

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLUMINENSE

Secretaria de Educação
Profissional e Tecnológica

Ministério
da Educação



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

**PREVISÃO DE DEMANDA ENERGÉTICA PARA COMUNIDADES
ISOLADAS BASEADA EM REDES NEURAIIS**

ROBERTA FERNANDES MENDIONDO NUNES

MACAÉ, RJ

2012

ROBERTA FERNANDES MENDIONDO NUNES

**PREVISÃO DE DEMANDA ENERGÉTICA PARA COMUNIDADES
ISOLADAS BASEADA EM REDES NEURAIAS**

MACAÉ, RJ

2012

FICHA CATALOGRÁFICA

MENDIONDO, Roberta F. N.
Previsão de Demanda Energética para Comunidades
Isoladas Baseada em Redes Neurais. 74 pgs.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental. Instituto Federal Fluminense.

1. Previsão de Demanda de energia elétrica
2. Sistemas fotovoltaicos domiciliares
4. Desenvolvimento socioeconômico
5. Redes Neurais

Dissertação intitulada PREVISÃO DE DEMANDA ENERGÉTICA PARA COMUNIDADES ISOLADAS BASEADA EM REDES NEURAIS elaborada por ROBERTA FERNANDES MENDIONDO NUNES e apresentada publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento Regional, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

Aprovada em

Banca Examinadora:

.....
Jader Lugon Junior, D.Sc., Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UERJ, Instituto Federal Fluminense IFF, Orientador

.....
Luis Biondi Neto, D.Sc. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Universidade do
Estado do Rio de Janeiro, UERJ.

.....
Marcos Antonio Cruz Moreira, D.Sc. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Instituto
Federal Fluminense, IFF.

.....
Maria Inês Paes Ferreira, D.Sc. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Instituto
Federal Fluminense, IFF.

Dedicatória

Dedico essa dissertação ao meu esposo que tanto me apoiou nessa caminhada, a qual é de extrema importância para nossa família, nesse momento tão especial à espera de nossos filhos, gêmeos, Davi e Pedro. E a meu pai, que na data da defesa está completando 64 anos de idade, de dedicação e amor à família.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me sustentado e abençoado em tudo até aqui, especialmente pela saúde e família que me concedeu, a qual me apóia sempre, em especial meu esposo por estar junto nessa caminhada, suportando ausências com amor.

Agradeço ao amor, incentivo e educação recebidos da minha tão especial família, meus pais e irmãos, que fizeram parte da mais importante fase da minha formação, na vivência familiar tão intensa, da infância a fase adulta e da qual ainda desfruto plenamente hoje, acrescida das vidas de meus cunhados e sobrinhos muito amados.

Agradeço a essa Instituição de tão alto grau de excelência, pública e que proporciona condições para que seus alunos possam desenvolver trabalhos extremamente relevantes para o desenvolvimento socioambiental do nosso país.

Agradeço aos professores do PPEA pelos ensinamentos que vão muito além do estudo da ecologia e da engenharia, e dão o tom a cada trabalho produzido nesse programa, em especial, ao meu orientador, professor Jader Lugon Junior pela paciência e ajuda imprescindíveis no caminho desse estudo, bem como aos professores que ministraram disciplinas que revelam o viés multidisciplinar do Programa e tanto contribuíram para a formação do meu problema de estudo e essencialmente da própria preocupação em representar esse viés no desenvolvimento do trabalho, como a professora Maria Inês Paes Ferreira, Rodrigo Serra, Hélio Gomes Filho, Luiz Pinedo e José Augusto Ferreira Silva.

De forma especial agradeço a cada família que participou das pesquisas de campo, sem as quais este trabalho não seria possível.

Agradeço ao corpo docente e administrativo do IFF por lutar a cada dia pela manutenção de uma instituição pública e de excelência.

Epígrafe

Se você eliminar do seu meio o jugo opressor, o dedo acusador e a falsidade do falar; se com renúncia própria você beneficiar os famintos e satisfizer o anseio dos aflitos, então a sua luz despontará nas trevas, e a sua noite será como o meio-dia. (Isaías 58:9-10)

MENDIONDO, Roberta F. N.. Previsão de Demanda Energética para Comunidades Isoladas baseada em Redes Neurais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Instituto Federal Fluminense, 2012.

RESUMO

Programas governamentais implantaram sistemas individuais de geração de energia no atendimento a populações isoladas, parte em suas instituições públicas e comunitárias, parte em domicílios, como o Programa Luz para Todos que se estenderá até 2014, com uma demanda que pode alcançar mais de trezentas mil pessoas. Nestes programas a demanda é tratada como uma constante implicando em implantação de sistemas padronizados, independente de aspectos socioculturais, geográficos, demográficos, psicológicos e gerenciais, peculiares de cada família. Em função de contemplar uma rede de aspectos em sua constituição, a demanda de energia ao ser prevista por meio de modelos econométricos pode não refletir os vieses que a influenciam, gerando imprecisões nas estimativas, mesmo em se tratando da demanda inicial de uma família, e assim não atendendo suas necessidades energéticas básicas. Neste trabalho, desenvolve-se um estudo sobre a demanda energética em comunidades isoladas, propondo a aplicação comparada de regressão linear e redes neurais na análise e previsão dessa demanda. Os estudos demonstraram que tanto a regressão linear, quanto redes neurais podem ser métodos eficientes para previsão de demanda energética, porém as redes neurais mostram-se mais eficientes na interpretação de um número maior de variáveis consideradas como impactantes sobre o consumo de energia, de forma que um conjunto de oito variáveis de entrada chegam a explicar mais de 99% do consumo de energia elétrica, considerando uma amostra formada por famílias rurais e também urbanas. As redes neurais podem ser utilizadas com alto grau de eficiência para previsão de demanda energética residencial, tanto no meio rural quanto urbano.

Palavras-chave: Comunidades Isoladas. Demanda Energética. Eletrificação Rural. Redes Neurais. Regressão Linear.

ABSTRACT

Government programs have implemented individual systems of energy generation in serving isolated populations, partly in its public institutions and community, part of households, as the Light for All program will last until 2014, with a demand that can reach more than three hundred thousand people . These programs demand is treated as a constant implying deployment of standardized, regardless of sociocultural, geographic, demographic, psychological and managerial, peculiar to each family. Due to contemplate aspects of a network in its constitution, the demand for energy to be provided by means of econometric models may not reflect the biases that influence, causing inaccuracies in the estimates, even when dealing with the initial demand of a family, and thus not meeting their basic energy needs. In this work, a study on the energy demand in isolated communities, compared proposing the application of linear regression and neural networks in analysis and forecasting of demand. The studies showed that both the linear regression, and neural networks can be efficient methods for predicting the energy demand, however neural networks are more efficient in the interpretation of a larger number of variables considered to impacting on the consumption of energy, so a set of eight input variables come to explain more than 99% of electricity consumption, whereas a sample made up of rural and also urban families. Neural networks can be used with high efficiency for residential energy demand forecast, both in rural and urban.

