

ESTUDO E ANÁLISE DOS PADRÕES DE CURVAS DE CARGA DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

DANILO S. GASTALDELLO, ANDRÉ N. DE SOUZA, HAROLDO L. M. AMARAL, MARCIO A. GOTTI, JOÃO P. PAPA, JULIANA A. G. MAGINADOR

Laboratório de Sistemas de Potência e Técnicas Inteligentes – LSISPOTI, Dep. Eng. Elétrica, UNESP-Bauru
Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube 14-0, Bairro: Vargem Limpa, CEP:17033-360 - Bauru - SP
E-mails: danilo.gastaldello@usp.br, andrejau@feb.unesp.br, agaelema@gmail.com,
marcio_gotti@hotmail.com, papa.joaopaulo@gmail.com,
juliana_maginador@hotmail.com

Abstract— The residential sector energy consumption in Brazil represents 25% of energy demand, and this figure continues to grow. Good planning of the utilities in the distribution of electricity and the construction of new lines is essential to ensure the quality, safety and reliability of the energy delivered to the consumer. One of the tools used are load curves that may be analyzed individually or by the load of the transformer. In this context, this paper presents a study to evaluate existing standards in load curves of residential consumers, taking into account social, economic and environmental aspects. It is proposed a new distribution of consumer classes, intuited to monitor flow levels of consumption changes, and setting standards of these changes. The results show the similarities between the regions of Brazil in relation to the percentage flow of consumers and changing consumer classes according to the changing characteristics.

Keywords— Load Curves, Consumption Standards, Residential Consumers, Planning, Power Distribution

Resumo— O consumo de energia do seguimento residencial no Brasil representa 25% da demanda por energia, e este valor continua crescendo. Um bom planejamento das concessionárias na distribuição de energia elétrica e na construção de novas linhas é essencial para garantir a qualidade, a segurança e a confiabilidade da energia entregue ao consumidor. Uma das ferramentas utilizadas são as curvas de carga, que podem ser estudadas individualmente, ou através da carga dos transformadores. Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo para avaliar os padrões existentes em curvas de carga de consumidores residenciais, levando em consideração aspectos sociais, econômicos e ambientais. É proposta uma nova distribuição de classes de consumo, com intuito de monitorar o fluxo de mudanças de patamares de consumo, e estabelecendo padrões destas mudanças. Os resultados mostram as similaridades entre as regiões do Brasil em relação ao fluxo percentual de consumidores e a mudança de classes de consumo de acordo com a mudança das características.

Palavras-chave— Curvas de Carga, Padrões de Consumo, Consumidores Residenciais, Planejamento, Distribuição de Energia

1 Introdução

No Brasil, os consumidores residenciais são responsáveis por aproximadamente 25% da demanda de energia e em algumas capitais podem atingir até 35%. Alguns estudos sobre consumidores residenciais apontam que o consumo pode chegar até 50% da energia comercializada nos países mais desenvolvidos (EPE, 2013). Porém, estudar essa classe de consumidor é um tanto quanto complexo, pois o perfil de consumo está atrelado aos hábitos e a posse de equipamentos, que por sua vez, estão relacionados com aspectos sociais, culturais, econômicos e ambientais.

A grande extensão territorial brasileira fornece variações climáticas, culturais, econômicas e sociais nas cinco regiões do país que influenciam profundamente na posse e nos hábitos de consumo. Devido a isso, perfis de consumidores distintos são criados, o que dificulta um bom planejamento do sistema (Jardini et al., 1994).

As curvas de carga dos consumidores residenciais no Brasil se caracterizam por um crescimento de carga constante durante o dia, apresentando pico de demanda entre as 18h e às 22h que é sensível às mudanças meteorológicas, econômicas, tarifárias e soci-

ais. Além disso, o pico de demanda sofre influências do hábito de consumo de cada pessoa e tais características são intrínsecas de cada parte do país (Santos et al., 2012). Politicamente o país é dividido em cinco regiões, entretanto em uma mesma região existem grandes diferenças sociais, econômicas e culturais, além de climática, o que dificulta o estudo de forma generalizada.

