

Madson Santos Chaves de Melo	Carlos César Barioni de Oliveira	Cristiano da Silva Silveira
Companhia Energética de Pernambuco	Daimon Engenharia e Sistemas	Daimon Engenharia e Sistemas
msmelo@celpe.com.br	barioni@daimon.com.br	cristiano@daimon.com.br

Nivia dos Santos Pessoa	Andre Luiz dos Santos	Saulo Cabral e Silva
nivia.pessoa@celpe.com.br	andresantos@celpe.com.br	scabral@celpe.com.br

Estratégias para Combate ao Furto de Energia em Função de Atributos Descritores das Características das Áreas Atendidas pelos Transformadores de Distribuição da CELPE

Palavras-chave

Perdas não técnicas

Análise de cluster

Análise fatorial

Transformadores de distribuição.

Estratégias combate perdas não técnicas

Resumo

Este artigo apresenta os resultados do mapeamento de micro e macrorregiões caracterizadas segundo o comportamento de unidades consumidoras suscetíveis a práticas de irregularidades e furtos de energia elétrica. A partir de atributos descritores das características das áreas e unidades consumidoras atendidas pelos transformadores de distribuição da CELPE, foi possível classificá-los em grandes grupos de similaridade para posterior aplicação de técnicas dedicadas ao estabelecimento de subgrupos de transformadores próximos geograficamente e com alto grau de homogeneidade em seus atributos descritores. Assim, permitindo à CELPE alcançar resultados mais efetivos na viabilização técnica e econômica de seus planos de ações, estruturados segundo suas práticas de combate às perdas comerciais. Os resultados do estudo em foco mostraram sua exequibilidade diante da problemática apresentada referente à busca regionalizada por soluções estratégicas de combate as irregularidades e fraudes de energia elétrica.

1. Introdução

I. Introdução

As perdas de energia elétrica de origem não técnica, decorrentes principalmente de furto e fraude, têm sido objeto de intensos trabalhos por parte das distribuidoras de energia elétrica no Brasil, pelos altos montantes verificados, pelo seu impacto no sistema elétrico, pelos custos associados e pela grande dificuldade para sua mitigação.

Dados apontam que as Perdas Não Técnicas (PNT) causam prejuízos da ordem de R\$ 8,1 bilhões ao ano, considerando 61 das 63 distribuidoras que passaram pelo 2º ciclo de revisões tarifárias no período de 2007 a 2010.

As PNT enquadram, principalmente, os furtos e as fraudes de energia. No Brasil, este problema corresponde a cerca de 8% do consumo do mercado cativo de energia elétrica.

Outro ponto importante é a relação que se verifica entre o combate às PNT e a inadimplência. Estudos apontam que um maior combate às perdas resulta na incorporação de clientes com maior propensão à inadimplência. Por outro lado, ao se intensificar o combate à inadimplência, através da suspensão do fornecimento de energia, há uma tendência de aumento nos furtos de energia. E também é importante se verificar que os consumidores que eram fraudadores e que após sua regularização passam a pagar a conta corretamente, tendem a reduzir seu consumo.

A CELPE vem desenvolvendo grandes esforços tanto para a identificação dos furtos e fraudes como para seu combate.

O sistema de distribuição da CELPE utiliza o padrão comum à maior parte das distribuidoras brasileiras, que consiste na utilização de redes de distribuição aéreas com condutores nus. Neste padrão, quando há compartilhamento entre as redes de média e baixa tensão, os condutores de baixa tensão ficam abaixo dos condutores de média tensão.

Este padrão de rede de distribuição é largamente utilizado por seu baixo custo, porém infelizmente é um grande facilitador para o furto e fraude da energia elétrica.

2. Desenvolvimento

II. Objetivo

Para subsidiar a CELPE na avaliação dos padrões mais adequados de soluções para combate ao furto de energia em função de atributos descritores das características das áreas atendidas pelos seus transformadores de distribuição, o estudo em foco apresentou como objetivos:

Definição de atributos quantitativos e qualitativos associados a cada transformador de distribuição da CELPE que possibilitem a sua caracterização quanto à necessidade de algum tipo de blindagem da rede para combater os furtos e fraudes de energia elétrica. Como exemplos de possíveis atributos, podem ser citados: número de clientes cortados por inadimplência num determinado período, índice de reincidência no corte-religa, valores a receber, número de fraudes ou furtos identificados no período pelos programas de inspeção da empresa, potência nominal do transformador, taxa de falhas, energia mensal fornecida.

- Definição e aplicação de modelo matemático para o estabelecimento dos transformadores de distribuição da CELPE cujas redes de distribuição deverão ser dotadas de alguma solução de blindagem. Nestas análises, serão considerados os atributos considerados mais representativos do objeto em estudo (furto/fraude de energia).

