



# PROMETHEUS - Algoritmo de Big Data e Inteligência Artificial para Gestão de Performance e Previsão de Ganhos Energéticos e Financeiros em Ações e Projetos de Combate às Perdas

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

**Autores:** Thiago Valfré Lecchi

**Co-Autores:** Gabriel Rafalski Breda

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

---

## Resumo

Introduzem-se os conceitos e o uso de diversas ferramentas, processos e tecnologias para o combate aos diferentes tipos de agentes ofensores geradores de perdas não técnicas. Cita-se o desafio constante das concessionárias de energia elétrica em quantificar, gerenciar e otimizar os ganhos provenientes dos processos de recuperação de receitas na frente de perdas comerciais. Desenvolve-se um detalhamento técnico do algoritmo Prometheus, uma plataforma híbrida que integra tecnologias de Big Data, analytics e inteligência artificial para criação de uma ferramenta de gestão e planejamento de ganhos em projetos de combate às PNT. Analisa-se os dados de saída processados pela solução e aborda-se a possibilidade de aplicação secundária desta ferramenta como insumo para outras atividades, como a identificação de alvos com alta probabilidade de retorno energético para inspeções de irregularidade, bem como o apontamento de áreas específicas com maior expectativa de ganho em projetos de blindagem de rede, como o SMC BT0. Conclui-se ser possível a aplicação da solução como uma ferramenta de gestão e previsão de retornos energéticos em múltiplos níveis, fornecendo indicadores com detalhamento que varia desde o nível macro de projeto até o detalhamento específico de uma única unidade consumidora, enriquecendo amplamente a capacidade de planejamento das ações do plano de combate às perdas da distribuidora, bem como fornecendo relevantes informações para atividades secundárias que possibilitem incrementar ganhos por melhoria de performance em variados projetos..

## 1. Introdução

Desde o processo de geração e transmissão até a etapa final de distribuição nos ramais de entrada das unidades consumidoras, uma relevante parte de toda energia elétrica que circula no SEP (Sistema Elétrico de Potência) deixa de ser faturada e cobrada por motivos denominados como perdas. Por definição, tem-se que estas perdas podem ter duas diferentes fontes, podendo estas terem origem técnica ou não técnica [1].

As perdas técnicas são inerentes ao processo de distribuição de energia, sendo causadas, em carga, devido a passagem da corrente elétrica nos diversos elementos que compõe a rede e, em vazio, devido à excitação magnética no núcleo de transformadores [2].

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [3]:

*“Perdas não técnicas correspondem à diferença entre as perdas totais e as perdas técnicas, considerando, portanto, todas as demais perdas associadas à distribuição de energia elétrica, tais como furtos de energia, erros de medição, erros no processo de faturamento, unidades consumidoras sem equipamento de medição, etc. Esse tipo de perda está diretamente associado à gestão comercial da distribuidora.”*

*(Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL)*

As perdas não técnicas (PNT), ou perdas comerciais, são calculadas pela diferença entre toda energia que é entregue aos consumidores e a soma da energia efetivamente faturada com a parcela da energia atribuída às perdas técnicas. Perdas não técnicas tem origem principalmente em furtos (ligações clandestinas, desvios na rede), fraudes (adulteração e danificação nos medidores), falhas ou erros de medição, leitura ou faturamento [1]. Um dos grandes desafios das distribuidoras de energia elétrica é o de analisar, segmentar, identificar e sanar – ou ao menos reduzir ao máximo – a existência dos agentes ofensores que acabam por gerar anualmente milhões de reais em prejuízo às concessionárias e posteriormente ao cliente que tem sua conta acrescida de um percentual tarifário regulatório responsável por repassar parte desta diferença. Visando reduzir o “rombo” financeiro causado pelas PNT, concessionárias de todo o país realizam importantes investimentos em diversas ações de controle e combate. Entre as iniciativas estão rotinas de inspeção para identificar irregularidades em alvos suspeitos de fraude, apontados por algoritmos computacionais avançados; obras de blindagem e reconfiguração de rede para implantação de Sistemas de Medição Centralizada (SMC); substituição de equipamentos de medição obsoletos por modelos mais modernos; e instalação de sistemas de monitoramento remoto por telemedição, entre outras medidas [4].

Dado o investimento significativo requerido pelo Plano de Combate às Perdas, é fundamental que as distribuidoras acompanhem detalhadamente o desempenho de suas ações. Esse monitoramento permite ajustes e replanejamentos estratégicos, visando otimizar os resultados com precisão na definição do número de ações e na seleção criteriosa das unidades consumidoras ou regiões alvos para cada tipo de intervenção ou projeto.

Gerir com precisão os dados de diversos projetos e de milhares de unidades consumidoras envolvidas nessas iniciativas exige um sistema de gerenciamento de informações robusto. Tal sistema deve preferencialmente empregar técnicas avançadas de programação - como analytics, big data e inteligência artificial - para manipulação de dados e previsão de múltiplos cenários.

