

Metodologia para Definição de Agrupamento de Consumidores e os Requisitos de Qualidade do Fornecimento

H. L. Queiroz – CELESC

E-mail:hermeslq@celesc.com.br

Palavras-chave - Agrupamento de Consumidores, Qualidade do Fornecimento, Padrões de Qualidade,

Resumo - Com a reestruturação do setor elétrico, a ANEEL, definiu padrões de qualidade bem mais rígidos do que os da Portaria 046/78 do DNAEE. Para definir os novos padrões, a ANEEL utilizou a técnica de agrupamento, “Cluster analysis”. O resultado do estudo realizado na Celesc, utilizando a mesma técnica de cluster, aponta que os agrupamentos de consumidores na Celesc são melhor representados quando as variáveis de mercado são separadas das variáveis do sistema elétrico. Este resultado vem ao encontro da Resolução 24/00 da ANEEL a qual consta que as concessionárias podem propor, a partir de 2003, novos critérios para agrupamentos de consumidores.

1. INTRODUÇÃO

Com a reestruturação do setor elétrico brasileiro ocorreu a desverticalização da indústria de energia elétrica, isto é, os negócios de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia passaram a ser negócios separados e a distribuição de energia passou a ser um monopólio.

Aliada a reestruturação, é crescente a exigência dos consumidores de energia elétrica por uma melhor qualidade da continuidade do fornecimento deste produto. Por outro lado, as concessionárias de energia exigem que a tarifa remunere os investimentos necessários a prestação de um serviço de acordo com a qualidade regulamentada.

As concessionárias de distribuição de energia são responsáveis pelo transporte de energia a curta distância. Elas são remuneradas pela quantidade de energia que transportam e são penalizadas quando não atendem os padrões de qualidade regulamentados pela ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Adicionalmente, a determinação do fator x, dos contratos de concessão, pode associar a melhoria de qualidade.

Os dois principais indicadores utilizados para medir a qualidade da continuidade da energia elétrica, fornecida a um determinado agrupamento de consumidores, são o DEC- Duração Equivalente por Consumidor e FEC – Frequência Equivalente por Consumidor. Esses indicadores medem a duração e o número de interrupções que, em média, cada consumidor do conjunto sofreu. Ambos são médias ponderadas com base no número de consumidores atingidos em cada interrupção.

Em 1978 o DNAEE- Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica [2], através da portaria 046/78, estabeleceu critérios para classificar os agrupamentos de consumidores em oito tipos, definiu e os níveis máximos de DEC e FEC associados a cada um desses tipos de agrupamentos e denominou esses agrupamentos de conjunto de consumidores. Essa classificação estabelece a similaridade entre conjuntos considerando características do sistema elétrico, da localidade atendida e o número de consumidores. No entanto, o critério adotado é muito genérico, permitindo que agrupamentos de consumidores, com características totalmente diferentes, sejam classificados dentro de um mesmo tipo de conjunto. Conseqüentemente, na prática, este critério mostrou-se inadequado.

Como um dos pontos chaves do sucesso do novo modelo do setor elétrico brasileiro é o equilíbrio econômico financeiro das empresas distribuidoras vinculado ao o nível de qualidade da energia que elas devem prestar aos seus consumidores, o órgão regulador do setor, a ANEEL, para atender este ponto chave, necessitou revisar o critério de agrupamentos de consumidores.

No processo de revisão a ANEEL, inicialmente, detalhou o critério de definição de conjunto. Por exemplo: as localidades seriam uma área geográfica que o número de consumidores não poderia ultrapassar a um mil, não poderia ser maior do que um município e deveriam ser separadas em área urbana e rural. Como características do mercado consideraram tanto o consumo como o número de consumidores por classe de consumo (rural, baixa renda, industrial, etc.). Como característica do sistema elétrico consideraram a potência instalada (rural, urbana), quilômetro de rede (monofásico, trifásico, subterrâneo etc.).

Porém, na proposta final, a ANEEL não definiu critério para restringir o tamanho da localidade, apenas utilizou uma variável para identificar se a localidade era atendida pelo sistema interligado ou por um sistema isolado, e considerou cinco variáveis: área (km²), extensão da rede primária (km), energia consumida (kWh), quantidade de consumidores (número), potência instalada (kVA).

Para definir os novos padrões, a ANEEL baseou-se no trabalho de Tanure [5], o qual utilizou a técnica de cluster e estabeleceu 30 tipos de agrupamentos.

A ANEEL [1] por meio da resolução 24 de 2000 prevê que a partir de janeiro de 2003 as concessionárias poderão propor novos critérios para o agrupamento de consumidores. Nesse sentido a Celesc realizou estudo utilizando a mesma técnica de cluster e chegou a

resultados os quais apontam que os agrupamentos de consumidores na Celesc são melhor representados quando as variáveis de mercado são separadas das variáveis do sistema elétrico.

2. CLUSTER ANALYSIS

Cluster é uma técnica de análise multivariada utilizada para agrupar objetos similares entre si. Pode-se classificá-las em dois tipos: técnicas hierárquicas e as não hierárquicas. Por sua vez o método hierárquico pode ser separado em métodos de aglomeração e métodos de divisão.

No método hierárquico de aglomeração, inicialmente, há tanto clusters quanto objetos e os agrupamentos vão emergindo de acordo com a similaridade existente entre eles. O processo agrupamento finaliza quando todos os objetos formam um único cluster.

No método hierárquico de divisão ocorre o oposto. Inicialmente, há um único cluster formado por todos os objetos. Este agrupamento único é dividido em subgrupos similares. O processo de divisão continua até haver tantos subgrupos quanto objetos.

