

3.04.99 - Engenharia Elétrica  
**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA PARA PERDAS COMERCIAIS EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dayanne M. Silva<sup>1</sup>, Raphael C. Gomez<sup>2</sup>

1. Estudante do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Católica Dom Bosco (UCDB-MS)
2. Professor da UCDB-MS - Departamento de Engenharia Elétrica/Orientador

### Resumo

Um dos setores que mais causam prejuízos financeiros as concessionárias de energia elétrica e coloca em risco a segurança pública é o de perdas de energia, ocasionadas por fraudes e furtos. Esses tipos de perdas são conhecidos como não técnicas ou comerciais e evoluem gradativamente. Por este motivo, o presente trabalho visa analisar uma técnica de inteligência artificial, redes neurais artificiais, com objetivo de minimizar as perdas comerciais, buscando classificar e detectar as perdas de maneira mais padronizada, rápida e maior taxa de acertos. Para selecionar uma série de dados e entregar uma classificação categórica, fraude ou sem fraude, foi utilizada uma rede neural artificial feed-forward de duas camadas, com função de ativação sigmoide e softmax respectivamente. O desenvolvimento da rede e de seu treinamento se dá por meio de um banco de dados real que dispõe de dados de consumo, histórico mensal e outros - sendo esses testados e validados para verificação da taxa de sucesso da rede neural em classificar como fraude ou não. Os resultados mostram uma correspondência correta de 79,1% dos clientes em testes com banco de dados, valores significativos em comparação a taxa de acerto do banco de dados, sendo a média em torno de 15%.

**Palavras-chave:** Perdas de Energia; Redes Neurais Artificiais; Fraudes.

### Introdução

O sistema elétrico brasileiro vem sofrendo várias alterações ao longo dos últimos 20 anos. Desse modo, as concessionárias de energia elétrica buscam diminuir seus dispêndios financeiros, melhorando sua produtividade, rendimento e efetividade. Diante disso, o assunto perdas de energia elétrica é um dos mais indispensáveis na área de Distribuição, um dos quesitos que mais causam prejuízos nas concessionárias, estas se dividem em perdas técnicas ou não-técnicas (comerciais), (RAMOS, C.C.O, 2014). As perdas não-técnicas que visa o seguinte trabalho, são conhecidas como perdas comerciais, abrangem erros de medições, mas principalmente furto e fraude de energia (ABRADEE).

Assim, em média, 15% da energia elétrica produzida no Brasil é perdida por furtos e fraudes nas redes de distribuição. À vista disso, há inúmeras maneiras de se praticar fraude, o que ocasiona enormes adversidades para as distribuidoras, tornando muito difícil identificarem e examinarem os clientes com possíveis consumos irregulares (QUEIROZ, A.D.S 2016; PENIN, C.A.S, 2008). Dessa forma, o presente trabalho busca apresentar alternativas com o intuito de aperfeiçoar o índice de exatidão nas fiscalizações realizadas para o reconhecimento de fraudes e furtos dos consumidores.

Consequentemente, a motivação para este trabalho se dá pelo fato que muitas concessionárias brasileiras de energia elétrica ainda utilizam especialistas - que atuam em uma busca cansativa em planilhas eletrônicas - para detecção de perdas comerciais. Diante disso, por serem sistemas manuais, não padronizados e com taxa de acertos baixa, acredita-se que há um grande espaço para melhorias nessa área.

Dessa maneira, verifica-se vários trabalhos nos últimos anos que abordam seleções de características para otimizar os problemas de detecção de perdas comerciais, assim, as características mais atrativas das Redes Neurais englobam sua elevada capacidade para mapear sistemas não-lineares aprendendo comportamentos envolvidos a partir de informações obtidas; por este motivo muitos autores buscaram identificar e detectar perdas comerciais através das técnicas de Redes Neurais (FARIA, L.T. 2012).

O presente trabalho tem como principal foco o estudo de inteligência artificial e aplicação de redes neurais artificiais, para obter, em sistemas de baixa tensão, um sistema identificador de perdas não técnicas.