Este trabalho baseia-se no desenvolvimento de uma solução do tipo software intitulada Prometheus, executada em nuvem e projetada para acessar as bases de dados da concessionária, identificar e listar ações de combate às perdas realizadas nos últimos 24 meses na EDP Espírito Santo, calculando automaticamente os ganhos energéticos específicos de cada ação em uma visão com clusterização cadastral multinível.

Como primeiro subproduto dessa solução, são geradas informações que são submetidas a determinados filtros lógicos capazes de, ao final do processo de análise matemática do comportamento de consumo, indicar com alta precisão unidades consumidoras suspeitas incluídas em uma lista de provável reincidência de irregularidade. Além disso, foi desenvolvido um módulo que, por meio de algoritmos de regressão linear com aprendizado de máquina, realiza previsões de ganhos com alto índice de precisão em determinadas regiões de interesse para o projeto de blindagem e instalação de sistemas SMC, comparando-as com outras áreas já beneficiadas pelo tipo específico de rede.

Em suma, o objetivo deste projeto é criar uma ferramenta de gestão inovadora e eficaz para o gerenciamento e direcionamento do combate às perdas denominada de “PROMETHEUS”, que trará múltiplos benefícios tanto para a concessionária, ao auxiliar à redução de prejuízos de forma otimizada, quanto para os consumidores, resultando em tarifas mais baixas devido à diminuição das perdas não técnicas compensadas.

## 2. Desenvolvimento

### **Conceitos Lógicos Utilizados**

#### BIG DATA ANALYTICS

Big Data Analytics é o processo ou ato de examinar grandes volumes de dados para extrair informações e insights valiosos que orientam a tomada de decisões. Esta prática pode ser aplicada por empresas e profissionais de diversos setores, tornando-se uma ferramenta essencial para a gestão de dados ao facilitar o acesso a informações cruciais. O BDA fundamenta-se principalmente nos 3 V's: volume, variedade e velocidade dos dados [5].

A análise de Big Data permite que as organizações compreendam melhor as necessidades e desejos dos clientes, utilizando vastos volumes de dados de negócios para direcionar o desenvolvimento de produtos e estratégias. Com o Big Data Analytics, é possível identificar tendências, padrões e anomalias que seriam imperceptíveis através de métodos tradicionais de análise. Para isso, são empregados modelos preditivos, algoritmos estatísticos e sistemas analíticos de alto desempenho.

#### ALGORITMO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL POR REGRESSÃO LINEAR

Algoritmos de Machine Learning, ou Inteligência Artificial, buscam, em geral, encontrar padrões nos dados que lhes são fornecidos como entrada. Esses padrões devem, necessariamente, fazer sentido nos dados históricos e ser aplicáveis aos dados futuros. Essa é a essência de qualquer modelo dessa natureza [6].

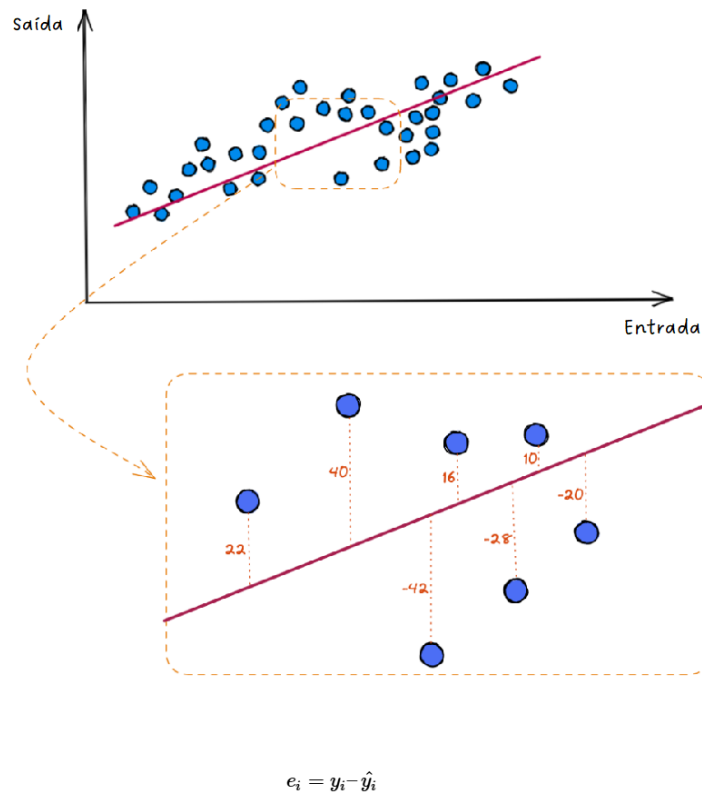
No caso das regressões lineares, para ser possível prever um determinado valor de interesse, é necessário, primeiramente, fornecer ao modelo de IA uma grande base de exemplos. A partir desses exemplos, o modelo mapeia todas as entradas X (inputs) e as saídas y (outputs). As entradas X são todas as variáveis que influenciam/implicam em uma relação direta à saída y, ou seja, são as características (features) do problema.

$$Y = \theta_0 + \theta_1 X + \mu$$

. Y = variável independente;

.  $\theta_0$  e  $\theta_1$  = constantes desconhecidas, responsáveis por representar, respectivamente, ponto de intersecção e coeficiente de inclinação da equação/função que representa o modelo;

.  $\mu$  (epsilon) = representa o termo de erro, que indica a distância entre pontos mais distantes da reta traçada no gráfico.]