Keywords: Isolated Communities. Energy Demand. Rural Electrification. Neural Networks. Linear Regression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Modelo não-linear de um neurônio, utilizado em MPL. Fonte: adaptada (HAYKIN, 2001).....	39
Figura 2-2 Representação de uma rede Multi layer perception, com duas camadas ocultas. .	40
Figura 3-1 Modelo não-linear de um neurônio, utilizado em MPL. Fonte: adaptada (HAYKIN, 2001).....	51
Figura 3-2 Representação de uma rede Multi layer perception, com duas camadas ocultas. .	51
Figura 3-3 Imagens da Comunidade Marujá, região do lagamar, Vale do Ribeira. (MORANTE, 2004).....	56
Figura 3-4 Casa e animais de criação típicos da região da caatinga em Pedra Branca (MORANTE, 2000).....	57
Figura 3-5 Comunidade Vera Cruz (MORANTE, 2004).....	57
Figura 3-6 Ilha Grande, Praia Vermelha (MIRANDA, 2004).....	58
Figura 3-7 Correlação entre consumo real por família e a demanda prevista. Elaborada pelo autor. Saída SPSS-IBM.	63
Figura 3-8 Correlação entre valores reais de consumo e demanda prevista, em kWh, por família. Elaborado pelo autor. Saída do SPSS-IBM.....	64
Figura 1A Topologia da RN_1.....	77
Figura 2A Ajuste linear de consumo de energia elétrica familiar mensal real e previstos pela RN_1.....	79
Figura 3A Topologia da RN_2.....	82
Figura 4A Ajuste linear de consumo de energia elétrica familiar mensal real e previstos pela RN_2.....	84
Figura 5A Topologia da RN_3.....	87
Figura 6A Ajuste linear de consumo de energia elétrica familiar mensal real e previstos pela RN_3.....	89
Figura 7A Topologia da RN_4.....	92
Figura 8A Ajuste linear de consumo de energia elétrica familiar mensal real e previstos pela RN_4.....	94
Figura 9A Topologia da RN_5.....	97

Figura 10A Ajuste linear de consumo de energia elétrica familiar mensal real e previstos pela RN_5.....	99
Figura 11A Topologia da RN_6.....	102
Figura 12A Ajuste linear de consumo de energia elétrica familiar mensal real e previstos pela RN_6.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 IBGE , Sinopse do Censo demográfico 2010.(adaptada).....	45
Tabela 3-2 Elaborada pelo autor. Fonte: PRODEEM/MME.....	53
Tabela 3-3 Dados de distribuição dos sistemas apresentados pela auditoria realizada pelo TCU em 2002.	54
Tabela 3-4 Padronização dos sistemas individuais pela ANEEL.....	56
Tabela 3-5 Estatística dos modelos de regressão com oito, duas e uma variável previsoras. Elaborada pelo autor.	60
Tabela 3-6 Estatística dos modelos de regressão com oito, duas e uma variável previsoras., para amostra de 50 famílias, rurais e urbanas. Elaborada pelo autor.	60
Tabela 3-7 Estatística dos modelos neurais com oito, duas e uma variável previsoras., para amostra de 50 famílias, rurais e urbanas. Elaborada pelo autor.	62
Tabela 3-8 Configuração de rede que apresentou os melhores desempenhos para as três amostras submetidas.	62
Tabela 3-9 Desempenho das redes a partir de amostras particionadas em amostra de treinamento e teste.	62
Tabela 1A Programação do modelo RN _1	75
Tabela 2A Particionamento da amostra e configuração da RN_1.....	76
Tabela 3A Medidas de desempenho da RN_1.....	78
Tabela 4A Pesos sinápticos da RN_1.....	78
Tabela 5A Importância das variáveis independentes RN_1.....	79
Tabela 6A Programação do modelo RN _2	80
Tabela 7A Particionamento da amostra e configuração da RN_2.....	81
Tabela 8A Medidas de desempenho da RN_2.....	83
Tabela 9A Pesos sinápticos da RN_2.....	83
Tabela 10A Importância das variáveis independentes RN_2.....	84
Tabela 11A Programação do modelo RN _3.....	85

Tabela 12A	Particionamento da amostra e configuração da RN_3.....	86
Tabela 13A	Medidas de desempenho da RN_3.....	88
Tabela 14A	Pesos sinápticos da RN_3.....	88
Tabela 15A	Importância das variáveis independentes RN_3.....	89
Tabela 16A	Programação do modelo RN _4.....	90
Tabela 17A	Particionamento da amostra e configuração da RN_4.....	91
Tabela 18A	Medidas de desempenho da RN_4.....	93
Tabela 19A	Pesos sinápticos da RN_4.....	93
Tabela 20A	Importância das variáveis independentes RN_4.....	94
Tabela 21A	Programação do modelo RN _5.....	95
Tabela 22A	Particionamento da amostra e configuração da RN_5.....	96
Tabela 23A	Medidas de desempenho da RN_5.....	98
Tabela 24A	Pesos sinápticos da RN_5.....	98
Tabela 25A	Importância das variáveis independentes RN_5	99
Tabela 26A	Programação do modelo RN _6.....	100
Tabela 27A	Particionamento da amostra e configuração da RN_6.....	101
Tabela 28A	Medidas de desempenho da RN_6.....	103
Tabela 29A	Pesos sinápticos da RN_6.....	103
Tabela 30A	Importância das variáveis independentes RN_6.....	104

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
	DESENVOLVIMENTO NO SISTEMA CAPITALISTA	20
	DESENVOLVIMENTO E POLÍTICAS PÚBLICAS.....	22
	A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA	31
	MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA	34
	Modelos Econométricos.....	35
	Modelos Técnico-Econômicos ou de Projeção de Usos finais	36
	REDES NEURAIIS	38
3	ARTIGO CIENTÍFICO	43
	INTRODUÇÃO	44
	MATERIAL E MÉTODO	47
	A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA	48
	POLÍTICAS PÚBLICAS.....	48
	REDES NEURAIIS	50
	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
	Resultados de Programas em Nível nacional	53
	Comunidades do Vale do Ribeira (SP) – eletrificada com SDF	56
	Comunidade Pedra Branca – PE (SFD)	56
	Comunidade De Vera Cruz - PA.....	57
	Praia Vermelha – RJ.....	58
	APLICAÇÃO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA	59
	Estudo sobre amostra formada por famílias de comunidades isoladas (SDF e rede de distribuição elétrica).....	59

Estudo sobre os dados de comunidades isoladas e famílias urbanas	60
APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS	61
Estudo sobre amostra constituída por famílias de comunidades isoladas	61
CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
4 CONCLUSÕES	68
Sugestões para trabalhos futuros.....	69
APÊNDICES	
APÊNDICE A	
APÊNDICE B	

1 INTRODUÇÃO

Em decorrência da crise de energética, na década de 70, quando o mundo atentou para sua exagerada dependência dos combustíveis fósseis, iniciou-se um processo de busca por fontes alternativas de energia. Este panorama colaborou para o avanço das tecnologias de exploração de recursos fósseis, gás natural e petróleo, que ampliaram a eficiência da exploração nas áreas costeiras, em grandes plataformas *off shore*, proporcionando a ampliação das reservas, além de certa garantia de segurança de recursos energéticos derivados do petróleo para países como o Reino Unido e o Brasil.