Um estudo realizado pelo PROCEL no ano de 2007, denominado Pesquisa de Posse e Hábitos de Consumo (PROCEL, 2007), mostra quais são os principais aparelhos utilizados pelos consumidores em cada uma das regiões do país, demonstrando quais são os maiores responsáveis pelos picos de energia nas residências e o seu percentual em relação aos demais aparelhos utilizados.

Na região Norte, por exemplo, devido à característica climática equatorial, os aparelhos eletrodomésticos mais utilizados são os condicionadores de ambiente, seguidos de geladeiras e lâmpadas. No período noturno, observa-se uma significativa contribuição dos televisores.

Assim como na região Norte, as temperaturas também são elevadas na maior parte do ano na região Nordeste e, por isso, as curvas de carga dessas regiões possuem certa semelhança. Contudo, o uso dos

televisores na região nordeste é feito com maior frequência pelos consumidores no período da noite e, portanto, esse eletrodoméstico tem alta representatividade no pico de demanda.

Na região Centro-Oeste, em consequência da tipologia climática com frequentes chuvas de verão e inverno com baixas temperaturas, os chuveiros elétricos passam a ter a maior participação na demanda por energia elétrica, seguidos pelos condicionadores de ambientes que são bastante utilizados nas estações mais quentes.

Com temperaturas mais amenas, na região Sudeste os condicionadores de ambiente são menos utilizados pela população residencial. Em contrapartida, temperaturas mais baixas levam a uma maior utilização dos chuveiros elétricos e, por isso, eles têm a maior parcela de contribuição na demanda total de energia elétrica nas residências, principalmente durante o inverno.

Por fim, na região Sul, a qual possui a menor média de temperaturas entre todas as regiões, a demanda por energia elétrica se concentra em mais da metade pelo uso de chuveiros elétrico e condicionadores de ambiente que trabalham em ciclo reverso funcionando como aquecedores nos períodos de temperaturas mais baixas.

Toda esta complexidade de planejamento, aliada a preocupação com o aumento do consumo de energia, juntamente com a dificuldade em aplicar as plantas de nova geração, conduz à necessidade de vários estudos a fim de melhorar a eficiência de consumo de energia (Siraki et al., 2013). Metodologias estão sendo desenvolvidas para dar aos consumidores incentivos para que a energia seja utilizada de uma forma mais racional. Além disso, o conceito de *smart grid* faz uma contribuição importante ao nível da comunicação de dados, recursos melhorados e gerenciamento de rede, incluindo as vantagens de unir o consumo e geração distribuída (Faria et al., 2013).

Outro estudo, o gerenciamento pelo lado da demanda, GLD (do inglês *Demand Side Management*, DSM) tornou-se uma ferramenta importante para o planejamento de distribuição de energia, bem como, para o uso de forma mais eficiente da energia elétrica. Este estudo necessita de um conhecimento das características dos consumidores e estabelece padrões de consumo de acordo com estas características (Braga, 2014).

A análise da demanda tem por objetivo a sua adequação às reais necessidades da unidade consumidora. Dessa forma, podem ser analisadas as demandas de potência contratada, medidas e as efetivamente faturadas, o objetivo é procurar reduzir ou mesmo eliminar as ociosidades e ultrapassagens de demanda (Viana et al., 2012).

Diante de todo este contexto, este trabalho propõe estudar e avaliar a existência de padrões de consumo de consumidores residenciais, levando em consideração aspectos econômicos, sociais e culturais,

com intuito de auxiliar no planejamento do sistema de energia. É apresentado um algoritmo para gerar curvas de carga mensais, baseadas em dados estatísticos de pesquisas de posse e hábitos de consumo, e que levam em consideração características sociais, econômicas e culturais de cada região. E também os resultados das análises destas características em função do consumo de energia.

2 Metodologia

Devido à dificuldade de se obter dados do consumo atrelados a dados econômicos e sociais, pois as concessionárias devem manter em sigilo estas informações, foi desenvolvido um algoritmo para gerar as curvas de carga mensal de consumidores residenciais para se realizar a análise da influência destas características sócio-econômica-culturais em relação ao consumo de energia e a classificação dos consumidores em patamares de energia.

