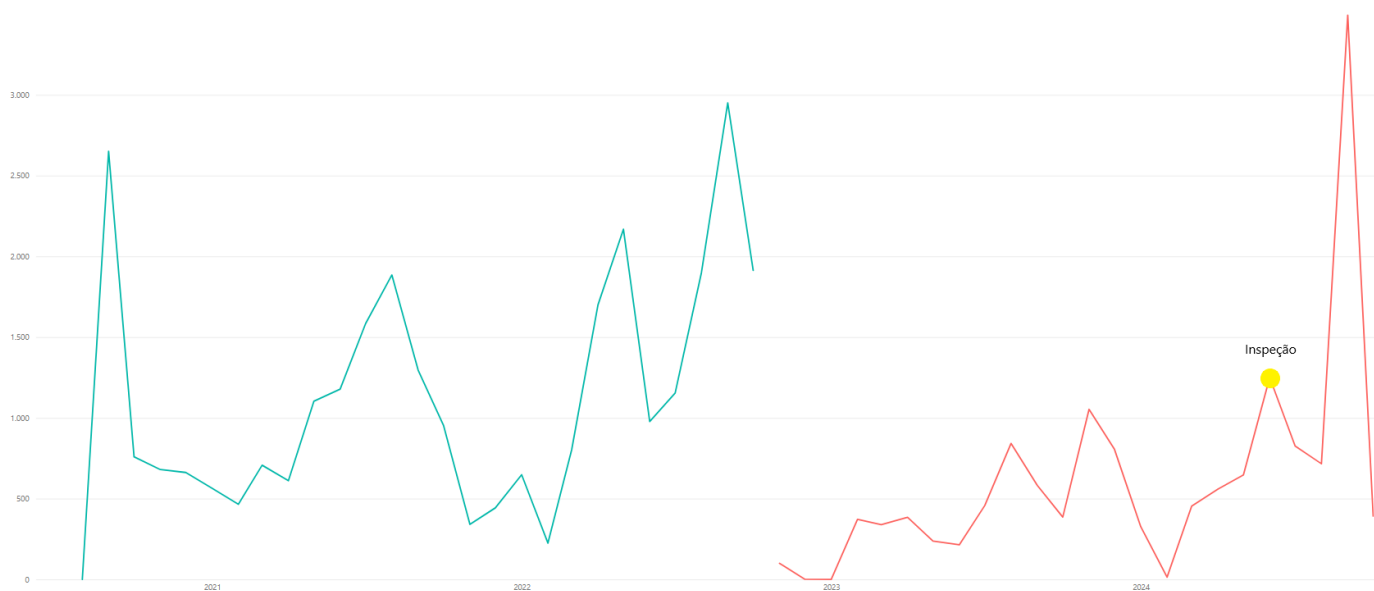


Figura 1 - Histórico de consumo da UC citada no primeiro estudo de caso.



Figura 2 - Registros da inspeção de irregularidade do primeiro estudo de caso.

### 2.2.2. Segundo Caso

O algoritmo Nexus identificou um primeiro degrau de consumo em agosto de 2021. Após um período de monitoramento que confirmou a redução no consumo, foi realizada uma inspeção de irregularidade em abril de 2022. Na ocasião, constatou-se manipulação no interior do medidor, comprometendo o registro integral da energia consumida.



Com a inclusão de uma nova variável de entrada — a reincidência de fraude —, o Nexus emitiu um novo alerta em novembro de 2022, apontando suspeita de outra irregularidade. Essa suspeita foi confirmada em abril de 2024, quando uma nova inspeção identificou novamente a manipulação do circuito eletrônico do medidor, resultando em um registro mínimo da energia efetivamente consumida.

Com a regularização do desvio de energia, retornando a patamares consistentes com o período anterior à constatação da irregularidade. Esse comportamento evidencia a relevância de um monitoramento contínuo e do emprego de ferramentas avançadas, como o Nexus, para identificar e combater de forma eficiente as perdas não técnicas.



Figura 3 - Histórico de consumo da UC citada no segundo estudo de caso.

### 2.2.3. Terceiro Caso

Em casos de reincidência de fraude ou furto de energia, além da aplicação do algoritmo Nexus, a concessionária conta com o apoio de policiais e peritos da Polícia Civil para identificar e comprovar as irregularidades, garantindo que os responsáveis sejam encaminhados para prestar os devidos esclarecimentos.



Figura 4 - Registros da inspeção de irregularidade do terceiro estudo de caso.



Figura 5 - Divulgação na mídia sobre a inspeção de irregularidade realizada no terceiro estudo de caso.

