

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

**MODELAGEM MATEMÁTICA DO CONSUMO DE ENERGIA EM UM
SEGMENTO DA REDE ELÉTRICA DE UMA CONCESSIONÁRIA DO
MUNICÍPIO DE IJUÍ¹
MATHEMATICAL MODELING OF ENERGY CONSUMPTION IN A
SEGMENT OF THE ELECTRIC NETWORK OF A CONCESSIONAIRE OF
THE MUNICIPALITY OF IJUÍ**

**Andressa Tais Diefenthaler², Ana Júlia Dos Santos Da Silva³, Airam Teresa
Zago Romcy Sausen⁴, Paulo Sérgio Sausen⁵**

¹ Projeto de pesquisa realizado no Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da Unijuí (curso de Mestrado).

² Mestranda em Modelagem Matemática na Unijuí (bolsista CAPES) e Pesquisadora do Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC). E-mail: andressa_td@hotmail.com

³ Doutoranda em Modelagem Matemática na Unijuí (bolsista CAPES) e Pesquisadora do Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC). E-mail: ana_juliass@yahoo.com.br.

⁴ Professora da UNIJUI, Coordenadora do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Modelagem Matemática (Mestrado e Doutorado) e Pesquisadora do Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC). E-mail: airamsausen@gmail.com.

⁵ Professor da Unijuí, Coordenador Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da Unijuí e Pesquisador no Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC). E-mail: paulosausen@gmail.com.

Resumo: O desenvolvimento de novas tecnologias tem provocado mudanças em diferentes setores da sociedade, requerendo inovações também no processo de distribuição de energia elétrica. Entretanto, o sistema elétrico de potência brasileiro foi desenvolvido no século passado, exigindo estudos para incorporação de novas ferramentas tecnológicas. Diante disto, evidencia-se a importância da modelagem matemática de redes de distribuição de energia elétrica, de modo a representar e simular o comportamento real destes sistemas, podendo fornecer informações para o planejamento e incorporação de novas tecnologias, assim como para a redução de falhas. Inicialmente, para compreender a demanda energética e realizar a modelagem, faz-se necessário um estudo do consumo de energia pela população. Diante disto, neste artigo objetiva-se realizar uma revisão bibliográfica acerca dos processos de geração e distribuição de energia elétrica no Brasil, e realizar a modelagem matemática do consumo de energia por um conjunto de consumidores de uma concessionária do município de Ijuí/RS. Para isto, além das pesquisas bibliográficas, são utilizados dados disponibilizados pela concessionária acerca do consumo de energia em um determinado período e trecho da rede, a partir dos quais foi realizado um ajuste de curvas de uma função polinomial representativa deste consumo. Através do estudo e da modelagem matemática da carga, foi possível verificar os momentos de pico de energia e estrangulamento da rede, em diferentes períodos do ano, para um determinado grupo de consumidores do município de Ijuí.

Abstract: The development of new technologies generates changes in different sectors of society,

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

requiring innovations in the process of electricity distribution as well. However, the Brazilian power system was developed in the last century and requires studies to incorporate new technological tools. In this way, the mathematical modeling of electricity distribution networks becomes important to represent and simulate the real behavior of these systems, being able to provide information for the planning and incorporation of new technologies, as well as for the reduction of failures. Initially, to understand energy demand and perform modeling, it is necessary to study energy consumption by the population. This paper aims to perform a literature review about the processes of generation and distribution of electricity in Brazil and to perform the mathematical modeling of energy consumption by a set of consumers of a municipal concessionaire in Ijuí / RS. For this, in addition to the bibliographical research, data made available by the concessionaire about the energy consumption in a given period and a segment of the network, from which a curve fit was used, through a polynomial function representative of this consumption. Through the study and mathematical modeling of the load, it was possible to verify the moments of peak energy and bottleneck of the network, in different periods of the year, for a certain group of consumers of Ijuí.

Palavras-chave: geração, transmissão e distribuição de energia elétrica; *Smart Grid*; perfil de consumo; modelagem matemática.

Keywords: generation, transmission and distribution of electricity; Smart Grid; consumption profile; mathematical modeling.

1. INTRODUÇÃO

A geração e o fornecimento de energia elétrica tiveram início no final do século XIX, mas sua expansão e configuração atual foi desenvolvida no século XX. Este é considerado um dos maiores avanços da história, pois possibilitou grandes mudanças na sociedade, também impulsionando o desenvolvimento industrial e agregando qualidade de vida à população.

No Brasil, a cadeia de valores de energia envolve três processos principais: geração, transmissão e distribuição. O conjunto de elementos que possibilita o fornecimento de energia a partir destes processos é denominado de Sistema Elétrico de Potência (SEP). O desenvolvimento de novas tecnologias ocorrido nos últimos anos tem impulsionado mudanças em diferentes setores, inclusive no processo de distribuição de energia. Entretanto, o SEP brasileiro atual, foi desenvolvido no século passado e incorporou poucas das tecnologias disponíveis.