Onde:

- $e_i$  → erro (ou residual) no exemplo  $i$ .
- $y_i$  → valor real da saída do exemplo  $i$ .
- $\hat{y}_i$  → valor previsto da saída pelo modelo para o exemplo  $i$ .

*Figura 1 - Equação Típica - Regressão Linear*

O objetivo do algoritmo é matematicamente analisar as bases de dados e definir de forma iterativa a melhor reta ou função, resultante da equação que melhor represente a correlação entre as variáveis do objeto de estudo, apresentando a menor taxa de erro [6].

$$E_i = y_i - y_i'$$

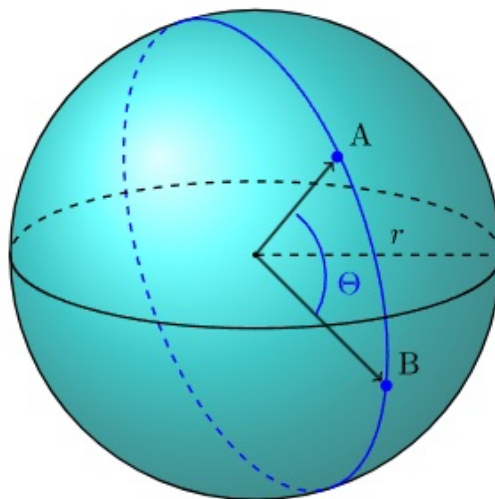
.  $E_i$  = Erro (ou residual)

.  $y_i$  = valor real da saída

.  $y_i'$  = valor previsto da saída pelo modelo

#### FÓRMULA DE HAVERSINE

A fórmula de Haversine é utilizada para calcular a distância entre dois pontos na superfície de uma esfera, dados pela sua latitude e longitude. Esta fórmula é especialmente útil na navegação e na geolocalização, pois considera a curvatura da Terra, proporcionando uma medida mais precisa do que a distância euclidiana em um plano. A função de Haversine é derivada da lei dos cossenos esféricos, mas é mais estável numericamente para pequenas distâncias.



$$d = 2r \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2 \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)$$

*Figura 2 - Fórmula de Haversine*

Onde:

- .  $\varphi_1, \varphi_2$  são a latitude do ponto 1 e a latitude do ponto 2 (em radianos),
- .  $\lambda_1, \lambda_2$  são a longitude do ponto 1 e longitude do ponto 2 (em radianos).

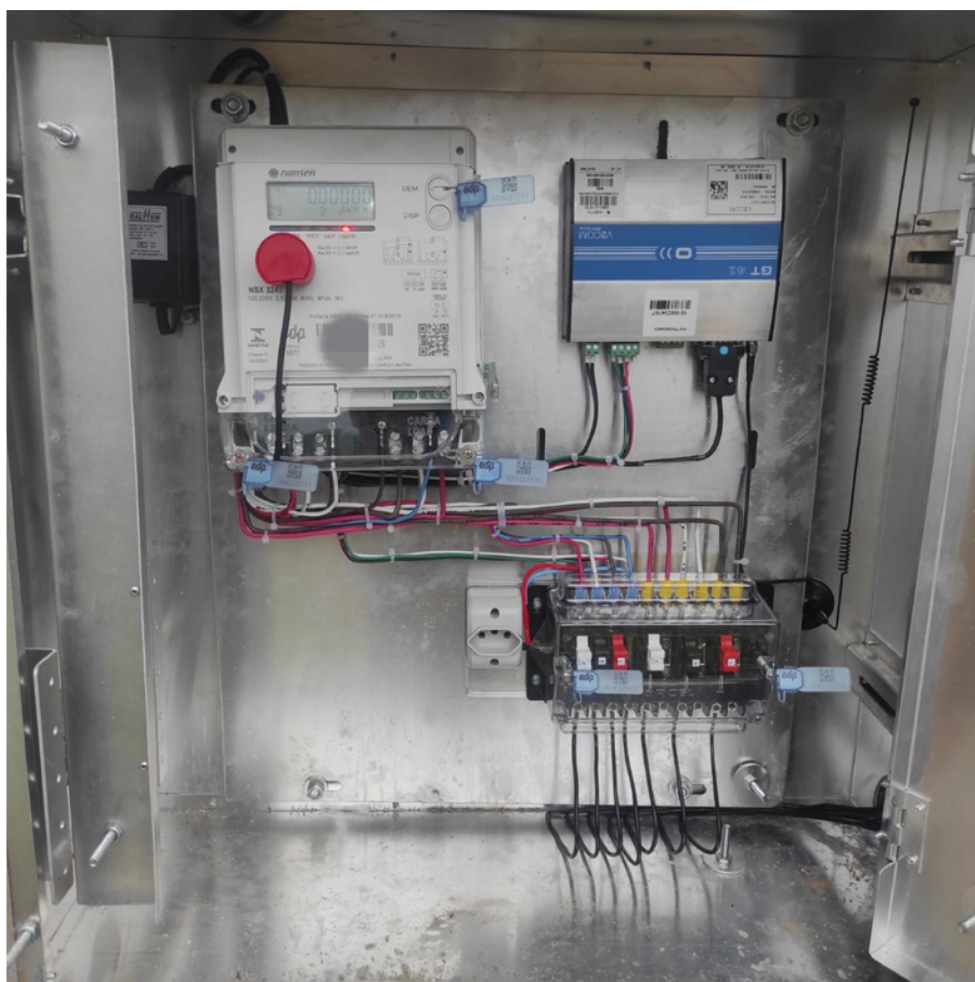
Resumidamente, a fórmula de Haversine permite calcular a distância mais curta entre dois pontos na superfície da Terra, levando em conta a sua esfericidade [7].