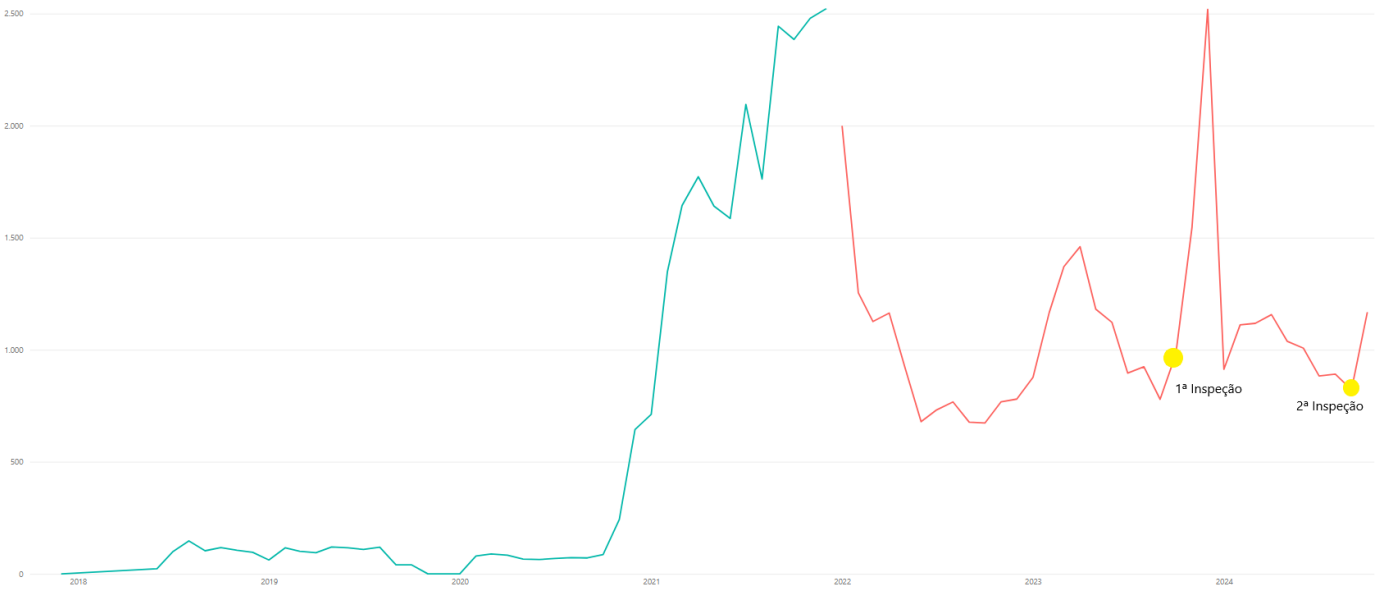


Figura 6 - Histórico de consumo da UC citada no terceiro estudo de caso.

2.3. FRONT-END

Para viabilizar a visualização do histórico de consumo, dados cadastrais e registros de notas de serviços das unidades consumidoras, além dos resultados gerados pelo algoritmo Nexus, foi desenvolvido um *front-end* utilizando a plataforma Power BI. Essa interface foi projetada para facilitar a análise e o direcionamento estratégico dos alvos de inspeção de irregularidades, promovendo maior eficiência no combate às perdas não técnicas.

O front-end disponibiliza uma ampla gama de dados cadastrais para facilitar a seleção dos alvos de inspeção. Entre essas informações estão: status da instalação da UC, endereço, nome do parceiro de negócios, CNAE, classe, nível de tensão, número de fases, faixa de consumo, tipo e número do medidor, número do transformador e alimentador ao qual a unidade está conectada, e o retorno energético estimado para a realização da inspeção de irregularidade. Esses dados são apresentados de forma integrada, otimizando a análise e a tomada de decisões estratégicas.





assertividade e reduzindo o esforço direcionado a inspeções sem retorno significativo. Esses resultados reforçam o papel do NEXUS como um aliado estratégico na gestão inteligente de perdas e no aumento da eficiência energética.

### 3. Conclusão

O desenvolvimento do Nexus trouxe ganhos significativos em agilidade e aprimorou a gestão da equipe dedicada ao combate às perdas, especialmente no planejamento e na seleção de alvos para inspeções de irregularidades. Por meio de métodos matemáticos, estatísticos e inteligência artificial, o Nexus facilita a tomada de decisões estratégicas e otimiza o direcionamento das inspeções.

Essa integração de informações permite que o Nexus priorize alvos com base em critérios como impacto energético estimado e risco de reincidência, otimizando os recursos disponíveis e ampliando a eficácia das inspeções. Ao combinar análise estatística com dados operacionais e cadastrais, o Nexus se consolida como uma ferramenta estratégica no combate às perdas não técnicas, promovendo maior eficiência operacional e retorno financeiro para as distribuidoras.

### 4. Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Perdas de Energia Elétrica na Distribuição**. 2024.

EDP. **EDP alerta sobre os riscos das ligações clandestinas**. Disponível em <<https://brasil.edp.com/pt-br/node/23111>>. Acesso em: 06 dez. 2024.

SNOWFLAKE. **Uso de funções de janela**. Disponível em <<https://docs.snowflake.com/pt/user-guide/functions-window-using>>. Acesso em: 06 dez. 2024.