Aliada à esta problemática, está a crescente demanda energética de qualidade pelos consumidores, principalmente pelas indústrias, já que quando ocorre queda ou falta de energia, isto acarreta prejuízos e problemas, tanto para os consumidores, quanto para as concessionárias. Estas, são reguladas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), devendo seguir normas para atender a demanda com segurança e qualidade. Além disso, as preocupações relacionadas às questões ambientais têm fomentado a geração de energias renováveis, assim como a discussão do conceito de geração distribuída.

Diante disto, torna-se importante o desenvolvimento, incorporação e utilização de ferramentas de

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

otimização do sistema elétrico. Assim, destaca-se o conceito de *Smart Grid* (i.e., Redes Inteligentes), as quais utilizam a tecnologia de informação e equipamentos digitais com interface para os usuários, visando controlar o consumo e a geração de energia distribuída (SILVA, 2017).

Entretanto, para possibilitar a inserção destes recursos e assim compreender seus impactos ao sistema elétrico, torna-se fundamental representar e descrever o comportamento da rede elétrica, o que possibilita a realização de testes e simulações computacionais, procedimentos estes, muito mais viáveis e menos custosos do que a realização de testes experimentais reais. Neste contexto, a modelagem matemática é considerada uma ferramenta importante, uma vez que possibilita representar um sistema real de distribuição de energia elétrica, favorecendo o planejamento de expansão destes sistemas e a incorporação de novas tecnologias.

Inicialmente, para compreender a demanda energética, assim como para realizar a modelagem matemática de uma rede de distribuição de energia, é necessário um estudo do perfil de consumo, isto é, a modelagem matemática da carga diária, de modo a obter a curva do consumo geral de uma determinada região ou grupo de consumidores.

Diante disto, neste artigo objetiva-se produzir uma revisão bibliográfica acerca da geração e distribuição de energia elétrica no Brasil, e realizar a modelagem matemática do consumo de energia por um grupo de consumidores de uma concessionária do município de Ijuí/RS. Com este estudo espera-se delinear o perfil de consumo em diferentes períodos do ano, para verificar os horários de pico e pontos de estrangulamento da rede.

Para esta análise, são utilizados dados disponibilizados pelo Departamento Municipal de Energia Elétrica de Ijuí (Demei). Estes dados fornecem informações sobre o consumo de energia em um dos alimentadores da rede da concessionária estudada com leituras a cada 15 minutos, tendo de setembro de 2015 a agosto de 2016 como ano base.

Destaca-se que este artigo está estruturado do seguinte modo: na Seção 2 é apresentada uma revisão bibliográfica acerca da geração e distribuição de energia elétrica no Brasil e o perfil de consumo da população, assim como apresenta as novas tendências tecnológicas que podem ser aplicadas na rede elétrica, tais como a utilização de *Smart Grids*. Na Seção 3 é apresentada a metodologia do trabalho. Na Seção 4 é apresentado o estudo do perfil de consumo de um grupo de consumidores da concessionária Demei da cidade de Ijuí, assim como a modelagem matemática da carga e a análise dos resultados. Por fim, na Seção 5 são apresentadas as conclusões e as possibilidades de trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema elétrico de potência brasileiro

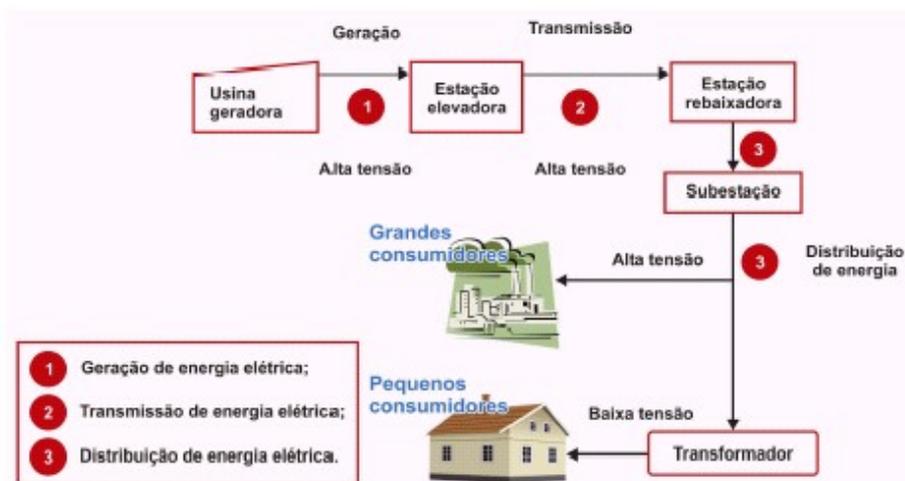
O sistema elétrico brasileiro é formado por centrais elétricas (geradores), subestações de transformação, linhas de transmissão e alimentadores de distribuição (SCHREIBER et. al., 2017). Os SEPs são trifásicos, por isso geralmente tem-se três conjuntos de cabos acompanhados de um outro, mais alto, chamado de cabo de guarda (i.e. para-raios). Deste modo, os SEPs constituem-se

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

por amplos sistemas de energia e englobam três processos principais: geração, transmissão e distribuição.