2.1 Algoritmo para construção do banco de dados

O desenvolvimento do algoritmo de construção de curvas de carga passou por uma ampla análise dos dados apresentados pelo PROCEL sobre os hábitos de consumo de energia dos consumidores residenciais, bem como dos dados socioeconômicos das famílias e a posse de equipamentos das residências, apresentados pelo IBGE no Censo Demográfico (IBGE, 2011). O algoritmo foi desenvolvido no software MATLAB.

Para estudar as influências que as características sociais, culturais e econômicas têm sobre as curvas de carga, o algoritmo proposto utilizou como base, variáveis como: número de pessoas, faixa etária dos componentes da família, região do país, classe econômica (renda familiar), tamanho da residência, estação do ano, e dias da semana.

Estas sete variáveis possuem relações entre si e influenciam diretamente na posse de equipamentos e nos hábitos de consumo, com maior ou menor intensidade.

O primeiro passo do algoritmo é determinar quais equipamentos irão compor a carga da residência, para isso são realizados sorteios de pontos (pesos) para as variáveis que influenciam na posse de equipamentos (Região, Classe Econômica, Número de pessoas, Faixa Etária e Tamanho da Residência). Depois de selecionado os equipamentos que compõem a residência, inicia-se o processo de utilização diária e mensal de cada equipamento.

Todas as sete variáveis influenciam no hábito de consumo. Determinar o hábito da pessoa não é uma tarefa trivial, assim sendo, optou-se neste primeiro momento definir algumas referências e realizar algumas suposições. A principal referência está relacionada com as curvas médias estudadas do PROCEL, elas indicam para o algoritmo o padrão médio exigido das curvas de carga. Além disso, suposições sobre

horário em que as pessoas trabalham e de que nenhuma criança ou bebe fica em casa sozinho em casa

são feitos. A seguir um fluxograma das etapas do algoritmo.