III. Metodologia

As metodologias utilizadas no estudo foram: Análise Fatorial e Análise de *Cluster*.

Os resultados da análise fatorial foram utilizados como *inputs* para a análise de *cluster*. A opção pela utilização da análise fatorial se fez por esta ser mais adequada uma vez que o conjunto de variáveis investigadas foi grande. Outro fato considerado é que a análise fatorial não permite realizar previsões. Ela apenas identifica os fatores que explicam a variável dependente (caso exista uma) e quais variáveis independentes estão associadas a cada fator com suas respectivas cargas.

Similar em seu conceito à análise fatorial, a análise de *cluster* se difere pelo fato de que os dados são colocados em grupos ou segmentos homogêneos, de acordo com a similaridade de suas características. O objetivo da análise foi elencar cada um dos transformadores em um grupo integrado por outros transformadores de características semelhantes.

A. Análise Fatorial

A análise fatorial é uma técnica de análise multivariada frequentemente utilizada em estatística cujo objetivo principal é estudar o comportamento de um conjunto de variáveis em covariação com outras (Green, 1976). Consiste de um conjunto de técnicas para tornar os dados observados mais facilmente interpretados. Para isso, analisam-se as relações entre as variáveis de forma que elas possam ser descritas por um grupo de variáveis, em número menor que as variáveis originais, chamadas fatores.

Os fatores obtidos em uma análise fatorial são entidades hipotéticas, variáveis não observadas, mas que explicam a variância das variáveis observadas a partir das correlações obtidas entre elas. A partir da análise fatorial, são obtidos os fatores de um conjunto de variáveis e são determinadas quais variáveis pertencem a cada um dos fatores com o respectivo grau de relevância.

A análise fatorial é extremamente útil quando há um grande número de variáveis explanatórias para a variável dependente ou conjunto de variáveis dependentes. Em tais casos, a possibilidade de se encontrar multicolinearidade entre as variáveis explanatórias aumenta consideravelmente, ou seja, aumenta a possibilidade de que uma ou mais variáveis independentes possua alguma correlação com outra variável independente. Se isso acontece, a análise fatorial cria um fator que junta as variáveis independentes correlacionadas e determina a carga de cada variável nesse fator, ou seja, determina o quanto o fator criado está saturado de uma determinada variável. Em outras palavras, a carga fatorial estabelece o grau de relação entre uma variável e seu correspondente fator.

B. Análise de Cluster

A análise de *cluster*, ou agrupamento, visa dividir um conjunto de observações (elementos, indivíduos, objetos, tratamentos etc.) em grupos homogêneos (similares), segundo algum critério conveniente de similaridade. Assim, os elementos pertencentes a um mesmo grupo serão homogêneos (similares) entre si, com respeito a certas características medidas, enquanto que os pertencentes a grupos diferentes deverão ser heterogêneos (diferentes) entre si em relação às mesmas características.

Os aspectos determinantes na *clusterização* são representação dos padrões (podendo incluir extração ou seleção de características), definição de uma medida de similaridade apropriada ao domínio da aplicação, método utilizado para a formação dos *clusters* e apresentação dos resultados.

IV. Resultados

Diversas informações (**técnicas, comerciais, ocorrências, inspeção e cobrança**) foram agrupadas por transformador de distribuição cuja abrangência foi a **Região Metropolitana de Recife (RMR)**. Os dados foram coletados considerando o período de **01/01/2011 a 31/12/2012**.

Uma vez feita a seleção dos possíveis atributos descritores de ocorrências de fraudes/furtos agrupados em transformadores de distribuição, totalizando **97 atributos**, tornou-se fundamental a seleção de um número reduzido que represente, com boa exatidão, as características das áreas atendidas. A técnica adotada neste estudo para redução dos atributos, como mencionado anteriormente, foi a análise fatorial.



Figura 01 – Parte dos 97 atributos por agrupamento.

Para aplicação da análise fatorial utilizou-se o *software* computacional *SAS® Enterprise Guide 5.1*. De um modo geral, o procedimento consistiu, num primeiro momento, em realizar a análise fatorial em grupos pré-selecionados avaliando-se as correlações entre as variáveis e determinando, quando possível, a redução dos dados. Concluída esta etapa, as variáveis selecionadas para representar cada grupo foram submetidas a uma análise fatorial geral com o intuito de averiguar as possíveis correlações existentes entre variáveis de grupos distintos. Por fim, obteve-se um conjunto de atributos que representavam estatisticamente (e tecnicamente) as características do grupo avaliado e que, dessa forma, puderam ser utilizados como parâmetros fundamentais para a comparação e agrupamento por meio da técnica de *clusterização*.