### Metodologia

Foi utilizado como banco de dados em formato de planilha, fornecida pela concessionária de energia do Mato Grosso do Sul (ENERGISA), sendo fornecido os dados de consumo de 295.047 consumidores-não identificados- apenas da cidade de Campo Grande. Os dados tratam exclusivamente de consumidores do grupo B, que são compostos de unidades com tensão inferior a 2,3kV. Desse total de consumidores, foram realizadas filtragens para padronizar a rede, foram selecionados clientes com data da última fiscalização realizada com correspondência ao ano de consumo que foram disponíveis – 2015/2016/2017/2018 – e com TOI (Termo de Ocorrência e Inspeção) apenas nesses períodos correlatos. De tal modo, consumidores com data de fiscalização e sem data de TOI, foram classificados como consumidores sem fraude para a rede e consumidores com esse termo foram classificados como consumidores fraudulentos. Além dessa seleção, foram excluídos clientes que por exemplo, apresentavam meses com consumo zerado dentro dos anos correlatos e clientes que estavam na situação desligado no sistema. Em relação ao banco de dados levou-se em consideração alguns fatores como: se a rede é monofásica, bifásica ou trifásica, os alimentadores

correspondentes, consumo mês a mês dos anos equivalentes. Diante disso, após todas filtragens e seleções do banco de dados fornecidos restaram apenas 31.194 consumidores destes 25 % com fraude.

As informações iniciais necessitaram ser trabalhadas, uma vez que alguns dados eram irrelevantes, sendo então filtrados e organizados. As bases necessitaram ser transformadas para poderem ter representatividade, à vista disso o tipo de rede por exemplo, ao invés de ser contabilizado foi modificado para três entradas binárias, - monofásico, bifásico, trifásico - assim como os bairros, alimentadores e outros dados categóricos. O consumo mês a mês e outros dados também foram trabalhados para se obter variações ao invés do dado puro sem si.

Com a finalidade de melhor entendimento da rede, foram acrescentadas novas variáveis de entrada que poderiam auxiliar a rede. Assim, foram acrescentados os extremos de consumo das 48 entradas, levantadas as maiores variações, positivas e negativa. Através do banco de dados CEMTEC/MS, foram utilizadas relações de consumo sobre temperatura máxima de cada mês correspondentes, visto que o consumo de energia aumente gradativamente devido ao uso constante de ar condicionado, ventiladores, purificadores e umidificadores de ar. Assim, foram acrescentados como entradas as maiores variações desses anos.

Para a simulação das redes neurais foi utilizado o software Matlab, utilizando uma rede neural feed-forward de duas camadas, exemplificada na figura 1, em que foi utilizada a função sigmoide na camada oculta e a função softmax na camada de saída. Os resultados podem ser analisados pela matriz de confusão. A matriz representa os acertos (verde) e os erros (vermelho) para cada categoria de saída, no caso, fraude e sem fraude. É por meio desta matriz, que são demonstrados quantos por cento dos dados foram treinados, validados e testados, determinando assim os erros cometidos pelo classificador; essa matriz se divide em quatro resultados - matriz de confusão de treinamento, a matriz de confusão de validação, matriz de confusão de teste e por último, a matriz total de confusão. A matriz de treinamento apresenta resultados de 70% dos dados para aprender a classificar. A matriz de validação usa 15% dos dados, desconhecidos da rede, para ver se ela está generalizando e classificando bem mesmo dados que ela desconhece. Por fim a matriz de teste utiliza os outros 15% dos dados, também não treinados pela rede, para ver se a taxa de acerto se mantém.

### Resultados e Discussão

Os resultados expostos derivaram dos dados da tabela 01, assim foram realizados vários testes, logo foi selecionado aquele que mais se enquadrava no objetivo do trabalho.

Tabela 1 – Entradas e Saídas Utilizadas nos Treinamentos

Entradas		
Dados	Classes	Colunas
Tipos de Rede	Monofásico, Bifásico, Trifásico	01-03
Grupo	Residencial, Comercial, Industrial, poder pub..	04-09
Alimentador	ANH-ANH01, CGA-CGA01, CGA-CGA02..	10-108
Bairro	AGUA BONITA, AGUA LIMPA PARK, ALPHAVILLE	109-447
Consumo	jan/2015...dez/2018	448-495
Consumo extremos	Maximo, Mínimo	496-497
Delta consumo normalizado/delta temperatura maxima	jan/2015...dez/2018	498 -544
Delta extremos	Máximo, Mínimo	545-546
Delta consumo/delta temperatura maxima	jan/2015...dez/2019	547-593
Delta extremos	Máximo, Mínimo	594-595
Delta Consumo	Máximo, Mínimo	596-597
Consumo Normalizado por cliente	Média, Máximo, Mínimo	598-600
Consumo/Temperatura Máxima	Máximo, Mínimo	601-602
Saídas		
Situação do Cliente	Com Fraude, Sem Fraude	603-604

As tentativas foram executadas a partir da variação da quantidade de neurônios na camada oculta, a fim de identificar um padrão que obtivesse melhores resultados. A rede, exemplificada na figura 1, foi a que demonstrou resultados mais satisfatórios, obtendo em sua camada oculta 100 neurônios, e na saída constando 2 neurônios; assim, aplicando 602 entradas(input) e 2 saídas(output).