As técnicas não hierárquicas são adotadas para agrupar os n objetos dentro de um número k pré estabelecidos de clusters. Nesta técnica o processo pode iniciar com divisão inicial dos n objetos em k clusters ou escolhendo um conjunto de pontos sementes os quais irão formar os núcleos dos k clusters.

Numa versão simples da técnica não hierárquica, inicialmente, agrupa-se os n objetos em k clusters. A partir daí, percorre-se a lista dos n objetos e, para cada um dos objetos, determina-se qual dos clusters o centróide é mais próximo do objeto. Recalcula-se o centróide para o cluster que recebeu e para o cluster que perdeu o objeto. O processo repete-se até não ocorrer mais troca.

A similaridade entre os objetos é obtida pela análise das distâncias entre eles. Pode-se utilizar alguns métodos para determinar a distância entre os objetos como a Euclidiana, a Euclidiana quadrática, a Chebchev e a Minkowski, porém, o método mais utilizado é o da distância Euclidiana.

Na definição da similaridade dos clusters analisa-se as distâncias intra-cluster e a distância inter-cluster. A similaridade entre os objetos que pertencem a um agrupamento e a distância entre eles (distância intra-cluster) deve ser pequena, e a distância entre ele e os objetos que não pertencem ao cluster (distância inter-cluster) deve ser grande. Para definir o número de cluster adequado considera-se o ganho ou a dispersão intra-cluster com o aumento do número de clusters.

A escala de grandeza adotada para cada uma das variáveis pode influenciar os resultados. A utilização de escalas de grandeza diferente pode ser interpretada como um peso fornecido para diferenciar o grau de importância entre as variáveis. Para evitar esse problema é recomendável que as variáveis sejam normalizadas.

Entre as maneiras de normalização das variáveis mais utilizadas encontram-se duas: A divisão do valor da variável i pelo maior valor considerado (PU - Por

Unidade) e a subtração do valor da variável i da média desta variável e dividindo o resultado pelo desvio padrão desta variável (Distância Estatística)

Quando o problema a ser analisado envolver um número elevado de objetos as técnicas não hierárquicas são preferíveis as hierárquicas [4].

3. CRITÉRIOS DE AGRUPAMENTOS ADOTADO PELA ANEEL E ENRE

Tanto o órgão regulador do Brasil, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, como o órgão regulador da Argentina, Ente Nacional Regulador de la Eleticidad – ENRE [3], utilizaram o método de conglomeramento (Cluster Analysis), o método das K Médias para definir os agrupamentos típicos de consumidores, no entanto, adotaram abordagens diferentes.

3.1. Agrupamentos de consumidores da ANEEL

O critério adotados pela ANEEL para definição dos conjuntos de consumidores, e os respectivos padrões de qualidade, baseou-se no resultado do trabalho de Tanure[5].

Na definição dos agrupamentos foram adotadas as seguintes premissas:

- Os conjuntos devem ser constituídos considerando que a concessionária de distribuição possa prover serviços com qualidade homogênea aos consumidores deste agrupamento.
- A combinação dos atributos que descrevam as características físicas da rede e as características econômicas dos conjuntos informa, indiretamente, o quanto está sendo investido em relação ao consumo e ao número de consumidores de cada área.
- O padrão de desempenho para cada agrupamento deve ser definido com base no desempenho dos melhores conjuntos pertencente ao cluster.

Para definir os agrupamentos foi utilizado o método de K-Médias, distância euclidiana. Foram utilizadas as variáveis área, potência instalada, número de consumidores, consumo, quilômetro de rede e conexão ao sistema interligado de 4135 conjuntos fornecidos por 56 concessionárias. Essas variáveis originais foram transformadas em novas variáveis aplicando, inicialmente, a função do logaritmo natural e, em seguida, função estatística. Ao final do trabalho foram definidos 30 agrupamentos.

Não foi estabelecido critério para delimitação da área geográfica do conjunto. Cada concessionária adotou o seu critério como, por exemplo, cada município forma um único conjunto, cada município forma dois conjuntos (um urbano e outro rural), cada áreas administrativa (normalmente composta de vários municípios) forma um conjunto.

O padrão do indicador para cada um dos conjuntos foi definido, a curto prazo, com base no valor real do conjunto e, a longo prazo, com base no valor real do primeiro decil dos indicadores que apresentaram o melhor desempenho para cada um dos 30 tipos de Agrupamento.

3.2. Agrupamentos de consumidores ENRE

O Ente Regulador da Argentina – ENRE [3], também utilizou o método de K-Médias, distância euclidiana, porém, analisou separadamente o mercado e o sistema elétrico.

Para definir as Áreas Típicas de Distribuição - ATD (conjuntos) o ENRE adotou a premissa que o mercado deveria ser homogêneo quanto aos níveis de consumo, característica da instalação requerida e exigência da rede para satisfação com níveis de qualidade e confiabilidade determinados.

Para atender estas condições foram testados vários tamanhos de quadrícula e chegaram ao tamanho de 500 metros de lado como o tamanho adequado de quadrícula. Constataram que áreas com estas dimensões apresentavam pouca variação nas características de mercado.

Para definir os clusters típicos de mercado foram utilizadas as variáveis consumo, número de consumidores e demanda separados em BT e MT. Com base nestas variáveis foram definidos seis clusters. A partir daí, para identificar cada área típica de distribuição (mercado) foi adotado o kW/km² como critério. A tabela I apresenta essa classificação.