Em cada processo da análise fatorial, foram avaliados: Os valores de MSA (*Kaiser's Measure of Sampling Adequacy*, que corresponde à medida de adequação da amostra) de cada variável e do conjunto de variáveis (*overall MSA*) (Cerny, et al., 1977), os fatores correspondentes a cada análise, os resultados da rotação ortogonal aplicada na matriz de fatores, a matriz de correlações e as variáveis representativas do grupo analisado.

O MSA é um índice que varia de 0 a 1 (sendo 1 quando uma variável é perfeitamente prevista sem erro pelas outras variáveis) e informa o quão adequadas estão as amostras para ser aplicada a análise fatorial. Valores de MSA entre 0,8

e 0,9 são considerados bons, enquanto que $MSA < 0,5$ não são aceitáveis. Valor da ordem de 0,75 é considerado adequado. Caso o MSA geral seja baixo, indica que devem ser adicionadas ou retiradas variáveis da análise para se definir melhor os fatores comuns.

Os fatores são variáveis hipotéticas (combinações lineares das variáveis observadas) que explicam partes da variabilidade dos dados. As rotações visam maximizar a correlação de uma determinada variável a um único fator, minimizando as correlações nos demais. Há dois tipos de rotações – denominadas *Orthogonal Rotation* e *Obliquely Rotation* – e diversos métodos para aplicação destas rotações.

O procedimento de análise fatorial consistiu em examinar os valores de MSA de cada variável. Caso haja variáveis com $MSA < 0,5$, retira-se da análise aquela com menor valor de MSA, pois ela não é suficientemente explicada pelas demais, ou seja, representa uma característica dos dados que não está contida em outras variáveis. Neste caso, a variável (ou variáveis) com menor valor de MSA é selecionada para a análise fatorial geral. Repete-se este procedimento até que todas as variáveis em análise apresentem $MSA \geq 0,5$. Feito isso, avalia-se o valor global de MSA (*overall MSA*) e decide-se continuar ou não com a análise fatorial.

Avaliada a MSA, o passo seguinte foi definir quais os fatores que serão utilizados na avaliação dos resultados. Por questões de simplificação (mas sem comprometer a exatidão dos resultados), optou-se pelo critério da proporção (*Proportion Criterion*) para seleção da quantidade de fatores a serem extraídos (SAS/STAT(R)).

Definidos os fatores, a interpretação foi uma das fases mais complexas, dependendo tanto da experiência do pesquisador (aspectos subjetivos) quanto do poder de explicação das variáveis. Em geral, a solução inicial fornecida pela aplicação da análise fatorial não é a mais fácil de interpretar, fornecendo, muitas vezes, resultados (correlações entre fatores e variáveis) que podem dar margens a conclusões errôneas. Para obter melhor confiabilidade nos resultados, procede-se a algum tipo de rotação. Nos resultados apresentados neste trabalho utilizou-se o método *Varimax* (Kaiser, 1958) para aplicação de uma rotação do tipo ortogonal (*Orthogonal Rotation*).

Como resultado da [análise fatorial](#), as variáveis selecionadas para posterior análise de *cluster* foram:

35 variáveis selecionadas			
Acronímico	Descrição	Acronímico	Descrição
inspecao_normal_sp	Quantitativo de situações normais em UC's por transformador (SERVIÇO PÚBLICO)	inspecao_normal_ip	Quantitativo de situações normais em UC's por transformador (ILUMINAÇÃO PÚBLICA)
nc_sp	Quantidade atual de clientes por transformador (SERVIÇO PÚBLICO)	inspecao_iregtec_com	Quantitativo de irregularidades técnicas em UC's por transformador (COMERCIAL)
media_kwh_fet_rur	Consumo atual médio dos clientes do tipo RURAL do transformador	inspecao_defeito_pp	Quantitativo de defeitos em UC's por transformador (PODER PÚBLICO)
inspecao_iregtec_rur	Quantitativo de irregularidades técnicas em UC's por transformador (RURAL)	inspecao_fraude_pp	Quantitativo de fraudes em UC's por transformador (PODER PÚBLICO)
inspecao_defeito_rur	Quantitativo de defeitos em UC's por transformador (RURAL)	km_nu	Quantidade de atual em quilômetros de rede BT dos condutores NU
media_kwh_fet_pp	Consumo atual médio dos clientes do tipo PODER PÚBLICO do transformador	uc_bi	Quantidade de atual de contratos com tipo de ligação BIFÁSICO
media_kwh_rec_res	Consumo atual médio dos clientes do tipo RESIDENCIAL do transformador	inspecao_iregtec_pp	Quantitativo de irregularidades técnicas em UC's por transformador (PODER PÚBLICO)
inspecao_fraude_rur	Quantitativo de fraudes em UC's por transformador (RURAL)	inspecao_normal_pp	Quantitativo de situações normais em UC's por transformador (PODER PÚBLICO)
nc_rur	Quantidade atual de clientes por transformador (RURAL)	inspecao_fraude_ind	Quantitativo de fraudes em UC's por transformador (INDUSTRIAL)
inspecao_defeito_res	Quantitativo de defeitos em UC's por transformador (RESIDENCIAL)	inspecao_defeito_ind	Quantitativo de defeitos em UC's por transformador (INDUSTRIAL)
inspecao_defeito_ip	Quantitativo de defeitos em UC's por transformador (ILUMINAÇÃO PÚBLICA)	media_kwh_fet_ind	Consumo atual médio dos clientes do tipo INDUSTRIAL do transformador
inspecao_fraude_ip	Quantitativo de fraudes em UC's por transformador (ILUMINAÇÃO PÚBLICA)	inspecao_iregtec_ind	Quantitativo de irregularidades técnicas em UC's por transformador (INDUSTRIAL)
nc_pp	Quantidade atual de clientes por transformador (PODER PÚBLICO)	inspecao_normal_ind	Quantitativo de situações normais em UC's por transformador (INDUSTRIAL)
br_kwh_fet	Consumo atual médio dos clientes do tipo RESIDENCIAL BAIXA RENDA do transformador (faturado)	inspecao_normal_rur	Quantitativo de situações normais em UC's por transformador (RURAL)
br_kwh_reg	Consumo atual médio dos clientes do tipo RESIDENCIAL BAIXA RENDA do transformador (medido)	media_kwh_fet_sp	Consumo atual médio dos clientes do tipo SERVIÇO PÚBLICO do transformador
inspecao_iregtec_ip	Quantitativo de irregularidades técnicas em UC's por transformador (ILUMINAÇÃO PÚBLICA)	inspecao_iregtec_sp	Quantitativo de irregularidades técnicas em UC's por transformador (SERVIÇO PÚBLICO)
inspecao_fraude_com	Quantitativo de fraudes em UC's por transformador (COMERCIAL)	postes_mt_bt_comum	Quantidade de atual de postes da rede BT do transformador compartilhado com AT
nc_ind	Quantidade atual de clientes por transformador (INDUSTRIAL)		

Tabela 01 – Variáveis selecionadas para análise decluster.

O grande desafio, como já comentado anteriormente, está na determinação do número de grupos a serem formados de tal forma que se garanta a necessária aplicabilidade dos resultados nas análises que se seguirão. Neste momento, conhecendo-se as diretrizes que norteiam o nosso problema, isto é, identificar soluções para o combate ao furto de energia em função de atributos descritores das características das áreas atendidas pelos transformadores de distribuição da CELPE, almejou-se avaliar a possibilidade de redução do número de agrupamentos para o mais próximo possível do número de soluções de blindagens de rede avaliadas pela CELPE. Para tanto, os resultados que se seguirão foram obtidos a partir de simulações realizadas nos softwares SAS® Enterprise Guide 5.1 e MATLAB R2013a.

Avaliou-se o número de *clusters* a serem formados por meio do critério oferecido pelo software SAS denominado *Cubic Clustering Criterion* (CCC). Este parâmetro estatístico auxiliar varia com o número de agrupamentos considerados em que pontos de máximos locais são indicativos da presença de grupos homogêneos.

Frente aos primeiros agrupamentos formados sem que houvesse a preocupação na redução do seu número para próximo do número de soluções de blindagens, a CELPE realizou visitas a campo. As impressões advindas destas visitas deram força à necessidade de redução do número de agrupamentos, mesmo que a consequência disto apontasse para uma reorganização das 35 variáveis até então selecionadas. E tal reorganização se fez necessária!

Neste processo de reorganização, o grupo de variáveis apontadas na Tabela 01 sofreu alterações. Tais alterações tiveram como principal objetivo a compensação da ausência da informação socioeconômica da área de estudo, necessidade ratificada após as visitas de campo realizadas como mencionado anteriormente. Tecnicamente fez-se uma reavaliação da análise fatorial cujo resultado está exposto na Tabela 02.

O grupo com 18 variáveis selecionadas para a análise de *cluster* final foi resultante de algumas considerações subjetivas baseadas no conhecimento do problema em pauta. Para que tal subjetividade não interferisse em avaliações

posteriores, os resultados foram confrontados e validados pela CELPE por meio da realização de outras visitas a campo.

O método de *clusterização* adotado neste estudo foi o método de *Ward* e a decisão quanto à possibilidade de redução do número de *clusters* para próximo de cinco subsidiada pelos critérios: *Pseudo F statistics*, *Pseudo T-squared statistics* e *CCC statistics*.