A geração de energia consiste na transformação de formas de energia, como a mecânica e a química, por exemplo, em energia elétrica. No Brasil, há diferentes tipos de fontes geradoras, como as hidroelétricas, eólicas, térmicas, nucleares, solares, etc. (FARIAS; SELBITTO, 2011), o que será abordado na Seção 3.3. Após ser produzida, a energia passa pelo processo de transmissão, em que é transportada através de cabos aéreos revestidos por camadas isolantes (i.e. linhas de transmissão) em altas torres. As linhas de transmissão se estendem por longas distâncias, ligando as usinas geradoras aos consumidores de alta tensão (como algumas indústrias, por exemplo) e às concessionárias. Estas, por sua vez, são responsáveis pelo processo de distribuição de energia, levando-a até os consumidores de menor porte através das linhas de distribuição (SILVA, 2017). Estes processos podem ser representados e melhor compreendidos a partir da ilustração apresentada na Figura 1.

Figura 1: Esquema representativo de um SEP (SANTOS, 2012).



O sistema de distribuição é ramificado ao longo das ruas das cidades e é neste que ocorre a maioria das falhas e problemas que levam às interrupções no fornecimento de energia elétrica. Como o SEP brasileiro atual foi desenvolvido no século passado, ele incorporou poucas das tecnologias disponíveis e não avançou no mesmo nível e rapidez dos demais setores.

De acordo com Schreiber (2017), a infraestrutura elétrica atual está se encaminhando para o limite de sua capacidade, pois, apesar do serviço não estar comprometido, há elevados riscos quanto a utilização de uma rede antiga. Além disso, no Brasil, o sistema apresenta problemas relacionados a perdas comerciais, segurança patrimonial nas grandes cidades, furtos de cabos elétricos e população de baixa renda vivendo em conglomerados urbanos de difícil acesso (PASCALICCHIO, 2011).

Assim, evidencia-se a relevância de avaliar a viabilidade da incorporação de tecnologias na rede

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

antiga, bem como a localização de tais ferramentas, que possibilitam a gestão e o controle da rede de distribuição de energia elétrica. Neste contexto, destaca-se a importância da modelagem matemática destas redes.

Diante das inúmeras inovações, ferramentas e tecnologias disponíveis, salienta-se neste estudo os conceitos de geração distribuída e de *Smart Grid*, os quais são abordados nas próximas seções.

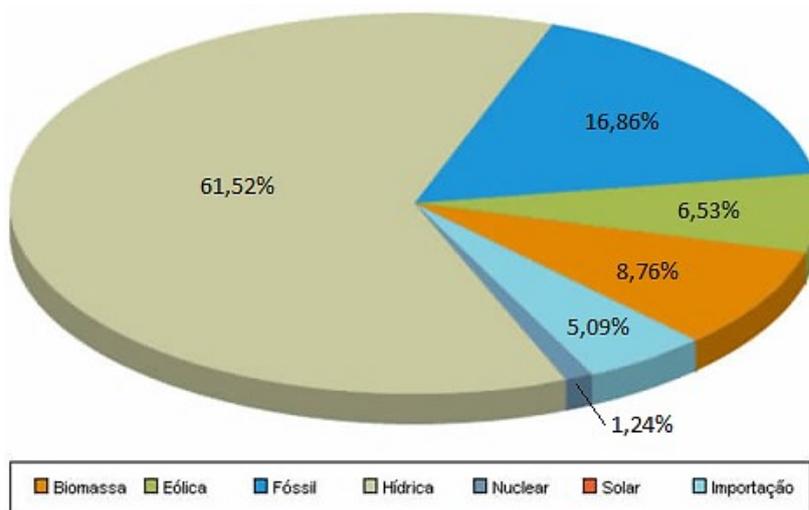
2.2 Geração de energia elétrica no Brasil: a geração distribuída

Atualmente, devido à crescente demanda energética e também às preocupações ambientais, tem aumentado a busca por geração de energias renováveis. De modo geral, energia renovável é aquela proveniente de recursos naturais como sol, vento, água, marés e energia geotérmica. Estas energias vêm se difundindo pois, atualmente, as principais fontes mundiais geradoras de energia provém de recursos não renováveis, escassos e que causam grandes danos ambientais (FARIAS; SELLITTO, 2011).

No Brasil, segundo a ANEEL (2016), a principal fonte geradora de energia elétrica são as hidrelétricas, que produzem cerca de 62% da potência a ser consumida. Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e o Banco de Informações de Geração (BIG) realizado pela ANEEL, é crescente no cenário brasileiro a utilização de energias renováveis.

No BEN (EPE, 2016) verifica-se que no ano de 2015 ocorreu uma intensificação principalmente na geração de energia de fonte eólica, a qual apresentou um aumento de 77,1% se comparado ao ano de 2014 e superou a produção de energia nuclear. Na Figura 2 é possível visualizar a contribuição de cada uma das principais fontes de energia na capacidade total de geração instalada no Brasil até 31 de Dezembro de 2016 (ANEEL, 2016).

Figura 2: Fontes de energia no Brasil (ANEEL, 2016).



Evento: XXII Jornada de Pesquisa

A geração de energia através de fontes renováveis vem se apresentando como uma tendência mundial, difundida também no Brasil. É crescente o número de empresas e consumidores residenciais que têm se preocupado com as questões ambientais e também econômicas relacionadas a estas fontes. A instalação de placas solares em residências, por exemplo, vem se tornando cada dia mais frequente, pois esta forma de geração de energia alternativa, apesar do investimento inicial, possibilita ganhos ambientais e econômicos a longo prazo.