Efetivamente, ainda na década de setenta, deu-se início ao desenvolvimento de sistemas de energia solar fotovoltaica¹ para o uso residencial e comercial, em aplicações autônomas e conectadas à rede elétrica. Países como o Japão, Canadá, Alemanha e Estados Unidos da América investiram no desenvolvimento das tecnologias eólicas e solares visando à geração de energia elétrica, em pequena escala, para algumas regiões, ou situações onde a expansão das redes convencionais apresentava limitações econômicas e ambientais. Porém, foi o início da década de 90 que ficou marcado pelo crescimento das aplicações dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica para uso residencial e comercial no mundo, motivado principalmente pela busca em reduzir a dependência energética dos combustíveis fósseis e pela preocupação com as mudanças climáticas, em especial com a intensificação do efeito estufa na atmosfera.

Grande parte dos sistemas individuais de geração de energia baseados em fontes alternativas foram instalados em decorrência de programas específicos desenvolvidos pelos governos de cada país para estimular o uso das energias renováveis. As aplicações destas tecnologias, no mundo desenvolvido, têm também profunda relação com as plataformas políticas dos movimentos ambientalistas, surgidos nas últimas décadas, que preconizam o fim dos programas de geração de energia nuclear, a mudança de hábitos de consumo e a ampliação do uso dos recursos naturais renováveis, como o uso das diferentes energias alternativas.

No Brasil, alguns programas foram desenvolvidos com o objetivo de estimular o uso de fontes renováveis alternativas. Praticamente todos os sistemas instalados, referem-se a

¹ Ao longo do trabalho será utilizada a expressão “sistema fotovoltaico”, em substituição a expressão “sistema de energia solar fotovoltaica”.

sistemas fotovoltaicos autônomos destinados ao bombeamento de água e à geração de energia elétrica, principalmente em comunidades rurais de baixa renda, localizadas distantes da rede elétrica convencional.

O maior programa nacional de estímulo à geração de energia a partir de fontes alternativas foi o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – PRODEEM², considerado um dos maiores programas de eletrificação rural, nos países em desenvolvimento (GALDINO & LIMA, 2002), junto ao Programa de Energia das Comunidades Isoladas, quase desconhecido, que vigorou de 2001 a 2003, proposto pelo Plano Plurianual de 2000 – 2003. Os dois programas se destinavam ao atendimento a comunidades isoladas, sem acesso a energia elétrica por conta de sua distância da rede elétrica e baixa densidade de carga, o que inviabilizava a extensão da rede elétrica, por conta dos interesses econômicos das concessionárias do setor elétrico.

O PRODEEM instalou aproximadamente 9 mil sistemas fotovoltaicos de geração de energia e bombeamento de água em cinco fases, e na fase emergencial, apenas de sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água. Os sistemas foram instalados de junho de 1996 a dezembro de 2001 e implantados em todos os 26 estados brasileiros, especialmente nas regiões Nordeste (semi-árido) e Norte (Amazônia). Neste programa foram instalados três tipos de sistemas fotovoltaicos autônomos: os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica, os sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água e os sistemas fotovoltaicos de iluminação pública, todos atendendo somente às necessidades comunitárias, em escolas, postos de saúde e centros comunitários (GALDINO & LIMA, 2002).

O Programa Luz para Todos – LPT, programa federal iniciado em 2004 com o objetivo de acabar com a exclusão do acesso a energia elétrica no país, em seu Manual de Operacionalização, publicado em fevereiro de 2009, indica que para alcançar seus objetivos e otimizar a utilização dos recursos públicos o Programa deve priorizar o atendimento com tecnologia de rede de baixo custo e, de forma complementar, com sistemas de geração descentralizada com rede isolada e sistemas individuais de geração de energia. Estes sistemas

² O PRODEEM foi estabelecido pelo Governo Federal brasileiro através de um Decreto Presidencial de dezembro de 1994, com o objetivo de promover o suprimento de energia às comunidades rurais de baixa renda localizadas distantes da rede elétrica convencional, preferencialmente com fontes alternativas de energia. O Programa foi coordenado pelo Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético - DNDE, do Ministério de Minas e Energia - MME, e tinha como responsável técnico o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPTEL, subsidiária das Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS, cujas atribuições incluíam determinar as especificações dos equipamentos para as licitações, realizar a avaliação de projetos, treinamento técnico de pessoal, estabelecimento dos padrões de instalação, verificação/inspeção de instalações, análise de desempenho e de falhas, etc.

individuais contemplam os sistemas de geração fotovoltaicos instalados pelo PRODEEM, que atualmente passa por processo de revitalização, sendo parte integrante do Programa Luz para Todos.

O processo inicial de difusão da tecnologia fotovoltaica e de outras fontes alternativas tem apresentado problemas de ordem política, econômica, técnica e sociocultural, comprometendo a sustentabilidade dos programas e projetos que, muitas vezes estão orientados apenas pela relação custo/benefício, esquecendo o papel dos atores sociais, na sua relação de adoção, otimização do uso e satisfação com a tecnologia implantada (MORANTE, 2004).

O fornecimento de energia elétrica pela tecnologia fotovoltaica tem melhorado o padrão de vida dos usuários, geralmente populações dependentes de recursos fósseis ou de tecnologias ineficientes e custosas. Entretanto, o processo de difusão vem requerendo, dessas populações, novas atitudes e novas formas de organização para a adoção, gestão e manutenção dessa tecnologia.

O processo de difusão da tecnologia fotovoltaica entre as populações excluídas, marginalizadas e tradicionais, como índios, quilombolas e caiçaras, é um tema complexo e pouco estudado. Caracteriza-se como um tema desafiador, já que vem possibilitar análise multi e interdisciplinar, onde a análise sociocultural é um elo fundamental para discutir o papel das culturas, comunidades e dos usuários no processo de implantação dessa tecnologia.

Conforme Morante (2004), no dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos a demanda de energia elétrica é tratada como uma constante, padronizada, não diferindo de uma família para outra a não ser pelo número de integrantes e algumas vezes pela renda familiar, o que não reflete a realidade, pois esta envolve uma rede de fatores socioculturais, psicológicos e também técnicos. Nesse sentido, o mesmo autor afirma que a demanda de energia em cada comunidade e cultura apresenta caráter aleatório e propõe que modelos não paramétricos como os de Redes Neurais, *Fuzzy Logic*, Processos Estocásticos e Teoria do Caos sejam considerados para estudar a previsão de demanda e consumo de energia elétrica

A demanda energética familiar se intui como ponto inicial e imprescindível para a sustentabilidade de programas que envolvam tecnologias baseadas em fontes alternativas, por meio de sistemas individuais de geração de energia elétrica, desconsiderá-la pode impor fracasso aos projetos, já em sua concepção técnica.

O objetivo geral deste trabalho é elaborar uma análise crítica acerca de programas públicos de eletrificação rural e o tratamento que a problemática da demanda de energia elétrica tem no

planejamento destes programas, especialmente, no que se refere ao atendimento a comunidades isoladas, e as implicações na sustentabilidade dos projetos.