A decisão por formar seis *clusters* para este trabalho se apoiou fundamentalmente na técnica *Pseudo t-square statistics*. Na Figura 01 estão os gráficos dos três critérios citados. Para os critérios estatísticos *CCC* e *Pseudo F*, não há informações disponíveis para uma tomada de decisão. Entretanto, para o critério *Pseudo T-squared*, teríamos a possibilidade de formar bons *clusters* com 23, 20, 15, 10, 8 e 6. Escolheu-se pela formação de seis *clusters*.

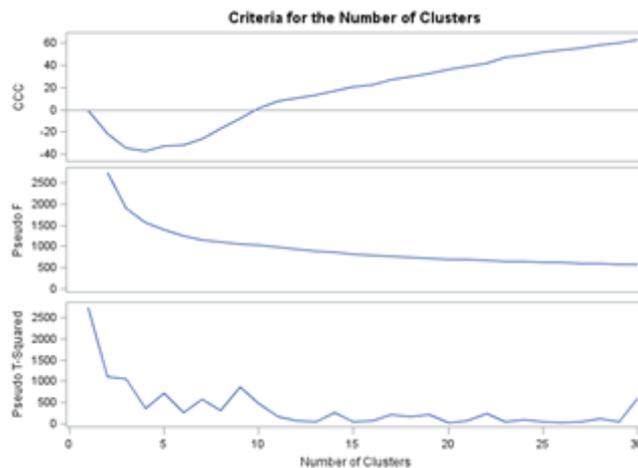


Figura 02 – Estatísticas para decisão do número de clusters.

Sabendo-se que o universo considerado neste estudo contempla **9.654 transformadores de distribuição** da RMR, é natural identificar uma grande diversidade de características entre indivíduos de um mesmo *cluster*. E unir tal diversidade em poucos grupos (seis, neste estudo), apesar de desejável deve ser feito com parcimônia. Portanto, diante desta nova meta e sem perder o foco do principal objetivo, foi proposta a utilização de um método complementar à identificação dos seis agrupamentos.

O método complementar utilizado é denominado *Dinâmico* (ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2010). Seu objetivo é determinar, dado um transformador de referência, os transformadores mais semelhantes a este.

Variáveis rearranjadas (18 variáveis)	
media_kvwh_rec_res	Consumo atual médio dos clientes do tipo RESIDENCIAL do transformador
km_nu	Quantidade atual em quilômetros de rede BT dos condutores NU
postes_mt_bt_com_um	Quantidade atual de postes da rede BT do transformador compartilhado com AT
inspecao_defeito_res	Quantitativo de defeito sem UC's por transformador (RESIDENCIAL)
inspecao_fraude_res	Quantitativo de fraudes em UC's por transformador (RESIDENCIAL)
inspecao_irregtec_res	Quantitativo de irregularidades técnicas em UC's por transformador (RESIDENCIAL)
inspecao_nomal_res	Quantitativo de situações normais em UC's por transformador (RESIDENCIAL)
inspecao_defeito_com	Quantitativo de defeito sem UC's por transformador (COMERCIAL)
inspecao_fraude_com	Quantitativo de fraudes em UC's por transformador (COMERCIAL)
inspecao_irregtec_com	Quantitativo de irregularidades técnicas em UC's por transformador (COMERCIAL)
inspecao_nomal_com	Quantitativo de situações normais em UC's por transformador (COMERCIAL)
estoque_cortados	Quantidade atual de clientes com débito por transformador
km_isolado	Quantidade atual em quilômetros de rede BT dos condutores ISOLADO
desligamentos	Quantitativo de desligamentos por transformador
debito_parc	Quantidade atual de contratos do transformador com débito parcelado
debito_nparc	Quantidade atual de contratos do transformador sem débito parcelado
uc_mono	Quantidade atual de contratos com tipo de ligação MONOFASICO
br_qtd	Quantidade atual de clientes do tipo RESIDENCIAL BAIXA RENDA do transformador

Tabela 02 – Rearranjo de variáveis.

Sendo assim, para cada transformador de referência tem-se um conjunto de transformadores que mais se assemelham a ele.

A intenção de sua aplicação neste estudo é auxiliar na identificação de subgrupos de transformadores com baixo grau de heterogeneidade em seus atributos (ou alto grau de homogeneidade). Em outras palavras, identificar áreas representativas, com diferentes níveis de concentração, de cada *cluster*, como forma de tratamento de *outliers* para melhor indicar as regiões cujas ações de combate às Perdas Não Técnicas (PNT) podem apresentar maior efetividade em sua redução por meio de diferentes técnicas de blindagens de rede utilizadas pela CELPE. Esta identificação de áreas representativas é uma forma de suprir a ausência da informação socioeconômica predominante do local no qual cada transformador está inserido.