Diante destas inovações, vem sendo difundido um novo conceito de geração de energia: a geração distribuída. Esta pode ser entendida como a geração de energia elétrica realizada junto ou próxima do consumidor, podendo ser de diferentes potências e envolver diferentes tecnologias e fontes de energia. A geração distribuída apresenta várias vantagens sobre a geração centralizada em uma só fonte, pois economiza investimentos na transmissão e distribuição, e pode reduzir perdas nestes sistemas, agregando estabilidade ao serviço, além de causar baixos impactos ambientais (GUEDES, 2009).

Isto se deve ao fato do conceito envolver, além da fonte geradora, equipamentos de medida e controle, que articulam a operação dos geradores e o controle de cargas para se adaptar à oferta de energia disponível, possibilitando obter maior eficiência energética. Devido a estas vantagens, diferentes órgãos vêm trabalhando para sanar problemas que dificultam o desenvolvimento desta forma de geração de energia elétrica. Dentre os problemas, encontra-se o de como articular este novo conceito de geração distribuída e incorporar recursos tecnológicos de controle e fornecimento de informações à um SEP antigo, como se configura o brasileiro. É neste contexto que vem sendo difundido o conceito de *Smart Grid*, o qual será abordado na próxima seção.

Quanto à regulamentação da geração distribuída no Brasil, desde 17 de Abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica através de fontes renováveis, podendo ainda fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Este processo é entendido como micro e minigeração distribuídas de energia, inovações que aliam economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade (ANEEL, 2016). Segundo a ANEEL, atualmente o Rio Grande do Sul conta com 1176 unidades de geração distribuída.

2.3 Smart Grid

Para o gerenciamento das novas informações e tecnologias, vem sendo difundido o conceito de *Smart Grid*, isto é, redes inteligentes, de modo a desenvolver um sistema elétrico mais eficiente, confiável, flexível e otimizado, tanto em custos como em recursos (SCHREIBER et. al., 2017). Este conceito está relacionado à aplicação da tecnologia da informação aos sistemas de energia, possibilitando também uma comunicação entre o consumidor e a unidade geradora de energia (POTTER; ARCHAMBAULT; WESTRICK; 2009).

Deste modo, uma rede inteligente pode fornecer aos provedores informações em tempo real sobre a qualidade da energia e também acerca da ocorrência de falhas e interrupções. Já para os consumidores, a incorporação de *Smart Grids* pode promover o uso eficiente da eletricidade, através da divulgação de informações como, por exemplo, acerca do período do dia em que há

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

maior energia disponível e com menor custo (SILVA, 2017).

A projeção de uma rede elétrica inteligente prevê um conjunto de conceitos e funcionalidades, tais como a autorreparação (a partir de sensores instalados nas redes que fornecem dados em tempo real), a diminuição de interrupções e a melhora da qualidade do serviço, e a motivação e envolvimento dos consumidores, podendo estes também ter acesso a informações e mecanismos de controle. Além disso, uma rede inteligente apresenta resistência a ataques ou desastres e acomoda todas as opções de geração e armazenamento de energia (incluindo assim a geração distribuída).

A *Smart Grid* minimiza os custos de operação e de manutenção da rede, também reduzindo desperdícios energéticos. No Brasil, a incorporação destes recursos tem como motivação principal a busca por uma estratégia para melhorar aspectos técnicos da distribuição, reduzir as perdas, diminuir ou eliminar o roubo de energia e ajustar a oferta de energia com o crescimento urbano e industrial (PASCALICCHIO, 2011).

2.4 Perfil de consumo brasileiro

A curva de carga diária do sistema elétrico nacional é apresentada na Figura 3, na qual pode-se observar que o pico da demanda de energia ocorre próximo às 18 horas. Isto se justifica pois grande parte dos consumidores permanecem a maior parte do tempo fora das residências, retornando à noite (HERMSDORFF, 2003). O pico máximo se dá neste horário, provavelmente devido à utilização do chuveiro elétrico, visto que este é o responsável pela maior parcela do consumo de energia elétrica em regiões residenciais.

Figura 3: Curva de carga típica no sistema elétrico nacional (HERMSDORFF, 2003).



Neste sentido, a geração distribuída aliada a inserção de informação ao sistema elétrico através de tecnologias *Smart Grids*, promovem economia na transmissão, com subestações de elevação e de rebaixamento de energia. Esta economia está relacionada ao fato de que a geração distribuída encontra-se próxima dos consumidores, diferente das grandes usinas localizadas em áreas rurais e distantes do mercado consumidor, as quais agregam valor à energia durante o processo de transmissão até chegar às subestações distribuidoras, responsáveis por atender a maior demanda energética (médio e pequeno porte).

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

As tecnologias de geração caracterizam-se por maior eficiência e menores níveis de poluição, sendo que a grande maioria utiliza combustíveis renováveis. Além disto, a utilização destas tecnologias reduz os pontos de estrangulamento da rede, que podem pôr em risco a segurança do sistema.