Para atender uma ATD foram identificados os sistemas elétricos representativos – SER, isto, é conjuntos de instalações requeridas e determinadas segundo a alternativa tecnológica que satisfaça os menores custos totais para abastecer cada ATD.

3.3 Comparação das abordagens

Verifica-se que tanto a abordagem da ANEEL como a do ENRE consideraram dois tipos de variáveis: variáveis de mercado e variáveis do sistema elétrico. A ANEEL definiu os clusters utilizando simultaneamente os dois tipos de variáveis. O ENRE definiu primeiro o cluster de mercado e depois definiu a rede típica.

Quanto a especificação do objeto em análise (conjunto), o ENRE definiu como sendo um polígono de 500 metros de lado. A ANEEL não adotou critério para restringir o tamanho da área geográfica.

O ENRE definiu seis tipos de clusters e adotou a variável kW/km² como rótulo. Para identificar a qual cluster um determinado conjunto pertence, basta verificar em qual das seis faixas de kW/km² da tabela I que o conjunto enquadra-se. A ANEEL definiu 30 tipos de clusters, porém, não especificou nenhuma variável como rótulo.

4. PREMISSAS DA RESOLUÇÃO 024/2000 DA ANEEL

O artigo 11 da resolução 024/2000 da ANEEL sita [1]:

A partir de janeiro de 2003 as concessionárias poderão propor à ANEEL novos critérios para o agrupamento de consumidores, observando as seguintes condições:

I – qualquer critério de agrupamento proposto deverá permitir ao consumidor a identificação por meio de vinculação geográfica, do conjunto no qual está localizada a sua unidade consumidora;

TABELA I

ZONIFICAÇÃO DO MERCADO ELÉTRICO DA EDENOR S.A, EDESUR S.A E EDELAP S.A.[3]

| ATD | Faixas de BT [MW/Km ²] | Faixas de BT+AT [MW/Km ²] |
|--------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Baixa dens. rural | $\delta < 0,25$ | $0,50 < \delta$ |
| Baixa dens. urbana | $0,25 < \delta < 0,50$ | |
| Média-baixa dens. | $0,50 < \delta < 3,00$ | $0,50 < \delta < 7,00$ |
| Média-alta dens. | $3,00 < \delta < 8,00$ | $7,00 < \delta$ |
| Alta densidade. | $15,00 < \delta$ | |
| Muito Alta dens. | | |

II – deverá existir, para avaliação, um histórico de, no mínimo, 3 (três) anos de utilização de critério de agrupamento diferente do estabelecido nesta Resolução;

III – deverão ser evidenciadas as vantagens técnicas, econômicas e sociais da nova proposta em relação ao critério vigente de agrupamento.

Quanto ao consumidor identificar-se a localidade a qual pertence, salienta-se que o consumidor, usualmente, se identifica geograficamente ao bairro e ao município. Existem outras vinculações geográfica as quais o consumidor também sente-se identificado, uma agrupa bairros (exemplo: zona norte, zona sul, região da Lagoa, Norte da Ilha e região Central) e outras para designar agrupamentos de municípios (Exemplo: região do Vale do Itajaí, região do Litoral, região Oeste).

Quanto a vantagem social, utilizando o município como critério de unidade geográfica para delimitar um conjunto, permite que a sociedade legalmente representada pelo poder legislativo, executivo e por suas associações, compare os índices da qualidade do fornecimento de energia elétrica de sua comunidade com os índices de outras comunidades.

Esse fator permite as instituições municipais uma maior fiscalização das distribuidoras de energia. Permite, também, que elas definam suas políticas considerando os indicadores do setor elétrico.

Quanto a vantagem técnica e econômica, como o porte do município está associado ao sistema elétrico, possibilita correlacionar os índices do setor elétrico com indicadores econômicos e sociais.

Em grandes cidades, onde o sistema elétrico é complexo e a sociedade é estruturada por meio das associações de bairros, os conjuntos poderiam ser bairros e os índices poderiam ser os mesmos para todos os bairros.

Em pequenas localidades o sistema elétrico é simples, normalmente, a localidade é atendida por um único alimentador. Neste caso, a qualidade do fornecimento depende da distância que a localidade se encontra da subestação. Assim, fornecer o mesmo nível de qualidade para todas as pequenas localidades pode levar a custos elevados.

5. TIPOS DE AGRUPAMENTOS ESPERADOS

Para auxiliar na análise da consistência dos resultados obtidos com a aplicação dos modelos, apresentar-se-a

alguns tipos hipotéticos de agrupamento padrão para o mercado e para sistema elétrico.

5.1. Agrupamentos de mercado

Se os conjuntos fossem formados de quadras de 200 m de lado (uma quadra), poderia-se definir quatro clusters típicos, conforme apresentado na figura I. O cluster Mu poderia representar um centro urbano central (elevado número de consumidores e elevado consumo) e, oposto a ele, estaria o cluster Mr representando uma propriedade rural (no máximo um consumidor e pouco consumo). O cluster Mi seria do tipo um industrial (um ou dois consumidores com consumo elevado). Já o cluster Mb poderia representar uma área de baixa renda (muitos consumidores pouco consumo). Poderia-se ter ainda um cluster entre o Mu e Mr representando um condomínio residencial urbano de alto poder aquisitivo e um outro representando um área de balneário.

A medida que a área desses agrupamentos crescem e se transformem em bairros, pode-se esperar um comportamento similar, no entanto, quanto maior a área de abrangência do cluster mais estes quatro clusters típicos se mesclam. Ao atingir o tamanho de um município o cluster irá apresentar uma média ponderada dessa mesclagem, que o caracterizará.