Além disso, a identificação destes subgrupos vem ao encontro das necessidades de avaliação que a CELPE deverá proceder quanto à viabilidade técnica e econômica de introduzir uma solução de blindagem em determinado local. Cada conjunto de ações (procedimentos) de combate deve estar a princípio, vinculado à tipificação das áreas representativas. Tal tipificação foi feita por meio de visita a campo pela CELPE e os resultados validados, dada a coerência dos subgrupos de transformadores e as condições encontradas nos locais visitados.

Uma vez que a viabilidade técnica está diretamente relacionada à topografia do local em análise, a viabilidade econômica tem sua relação com as unidades consumidoras alvo de determinada ação. De maneira a oferecer à CELPE informações mais robustas frente às ações de blindagem que poderiam ser executadas diante das condições “mais deterioradas” de alguns locais, foram associadas condições pré-estabelecidas à aplicação do método dinâmico (incorporação de critérios de abrangência) que podem ser alteradas dependendo do nível de abrangência que se deseja, sendo elas: os valores médios dos atributos dos subgrupos não poderão ser 50% superiores ou inferiores aos valores médios dos atributos de seus agrupamentos (verificação de semelhança); a distância de todos os transformadores semelhantes ao transformador de referência deve ser inferior a um raio de referência; e os subgrupos a serem formados devem conter um número mínimo referencial de transformadores.

Os resultados esperados com a aplicação deste conjunto de técnicas são a melhor identificação e o mapeamento dos subgrupos de transformadores, que se apresentariam como prioritários para uma avaliação por parte da CELPE quanto à sua viabilidade técnica e econômica de execução de uma solução para o combate ao furto de energia. Por exemplo, caso a solução seja a execução das soluções Tipo I ou Tipo II, ou nenhuma delas, esta poderá ser obtida de maneira mais afirmativa, dadas as indicações (pistas) que o estudo foi capaz de fornecer.

Os subgrupos formados ao final de todo este processo com diferentes níveis de concentração podem ser visualizados por meio de mapas gerados para visualização no *software Google Earth*.

Observações:

Um subgrupo não é incorporado a outro subgrupo por 03 razões: Distância do transformador de referência aos demais é superior ao raio de referência, estabelecido, número de transformadores do subgrupo inferior ao número mínimo referencial de transformadores e semelhança de atributos não verificada.

A essência deste estudo, além dos desenvolvimentos matemáticos e estatísticos realizados, foi encontrar relações claras e objetivas entre os resultados obtidos e as condições orientativas para as ações de combate às PNT por parte da CELPE. E para que isto fosse possível, a validação dos resultados necessariamente valeu-se de visitas a campo, como já mencionado algumas vezes. Visitas estas realizadas pela CELPE e cujas impressões foram positivas na tipificação dos *clusters* determinados.

A seguir, são apresentadas as condições identificadas pela CELPE quando das visitas a campo a transformadores pertencentes a subgrupos de cada um dos cinco principais *clusters* (o sexto *cluster* somente apresentou dois transformadores em sua composição).

A. Cluster 1

Os transformadores visitados pertencentes ao *Cluster 1* se apresentam com as seguintes condições de destaque:

Extensão de rede nua (290 metros por transformador, em média), baixa presença de unidades consumidoras classificadas como baixa renda (6 por transformador, em média), número de ligações monofásicas (34 por transformador, em média), baixa perda de receita - via informação de Provisão de Devedores Duvidosos (R\$ 6.000,00 por transformador, em média) e baixo número de ocorrências de fraude na classe residencial (3 por transformador, em média).

As características visuais levantadas nas inspeções de campo podem ser resumidas em: Baixa agressividade, pequenas áreas de transformador (1 ou 2 ruas), baixa quantidade de ligações diretas no meio do vão, baixa quantidade de ligações clandestinas e clientes autor religados, inexistência de transformadores localizados em áreas de favela (baixa renda).

B. Cluster 2

Os transformadores visitados pertencentes ao *Cluster 2* se apresentam com as seguintes condições de destaque:

Extensão de rede nua (520 metros por transformador, em média), baixa presença de unidades consumidoras classificadas como baixa renda (27 por transformador, em média), número de ligações monofásicas (100 por transformador, em média), baixa perda de receita - via informação de Provisão de Devedores Duvidosos (R\$ 23.000,00 por transformador, em média), baixo número de ocorrências de fraude na classe residencial (12 por transformador, em média).

As características visuais levantadas nas inspeções de campo podem ser resumidas em: Baixa agressividade, baixa quantidade de ligações diretas no meio do vão, baixa quantidade de ligações clandestinas e clientes auto religados, pequena parte dos transformadores localizada em áreas de favela (baixa renda).



Figura 03 – Caracterização fotográfica dos *cluster* 1 e 2.