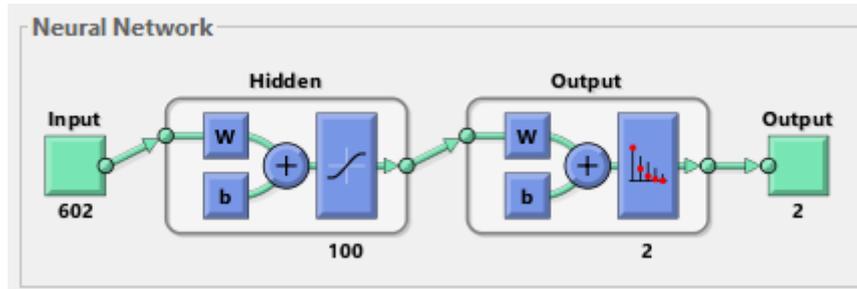


Figura 1-Rede usada para reconhecimento de padrões

Como já foi mencionado, há enormes adversidades para detectar perdas comerciais no sistema de energia elétrica, assim, a estratégia mais utilizada pelas distribuidoras de energia é gerar inspeções através de análise de dados, sendo sua taxa de sucesso de baixa à moderada, ficando em torno dos 20%. Esta análise compreende a utilização de regras heurísticas simples para buscar a base de dados e especificar clientes que serão analisados com histórico de consumo atípico, através do banco de dados utilizado no presente trabalho. Assim, através dos testes realizados na rede pode-se ter uma especificação dos clientes normais e aqueles que teriam grandes possibilidades de possuírem algum tipo de fraude.

A figura 2, demonstra o resultado obtido através da rede neural, nessa simulação foi determinado 70% do banco de dados para treinar a rede (training), 15% para validação (validation) e outros 15% para teste (test). A rede conseguiu em instantes identificar e simular 25124 (80,5%) dos 31194 (100%) clientes do banco de dados importado e obteve 6069 (19,5%) de clientes não classificados. Sendo treinado com sucesso 17709 (81,1%), validado 3715 (79,4%) e testado 3700 (79,1%). Assim, a rede classificou 11,3% dos clientes com irregularidades, e 69,2% sem fraudes, valor próximo da média de 75%. A matriz de confusão é dividida em quatro resultados, sendo o primeiro "training confusion matrix" que na tradução livre significa matriz de confusão de treinamento, o segundo "validation confusion matrix" ou seja, matriz de confusão de validação, o terceiro "test confusion matrix" que diz matriz de confusão de teste e por último, "all confusion matrix" que traduzido expressa a matriz total de confusão.