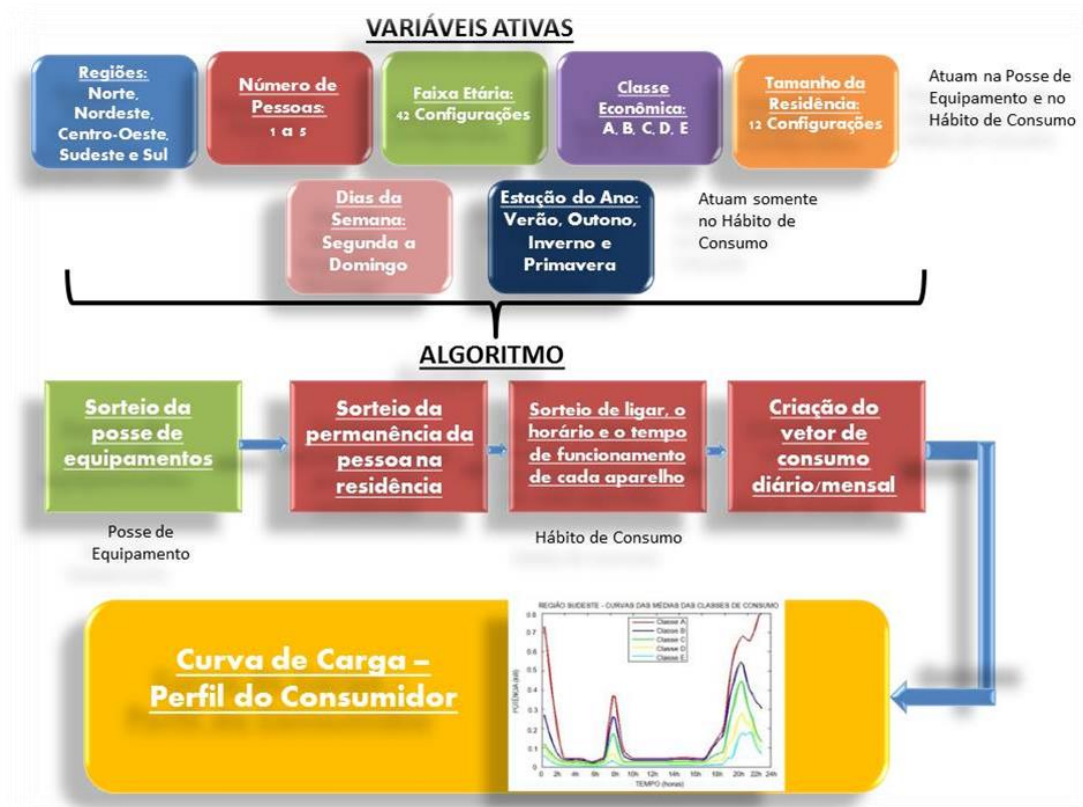


Figura 1. Fluxograma do Algoritmo de Construção de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais.

2.2 Avaliação da influência das características sócio-econômica-culturais no consumo mensal

As características sócio-econômica-culturais foram estudadas separadamente. Serão apresentados os resultados dos estudos da variação de número de pessoas, variação da faixa econômica da família e variação do tamanho da casa.

Buscando entender um pouco melhor o impacto de cada uma destas características, a divisão de 5 classes de consumo (A, B, C, D, E), comumente utilizada, foi alterada para 13 classes, mantendo os limites da classificação anterior (A+, A-, B+, B-, C+, C-, D+, D-, E+, E-), possibilitando analisar a migração de uma classe para outra (Tabela 1 e 2).

A variação de número de pessoas é de 1 a 5 habitantes na residência, a variação da faixa econômica segue a classificação da tabela 3. Já a variação do tamanho da casa tem oito classes, que dependem da área construída e consequentemente o número de cômodos que possui, conforme mostra a tabela 4.

Para a variação de número de pessoas, as demais variáveis foram deixadas livres, já para variação da faixa econômica, o número de pessoas ficou fixo em 3, e no tamanho da residência o número de pessoas foi fixado em 3 e a faixa econômica em C.

Foram geradas 10.000 curvas para o estudo de cada região. Estas curvas foram classificadas conforme a tabela 2, e, então, foi realizada uma avalia-

ção percentual da distribuição das amostras nas classes e uma avaliação de média de consumo.

Tabela 1. Divisão dos consumidores por faixa de consumo

Consumo Mensal (kWh)	Perfil
0 - 100	E
101 - 200	D
201 - 300	C
301 - 500	B
Maior que 500	A

Tabela 2. Divisão por faixa de consumo proposto

Consumo Mensal (kWh)	Perfil
< 80	E-
≥ 80 e < 100	E+
≥ 100 e < 130	D-
≥ 130 e < 160	D
≥ 160 e < 200	D+
≥ 200 e < 230	C-
≥ 230 e < 260	C
≥ 260 e < 300	C+
≥ 300 e < 370	B-
≥ 370 e < 440	B
≥ 440 e < 500	B+
≥ 500 e < 700	A-
≥ 700	A+

Tabela 3. Faixas Salariais - 5 classes (IBGE 2013)

Faixa Econômica	Salários (nº de)	Faixa Salarial (R\$)
A	Acima de 20	17.600,00 ou mais
B	10 à 20	8.800,00 à 17.599,99
C	4 à 10	3.520,00 à 8.799,99
D	2 à 4	1.760,00 à 3.519,99
E	Até 2	Até 1.759,99

Tabela 4 Tamanho da residência (adaptado de IBGE, 2013)

Perfil	Área construída	Nº de cômodos
1	≥ 20 e < 30	3
2	≥ 30 e < 40	4
3	≥ 40 e < 50	5
4	≥ 50 e < 70	5
5	≥ 70 e < 90	6
6	≥ 90 e < 110	7
7	≥ 110 e < 140	8
8	≥ 140 e < 170	9

3 Resultados e Discussão

Os resultados atingidos estão organizados nas tabelas e figuras a seguir. As figuras 2, 3 e 4 apresentam a variação percentual da distribuição das curvas geradas para verificar a influência da mudança de número de pessoas, mudança de faixa econômica e mudança de tamanho de residência, respectivamente.