Para municípios com área geográfica similares, a princípio, poderia-se encontrar clusters típicos, pois, todo o município é composto de num núcleo (sede) ao redor do qual gravitam consumo e consumidores.

5.2 Agrupamentos de sistema elétrico

Para atender os agrupamentos típicos de mercado, existente para cada um dos municípios, poderia-se ter alguns agrupamentos básicos de sistema elétrico “Sj”, conforme apresentado na figura II.

O cluster tipo S1 caracteriza-se por possuir uma pequena distância entre a subestação ao centro da sede do município e por ser atendido por muitos alimentadores, provavelmente, muitas subestações. Este cluster, a princípio, atenderia clusters de mercado com grande consumo e grande número de consumidor, isto é, agrupamentos do tipo Mu.

O oposto ocorre com o cluster tipo S5. Ele se caracteriza por uma grande distância entre a subestação e o centro da sede do município e por ser atendido por poucos alimentadores (provavelmente um). Este cluster atenderia clusters de mercado com pouco consumo e pouco número de consumidor, isto é, do tipo Mr.

O conjunto do tipo S6 dificilmente ocorreria, isto é, atendido por grande número de alimentadores, porém, as subestações estariam localizadas distantes da sede do município.

5.3 Influência do sistema elétrico na qualidade do fornecimento

A qualidade do fornecimento de um conjunto pode ser mais afetada pela distância da subestação do que pela Km de rede existente no município.

Se o mercado de duas localidades é idêntico, a princípio, a potência instalada para atender os consumidores, assim como as características do sistema de BT ($V < 600$), devem ser iguais (ou muito similares). Portanto, a contribuição dos desligamentos do sistema secundário no DEC e no FEC de cada uma das localidades deve ser a mesma.

Se dois mercados são idênticos, a característica do sistema de MT ($600 < V < 69k$) de cada um desses mercados deve ser idêntica. No entanto, o sistema de MT e AT ($V \geq 69k$), que supre energia a duas regiões de mercado idêntico, pode ser diferente.

Conforme demonstraremos a seguir, se existir dois conjuntos com similaridade de mercado, o conjunto localizado mais distante a subestação tenderá a ter desempenho inferior ao conjunto localizado mais próximo da subestação.

Considerando quatro localidades que são atendidas por um único alimentador e com mercado idênticos conforme apresentada na figura III.

Se o único equipamento de proteção existente for o equipamento instalado na Subestação (SE1), todas as quatro localidades terão o mesmo nível de qualidade, isto é, mesmo DEC e FEC. Pois todos os desligamentos no sistema de MT será efetuado pelo equipamento 1, que aberto desliga todas as localidades.

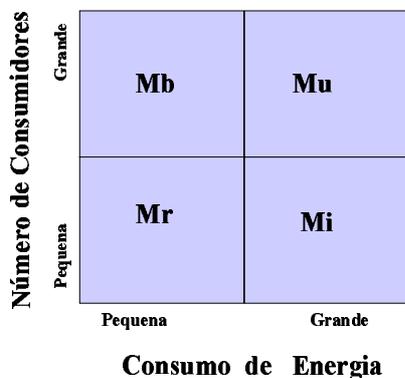


FIGURA I - AGRUPAMENTOS BÁSICOS DE MERCADO

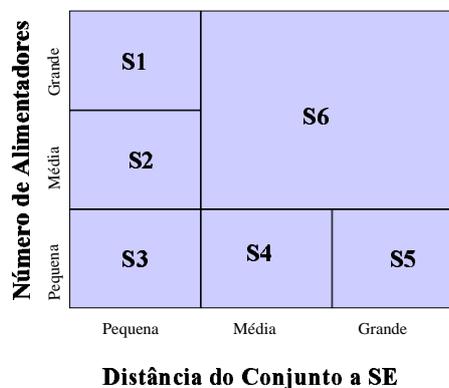


FIGURA II - AGRUPAMENTOS BÁSICOS DE SISTEMAS ELÉTRICOS

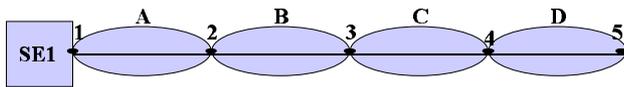


FIGURA III - EXEMPLO DE QUATRO LOCALIDADES COM MERCADO IDÊNTICO

Esta é uma situação que facilmente pode ocorrer em municípios de médio e grande porte se forem considerados como conjuntos os bairros, onde um alimentador pode atender vários bairros. Essa situação também pode ocorrer em municípios de pequeno porte quando o critério escolhido para formar um conjunto for um município igual a um conjunto.

Agora, se for instalado um religador no ponto 3, as localidades A e B continuarão sujeitas apenas aos desligamentos do equipamento 1. No entanto, as localidades C e D ficarão sujeitas aos desligamentos dos equipamentos 1 e 3. Portanto, a instalação do equipamento no ponto 2 melhora a qualidade das cidades A e B (o FEC reduz pela metade) e mantém a qualidade das cidades C e D (o FEC permanece o mesmo).

Nesta situação tem-se quatro localidades com o mesmo km de rede de MT, mesma potência instalada e com mesmas características de mercado, porém, atendidos com níveis de qualidade diferentes. Partindo desta nova configuração, para que a qualidade da localidade D seja igual ao nível de qualidade da localidade A, deve-se instalar uma subestação no ponto 4 ou 5.