Como objetivo específico o estudo propõe o desenvolvimento de um modelo de previsão de demanda energética adequado às necessidades observadas no microcosmo das famílias, baseado em Redes Neurais, que se adapte às realidades diversas em que estão inseridas as comunidades estudadas, o qual possa ser associado à reorientação, planejamento e gestão de projetos decorrentes de políticas públicas visando sua sustentabilidade social, econômica e ambiental sob a ótica do conceito de sustentabilidade postulado por Sachs (1986).

O trabalho está organizado de forma que no Capítulo 2, a Revisão de Literatura dê conta dos temas associados a problemática da demanda energética rural, como conceitos de desenvolvimento no sistema capitalista e suas relações com as políticas públicas de eletrificação rural, a questão da demanda energética, métodos de previsão de demanda e um item específico sobre as Redes Neurais. No Capítulo 3, apresentam-se os resultados obtidos a partir da aplicação de dois métodos de previsão de demanda, Regressão Linear Múltipla e Redes Neurais, sobre amostras obtidas em comunidades isoladas do meio urbano e uma amostra mista, formada por famílias rurais e urbanas, estabelecendo-se análise sobre os métodos e diferentes conjuntos de variáveis de entrada dos modelos, os quais têm como principal variável de saída o consumo de energia elétrica. Em seguida destacam-se as conclusões do estudo sobre os dados das comunidades, constantes no Capítulo 3 e no Capítulo 4 são tecidas as conclusões gerais da dissertação, bem como proposições para estudos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

DESENVOLVIMENTO NO SISTEMA CAPITALISTA

Na concepção capitalista, o desenvolvimento se configura na expansão do capital, assim obtido na produção de mercadorias cujo valor de troca suplante o despendido na produção. De forma geral, tanto o capital financeiro, quanto o capital comercial, apenas se apropriam de parcela do excedente gerado na produção, podendo assim ser desprezados em uma análise global do processo (MARX, 1975).

Fundado em critérios monetários, quantitativos e unidimensional, o mercado direciona e estabelece os desenvolvimentos adequados à lógica de acumulação e de expansão capitalista. A eficiência produtiva, ainda que às custas de uma ineficiência social ou ambiental, consideradas externalidades negativas pelos economistas, é essencial para a sobrevivência no cenário do capitalismo de mercado.

Enquanto em outras sociedades os critérios responsáveis, por exemplo, pela adoção ou não de uma nova tecnologia, eram estabelecidos em critérios qualitativos - culturais, éticos e religiosos, como o são as tradições, as crenças míticas, os valores comunitários - no capitalismo tal desenvolvimento vai ser sancionado e dirigido pelas forças de mercado, pela sua capacidade de gerar lucro ou não. Enquanto em outras sociedades o crescimento econômico e tecnológico sujeitava-se ao controle político da sociedade, no capitalismo tal desenvolvimento busca a sua livre expansão no mercado, dirigido e estabelecido pela concorrência econômica. Do controle qualitativo, passamos à primazia do quantitativo.

A doutrina capitalista não repousa em fundamentação teórico-lógica, assim a atual crise geral da sociedade coloca crescentemente em xeque as suas bases empíricas. Do ponto de vista teórico, os seus pressupostos e as suas implicações são bastante pretensiosos, ela pressupõe a redutibilidade da qualidade à quantidade, uma vez que o bem-estar geral - uma qualidade - seria a consequência de um sistema e de ações baseadas e dirigidas pelo mercado - critérios quantitativos.

A problemática ambiental na atualidade, ao não discutir a fundo a própria base do nosso sistema, o mercado, e, especialmente, ao acreditar que a sustentabilidade pode e deve ser obtida no interior dos mecanismos de mercado, implicitamente acredita no milagre desta redutibilidade, no poder supranatural da mão invisível do mercado.

A entropia, conceito da termodinâmica, se diferencia de outras leis físicas e se caracteriza justamente por dar conta de um fenômeno qualitativo: a mudança de um estado de baixa entropia para outro de alta entropia. A sustentabilidade material do processo econômico repousa nesse limite qualitativo, na baixa entropia - energia e estruturas materiais ordenadas - disponíveis no início do processo, frente à alta entropia - energia e estruturas materiais dispersas - resultante no final do processo. (CAVALCANTI, 1994).

Quando falamos de desenvolvimento sustentável, temos que considerar não só os aspectos materiais e econômicos, mas o conjunto multidimensional e multifacetado que compõe o fenômeno do desenvolvimento: os seus aspectos políticos, sociais, culturais e físicos. A sustentabilidade do todo só pode repousar na sustentabilidade conjunta de suas partes. Esses fatores e os seus respectivos equilíbrios repousam sobre fatores qualitativos, como o são os graus de coesão e harmonia social, questões como cidadania, alienação, valores éticos e morais, o grau de polarização social e política, os valores da sociedade e o nível entrópico do sistema.

Sachs (1986) postula acerca da necessidade da imaginação social da população e do planejador público de conceitos de apoio sob a forma de estudos comparativos das maneiras como outros povos lidam com situações de desenvolvimento. [...] Daí a necessidade de o planejador ficar sistematicamente exposto aos resultados de semelhante pesquisa, o que lhe dará o sentido da relatividade no espaço e no tempo, ampliando-lhe a perspectiva das dimensões ecológica e cultural do desenvolvimento (SACHS,1986).

É uma característica da ciência contemporânea a ênfase nos aspectos quantitativos e o seu desprezo pelos aspectos qualitativos, quando são justamente estes os mais essenciais. A própria vida se caracteriza pela sua essencialidade qualitativa, como o são a busca de bem-estar coletivo ou de felicidade individual, ou qualquer outro critério que possamos tomar como motivador, em última instância, das ações individuais ou coletivas (STAHEL, 1994).

Segundo Stahel (1994), os custos, ou as externalidades qualitativas de qualquer inovação, dependem sobretudo do contexto sócio-histórico no qual elas ocorrem. Ocorrem em função de uma complexidade e multiplicidade de fatores que métodos econométricos não podem avaliar e que não são estáveis e constantes ao longo do tempo, como por exemplo, a demanda energética de uma comunidade tradicional e sua ampliação ao longo dos anos. Fenômenos que produzem externalidades negativas em determinados contextos podem gerar externalidades positivas em outros. O advento da energia elétrica, por exemplo, por um lado foi um fator positivo na busca de sustentabilidade, a apropriação desta tecnologia pode

aumentar a democratização do saber, reforçar a cidadania, mas por outro pode concentrar ainda mais o saber nas mãos de especialistas e da tecnocracia.

Na primeira possibilidade, teríamos uma externalidade positiva, a ser estimulada via investimentos públicos, pois conduz a fatores que reforçam a sustentabilidade do sistema, já na segunda possibilidade, tal processo teria que ser freado via tarifas, impostos ou por outras estratégias de socialização, não características do sistema capitalista liberal. Provavelmente, ambas as tendências ocorrem, dependendo do resultado de uma multiplicidade de fatores e da própria forma como a sociedade, a economia e a cultura se apropriam dessas inovações.