Observam-se na figura 2 as similaridades de mudança entre as regiões Norte e Nordeste, tanto nas classes que aumentam significativamente – A, quanto na variação percentual em torno de 45% na transição 3-4 (verde). Já entre Centro-Oeste e Sudeste as similaridades estão na diminuição da classe E, logo na primeira variação de 1-2 (azul). A região Sul difere um pouco das demais, pois seu clima é diferenciado e consequentemente seus costumes também.

Ao observar a figura 3, as mesmas colocações podem ser feitas em relação às similaridades das regiões Norte e Nordeste crescendo a classe A, principalmente na mudança de C-B (verde), enquanto o Sudeste e o Centro-Oeste diminuem as classes E e D, durante a transição E-D (azul) e D-C (vermelho), e novamente a região Sul se diferenciando das demais.

Na figura 4, novamente percebem-se as similaridades das regiões, como visto anteriormente.

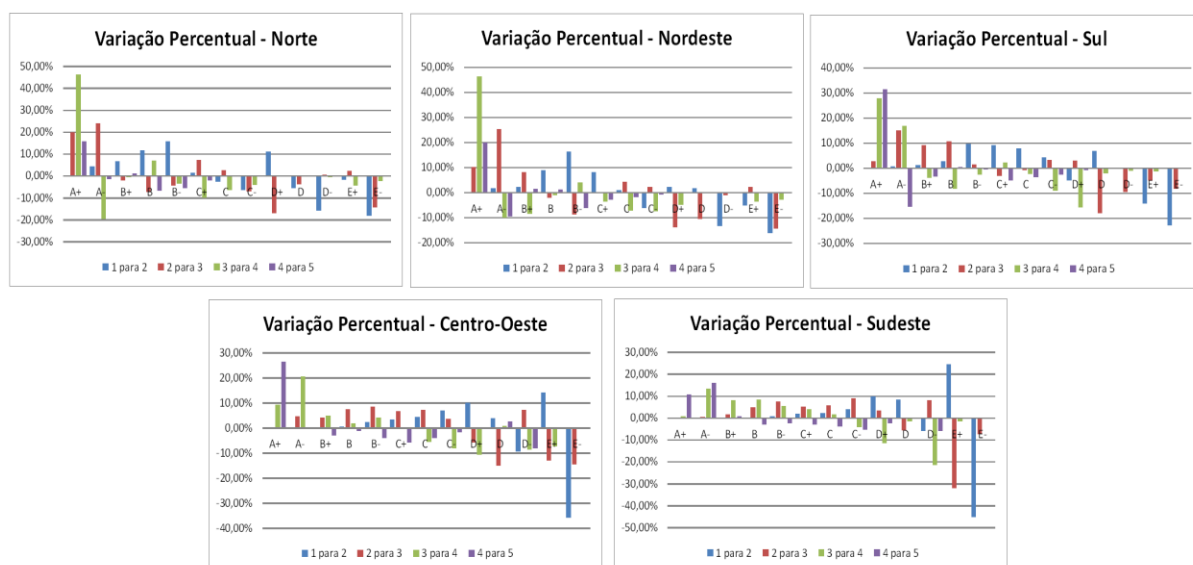


Figura 2. Variação percentual da distribuição das curvas nas classes de consumo devido à mudança de número de pessoas