Portanto, pode-se inferir que quando existirem duas pequenas localidades idênticas, uma localizada próximo a um centro de carga e a outra localizadas longe, a localidade próxima ao centro de carga será beneficiada pelo sistema que atende o centro de carga. Para fornecer este nível de qualidade a pequenas localidades situadas longe do centro de carga o custo seria similar ao custo de fornecer energia ao centro de carga. No exemplo citado anteriormente seria o custo de instalar uma nova subestação em 4 ou 5.

Essa situação, a princípio, não ocorre em mercados com grande densidade de carga e uniformemente distribuída. O sistema elétrico necessário para atender essas localidades é complexo, constituído de várias subestações e alimentadores interligados.

6. ANÁLISE DO SISTEMA CELESC

Analisando a classificação da Aneel para os clusters tipo 12 (Blumenau, Joinville e Lages) e para os cluster tipo 29 (Florianópolis, São José, Itajaí e outros) constatou-se que ela era diferente da classificação de similaridade feita por meio de um critério subjetivo adotado pela Celesc. A Celesc considera que o município de Florianópolis é mais similar aos municípios do cluster do tipo 12 do que aos municípios cluster do tipo 29. Considera também que Lages não é similar aos municípios classificados nos clusters do tipo 12 nem aos do tipo 29.

Visando analisar esta distorção, e com base no apresentado até este ponto, analisou-se os 260 conjuntos da área de concessão da Celesc. Utilizou-se o mesmo método de aglomeração K-Médias, e as variáveis área, consumo (KWH), número de consumidor (NUMC), potência instalada (KVA), comprimento de rede de média

tensão (KM), distância da sede do município a subestação em km (DIST), número de alimentadores (NAL) e possibilidade de manobra entre alimentadores (MAN).

Efetuuou-se o processo de análise em três etapas. Numa primeira etapa identificou-se os clusters típicos de mercado com e sem transformação logarítmica. Numa segunda etapa identificou-se os clusters típicos de sistema elétrico. E por fim, numa terceira etapa, para um tipo específico de cluster de mercado, analisou-se a vinculação entre a qualidade do fornecimento e um dos tipos de clusters de sistema elétrico.

6.1. Identificação dos conjuntos típicos de mercado

Na análise dos clusters típicos de mercado utilizou-se as variáveis área, consumo, número de consumidor, potência instalada e comprimento de rede. Esta análise foi dividida em duas partes.

Inicialmente utilizou-se três variáveis: área, consumo, número de consumidor. Essas variáveis foram normalizadas utilizando-se tanto a distância estatística como o critério por unidade

Numa segunda etapa utilizou-se as cinco variáveis. Nessa etapa, para possibilitar uma melhor comparação com a classificação da ANEEL, os dados foram transformados por meio da função logaritmo natural e, em seguida, normalizados por meio da distância estatística.

6.1.1. Cluster de mercado com três variáveis

A figura IV apresenta o resultado obtido com a aplicação do método hierárquico de aglomeração para as variáveis área, consumo e número de consumidores. Verifica-se que para uma distância de 200 pode-se agrupar os conjuntos em seis clusters, para uma distância de 400 em quatro clusters, e distância de 1000 em dois clusters.

A figura V apresenta o resultado obtido para oito agrupamentos utilizando as três variáveis e o método K-Médias. Nela observa-se que o cluster 5 se sobressai dos demais por apresentar um elevado consumo e um elevado número de consumidores. Já o cluster 1 caracteriza-se por apresentar um valor médio de consumo e número de consumidores.

Verifica-se também a existência de um grupo de clusters

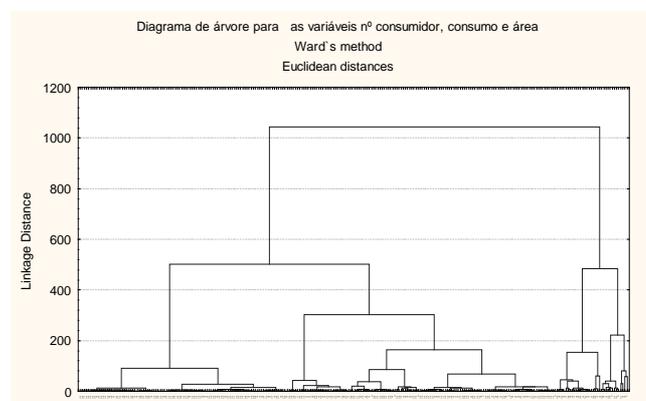


FIGURA IV – MÉTODO HIERÁRQUICO DE MERCADO PARA AS VARIÁVEIS ÁREA CONSUMO E NÚMERO DE CONSUMIDORES

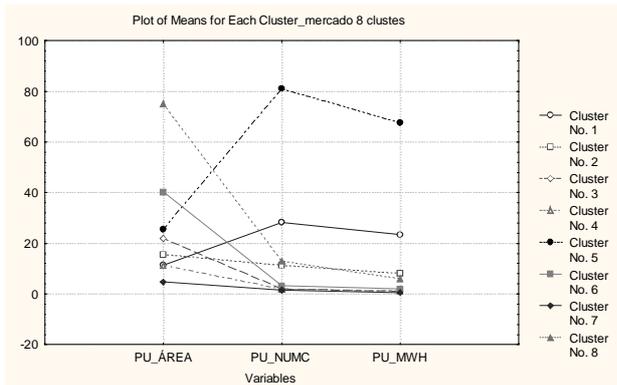


FIGURA V - MÉTODO DAS K-MÉDIAS PARA A VARIÁVEIS CONSUMO, NÚMERO DE CONSUMIDOR E ÁREA SEM TRANSFORMAÇÃO

(3, 4, 6 e 7) que diferenciam-se dos demais por possuírem baixo consumo e baixo número de consumidores e, diferenciam-se entre si, apenas, pela variável área. Os outros dois clusters 2 e 8 diferenciam-se entre si apenas pela variável área e diferenciam-se dos demais por possuírem o consumo e o número de consumidor levemente acima do grupo (3, 4, 6 e 7) e bem abaixo dos clusters 1 e 5.