### **O Plano de Combate às Perdas**

O plano de combate às perdas da EDP ES é estruturado por meio de diversos projetos focados em investimento na modernização e eficiência de tecnologias de medição e blindagens de rede e em fiscalização direcionada por soluções lógicas computacionais inteligentes, com o objetivo de maximizar a recuperação de receita e inibir o furto de energia elétrica.

Os investimentos em novas tecnologias são essenciais para que a distribuidora adote estratégias eficazes para cada tipo de infração, garantindo maior efetividade no combate à impunidade e assegurando a continuidade das ações de combate às perdas. Cada projeto do programa de perdas é direcionado com base em critérios técnicos e nas características socioeconômicas da região ou da unidade consumidora a ser atendida.

Em unidades consumidoras de grande porte, são utilizadas tecnologias de telemedição por meio de dispositivos remotos e conjuntos de medição, com foco nas instalações que apresentam histórico recorrente ou intermitente de manipulação no sistema de medição.



*Figura 3 - Remota/Telemedição*

Clientes cujas UCs apresentam comportamentos atípicos em relação ao nível e à forma de consumo são mensalmente selecionados por algoritmos ou filtros computacionais. Esses filtros utilizam de técnicas matemáticas, estatísticas e tecnologias avançadas, como inteligência artificial, para identificar possíveis anomalias. As ações de fiscalização e inspeção de campo para verificação desempenham um papel crucial na luta contra a impunidade, permitindo a realização de autuações e a cobrança de energia retroativa em caso de constatação de fraudes ou falhas de medição. Essas ações são amplamente implementadas em toda a área de concessão da empresa.





*Figura 4 - Inspeções de Irregularidade*

Cada ponto de iluminação pública possui um código de identificação único, e qualquer modificação ou expansão realizada por empresas contratadas pelas gestões municipais deve ser comunicada à EDP para que o cadastro seja atualizado. Quando essas atualizações não são feitas, ocorre uma discrepância entre o consumo faturado e o consumo real, resultando em uma perda de energia. Para combater esses efeitos, a EDP realiza periodicamente o recenseamento do parque de Iluminação Pública. Esse processo envolve um levantamento técnico minucioso das luminárias, cobrindo ruas, praças, becos e demais áreas de acesso público, para assegurar que o cadastro reflita com precisão o parque instalado e que o consumo faturado corresponda ao consumo real.

Em regiões com alta complexidade social e elevado índice de violência, onde a operação e supervisão da empresa são severamente restringidas, os impactos das ações de fiscalização tendem a ser menos duradouros. Nessas áreas, são implementadas topologias de rede SMC, que impedem o acesso direto à medição e permitem a suspensão remota do fornecimento, o que contribui também para o combate à inadimplência. Por definição, temos por SMC, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [8]:

*“Sistema que agrega módulos eletrônicos destinados à medição individualizada de energia elétrica, desempenhando as funções de concentração, processamento e indicação das informações de consumo de forma centralizada”*



Figura 5 - SMC BT0

A adoção de novos projetos, processos e técnicas de seleção para a priorização de alvos com vistas a fiscalização, a pesquisa e a aplicação de tecnologias de ponta com as novas soluções oferecidas pelo mercado, caracterizam práticas permanentes da EDP ES, na busca de melhorar a performance dos projetos, reduzir custos e aumentar o retorno energético por ação, de maneira a cumprir com os limites regulatórios vigentes.

#### Metodologia de Cálculo de Ganho Energético

Os métodos de cálculo e aferição de ganhos energéticos das ações de combate às perdas podem variar entre distribuidoras, refletindo especificidades e premissas adotadas por cada equipe de engenharia. No entanto, de modo geral, a lógica para definir o ganho baseia-se essencialmente em quantificar o aumento de consumo em uma unidade consumidora, se houver, após a realização de um projeto ou intervenção específica.