A única forma de discutir-se e de controlar-se a busca de equilíbrios qualitativos é a partir de critérios qualitativos: uma negociação e um controle político. Os critérios quantitativos do mercado são extremamente eficientes para engendrar e assegurar o objetivo quantitativo central do capitalismo, qual seja: a acumulação e a expansão do capital. A unidimensionalidade do mercado necessariamente sancionará de forma positiva os processos que respondam ao critério unidimensional de eficiência produtiva, ao menos no prazo que é o prazo de funcionamento do mercado: o imediato. Nesse sentido, os conceitos capitalistas embuídos em nossa cultura fazem com que comunidades busquem o gerador à diesel como alternativa energética, já que atende sua demanda imediatamente e por um tempo controlável, mesmo que os custos ambientais sejam altos e que isso implique futuramente na escassez de recursos necessários a sua própria atividade produtiva e qualidade de vida.

DESENVOLVIMENTO E POLÍTICAS PÚBLICAS

O processo de desenvolvimento, entendido como aquele que considera aspectos socioculturais e tecnológicos e, especialmente, a participação dos atores sociais no planejamento e ações que constituem a transformação, implica em mudança de valores, regras, atitudes e compartilha da importância da capacidade de escolha. A cultura ocidental, por exemplo, promove valores que levam o indivíduo a desejar o desenvolvimento com muito mais ansiedade do que naquelas culturas mais tradicionais, onde a introdução de tecnologias enfrenta maiores obstáculos.

Neste sentido, três questões se destacam na composição da problemática referente à introdução de novas tecnologias, associadas aos sistemas de geração de eletricidade, na vida das comunidades, conforme Serpa :

O primeiro aspecto diz respeito ao processo de mudança decorrente do desenvolvimento tecnológico. O segundo, se refere ao planejamento e gestão dos projetos e dos programas de difusão da tecnologia. O terceiro, ao desenvolvimento das ações de difusão³ da tecnologia. (SERPA, 2001).

Entendendo que o desenvolvimento não é apenas a apropriação de tecnologias, e sim um processo que remete ao engendramento dos aspectos culturais, sociais e tecnológicos, Amartya Sen, (1993) argumenta que a ação política - projetos e programas de desenvolvimento – devem ter o objetivo de ampliar a capacidade das pessoas de serem responsáveis por atividades e estados valiosos e valorizados, ou seja, na linha de uma ética da capacidade. Disso decorre a orientação de que uma boa ação pública não é aquela que distribui bens a receptores passivos, mas aquela que amplia as escolhas das pessoas e promove suas capacidades, principalmente sua capacidade de criação e escolha. O foco em distintas capacidades humanas implica um enfoque pluralista, pois

“as coisas que as pessoas consideram valiosas fazer, ou ser, podem ser muito diversas, e as capacidades valiosas variam desde a liberdade elementar, tais como livrar-se da fome e da desnutrição, até capacidades complexas, tais como a obtenção do auto respeito e a participação social” (SEN, 1993:332).

Essa discussão remete à idéia de que o desenvolvimento tem um significado bem mais amplo que o de crescimento econômico, que significa mero aumento da riqueza tangível ou física. Neste sentido, em 1980, o relatório “Brand Comission”, da ONU, referia que “desenvolvimento é mais do que a passagem da condição de pobre para a de rico, de uma economia tradicional rural para uma sofisticada: carrega ele consigo não apenas a idéia da melhor condição econômica, mas também a de maior dignidade humana, mais segurança, justiça e equidade” (KLERING et al.,1998:6 apud SERPA, 2001, p.11).

³ O termo difusão é entendido, neste trabalho, como processo pelo qual uma inovação passa a ser socialmente aceita ou, simplesmente, designa todos os processos ordenados, que produzem semelhanças culturais em várias sociedades que não as produzidas pela invenção. Refere-se à propagação de novas idéias ou novas unidades de cultura, de uma pessoa ou grupo a outro. Fazendo-se um paralelo entre inovação e mutação, a difusão pode ser descrita como o processo de seleção, pelo qual um traço ou é adicionado a outros que fazem parte de uma cultura, ou substitui um traço existente. A difusão bem sucedida de um traço é o resultado de um processo de avaliação, através do qual indivíduos e grupos passam a apreciá-lo e aceitá-lo.

Em relação ao planejamento e gestão, trabalhos de avaliação acerca da difusão da tecnologia de geração de energia em áreas rurais de países em desenvolvimento têm indicado problemas na implementação dos projetos, implicando em fracassos, que não estão relacionados diretamente com a tecnologia, mas com a ausência de metodologias que considerem os aspectos socioculturais e a participação dos atores sociais, desde o planejamento até a implementação e operação dos sistemas.

As avaliações de projetos em desenvolvimento, em várias partes do mundo, feitas pelo Banco Mundial, indicam um rol de problemas que estão relacionados ao planejamento do projeto executivo, tais como a instalação técnica - reparos e manutenção, o treinamento adequado do usuário para a manutenção dos sistemas e gestão local, além da falta de avaliações econômicas e técnicas realistas.

Para além dessas questões, autores destacam que os problemas estão também relacionados ao fato de muitos projetos terem sido planejados sem participação dos atores sociais, sem pesquisa de campo sobre as demandas de energia e as formas de organização das comunidades. Com esse tipo de encaminhamento, os projetos são elaborados em gabinete, conforme modelo padrão, pelo qual estão definidos os consumos genéricos de energia, o suposto envolvimento da comunidade e sua aceitação como decorrência lógica dos benefícios hipotéticos do programa. Projetos que prevêem as etapas de monitoramento são raros, apesar destas se constituírem em ações necessárias à própria sustentabilidade do projeto. Essas considerações são negligenciadas dados os custos das avaliações sobre o desempenho técnico dos sistemas instalados e sobre a satisfação dos atores sociais para com a tecnologia (SERPA, 2001; MORANTE, 2004)

Sob este cenário, dois eventos são extremamente pertinentes, o *primeiro* acerca da capacitação do agente da inovação, cuja necessidade de uma formação humanística se torna bastante relevante, visando o conhecimento de formas sociais e culturais, para auxiliá-lo na tarefa de vencer eventuais resistências dos usuários. Porém, essa orientação não resolve todos os problemas, já que nos programas de desenvolvimento estão representados distintos sistemas culturais. Tais diferenças podem ser grandes, pois a influência produzida pelo sistema de valores da cultura do técnico é um obstáculo para a mudança, tanto quanto as formas culturais do grupo visado. O etnocentrismo inerente às culturas leva o técnico a concluir que os programas e técnicas que obtiveram sucesso em determinada comunidade serão igualmente adequados a outras, daí a necessidade de se reconhecer que a eficácia do

técnico está em estabelecer uma relação de empatia com as condições de vida e trabalho na comunidade onde atua.

O *segundo* evento a ser considerado é a preparação ética para a seguinte questão: existe direito de decidir o que é bom para certa comunidade? Segundo Foster, “não existe resposta fácil para a questão ética e seguramente não existe resposta que possa merecer o adjetivo de científica” (FOSTER, 1964).