Na figura VI percebe-se que não há sobreposição na faixa de consumo para os clusters 1 e 5, porém, existe sobreposição de faixa de consumo para os demais clusters. Esse comportamento também foi encontrado no gráfico de dispersão de NUMC.

Os resultados obtidos para os clusters de mercado utilizando o método K-Médio e efetuando a normalização em PU, foram similares aos resultados obtidos utilizando a normalização da distância estatística.

6.1.2. Cluster de mercado com transformação logarítmica

A figura VII apresenta o resultado obtido para oito agrupamentos utilizando as três variáveis, a transformação logarítmica e o método K- Médias. Nela observa-se que os valores médios para os clusters encontram-se melhores distribuídos que os obtidos no sem transformação figura V

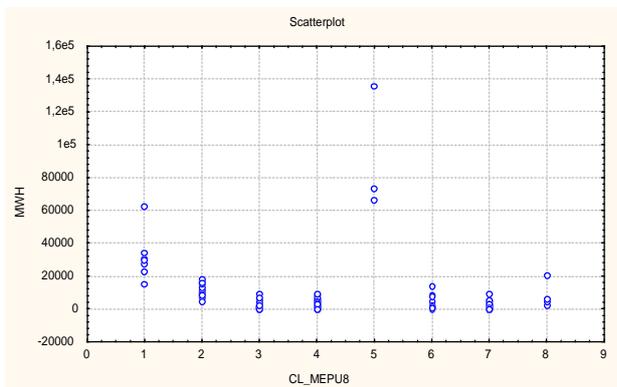


FIGURA - VI GRÁFICO DE DISPERSÃO DO MWH POR CLUSTER DE MERCADO COM 3 VARIÁVEIS SEM TRANSFORMAÇÃO

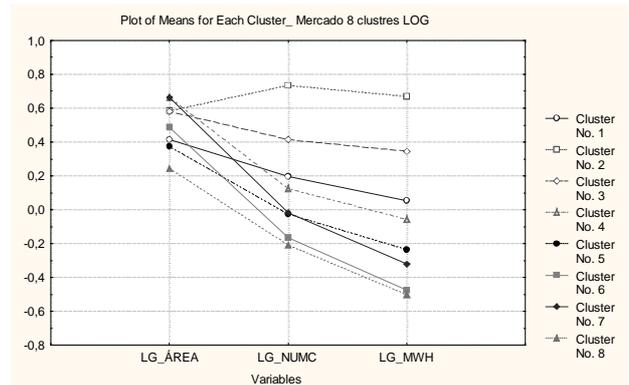


FIGURA VII - MÉTODO DAS K-MÉDIAS PARA A VARIÁVEIS CONSUMO, NÚMERO DE CONSUMIDOR E ÁREA COM TRANSFORMAÇÃO LOGARÍTMICA

Analisando os gráficos de dispersão para os agrupamentos obtidos utilizando-se as cinco variáveis (figura VIII) constatou-se que, quando efetuou-se a transformação dos dados utilizando-se a função do logaritmo natural, ocorreu sobreposição na faixa de consumo de todos os clusters. Este comportamento também ocorreu para os agrupamentos obtidos utilizando-se três variáveis. O fato se repetiu para a variável número de consumidor.

Ao comparar clusters com valor médio de consumo acima de 20.000 Mwh, apresentados na figura VI e na figura VIII, constata-se que, para os dados não transformados os conjuntos foram classificados em 2 clusters e, para os dados transformados todos os conjuntos passaram a pertencer a um único cluster.

Por exemplo: Sem a transformação logarítmica, (Figura VI), Blumenau pertencia ao Custer 5, Lages ao 8 e Itajaí ao 1. Após a transformação logarítmica, (figura VIII), todos estes conjuntos passaram a pertencer ao cluster 4.

6. 2. Identificação dos conjuntos típicos de Sistema Elétrico

Para identificar os conjuntos típicos de sistema elétrico utilizou-se as variáveis número de alimentadores, distância da sede do município a subestação e possibilidade de manobra entre alimentadores, isto é, a

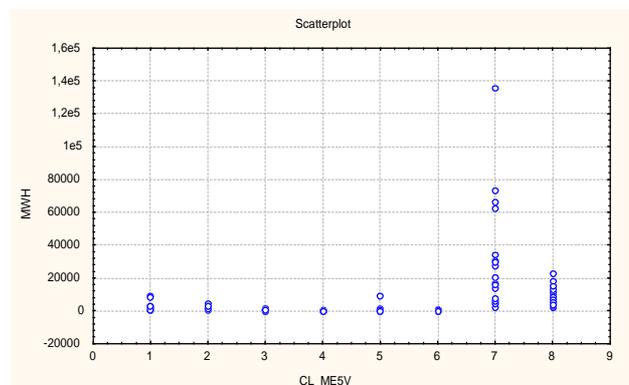


FIGURA - VIII GRÁFICO DE DISPERSÃO DO MWH POR CLUSTER DE MERCADO COM 5 VARIÁVEIS E COM TRANSFORMAÇÃO

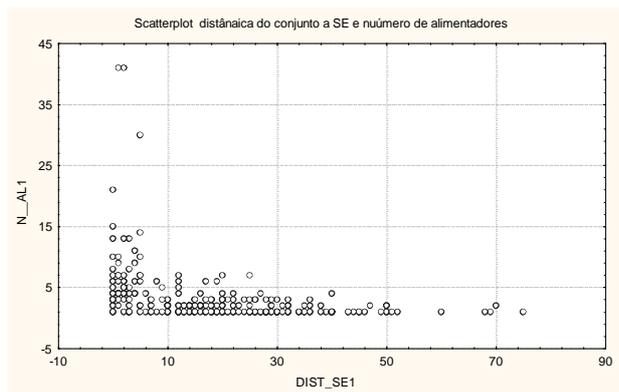


FIGURA – IX- GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE O NÚMERO DE ALIMENTADORES E DISTÂNCIA DA SEDE DO MUNICÍPIO A SUBESTAÇÃO

existência de alternativa para atendimento do mercado no caso de falha da fonte original.