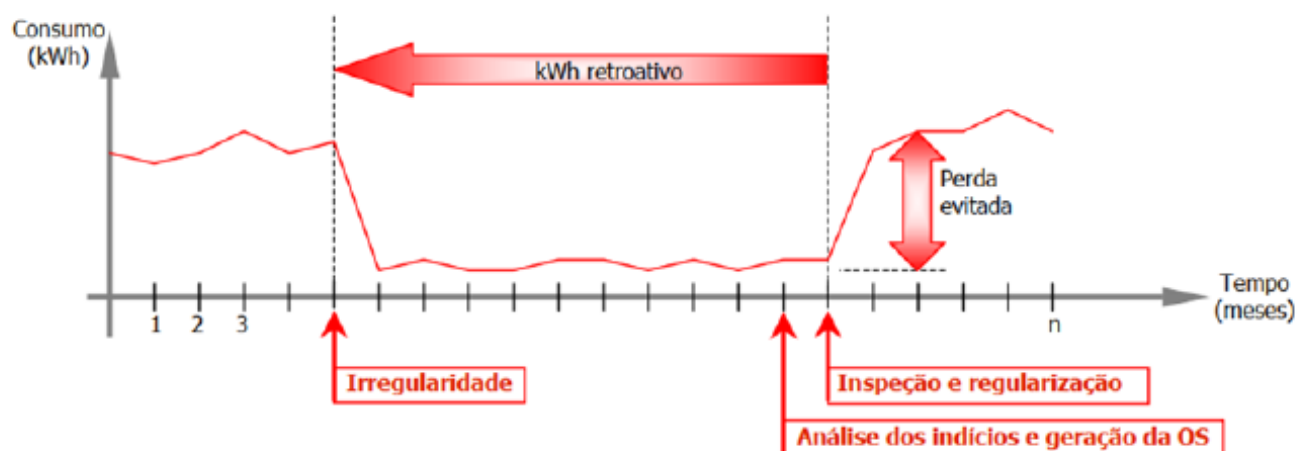


Figura 6 - Variação em Padrão de Degrau de Consumo

Na EDP Espírito Santo, é realizada uma análise dos registros de cada unidade consumidora envolvida em uma ação de combate às perdas, calculando-se a média de consumo nos 12 meses anteriores à inter-



venção e efetuando-se a diferença deste valor para a média de consumo nos 12 meses seguintes. Se uma instalação apresenta aumento no faturamento entre estes períodos, é atribuída a ela uma marcação, ou "flag", que a classifica como "Ganho Existente". O ganho médio por cluster (projeto, classe, região, nível de tensão, etc.) é então calculado pela soma dos ganhos energéticos das unidades consumidoras marcadas como "Ganho Existente", dividida pela contagem do total de unidades consumidoras que participaram do projeto, independentemente de terem gerado ganho ou não.

### **Volumetria de Dados**

Conforme mencionado, para cada unidade consumidora atendida por uma ação da área de perdas, são monitorados os registros de consumo dos 12 meses subsequentes e comparados aos 12 meses anteriores. Dessa forma, cada unidade pode ter até 24 registros de consumo no sistema. Com dezenas de projetos ativos abrangendo milhares de instalações mensalmente, a base de dados para o período de 24 meses conta atualmente com mais de 5 milhões de registros de consumo. Além disso, há bases de dados complementares com informações exclusivas por unidade consumidora, como cadastro, notas de serviço e outros dados relevantes.

Gerenciar e tratar eficientemente um volume massivo de informações nessa escala, de modo a extrair dados altamente personalizados para análise posterior, representa um desafio significativo. Essa necessidade foi a principal motivação para o desenvolvimento da solução apresentada neste trabalho.

### **O Software Desenvolvido**

#### **MÓDULO #1 - GERENCIAMENTO DE GANHOS ENERGÉTICOS**

O primeiro módulo desenvolvido para a solução consiste em um sistema que facilita o acesso e o tratamento de múltiplas bases de dados provenientes de diversas fontes, como os sistemas de gestão integrada (ERP) SAP, de georreferenciamento, de gestão de execução de notas de serviço e de leitura/faturamento. O acesso a essas informações é realizado através da plataforma de exploração de dados DataBricks, que, em nuvem, utiliza o DataLake para acessar repositórios que armazenam os dados mencionados, realizando por fim todo o processo de cálculo das informações e o cálculo do efetivo ganho energético por unidade consumidora.