3. METODOLOGIA

A partir da revisão bibliográfica, foi possível aprofundar os conhecimentos sobre a temática, especialmente acerca do SEP brasileiro, dos processos de geração, transmissão e distribuição de energia, e também sobre os conceitos de geração distribuída e de *Smart Grid*. Além disto, foi realizado um estudo sobre o perfil de consumo de energia elétrica brasileiro, o qual servirá como embasamento para a análise dos resultados obtidos na modelagem matemática da carga por um conjunto de consumidores do município de Ijuí/RS.

Para o estudo, foram utilizados dados fornecidos pela concessionária Demei, os quais informam a carga consumida em cada um dos quatro alimentadores que compõem a rede, de setembro de 2015 a agosto de 2016. Na Tabela 1 pode ser observado o consumo de energia em uma subestação do Demei, dividido por alimentadores.

Tabela 1: Consumo de Energia em *kW/h* por alimentadores.

Tempo	Data	AL-311	AL-312	AL-313	AL-317
00:15	01/09/2015	2.006,21	2.102,21	970,59	2.313,28
00:30	01/09/2015	1.944,78	1.966,96	919,44	2.305,66
00:45	01/09/2015	1.926,50	1.897,53	845,60	2.203,71
01:00	01/09/2015	1.901,27	1.853,43	763,33	2.108,56
01:15	01/09/2015	1.863,42	1.792,75	740,32	2.043,32
.
.
.
22:45	31/08/2016	3209,79	896,02	3477,09	3.267,49
23:00	31/08/2016	3169,71	870,38	3380,24	3.048,54
23:15	31/08/2016	3117,05	904,75	3232,68	2.782,83
23:30	31/08/2016	3100,48	851,65	2916,69	2.649,09
23:45	31/08/2016	2911,12	809,66	2756,54	2.512,90

Com estas informações, desenvolveu-se o ajuste de curvas de uma função representativa do consumo de energia em toda a rede do alimentador estudado: AL-313. É importante ressaltar que foi definido o alimentador AL-313 para o estudo, pois este alimenta um condomínio residencial do município de Ijuí e, além disto, busca-se em trabalhos futuros desenvolver a modelagem matemática de um trecho da rede, sendo que neste alimentador, o trecho apresenta maior distância entre a saída da subestação até chegar na primeira carga, representada por este condomínio (SILVA, 2017). Além disso, para a modelagem matemática da rede é necessário inicialmente conhecer o comportamento da carga deste sistema.

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

Buscando melhores resultados, considerou-se somente as leituras de segunda à quinta-feira. Nestes dias os consumidores tendem a seguir um comportamento semelhante, diferentemente do que ocorre de sexta à domingo, o que poderia interferir na análise dos resultados.

A modelagem matemática da carga foi desenvolvida a partir de um ajuste de curvas polinomial, implementado no *software* de computação algébrica e numérica *Matlab*. Adotou-se como metodologia para o ajuste da curva do consumo médio de energia, o desenvolvimento de curvas mensais, considerando o consumo médio de cada semana do mês, que compreende os dias de segunda à quinta-feira.

A partir das curvas mensais ajustadas, na sequência encontrou-se as curvas representativas das estações do ano (i.e, verão, outono, inverno e primavera), considerando a média de energia dos meses que compõe cada estação. Para o verão, foram considerados os meses de dezembro (2015), janeiro (2016) e fevereiro (2016). Para o outono, os meses de março (2016), abril (2016) e maio (2016). Para o inverno, considerou-se os meses de junho (2016), julho (2016) e agosto (2016). E para a primavera, os meses de setembro (2015), outubro (2015) e novembro (2015).

4. MODELAGEM MATEMÁTICA DO CONSUMO DE ENERGIA EM IJUÍ

A modelagem matemática consiste no estudo do comportamento de sistemas reais através de formulações matemáticas que os descrevem. Este estudo visa prever situações futuras e auxiliar na tomada de decisão e interpretação de um fenômeno físico, utilizando como base, o levantamento de dados e observações do sistema real ou experimental (BASSANEZI, 2004).

Para encontrar a curva que descreve o comportamento da carga consumida no segmento estudado (i.e., alimentador *AL-313* da rede do Demei), desenvolveu-se um ajuste de curvas polinomial, considerando dados de segunda à quinta-feira e divididos entre os períodos do ano em que os consumidores tem comportamentos semelhantes. Neste sentido, definiu-se quatro perfis de consumo para o ano de 2016, considerando as quatro estações do ano: primavera, verão, outono e inverno.

Para definir a função que melhor representa os dados, foram realizados um conjunto de testes, com o estudo de funções senoidais, gaussianas e polinomiais. Em todos os casos, a função polinomial descreveu os dados com melhor acurácia e, além disto, são funções simples de se implementar computacionalmente.