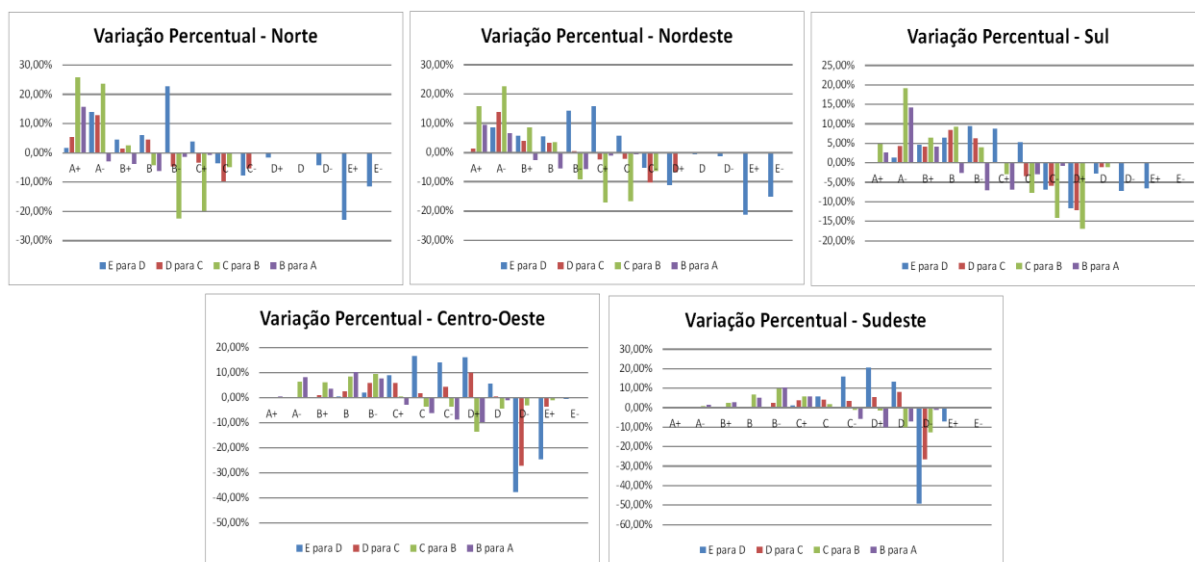


Figura 3. Variação percentual da distribuição das curvas nas classes de consumo devido à mudança de faixa econômica

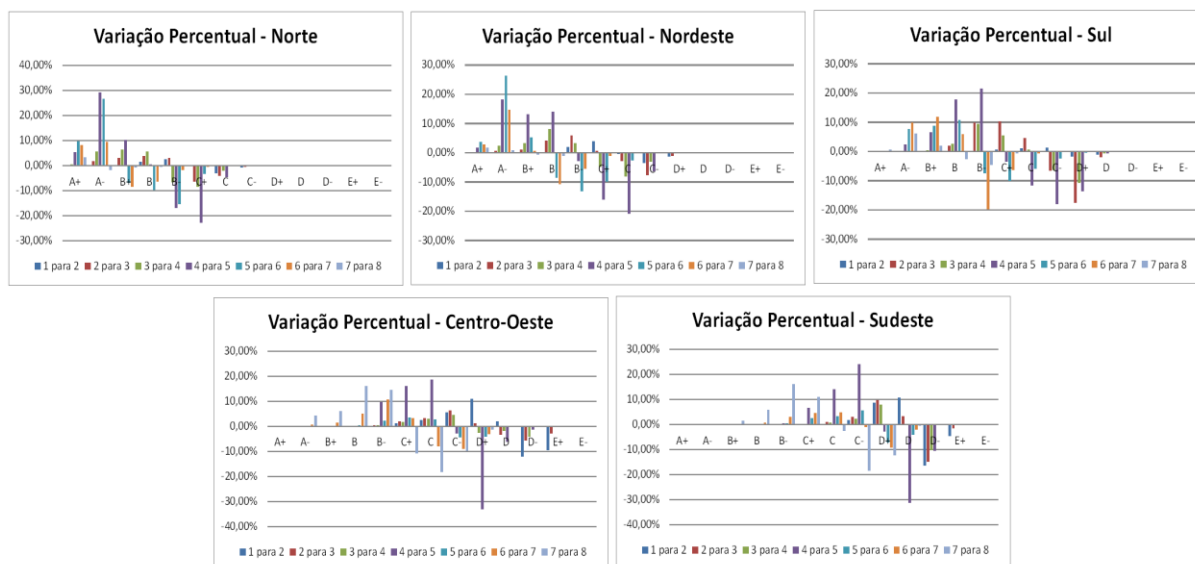


Figura 4. Variação percentual da distribuição das curvas nas classes de consumo devido à mudança de tamanho da residência

A seguir são apresentadas as tabelas 5, 6 e 7, com dados dos consumos médios dessas 10.000 curvas geradas para cada estudo, considerando a variação do número de pessoas, da faixa econômica e do tamanho da residência, respectivamente.