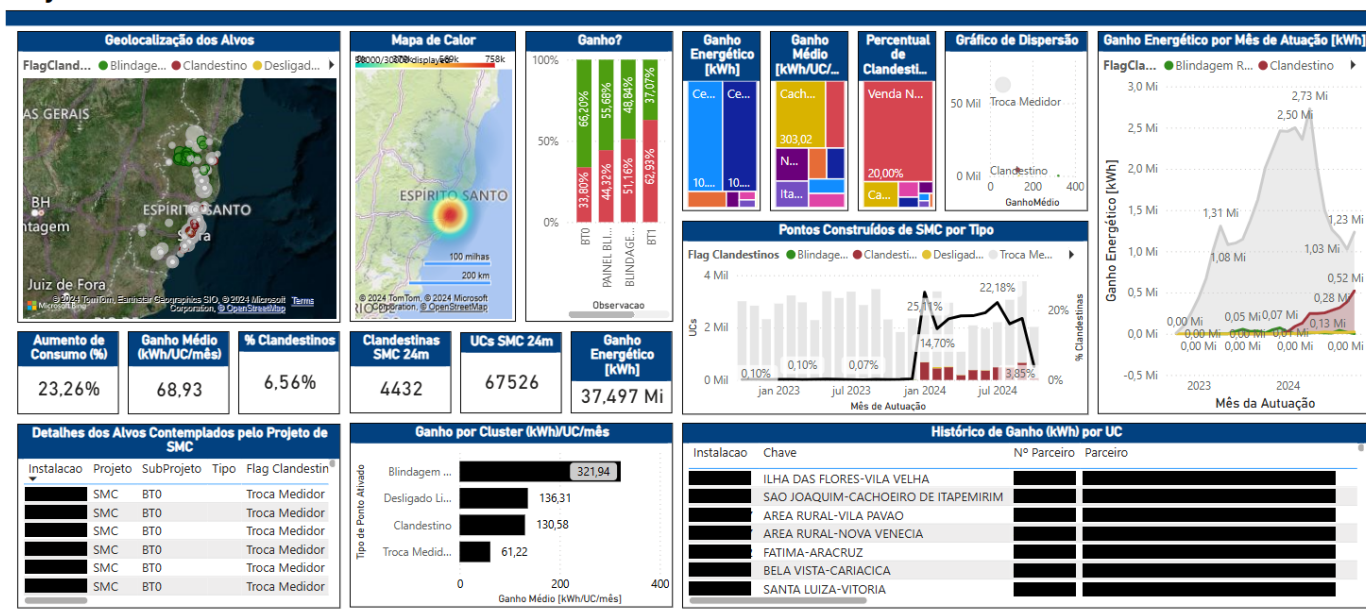
O código é escrito em PySpark, que une a flexibilidade do Python à robustez do Apache Spark, permitindo a exploração e a análise de grandes conjuntos de dados de forma rápida, utilizando processamento paralelo de forma eficiente, possibilitando o processamento de Big Data [9].

O principal produto do processo gerido por este módulo consiste na criação de um conjunto de dados que identifica, por instalação, se houve ganho energético, além de quantificar o ganho energético mensal e o ganho total obtido após a implementação do projeto. Informações adicionais relacionadas ao cadastro da Unidade Consumidora (UC) e detalhes específicos das ações realizadas para combater as perdas complementam o conjunto de dados final desta etapa. Os dados são expostos em um front-end em BI com visual e manipulação amigável com múltiplos indicadores e grande variedade de filtros para análise da equipe de planejamento.



## Projetos de Combate às Perdas - EDP ES

Data de Atualização



## MÓDULO #2 - PREVISÃO DE GANHOS POR MODELO DE REGRESSÃO LINEAR POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O segundo módulo desenvolvido utiliza a base de dados processada no módulo #1 como insumo para o treinamento de um modelo de inteligência artificial fundamentado em um algoritmo de previsão por regressão linear. A execução também ocorre em nuvem, utilizando as plataformas DataBricks e DataLake, permitindo o acesso direto às bases já calculadas no módulo #1 com os ganhos energéticos gerados pelo projeto "SMC BT0". Essas informações servem como a saída do conjunto de dados de treinamento da IA. Como componentes do conjunto de dados de entrada, são analisados diversos aspectos que permitem ao modelo desenvolver, de forma intrínseca, um ranking da complexidade socioeconômica dos locais avaliados, considerando múltiplos fatores. Entre os aspectos analisados estão os percentuais de unidades consumidoras (UCs) do tipo baixa renda, de clientes inadimplentes, de clientes em suspensão de serviço (inativos ou desligados), de clientes com histórico de irregularidade por fraude (blacklists), de clientes encontrados em ligação direta ou clandestina, além das perdas não técnicas no mercado de baixa tensão e as perdas não técnicas sobre a energia total distribuída para o bairro/região.

Como variável de entrada complementar, utiliza-se da *Fórmula de Haversine* para calcular a distância entre o núcleo de um bairro, onde o projeto SMC-BT0 está em análise para implementação, e outro núcleo ou área mais próximo com presença de UCs já contempladas pelo projeto. Para isso, são utilizadas as informações georreferenciadas relativas às latitudes e longitudes dos núcleos dos bairros. A lógica por trás desta etapa é verificar se um local de interesse está próximo a uma área de provável complexidade social, uma das características básicas das áreas contempladas por redes com sistemas de medição centralizada.