Somente o reconhecimento da questão ética e o estabelecimento de um processo que envolva ampla discussão entre agentes implantadores da tecnologia e comunidades é que poderá contribuir para orientação de cada projeto.

O *terceiro* aspecto a destacar-se envolve o desenvolvimento das ações de difusão da tecnologia. O sucesso da difusão de um traço é resultado de um processo de avaliação, através do qual indivíduos e grupos passam a apreciá-lo e aceitá-lo. Nesse sentido, poucos são os projetos nos quais o planejamento das ações é feito de forma participativa, por vezes, essa atitude sequer é cogitada pelo planejador, imbuído de uma visão desenvolvimentista delimitada pelo etnocentrismo.

A literatura acerca da difusão da tecnologia apresenta exemplos interessantes sobre a atitude do planejador que, na avaliação de resultados da implantação, operação e manutenção dos sistemas de geração de energia, menospreza os impactos da alienação dos atores sociais, apesar do projeto executivo, algumas vezes, conceber o respeito às tradições culturais da população como ente fundamental.

Poucos são os projetos em que o programa é pensado como um processo de aprendizagem em via de mão dupla, uma constituída pelo usuário, individual ou coletivo, que passa a compreender a tecnologia, sentir-se parte de sua construção e elaborar internamente as mudanças culturais cabíveis; e outra apreendida pelo planejador, que ao entender a cultura local, mobiliza seu conhecimento técnico em função das demandas da comunidade, em todas as suas especificidades, até que essa nova tecnologia seja absorvida pelo sistema cultural da comunidade e gerida por ela.

Após a reforma do setor elétrico, esforços foram direcionados na busca do aumento do atendimento do serviço de energia elétrica no Brasil, com os projetos denominados Programa de Desenvolvimento Energético nos Estados e Municípios (PRODEEM); Programa Nacional de Eletrificação Rural Luz no Campo; Projeto de Centro Comunitários de Produção (CCP); Programa de Universalização Luz para Todos (LpT).

Com relação ao Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM), criado em 1994 pelo Ministério de Minas e Energia (MME), tendo como objetivo central o atendimento das comunidades rurais remotas não conectadas a rede elétrica, fazendo uso de sistemas descentralizados de geração de energia, em especial por painéis fotovoltaicos, observa-se do Decreto s/n de 27/12/1994 que o instituiu, que o Programa era pautado por quatro linhas de ação, sendo:

I. Desenvolvimento Social: por meio da instalação de micro sistemas de produção e uso de energia em comunidades carentes e não atendidas pela rede de distribuição convencional, apoiando, de forma sistemática e permanente, o atendimento das demandas sociais básicas: água potável, produção de alimentos, educação, saúde, saneamento básico, entre outras.

II. Desenvolvimento Econômico: aproveitamento das fontes de energia renováveis descentralizadas para o abastecimento de pequenos núcleos comunitários e de comunidades isoladas, favorecendo a geração e ampliação da renda e emprego.

III. Complementação da Oferta de Energia: ampliação da oferta de eletricidade via geração complementar através de fontes renováveis descentralizadas;

IV. Base Tecnológica e Industrial: promover o desenvolvimento de tecnologias e produção de sistemas não convencionais de energia e a correspondente capacitação de recursos humanos necessários a sua instalação, operação e manutenção.

As tecnologias utilizadas pelo PRODEEM incluíam a energia solar fotovoltaica, energia eólica⁴, pequenas centrais hidroelétricas, combustíveis derivados de biomassa⁵ e biodigestores. Apesar do grande leque de tecnologia disponível, o Programa concentrou fortemente na utilização da energia solar fotovoltaica, sendo que entre os anos 1996 e 2002 foram instalados 8.742 sistemas no Brasil.

O Programa Nacional de Eletrificação Rural Luz no Campo foi instituído por Decreto Presidencial em 1999, sob coordenação do MME e intermédio da Eletrobrás. O principal objetivo do Programa era incrementar a eletrificação rural e estimular a intensificação das atividades rurais, integrando programas e ações para o desenvolvimento rural e suas respectivas áreas de atuação. A meta de eletrificação do Programa era de 1 milhão de propriedades e domicílios rurais em todo o território nacional entre os anos de 2000 e 2003. Projetava-se que o Programa contemplaria cerca de 5 milhões de brasileiros que até então não

⁴ Gerador que transforma energia eólica (força dos ventos) em elétrica.

⁵ Utiliza resíduos orgânicos para produção de gás, queimando-o para geração de energia elétrica.

dispunham de energia elétrica de forma segura e regular, tendo um orçamento previsto de 1 bilhão de dólares.

O Programa contava com recursos federais destinados a financiar 75% dos custos totais com a eletrificação registrados pelos agentes executores, concessionárias de energia elétrica e cooperativas de eletrificação rural. Estes recursos seriam obtidos via financiamento junto a Eletrobrás por meio da utilização de fundos oriundos da Reserva Global de Reversão (RGR). Os investimentos restantes necessários ao Programa ficavam a cargo do poder municipal, estadual, consumidores e empresas concessionárias e cooperativas de eletrificação rural responsáveis pelos projetos.

No interior do Programa era previsto que os consumidores ligados deveriam arcar com a parte dos custos de conexão correspondente, mesmo que diluídos em vários anos. No entanto o Programa adotou estratégias distintas nos Estados, promovendo assim diferentes formas de apoio aos novos consumidores.

Em 2003 foi lançado pela Eletrobrás o Projeto do Centro Comunitário de Produção (CCP) com o objetivo de levar não apenas energia elétrica as comunidades, mas sim estimular o uso produtivo da energia elétrica em comunidades rurais. Os Centros Comunitários de Produção (CCPs) são unidades de uso comunitário, constituídas por um conjunto de máquinas e equipamentos eletrorrurais para processamento, conservação e armazenagem de produtos agropecuários, possibilitando, assim, a agregação de valor ao produto/serviço produzido pela comunidade e, por extensão, melhorando a qualidade de vida dos associados.

O CCP constitui-se de uma unidade de beneficiamento da produção agropecuária de pequenos produtores rurais reunidos em uma cooperativa ou associação de agricultores, utilizando-se de equipamentos eletrorrurais no processo, visando o desenvolvimento sustentável destas comunidades a partir do uso produtivo da energia elétrica.

O Projeto CCP possui no seu interior o fundamento da parceria entre os entes interessados na promoção do desenvolvimento local, sendo os principais agentes: Eletrobrás, Concessionária, Comunidade, Órgão de Extensão Local, Prefeitura Municipal, Empresas Privadas, Intuições de Fomento Social, Centros de Pesquisas, Universidade, INCRA, ONG.

A montagem do financiamento para os cooperados/associados é particular a cada empreendimento. Em geral, as Prefeituras participam com o terreno e o galpão, as benfeitorias e equipamentos são financiados a fundo perdido pela Eletrobrás, o treinamento é fornecido pelo órgão de extensão rural, entre outros.