C. Cluster 3

Os transformadores visitados pertencentes ao *Cluster 3* se apresentam com as seguintes condições de destaque:

Predominância de rede nua (810 metros por transformador, em média), forte presença de unidades consumidoras classificadas como baixa renda (77 por transformador, em média), elevado número de ligações monofásicas (200 por

transformador, em média), elevada perda de receita - via informação de Provisão de Devedores Duvidosos (R\$ 61.000,00 por transformador, em média), grande número de ocorrências de fraude na classe residencial (32 por transformador, em média).

As características visuais levantadas nas inspeções de campo podem ser resumidas em: Razoável agressividade, razoável quantidade de ligações diretas no meio do vão, razoável quantidade de ligações clandestinas e clientes auto religados, razoável parcela dos transformadores localizada em áreas de favela (baixa renda).



Figura 04 – Caracterização fotográfica do cluster 3.

D. Cluster 4

Os transformadores visitados pertencentes ao *Cluster 4* se apresentam com as seguintes condições de destaque:

Extensão de rede nua (360 metros por transformador, em média), baixa presença de unidades consumidoras classificadas como baixa renda (16 por transformador, em média), número de ligações monofásicas (111 por transformador, em média), baixa perda de receita - via informação de Provisão de Devedores Duvidosos (R\$ 27.000,00 por transformador, em média), grande número de ocorrências de fraude na classe comercial (6 por transformador, em média), parte da rede de baixa tensão desses transformadores é isolada.



Figura 05 – Caracterização fotográfica do cluster 4.

E. Cluster 5

Os transformadores visitados pertencentes ao *Cluster 5* se apresentam com as seguintes condições de destaque:

Predominância de rede nua (886 metros por transformador, em média), forte presença de unidades consumidoras classificadas como baixa renda (125 por transformador, em média), número de ligações monofásicas (273 por transformador, em média) e elevada perda de receita - via informação de Provisão de Devedores Duvidosos (R\$ 193.000,00 por transformador, em média), Grande número de ocorrências de fraude na classe residencial (97 por

transformador, em média)

As características visuais levantadas nas inspeções de campo podem ser resumidas:

Elevada agressividade, grande quantidade de ligações diretas no meio do vão, grande quantidade de ligações clandestinas e clientes auto religados e grande parte dos transformadores localizada em áreas de favela (baixa renda).

As ações neste *cluster* devem ter o seguinte direcionamento:



Figura 06 – Caracterização fotográfica do cluster 5.

Em resumo, este exemplo revela as diversas formas de análise que podem ser feitas a partir da identificação de subgrupos de transformadores a partir de seus respectivos *clusters*. Tais subgrupos e suas mais diferentes informações disponibilizadas (sejam elas técnicas, comerciais, inspeção, ocorrências e cobrança) podem ser confrontados de maneira a subsidiar planos de ação no combate ao furto de energia.

Tabela 03 – Principais atributos médios por Cluster

ITEM	UNID	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
TRANSFORMADORES	QTD total	4834	2220	1934	343	511
POD	R\$ média/trafo	R\$ 6.006,70	R\$ 22.626,98	R\$ 60.483,40	R\$ 26.665,67	R\$ 192.910,56
MEDIA_UC_MONO	QTD média/trafo	24,15	100,26	200,15	111,07	272,10
MEDIA_KWH_REC_RES	KWh média/trafo	227,44	236,51	153,57	212,71	147,29
KM_VU	km média/trafo	0,29	0,52	0,51	0,26	0,59
DESLOCAMENTOS	QTD média/trafo	0,02	0,12	0,52	0,07	0,62
INSPECAO_FRAUDE_RES	QTD média/trafo	2,45	11,26	22,63	5,10	97,02
INSPECAO_RREGTAC_RES	QTD média/trafo	0,95	2,55	5,45	2,27	10,50
INSPECAO_FRAUDE_COM	QTD média/trafo	0,42	0,55	0,97	5,49	1,21
INSPECAO_RREGTAC_COM	QTD média/trafo	0,49	0,50	0,50	5,55	0,51
DEBITO_PARC	QTD média/trafo	2,71	12,65	24,24	12,21	82,07
DEBITO_NPARC	QTD média/trafo	11,05	34,23	75,49	29,25	132,66
ESTOQUE_CORTADOS	QTD média/trafo	2,40	10,17	26,90	9,53	70,09
RR_QTD	QTD média/trafo	5,99	26,62	76,66	15,77	125,09
POSTES_MT_BTCOMUM	QTD média/trafo	3,34	1,99	2,12	2,45	2,07
Clientes Cortados (CORRIDOS ATUAL)	QTD média/trafo	3,22	11,66	29,55	12,25	76,22
Clientes Ligados (RECORRIDOS ATUAL)	QTD média/trafo	5,27	20,69	52,65	26,59	156,25
SCR FRA (ARRECBIBR FR TOTAL)	QTD total	2012	1623	1916	295	511
SCR NOR (ARRECBIBR FR)	QTD total	4402	2202	1922	342	511
SCR TOTAL (SCR FRA + SCR NOR)	QTD total	6415	4026	3838	638	1022
SCR FRA (ARRECBIBR FR TOTAL)	R\$ total	R\$ 9.852.122,46	R\$ 17.194.559,15	R\$ 40.242.002,95	R\$ 4.012.920,69	R\$ 29.429.552,20
SCR NOR (ARRECBIBR FR)	R\$ total	R\$ 62.959.923,64	R\$ 72.459.017,56	R\$ 125.542.879,09	R\$ 16.045.086,46	R\$ 95.592.169,46
SCR TOTAL	R\$ total	R\$ 72.812.046,10	R\$ 90.653.576,74	R\$ 176.255.882,04	R\$ 20.060.927,15	R\$ 125.042.051,66
SCR vencido 90 dias (ARRECBIBR FRV)	R\$ total	R\$ 26.154.517,02	R\$ 54.746.625,27	R\$ 115.272.929,81	R\$ 10.464.116,31	R\$ 90.174.775,29
SCR vencido 90 dias (ARRECBIBR FRV TOTAL)	R\$ total	R\$ 9.259.116,51	R\$ 16.762.026,37	R\$ 39.269.920,56	R\$ 3.752.715,52	R\$ 29.145.142,44
Amealgação mensal (ARRREC Mês)	R\$ total	R\$ 23.667.426,02	R\$ 23.240.221,60	R\$ 26.900.325,06	R\$ 7.220.622,51	R\$ 7.056.222,29
Faturamento (PAI Mês)	R\$ total	R\$ 21.245.210,25	R\$ 21.761.225,09	R\$ 25.927.567,77	R\$ 6.550.001,59	R\$ 5.097.266,27
Quantidade cortes realizados (RECORRIDOS ATUAL)	QTD total	24552	46122	102754	9122	79910