Tabela 5. Variação do número de pessoas – Média de Consumo

Nº de pessoas	Média de Consumo (kWh/Mês)				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
1	132,21	125,60	94,31	89,45	112,81
2	257,71	224,66	144,47	127,22	194,76
3	481,89	419,95	245,19	201,65	346,49
4	827,86	706,13	416,56	327,66	547,17
5	1133,17	954,67	589,19	449,55	770,35

Através da avaliação destes dados é possível avaliar o crescimento percentual constante das regiões centro-oeste e sudeste de 1 até 4 habitantes, crescimentos em torno de 65% e 60% respectivamente, e depois ambas descem. Já nas outras regiões o crescimento percentual se dá de 1 até 3, e depois o crescimento percentual diminui bastante (Norte – 90%, 87%, 70%, 37%; Nordeste – 80%, 86%, 70%, 35%, Sul – 73%, 78%, 58%, 41%). Estas similaridades entre as regiões Sudeste/Centro-Oeste, e Norte/Nordeste, principalmente, se deve ao equipamento que em média mais consome energia nestas regiões, chuveiro e condicionares de ar, respectivamente. A região Sul se difere um pouco destas duplas formadas, pois o seu clima é diferenciado (mais frio), assim tanto os condicionadores de ar, quanto os chuveiros são utilizados.

Tabela 6. Variação da faixa econômica – Média de Consumo

Faixa Econômica	Média de Consumo (kWh/Mês)				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
A	715,61	616,27	372,43	288,29	503,32
B	648,13	555,99	303,95	242,81	444,90
C	433,29	377,91	227,95	184,64	306,46
D	351,25	303,91	180,98	157,68	253,17
E	188,55	166,07	105,57	111,44	185,25

Para esta avaliação da variação da faixa econômica em relação ao consumo, mais uma vez é possível identificar similaridades de consumo como na variação de número de pessoas. A prioridade das regiões Norte, Nordeste, são os condicionadores de ar, equipamento que consomem bastante, e por isso os altos consumos médios, já nas regiões Sudeste e Centro-Oeste as prioridades são outros bens materiais. A proximidade do Sul com o Sudeste faz com que esta região fique entre acompanhar a Norte e Nordeste ou acompanhar o padrão Sudeste e Centro-Oeste, fazendo ter um comportamento “híbrido”.

Tabela 7. Variação do tamanho da residência – Média de Consumo

Tamanho da Residência	Média de Consumo (kWh/Mês)				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
1	297,48	256,04	157,77	130,08	204,14
2	302,09	260,97	178,90	142,83	206,71
3	320,65	279,31	193,28	155,19	236,68
4	355,49	309,34	203,05	163,42	260,42
5	485,52	421,89	246,82	207,20	343,44
6	589,77	511,86	255,01	215,59	395,59
7	642,69	553,94	282,40	229,02	443,10
8	651,95	562,69	348,05	273,32	461,46

Ao avaliarmos os consumos médios, devido a variação do tamanho das residências, percebe-se que o crescimento é bem parecido percentualmente. A diferença entre as regiões é devido aos equipamentos utilizados. Assim, ao aumentarmos uma residência na região Norte e Nordeste, a prioridade será o conforto ambiental (condicionadores), já na região Sudeste e Centro-Oeste, televisores, ou outros bens, equipamentos com menor potência.

Cabe salientar que os altos valores médios demonstrados se devem principalmente porque o algoritmo desenvolvido considera a potência máxima de cada equipamento, ou seja, não foi realizado um modelamento do funcionamento de cada equipamento

com medições reais. Outra consideração importante é que estas curvas geradas pelo algoritmo não se baseiam em dados políticos, como distribuição de renda, ou custo de vida em cada região. Os sorteios realizados para posse de equipamentos e hábitos de consumo levam em consideração apenas os resultados apresentados pelo IBGE e Procel referentes ao consumo de energia.