Até 2008 foram desenvolvidas experiências do CCP em algumas localidades do país e, em paralelo, sendo realizados os ajustes necessários e suas respectivas avaliações para posterior ampliação das ações. Entre as experiências, cabe citar as cidades, os estados e o ano de implementação: São Fidelis – Rio de Janeiro (2003); Pintadas – Bahia (2006); Ribeira – São Paulo (2007); Santa Maria Madalena (2007).

A título de ilustração o Centro Comunitário de Produção (CCP), inaugurado em 2003, na comunidade de Boa Esperança, situada no município de São Fidélis (RJ), possuía como objetivo ter capacidade para processar inicialmente 4 mil litros de leite por dia. Com a instalação do Centro, que possui dois tanques de expansão de aço inox, isotérmicos, o leite é mantido resfriado e recolhido a cada dois dias por caminhões térmicos. Assim, os pequenos produtores da região reduziram suas despesas de transporte, que anteriormente chegavam a 14% dos custos de produção, e passaram a obter preços melhores pelo produto no mercado, graças à sua adequação aos padrões de qualidade e conservação previstos em lei.

A implementação do CCP é resultado de uma parceria da Eletrobrás, com a CERJ, a Emater-RJ, a prefeitura local e Associação de Produtores e Moradores de Boa Esperança. A Emater-RJ orienta a Associação de Produtores de Boa Esperança quanto à adoção de técnicas de irrigação para garantir a boa alimentação do gado no período da seca, que coincide com o inverno, e assim evitar queda acentuada na produção, como costuma ocorrer.

Apesar do número reduzido de implantações de CCP's no país, é interessante ressaltar que esta experiência busca integrar vários agentes econômicos na promoção do desenvolvimento social local, buscando aproveitar suas potencialidades produtivas. Para o Projeto ganhar escala é necessário que as empresas concessionárias de energia elétrica e cooperativas de eletrificação rural atuem de modo estratégico, fomentando seu mercado consumidor e, por extensão, aumentando a renda da população alvo

No decorrer do ano de 2003 observou-se a implementação de um novo modelo do setor elétrico nacional, com uma mudança de rumo especialmente no tocante à participação da iniciativa privada, no planejamento e na universalização de acesso, entre outros pontos. Mais ainda, com a Resolução no 223/2003 da ANEEL que dispunha sobre a eletrificação rural, entre outros, vislumbrava a universalização do serviço de energia elétrica até 2015, buscando, de fato, proporcionar ao imenso contingente de brasileiros o exercício dos direitos mais básicos de cidadania que até então não foram contemplados por Programas de Eletrificação anteriores.

No final do ano de 2003 o governo federal lançou o Programa de universalização “Luz para Todos” que tem o objetivo de levar energia elétrica para mais de 12 milhões de pessoas até 2008. O Programa, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia com participação da Eletrobrás e de suas empresas controladas.

O Programa “Luz para Todos” buscava antecipar em sete anos a universalização da energia elétrica no país, seguindo as metas do cronograma de atendimento. Pela legislação anterior, as concessionárias de energia teriam prazo até dezembro de 2015 para eletrificar todos os domicílios sem acesso à energia no Brasil.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), o programa estava orçado em R\$ 7 bilhões, sendo realizado em parceria com as distribuidoras de energia e os governos estaduais. O governo federal destinaria 5,3 bilhões ao programa. O restante será partilhado entre governos estaduais e agentes do setor. Os recursos federais virão de fundos setoriais de energia - a Conta de Desenvolvimento Energético⁴⁸ (CDE) e a Reserva Geral de Reversão (RGR).

No Brasil anteriormente à Lei 10.438 de 26/04/2002, conhecida como Lei da Universalização, os consumidores participavam dos custos referentes às novas ligações ou eventual aumento de carga.

Essa legislação, que passou a ser conhecida como Lei da Universalização, se por um lado gerou expectativas positivas na sociedade, considerando que o processo de privatização das empresas concessionárias de distribuição de eletricidade foi marcado por intensos debates de natureza conceitual a respeito do papel do Estado, trouxe risco para o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão, principalmente para as empresas situadas nos estados das regiões norte e nordeste do país, caracterizados por baixa densidade populacional e grande dispersão dos domicílios rurais

Com o estabelecimento da obrigatoriedade de universalização do serviço público de energia elétrica, a partir da aprovação da Lei 10.438/02, posteriormente revista com a aprovação da Lei 10.762/03, e as subseqüentes metas de universalização definidas pelas concessionárias, negociadas e aprovadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, há de se considerar o impacto que o cumprimento da referida lei teria sobre os investimentos necessários à satisfação das metas, e por conseqüência, sobre os lucros das concessionárias do setor elétrico, haja vista que grande parte do mercado não atendido encontram-se na área rural onde os custos de atendimento tendem a ser elevados em função da dispersão das consumidoras e baixo perfil de consumo dos usuários.

Todo esse arranjo regulatório direciona a atuação das empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica para o cumprimento das normas legais, porém não admitindo desequilíbrio econômico-financeiro dos seus contratos de concessão. Nesse sentido, o uso de sistemas de geração descentralizada a exemplo de sistemas fotovoltaicos e eólicos pode ser considerado como alternativa à construção de redes de distribuição.

Como exemplo, claro e inserido no contexto dos projetos nacionais que implementaram sistemas individuais descentralizados está o Programa de Revitalização e Capacitação do PRODEEM – PRC/PRODEEM, que em edital para contratar consultores especialistas em monitoramento e avaliação de projetos governamentais com energia fotovoltaica, lançado em fevereiro de 2009, exige como produto relatórios contendo lista de condições meramente técnico-econômicas dos sistemas.

Para três Estados da Região Sudeste, o produto final requisitado foi o seguinte:

Produto 06: Relatório contendo os dados do monitoramento e levantamento de campo com identificação, avaliação da situação física, localização e conformidade da revitalização e/ou remoção dos sistemas fotovoltaicos do PRODEEM em operação nos Estados de Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo, conforme Convênio 012/2004/MME/FURNAS, de acordo com as orientações do “Planejamento do Monitoramento do PRC/PRODEEM para 2009”. (MME, 2009)

Em 2009, foi publicado no Manual de Operacionalização do Programa Luz para Todos, no qual há uma parte que se refere à metodologia, técnica, do PRC/PRODEEM e o insere no atual Programa, o que certamente é uma atitude otimizadora de recursos públicos, porém que ainda carece de metodologia que dê conta das interações socioculturais dos sujeitos envolvidos e na forma como essa tecnologia atende as demandas e é concebida pela comunidade.

Ainda em 2003, o Acórdão nº. 598/2003 – TCU, deliberando a respeito de sua avaliação sobre o PRODEEM, ao qual denominou Programa Energia das Pequenas Comunidades, estabeleceu providências a serem tomadas pelos governos, sendo um parágrafo do acórdão dedicado a participação das comunidades

[...] reveja o modelo do Programa, analisando alternativas de atuação diversas das atuais, que contribuam para melhor consecução de seus objetivos, bem como adotando formas de incorporar boas práticas, desenvolvidas pelos seus executores, tais como a maior participação da comunidade a ser beneficiada. (TCU, 2003).