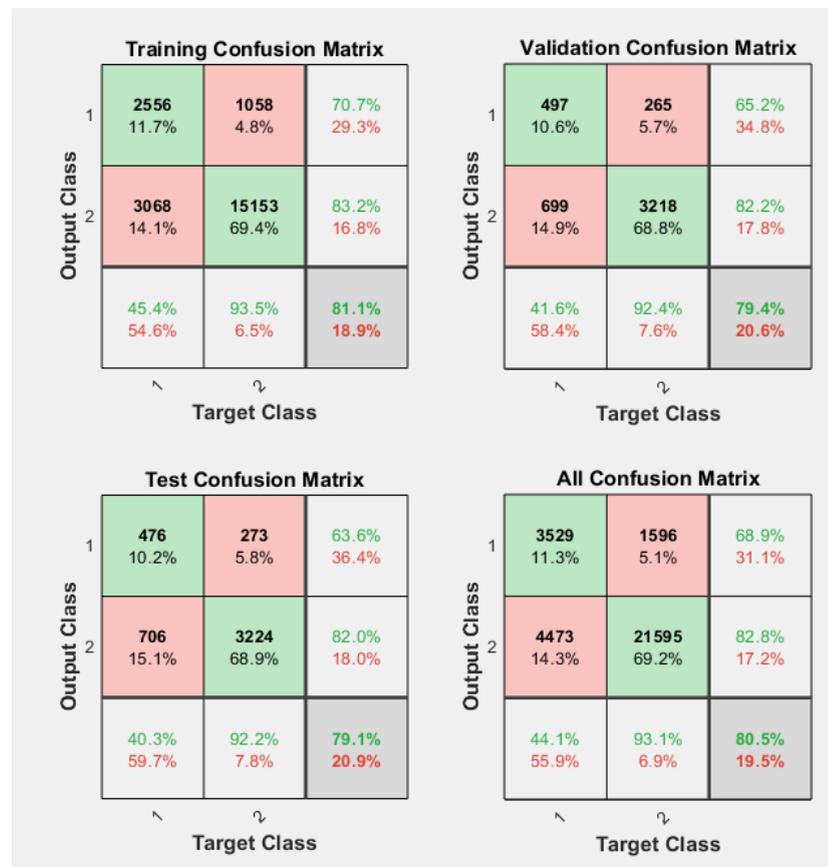


Figura 2- Resultado Rede Neural com 100 neurônios

Para exemplificação das simulações, obteve-se também a rede com 10 neurônios em sua camada oculta apresentando uma identificação e simulação 24915 (79,9%) dos 31194 (100%) clientes do banco de dados importado e obteve 6278 (20,1%) de clientes não classificados. Sendo treinado com sucesso 17523 (80,3%), validado 3735 (79,8%) e testado 3657 (78,2%). Assim, a rede classificou 10,5% dos clientes com irregularidades. Já a rede com 300 neurônios em sua camada oculta, apresentou uma identificação e

simulação de 24927 (79,9%) dos 31194 (100%) clientes do banco de dados importado e obteve 6266 (20,1%) de clientes não classificados. Sendo treinado com sucesso 17562 (80,4%), validado 3690 (78,9%) e testado 3675 (78,5%). Assim, a rede classificou 10,1% dos clientes com irregularidades.

Como os outros trabalhos relacionando inteligência artificial a perdas comerciais, o presente trabalho apresentou resultados que viabilizam detecção dessas irregularidades através de um sistema computacional. De acordo com Faria, “as simulações com dados reais apresentaram resultados satisfatórios em virtude da redução das perdas comerciais”, o que pode ser percebido neste trabalho. As ferramentas inteligentes para determinar e classificar os clientes que apresentam e não apresentam irregularidades de maneira automática pode ser considerada uma abordagem muito eficiente em se tratando da relação custo/benefício (RAMOS, C.C.O,2014).

### **Conclusões**

Observa-se que identificar um consumidor fraudador e estabelecer parâmetros para ele ainda é um campo pouco explorado e aberto para diversas ideias e métodos diferentes a fim de resolver um problema que existe há décadas. Assim, pode-se perceber que a utilização de inteligência artificial aplicada para perdas comerciais em sistema de energia elétrica é um campo extenso e complexo, visto que não há um perfil que enquadre a maioria ou uma parte dos consumidores de energia, notou-se também, que não há uma curva sazonal de ano a ano para todos os clientes, e mesmo clientes sem fraude apresentam algumas anomalias em seu consumo, o que dificulta a rede estabelecer um parâmetro para delimitar os clientes.

No entanto, as simulações realizadas com o banco de dados fornecido e estruturado, demonstraram uma melhora significativa na identificação de clientes prováveis de fraude, podendo assim apresentar na aplicação, um avanço e melhoria de tempo e dinheiro das concessionárias de energia.

Assim sendo, a inteligência artificial contribui de forma significativa para o desenvolvimento de estudos nessa área, com o aperfeiçoamento futuramente, através de trabalhos de campo e melhoramentos nos algoritmos, a taxa de perdas comerciais poderam ser bastantes reduzidas, conduzindo-se dessa forma um ótimo procedimento para auxiliar na identificação de consumidores irregulares.

### **Referências bibliográficas**

ABRADEE, Associação Brasileira de Distribuição de Energia, Furto e Fraude de Energia- Associação Brasileira de Distribuição de Energia – Acesso em maio/2018.

Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/perdas/furto-e-fraude-de-energia>

RAMOS, C.C.O. Caracterização de Perdas Comerciais em Sistemas de Energia Através de Técnicas Inteligentes, 2014. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PENIN, C.A.S. Combate, prevenção e otimização das perdas comerciais de energia elétrica, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

FARIA, L.T. Sistema Inteligente Híbrido Intercomunicativo para Detecção de Perdas Comerciais, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia/UNESP, Ilha Solteira - SP.

QUEIROZ, A.D.S. Algoritmo de inteligência computacional utilizados na detecção de fraudes nas redes de distribuição de energia elétrica. 2016, Tese (Mestrado em Engenharia elétrica e Computação) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu.

CEMTEC/MS, Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima de Mato Grosso – Acesso em março/2018

Disponível em: <http://www.cemtec.ms.gov.br/boletins-meteorologicos/>