Buscando refinar ainda mais os resultados, desenvolveu-se uma análise específica para definir o grau da função que melhor representa os dados, optando-se assim, pelo grau 20 como a melhor solução. Na equação (1) apresenta-se a função genérica ajustada. É válido ressaltar que para cada perfil de consumo, altera-se somente os parâmetros da função descrita a seguir:

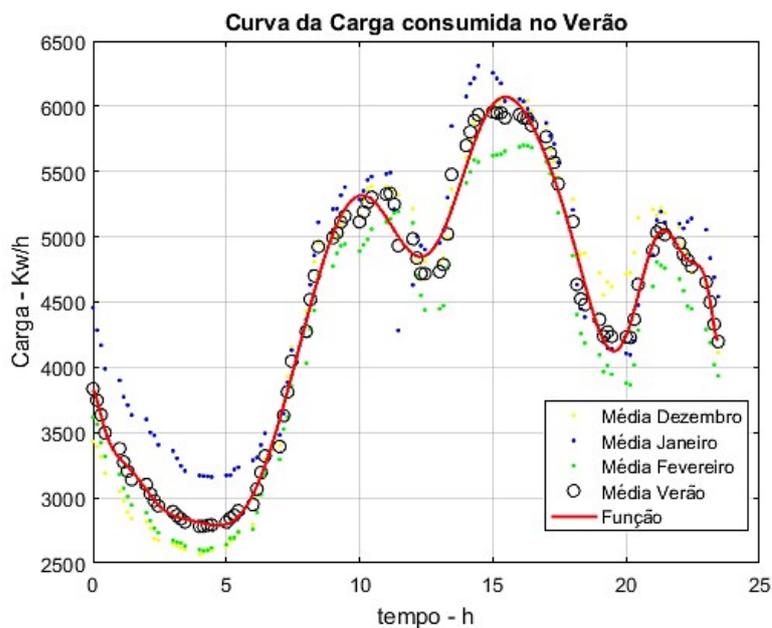
$$C(t) = p_{21} + p_{20}t + p_{19}t^2 + p_{18}t^3 + \dots + p_2t^{19} + p_1t^{20} \quad (1)$$

Na Figura 4 apresenta-se o perfil de consumo no verão, através da carga média consumida entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Pode-se observar na Figura 4, que o pico de energia se

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

dá no período da tarde, próximo às 15 horas, devido à altas temperaturas nesta época do ano, ocasionando grande demanda por energia.

Figura 4: Perfil de consumo no verão - AL-313.



Na Figura 5, descreve-se o consumo no outono, obtido através da carga média consumida entre os meses de março, abril e maio. Através da curva ajustada para este período pode-se observar que o pico de energia se dá próximo às 18 horas, assim como na curva típica do Brasil. Isto ocorre possivelmente devido ao uso do chuveiro elétrico. O mesmo ocorre na curva típica do inverno, apresentada na Figura 6 e obtida através da carga média consumida entre os meses de junho, julho e agosto.

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

Figura 5: Perfil de consumo no outono - AL-313.

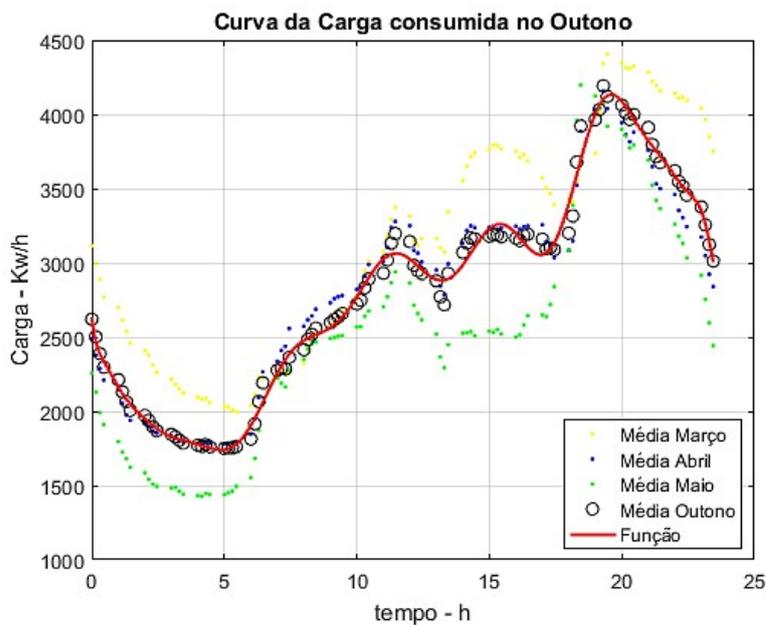
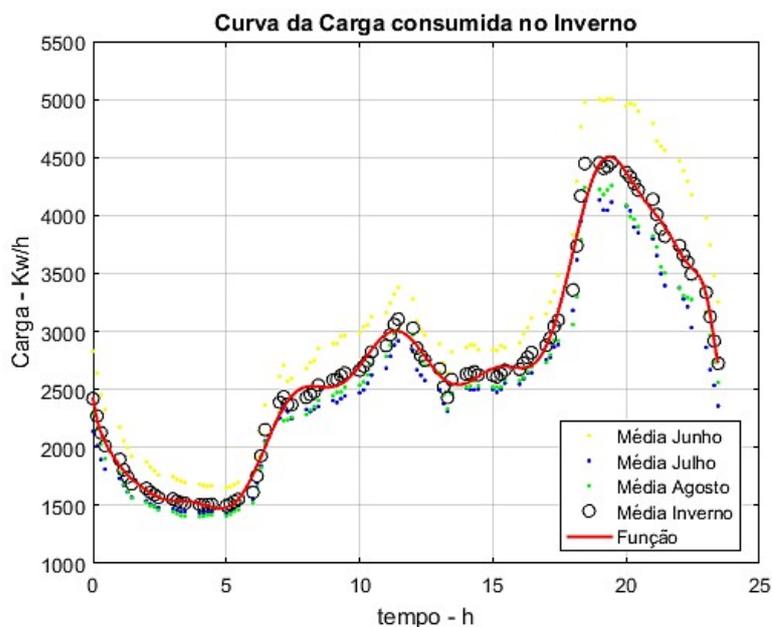


Figura 6: Perfil de consumo no inverno - AL-313.