A figura IX apresenta o gráfico de dispersão entre o número de alimentadores e a distância existente entre a sede do município e a subestação. Pode-se constatar a similaridade entre este gráfico e os sistemas elétricos básicos propostos na figura 2.

A figura 10 apresenta o resultado obtido para os clusters do sistema elétrico utilizando o método das K-Médias. Pode-se observar que os clusters 6 e 7 se caracterizam por não serem manobráveis e que diferenciam-se entre si pela distância existente entre a sede do município e a subestação. Os clusters 2 e 4 diferenciam-se entre si pelo número de alimentadores.

As tabelas 2 e 3 apresentam as estatísticas para as variáveis número de alimentador e distância existente entre a sede do município a subestação. Verifica-se que não houve sobreposição simultânea na faixa de valores das três variáveis.

Pode-se constatar que existe similaridade entre estes clusters e os clusters básicos de sistema elétrico proposto anteriormente. Como exemplos: (1) o cluster E1 com pequena distância e com grande número de alimentadores assemelha-se ao cluster S1 e (2) o cluster E6 com grande distância e poucos alimentadores assemelha-se ao cluster S5.

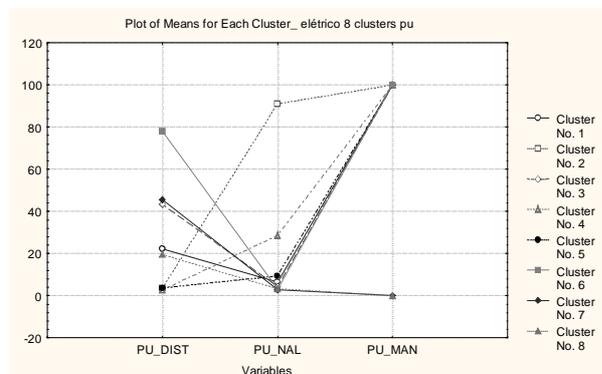


FIGURA X - MÉTODO DAS K-MÉDIAS PARA A VARIÁVEIS DE SISTEMA ELÉTRICO

TABELA 2
ESTATÍSTICAS NÚMERO DE ALIMENTADORES

| Cluster | nº conj | Média | Min | Max | Des.P. | MAN |
|---------|---------|-------|-----|-----|--------|-----|
| E2 | 3 | 37 | 30 | 41 | 6 | Sim |
| E4 | 14 | 12 | 8 | 21 | 3 | Sim |
| E5 | 62 | 4 | 1 | 7 | 2 | Sim |
| E1 | 52 | 3 | 1 | 7 | 2 | Sim |
| E3 | 35 | 2 | 1 | 4 | 1 | Sim |
| E6 | 10 | 1 | 1 | 2 | 0 | Sim |
| E8 | 46 | 1 | 1 | 5 | 1 | Não |
| E7 | 38 | 1 | 1 | 3 | 0 | Não |

TABELA 3
ESTATÍSTICAS DA DISTÂNCIA EXISTENTE ENTRE A SEDE DO MUNICÍPIO E A SUBESTAÇÃO

| Cluster | nº conj | Média | Min | Max | Des.P. |
|---------|---------|-------|-----|-----|--------|
| E4 | 14 | 2 | 0 | 5 | 2 |
| E2 | 3 | 3 | 1 | 5 | 2 |
| E5 | 62 | 3 | 0 | 9 | 3 |
| E8 | 46 | 15 | 0 | 24 | 6 |
| E1 | 52 | 17 | 10 | 25 | 4 |
| E3 | 35 | 33 | 25 | 45 | 6 |
| E7 | 38 | 34 | 25 | 52 | 8 |
| E6 | 10 | 59 | 46 | 75 | 11 |

6.3. Vinculação do cluster de sistema elétrico aos clusters de mercado

Constata-se na tabela 4 uma grande diferença entre os mercados dos clusters M1, M2, M5 e M8 (características mais urbanas compatíveis com o tipo Mu) e dos clusters M3, M4, M6 e M7 (características mais rurais compatíveis com o tipo Mr).

Como foi visto anteriormente, os clusters M3, M4, M6 e M7 foram diferenciados entre si mais pela diferença de área existente entre eles do que pela diferença de mercado.

O cluster típico de mercado M5 é o cluster que contém os conjuntos com maior mercado (Florianópolis, Joinville e Blumenau). Verifica-se também que o cluster típico de sistema elétrico que atende esse tipo de mercado é E2. Este resultado é compatível com aquele que foi previsto no modelo hipotético para os cluster S1 e Mu .

6.4. Influência do tipo de sistema na qualidade do fornecimento

Para analisar a influência de vários tipos de cluster de sistema na qualidade do fornecimento de um tipo específico de cluster de mercado, analisou-se o cluster M4.