O treinamento é realizado e a IA 'aprende' a estimar, com precisão próxima a 90%, com base nos aspectos socioeconômicos utilizados como entradas (inputs) e nos ganhos energéticos calculados utilizados como saídas (outputs), qual será o provável ganho energético médio em uma região de interesse para o projeto SMC ainda não explorada.

A posse deste modelo permite um controle exato, por parte do setor de Planejamento de Combate às Perdas, acerca do retorno (TIR) a se obter do investimento (CAPEX) necessário para se avançar com

uma frente de SMC em regiões em que o custo para tal varie financeiramente por motivos diversos tais como geografia (terreno rochoso ou arenoso), aspectos estruturais (rede necessitando de troca massiva de postes e manutenções em componentes elétricos e não elétricos) e de segurança, entre outros.

### MÓDULO #3 - DETECÇÃO DE UNIDADES CONSUMIDORAS EM REINCIDÊNCIA DE IRREGULARIDADE (BLACKLIST)

Após a primeira inspeção de uma unidade consumidora, onde foi detectada fraude na medição, é esperado que o consumo do cliente aumente nos meses seguintes, refletindo seu consumo real, acrescido do montante que previamente estava a ser desviado. Esse comportamento é esperado devido à regularização da medição.

No entanto, há casos em que esse aumento de consumo não ocorre, o que pode indicar uma possível reincidência na prática de fraude. Identificar estas situações de forma ágil e eficiente é um desafio para as concessionárias, especialmente quando há um grande volume de unidades consumidoras sendo inspecionadas anualmente.

O terceiro módulo desenvolvido no algoritmo Prometheus também utiliza dos resultados obtidos durante a execução de seu módulo #1. Para esta solução, foi estruturado um código que emprega conceitos de manipulação matemática em big data para identificar quais instalações autuadas por fraude durante o processo de inspeção não apresentaram o padrão esperado de aumento de consumo. Em outras palavras, são identificadas as unidades consumidoras que não mostram um crescimento na média de consumo de energia registrada mês a mês após a regularização de uma unidade que anteriormente estava em situação de irregularidade.

#### Estudo de Caso

Em janeiro de 2024, determinada unidade consumidora levantou uma série de suspeitas por parte da equipe de análise de alvos de inspeção da distribuidora. Isso ocorreu após a ativação de um filtro lógico via algoritmo, que identificou a ausência de aumento de consumo nos meses seguintes a data de uma inspeção realizada em novembro de 2022. Durante esta primeira inspeção, foi constatada uma irregularidade (fraude) causada por um furo no elemento de medição de tensão do medidor, resultando na ausência de registros de medição para a fase "B". Na ocasião, o cliente foi regularizado e o equipamento de medição foi substituído por um novo.

O cliente já possuía um histórico de irregularidades, incluindo dois outros registros de CI (Consumo Irregular) e várias notas de suspensão por inadimplência. Além disso, a unidade consumidora foi apontada como suspeita por outros modelos lógicos secundários de indicação, que reforçaram a suspeita inicial.

Em fevereiro de 2024 foi gerada e executada uma segunda inspeção de irregularidade em campo. Esta constatou uma nova fraude, com a detecção de um novo furo que danificou permanentemente um dos elementos de aferição de tensão do medidor, fazendo com que todo o consumo que deveria ser registrado na fase "B" do equipamento não fosse contabilizado. Após esta última autuação, o cliente apresentou por fim um comportamento de aumento de consumo, não sendo mais apontado por este modelo de indicação de alvos, estando agora com seu consumo não apresentando mais nenhum tipo de irregularidade.



Figura 9 - Variação do consumo da UC ao longo do tempo, com destaque para as datas de realização das duas inspeções