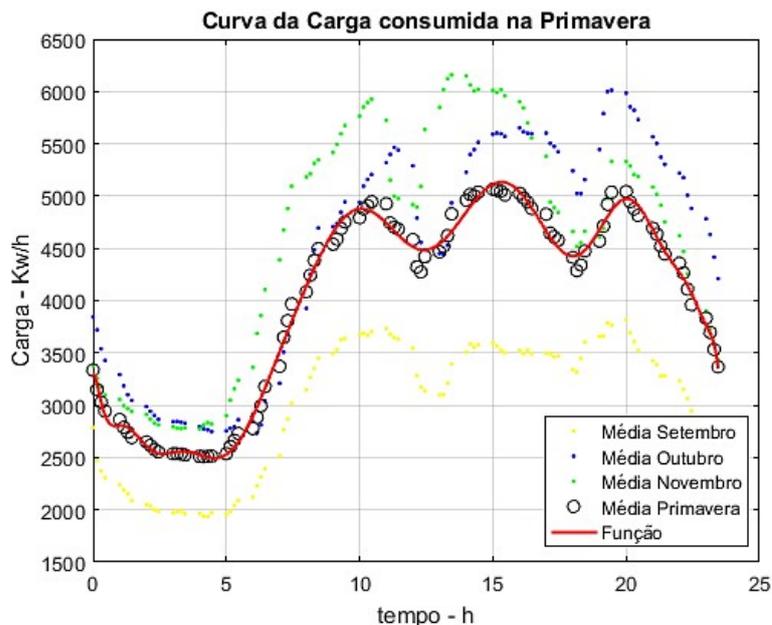


Por fim, na Figura 7, demonstra-se o perfil de consumo na primavera, referente a carga média consumida nos meses de setembro, outubro e novembro. Neste ajuste, observa-se que das 8 até as

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

20 horas não há grandes variações no consumo de energia.

Figura 7: Perfil de consumo na primavera - AL-313.



Com base na média das estações do ano, ajustou-se a curva representativa do consumo anual em toda rede do alimentador AL-313 do Demei. Na Figura 8 apresenta-se o perfil de consumo anual obtido através da carga média consumida no verão, outono, inverno e primavera. Os parâmetros encontrados para o perfil anual, podem ser observados na Tabela 2.

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

Figura 8: Perfil de consumo anual - AL-313.

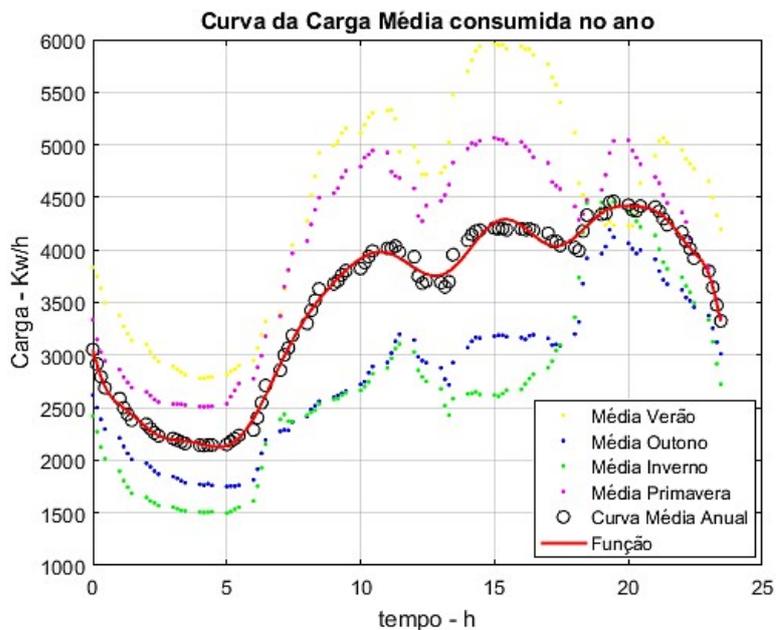


Tabela 2: Parâmetros da função polinomial ajustada para o consumo anual.