3. Conclusões

Os resultados do estudo em foco mostraram sua viabilidade diante da problemática apresentada referente à busca regionalizada por soluções estratégicas para combate ao furto de energia elétrica.

Assim como previsto, a partir de atributos descritores das características das áreas e unidades consumidoras atendidas pelos transformadores de distribuição da CELPE, foi possível classificá-los em grandes grupos de similaridade. A partir da identificação destes grupos, a aplicação de técnicas dedicadas ao estabelecimento de subgrupos de transformadores próximos geograficamente e com alto grau de homogeneidade entre seus atributos possibilitou um mapeamento fidedigno e bastante alinhado aos reais objetivos deste trabalho e às expectativas da CELPE.

A partir do mapeamento de micro ou macrorregiões caracterizadas segundo o comportamento de unidades consumidoras suscetíveis ou não a práticas de fraudes/furtos de energia elétrica, a CELPE poderá direcionar melhor seus esforços na avaliação da viabilidade técnica e econômica dos planos de ações a serem estruturados para as diferentes formas de combate a tais práticas.

Tabela 04 – Direcionamento da estratégia porCluster.



Inspeção nos clientes, externalização e blindagem pontual.



Inspeção nos clientes, Externalização e blindagem pontual.



Inspeção nos clientes não residenciais, Inversão da rede nos trechos da rede de média tensão com topografia viável, Blindagem com cabo armado nos trechos de topografia inviável, Externalização, Sistema de medição concentrada.



Inspeção nos clientes, Externalização e blindagem pontual.



Inspeção nos clientes não residenciais, inversão da rede nos trechos da rede de média tensão com topografia viável, blindagem com cabo armado nos trechos de topografia inviável e sistema de medição concentrada.

Em resumo, estes esforços, aliados à tipificação dos *clusters*, representam um avanço no caminho de uma identificação imediata dos tipos de solução a serem adotados para cada subgrupo de transformadores mapeado, dado que estes se apresentam como prioritários para uma avaliação por parte da CELPE quanto à viabilidade técnica e econômica de execução de uma solução para o combate ao furto/fraude de energia.

4. Referências bibliográficas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica Revisão da Metodologia de Estabelecimento dos Limites dos Indicadores Coletivos de Continuidade / Documento anexo à Nota Técnica nº 0028/2010-SRD/ANEEL [Relatório]. - Brasília : [s.n.], 2010.

Cerny B. A. e Kaiser H. F. A study of a measure of sampling adequacy for factor-analytic correlation matrices [Periódico] // Multivariate Behavioral Research. - 1977. - 1 : Vol. 12. - pp. 43-47.

Green P. E. Mathematical Tools for Applied Multivariate Analysis [Livro]. - [s.l.] : Academic Press, 1976.

Kaiser H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis [Periódico] // Psychometrika 23 (3). - September de 1958.

SAS/STAT(R) 12.1 User's Guide: The CLUSTER procedure [Seção do Livro].