## GANHO MENSAL

### Projetos de Combate às Perdas - EDP ES

202410

Data de Atualização

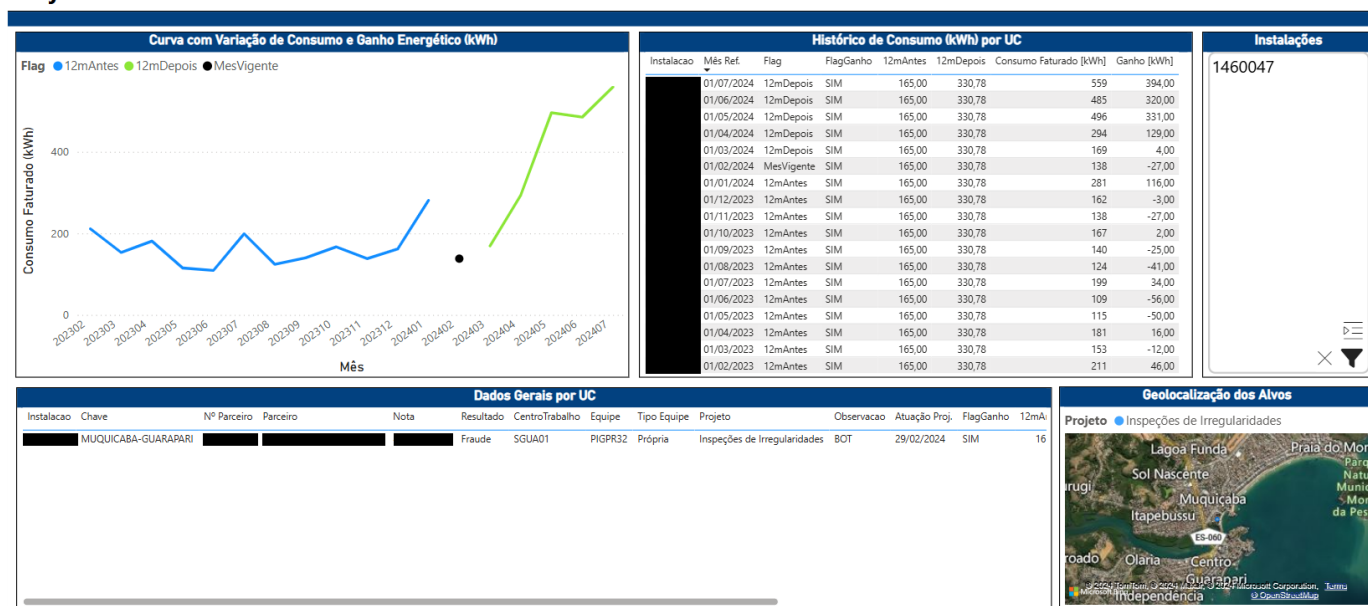


Figura 10 - Front-End da solução apresentando a ação mais recente onde obteve-se por fim ganho energético com a regularização do consumo da UC.

Montante Energético Recuperado em TOIs oriundos de inspeções por este tipo de apontamento em 2023

- Energia: 1,47 GWh
- Financeiro: R\$ 1.126.000

## 3. Conclusão

No desafio do combate às Perdas Não Técnicas (Comerciais), é imprescindível manter-se em constante atualização, buscando o desenvolvimento de soluções que com a incorporação de tecnologias modernas



maximizem o plano de recuperação de energia das distribuidoras. Este artigo apresenta a abordagem de um único projeto que utiliza de técnicas de inteligência artificial, Big Data e analytics, resultando em uma ferramenta inovadora, assertiva e economicamente vantajosa.

O objetivo principal proposto para este trabalho foi cumprido, desenvolvendo-se com sucesso uma ferramenta de gestão e planejamento de ganhos em ações de combate às PNT. O software, denominado PROMETHEUS, que foi construído como uma plataforma híbrida que integra tecnologias e variadas técnicas em programação, se mostrou eficaz, preciso e de fácil utilização para o acompanhamento dos ganhos e o planejamento e controle das ações de combate às perdas realizadas na EDP ES.

Foram desenvolvidos, como subproduto de dados gerados para execução do módulo principal da ferramenta, módulos secundários que utilizam de técnicas de IA por regressão linear para prever ganhos energéticos da possível aplicação de blindagens de rede com SMC em áreas ainda não contempladas pelo sistema, bem como que utilizam de técnicas de análise estatística e matemática para o apontamento com relevante precisão de alvos com histórico de fraude e provável situação de reincidência de irregularidade.

#### **4. Referências bibliográficas**

- [1] ANEEL, “Perdas de Energia Elétrica na Distribuição - ANEEL,” 01 2021. [Online]. Available: <https://www.aneel.gov.br>.
- [2] N. S. G. POSPELOV, Perdas de Potência e de Energia em Redes, Moskow: Energoatomizdat, 1981, p. 216.
- [3] ANEEL, “ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica,” 22 10 2014. [Online]. Available: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm>.
- [4] ABRADÉE, “Perdas de energia: Guerra sem fim?” 12 2024. [Online]. <https://abradee.org.br/perdas-de-energia-guerra-sem-fim/>
- [5] IN4, “Os 3 V’s do Big Data: volume, velocidade e variedade” 12 2024. [Online]. <https://www.in4.com.br/os-3-vs-do-big-data-volume-velocidade-e-variedade-entenda-aqui/>
- [6] Brains, “Modelos de Regressão Linear”, 12 2024. [Online]. Available: <https://brains.dev/2022/modelos-de-regressao-regressao-linear/>
- [7] Deriving the haversine formula, *Ask Dr. Math* (Apr. 20–21, 1999).
- [8] ANEEL, Resolução Normativa ANEEL Nº 956 DE 07/12/2021, Art 228
- [9] Programmers Beyond IT, “PySpark para Big Data: domínio, eficiência e aplicações inovadoras”, 12 2024. [Online]. Available: <https://www.programmers.com.br/blog/pyspark-para-big-data-dominio-eficiencia-e-aplicacoes-inovadoras/>