Na tabela 5 constata-se que quanto maior a distância entre a SE e a sede do município e, quanto menor o número de alimentadores, maior é o DEC e o FEC médio dos cluster.

Também pode-se verificar a influência de condição de manobra no DEC. Tanto o cluster E8 como no cluster E7 apresentam DEC médio superior ao DEC de clusters com sistema elétricos similares.

TABELA 5

INFLUÊNCIA DO TIPO DE SISTEMA ELÉTRICO NA
QUALIDADE DO FORNECIMENTO DO CLUSTER DE MERCADO
M4

| Cluster Elétrico | nº de conjuntos | Valores médios cluster M4 | | | | |
|------------------|-----------------|---------------------------|------|-----|-----|-----|
| | | NAL | DIST | MAN | DEC | FEC |
| E2 | | 37 | 3 | | | |
| E4 | 1 | 12 | 2 | | 7 | 12 |
| E5 | 20 | 4 | 3 | | 25 | 20 |
| E8 | 19 | 1 | 15 | N | 33 | 25 |
| E1 | 12 | 3 | 17 | | 32 | 27 |
| E3 | 8 | 2 | 33 | | 49 | 32 |
| E6 | 3 | 1 | 59 | | 53 | 32 |
| E7 | 12 | 1 | 34 | N | 68 | 45 |

7. CONCLUSÃO

O presente trabalho é um estudo exploratório que se propôs a contribuir efetivamente no processo de definição dos critérios para definição dos conjuntos de consumidores. O enfoque da análise foi direcionada aos conjuntos de médio e grande porte da Celesc onde encontrou-se discrepância entre a classificação adotada pela Aneel e a classificação empírica da Celesc.

Nesta análise constatou-se:

Os agrupamentos de consumidores na Celesc, de médio e grande porte, foram melhor representados quando as variáveis de mercado (área, consumo e número de consumidores) foram separadas das variáveis do sistema elétrico (quilômetro de rede e potência) e não foram transformadas utilizando-se a função ln.

Para definir os padrões de qualidade de um conjunto, as variáveis condições de manobra e distância do conjunto a subestação podem representar melhor a característica do sistema elétrico do que o km de rede e a potência instalada.

A utilização da função logarítmica para reduzir a discrepância entre os dados deve ser melhor analisada pois aproximou conjuntos com características muito diferentes contribuindo negativamente para definição de clusters típicos de mercado.

Na definição de padrões de qualidade dos conjuntos devem ser considerados os sistemas elétricos típicos. Fixando o padrão com base no valor real do primeiro decil dos indicadores que apresentaram o melhor desempenho para cada um determinado tipo de conjunto tenderá, no limite, independente da característica de mercado, a fixar um padrão de nível de qualidade igual para todos os conjuntos.

Pode-se inferir que a metodologia para definição dos agrupamentos de consumidores, numa primeira etapa deve identificar, separadamente, os agrupamentos com mercados similares e os agrupamentos com sistema elétrico similares e, numa segunda etapa, relacionar os dois tipos de agrupamentos identificando o sistema elétrico padrão para cada tipo de mercado.

Com base nos resultados desse estudo a Celesc incluiu no seu programa de pesquisa o projeto. Metodologia para identificação de agrupamentos de consumidores e definição de padrões de qualidade de fornecimento de energia elétrica. Este projeto será desenvolvido em conjunto com a UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Brasil. ANEEL. Resolução nº 024/00
- [2] Brasil. DNAEE. Portaria nº 046/78
- [3] ENRE. Calidad y Regulación en sistemas de Distribución, Panel 2. Seminario Internacional de Planeamiento y Calidad en Sistemas de Distribución, Puerto Iguazú, Misiones, Argentina, 2001
- [4] JOHNSON, R.; WICHERN, D. Applied Multivariate Statistical Analysis. New Jersey. Prentice Hall, 1998
- [5] TANURE José E.P.S.. Análise comparativa de empresas de distribuição para o estabelecimento de metas de desempenho para indicadores de continuidade do serviço de distribuição 2000 157f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)- Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá.

TABELA - 4

CRUZAMENTO DOS CLUSTERS ELÉTRICO E DE MERCADO

| | Cluster de Mercado | | | | | | | | | Valores médios | | |
|--------------------------|--------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------|----------------|------|-----|
| | Cluster | M7 | M3 | M4 | M6 | M2 | M8 | M1 | M5 | NAL | DIST | MAN |
| Cluster Sistema Elétrico | E2 | | | | | | | | 3 | 37 | 3 | |
| | E4 | | | 1 | | 4 | 2 | 7 | | 12 | 2 | |
| | E5 | 18 | 7 | 20 | 6 | 9 | 2 | | | 4 | 3 | |
| | E8 | 21 | 6 | 19 | | | | | | 1 | 15 | N |
| | E1 | 32 | 5 | 12 | 2 | 1 | | | | 3 | 17 | |
| | E3 | 19 | 3 | 8 | 5 | | | | | 2 | 33 | |
| | E6 | 3 | 2 | 3 | 2 | | | | | 1 | 59 | |
| E7 | 19 | 6 | 12 | 1 | | | | | 1 | 34 | N | |
| Valores Médios | Nuncx mil | 2,4 | 3,1 | 3,2 | 5,1 | 17,8 | 20,5 | 44,6 | 127,7 | | | |
| | KWH | 0,9 | 1,5 | 1,6 | 2,7 | 11,1 | 8,2 | 31,7 | 91,6 | | | |
| | ÁREA | 126 | 581 | 301 | 1067 | 413 | 1991 | 303 | 676 | | | |