4 Conclusão

Toda complexidade que envolve o estudo de consumidores residenciais, dificulta bastante o planejamento pelo lado da concessionária, que muitas vezes sobre dimensiona o sistema.

É difícil determinar os padrões de consumo, uma vez que este padrão varia de acordo com os hábitos e posse de equipamentos, que, por sua vez, são influenciados pelos aspectos regionais, climáticos, sociais, culturais e econômicos.

Os resultados iniciais apresentados neste trabalho são importantes para determinar os padrões dos consumidores residenciais de energia. As similaridades encontradas entre as regiões Norte e Nordeste, e Sudeste e Centro-Oeste, mostram que o fator climático influencia bastante no consumo. Nas três características analisadas (número de pessoas, faixa econômica e tamanho da residência), esta similaridade pode ser observada, possibilitando chegar a conclusão que a posse de equipamentos com potência elevada (condicionadores de ambiente) fazem com que o fluxo de mudança de patamares de consumo sejam mais acentuadas nas regiões Norte e Nordeste.

A opção por subdividir as classes de consumo em 13 patamares ajudou a identificar este fluxo e analisar como a mudança de cada característica influencia nesta classificação. O intuito é utilizar esta nova classificação para auxiliar no planejamento do sistema de energia de médio e longo prazo, pois ele indica como será o crescimento de energia, de acordo com o crescimento econômico e populacional.

A possibilidade do conhecimento da carga a ser atendida pode trazer consideráveis melhorias no que se diz respeito ao conhecimento dos reais requisitos de cada parcela do mercado consumidor, a definição dos custos de fornecimento, otimizações dos recursos destinados ao planejamento de expansão dos sistemas elétricos, dentre outros.

Nas etapas seguintes da pesquisa vislumbra-se a utilização de técnicas de inteligência artificial e algoritmos evolucionistas para a classificação de padrões de consumo, análise de associação das características, estudo de regressão e predição dos dados, tudo com intuito de auxiliar no planejamento do sistema e na tomada de decisão durante a análise de expansão da rede.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES pelo incentivo e apoio financeiro dado a esta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- Braga, N. B. “Gerenciamento pelo lado da demanda em áreas residenciais”. Projeto de Conclusão de Curso. Rio de Janeiro, 2014.
- Empresa de Pesquisa Energética (Brasil), “Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012 / Empresa de Pesquisa Energética”, Rio de Janeiro, 2013.
- Faria, P.; Soares, J.; Vale, Z.; Morais, H.; Sousa, T. Modified Particle Swarm Optimization Applied to Integrated Demand Response and DG Resources Scheduling, IEEE Transactions on Smart Grid, vol.4, no.1, pp.606-616, March 2013.
- IBGE. “Censo Demográfico 2010 – Características da População e dos Domicílios”, Rio de Janeiro, 2011.
- IBGE. “PNAD 2013 – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios”, Rio de Janeiro, 2013.
- Jardini, J. A., Tahan, C. M. V., Ahn, S. U., Cabral, S. L. S., Determination of the Typical Daily Load Curve for Residential Area Based on Field Measurements. In IEEE Proceedings Supplements, T&D, Chicago, 1994.
- PROCEL. “Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Classe Residencial, Relatório Brasil”. Julho, 2007.
- Santos, K. M.; Souza, A. N.; Gastaldello, D. S. “Desenvolvimento de um Algoritmo para Determinar Curvas de Carga a partir da Posse e dos Hábitos de Consumo para Consumidores: Residenciais, Comerciais e Industriais”. SBSE – Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Goiânia, 2012.
- Siraki, A.G. ; Pillay, P.; Angers, P. Full Load Efficiency Estimation of Refurbished Induction Machines From No-Load Testing, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol.28, no.2, pp.317,326, June 2013.
- Viana, A. N. C.; Bortoni, E. C.; Nogueira, F. J. H.; Haddad, J.; Nogueira, L. A. H.; Venturini, O. J.; Yamachita, R. A. Eficiência Energética: Fundamento e Aplicações, 1ª. Edição, Campinas, 2012.