p_1	-0,000000000000006090157264878638488803502482479
p_2	-0,0000000000008111203388455906853178110237187
p_3	0,000000000083751287157493606722125725094113
p_4	-0,0000000052639390210958383139456031893907
p_5	0,00000022490939621568317536304541966186
p_6	-0,000069082829778474555870899920240191
p_7	0,00015727270299906666892013340497414
p_8	-0,0026953316597242340385554015824709
p_9	0,034935589658285561009964936829419
p_{10}	-0,34061604039426024437275941636472
p_{11}	2,454091809686762548636806968716
p_{12}	-12,573152658816635351968216127716
p_{13}	41,901626669136419423011830076575
p_{14}	-65,9329801593410991245036711191633
p_{15}	-95,989186068254028327828564215451
p_{16}	729,66137566703707761917030438781
p_{17}	-1520,0679605416021331620868295431
p_{18}	1269,5551904226228998595615848899
p_{19}	88,927344681002793436164211016148
p_{20}	-963,20577534219125936942873522639
p_{21}	3053,3334530524243746185675263405

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

A partir de uma análise comparativa das curvas, pode-se observar que estas apresentam um mesmo comportamento, descrevendo de modo satisfatório a curva de consumo de um conjunto de consumidores do município de Ijuí/RS.

5. CONCLUSÕES

A modelagem matemática da carga de uma rede elétrica é um fator muito importante para a compreensão do sistema como um todo, e das relações que este estabelece com a demanda energética. Toda energia gerada tem como objetivo chegar ao consumidor final, atendendo a sua expectativa de carga. Neste sentido, conhecer os perfis de consumidores de uma determinada região, seus horários de maior demanda e a forma como estes se comportam durante certo período, é essencial para o estudo e inserção da geração distribuída e de tecnologias *Smart Grids* no sistema elétrico convencional.

Através deste estudo, foi possível verificar que nos períodos de março a agosto, que compreendem as estações climáticas de outono e inverno, os consumidores tem hábitos semelhantes, sendo que o horário de maior demanda energética é próximo das 20 horas. Conforme já mencionado, isto possivelmente é ocasionado pelo uso do chuveiro elétrico em alta potência, devido à baixas temperaturas nesta época do ano, assemelhando-se a curva típica do consumo nacional.

No verão, o pico de energia se dá à tarde, próximo das 15 horas, devido à altas temperaturas nesta época, ocasionando elevada utilização de aparelhos climatizadores de ambientes. Já na primavera, no período entre 8 e 20 horas, não há grandes variações de demanda energética, devido a temperaturas mais amenas, sem grandes variações durante o dia que possam provocar mudanças comportamentais nos consumidores, relacionadas ao uso de aparelhos elétricos e eletrônicos.

Portanto, este estudo possibilitou verificar os momentos de pico de energia, nos quais, considerando sistemas inteligentes, utiliza-se a energia gerada pela microgeração, geralmente nas próprias residências, ao invés de utilizar a energia da concessionária, as quais nos momentos de pico, apresentam taxas (valores) mais elevadas. Além disto, este estudo será utilizado em trabalhos futuros para a modelagem da rede elétrica como um todo, pois neste caso é indispensável o conhecimento do comportamento/perfil da carga deste sistema.

6. REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). *Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica*. Cadernos temáticos ANEEL, 2. ed. Brasília: 2016.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. *Banco de Informações de Geração (BIG)*. Brasil, 2016.

BASSANEZI, R. C. *Ensino-aprendizagem com Modelagem Matemática*. São Paulo: Editora Contexto, 2. ed., 2004.

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). *Balanco Energético Nacional 2016: ano base 2015*. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

FARIAS L. M.; SELBITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. *Revista Liberato*, Novo Hamburgo, vol. 12, n. 17, p. 1-106, jan/jun 2011.

GUEDES, L. M.; SANTOS, E.C.; OLIVEIRA, M. A. G. . Alocação de geração distribuída em redes de distribuição radiais considerando análise de curva de carga. In: XIII ERIAC - Encuentro Regional IberoAmericano de CIGRÉ, 2009, Puerto Iguazú. *Anales del Décimo Tercer Encuentro Regional IberoAmericano de CIGRÉ (XIII ERIAC)*, 2009. p. 1-8.

HERMSDORFF, W.; OLIVEIRA Filho, D. *Geração independente na ponta*. Energia Meio Rural, vol. 3, 2003.

PASCALICCHIO, A. C. *Perspectiva econômica e modelo de negócio da tecnologia de telecomunicação nas redes de distribuição de energia elétrica no brasil*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2011.

POTTER, C. W.; ARCHAMBAULT, A.; WESTRICK, K. Building a Smarter Smart Grid Through Better Renewable Energy Information. In *Power Systems Conference and Exposition, PSCE '09, IEEE/PES*. Seattle, WA, USA: IEEE, 2009. DOI: 10.1109/PSCE.2009.4840110.

SANTOS, M. G. *Segurança em Eletricidade*. Curso de Engenharia Eletrônica da UGF. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAMM8AB/seguranca-eletricidade>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

SCHREIBER, J.F. et. al. Mathematical Modeling of an Electrical Power Distribution System for Applications in Smart Grids. *Advances in Engineering Research - Nova Science Publishers*, volume 16, chapter 1, pages 12-32, 2017.

SILVA, A. J. S. *Modelagem Matemática de um Sistema de Distribuição Primário de Energia Elétrica em Média Tensão do Município de Ijuí*. Dissertação de Mestrado em Modelagem Matemática, UNIJUI, 2017.