Dentre outras exigências do TCU, não só em aspectos técnicos, como por exemplo, a indicação de que ocorra a integração com outros programas, promovendo o desenvolvimento das comunidades, a maioria, com exceção das estritamente técnicas, não têm sido levadas a cabo pelos Estados.

A questão central é se as dificuldades estão imbricadas no processo de elaboração dos projetos, no fato de as tecnologias que utilizam fontes alternativas de energia serem ainda incipientes, na falta de preparo do agente de implementação, ou nas próprias comunidades, que podem resistir à mudança devido as suas características culturais, sociais ou psicológicas e nesse sentido, se o desenvolvimento dos projetos de difusão de tecnologia tem criado condições para mudanças socioculturais das populações envolvidas.

Winner (1982), considera que as sociedades estabelecem diferentes *regimes tecnológicos* com dimensões e complexidades específicas, decorrentes de instrumentos, técnicas e relações sociais adequadas para explorar fontes de energia disponíveis, pois para cada regime sociotécnico, incluindo os de energia, é sempre útil considerar o ‘contrato social’ sob o qual o regime é estabelecido e justificado. Aqueles que se juntam para formar uma comunidade exprimem cuidadosamente as condições de exercício do poder, autoridade, justiça, direitos do cidadão e a maneira pela qual as decisões serão tomadas e administradas (WINNER, 1982).

O conceito de *regime tecnológico* de Winner (1982) pressupõe a tecnologia como construção social e privilegia os aspectos políticos nos arranjos sociotécnicos, embora esta dimensão seja também influenciada pelas dimensões física (base técnica), organizacional e institucional (contexto social) dos sistemas.

A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

A estimativa do consumo de energia elétrica, em projetos de eletrificação, está entre os aspectos técnicos de maior importância, afirma Rosa (2007) em seu trabalho sobre eletrificação de comunidades isoladas no Brasil com sistemas baseados em fontes de energia renováveis, colocando a questão de “quanta eletricidade será demandada por uma pequena comunidade até então sem atendimento?”

A demanda rural por eletricidade é definida por uma série de fatores, todos incertos e interrelacionados. A renda familiar é o mais importante fator, é improvável que lares rurais

gastem mais do que 5% de seu orçamento com eletricidade. O custo desta também é relevante para traduzir as projeções de orçamento familiar em estimativas de consumo (ROSA, 2007).

Uma estratégia para análise do consumo residencial, frequentemente utilizada, é o detalhamento das “intenções de gastos residenciais” com eletricidade. Essa intenção pode ser alta para as primeiras poucas unidades de consumo, invariavelmente usadas para a iluminação. Todavia, as percepções quanto à confiabilidade e à qualidade do suprimento certamente afetarão as intenções de gastos: as famílias dificilmente comprarão eletricidade para ligar uma geladeira por apenas duas horas por dia. Em um ambiente de eletricidade não confiável e subsidiada, as projeções de consumo são, na melhor das hipóteses, grosseiras estimativas. (ROSA, 2007)

A questão da estimativa de consumo é ainda mais complexa por causa das premissas adotadas quanto à eficiência no uso final. Populações rurais, em princípio, preocupam-se mais em ter os serviços de eletricidade disponíveis do que com seus custos. Não optando, por exemplo, por lâmpada fluorescente, a qual pode equalizar o nível de iluminação com menor potência. Para as populações rurais, pode ser difícil arcar com o custo inicial, mesmo que isso leve a uma economia futura.

Cada unidade de consumo economizada é, pelo menos, uma unidade a menos gerada, investimentos em eficiência no uso final podem substituir investimentos na expansão da capacidade de geração. Assim, como as estimativas do consumo total da comunidade são decorrentes das projeções de consumo residencial, é importante ter em mente que o benefício efetivamente obtido pelo consumidor, para cada unidade de eletricidade consumida, será muito maior se for acompanhado por um esforço planejado de efficientização no uso final.

A complexidade verificada no momento de dimensionar um sistema individual nasce da problemática imposta pela existência de duas variáveis aleatórias: o recurso solar e a demanda. Quanto à previsão da disponibilidade de energia solar, ou eólica há avanços importantes, como a utilização de redes neurais pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – conforme Fiorin (2011), ao passo que em relação à demanda essa evolução não tem ocorrido, especialmente em termos de modelos de previsão no âmbito residencial rural. Toda a proposta de eletrificação rural no Brasil se embasa em uma previsão de demanda padronizada, para sistemas igualmente padronizados, com no máximo alguns cenários diferenciados com relação ao tipo de usos finais (BRASIL, 1994).

Segundo MORANTE e ZILLES (2004), em pesquisa realizada junto a comunidades isoladas que possuem sistemas fotovoltaicos domiciliares e em comunidades ligadas à rede de

distribuição de energia, no Brasil e Peru

[...] pode-se constatar que o comportamento do consumo de energia elétrica está sujeito à interação de diversos fatores que atuam de forma simultânea. Desta maneira, o consumo difere ao longo do tempo tanto na mesma família, quanto entre as famílias ou as comunidades. Em tal sentido os resultados exibem seu caráter aleatório o qual, desde nosso ponto de vista, reflete a atuação de um elenco de fatores.(MORANTE;ZILLES, 2004, p.3)

Os fatores de que falam os autores citados se constituem em elementos de ordem técnica, gerencial, psicológica, geográfica, demográfica, econômica e sociocultural; refletindo a tecnologia envolvida e sua difusão, a gestão dos sistemas no contexto da comunidade, as relações sociais e cultura estabelecidas pelos atores sociais – incluindo o agente implantador - o tipo de relevo, a paisagem, o clima e os acidentes geográficos que configuram o cenário e as influências externas sofridas, bem como a estrutura familiar com suas peculiaridades econômicas e socioculturais.

Este estudo considerou os aspectos envolvidos na configuração da demanda de energia em comunidades isoladas, entendendo que “qualquer estudo do comportamento da demanda de energia elétrica deve necessariamente centrar-se no microcosmo das famílias [...] pode-se ressaltar que os projetos de eletrificação com tecnologia fotovoltaica, ou com outro tipo de sistema individual, não podem desconsiderar esta importante questão” (MORANTE, 2004).

Em diversos instrumentos legais o governo federal se posiciona veementemente quanto ao acesso ao suprimento de energia elétrica para comunidades isoladas, sob pena de não se chegar a meta de universalização do acesso a energia, conforme Portaria no. 7 de 05 de abril de 2012

[...] a universalização do acesso à energia elétrica somente será concretizada, efetivamente, pelo alcance e atendimento a todas as comunidades brasileiras, por mais longínquas e de difícil acesso que sejam, [...] que é um imperativo de justiça social e um vetor de inclusão social e de desenvolvimento assegurar o suprimento de energia elétrica a todos os brasileiros; e a sustentabilidade do PRODEEM está contemplada no Manual de Operacionalização do Programa "LUZ PARA TODOS", para o período 2011 a 2014, o qual permite maior capilaridade em termos de cobertura do Território Nacional e, conseqüentemente, maior eficiência e efetividade às ações pertinentes[...] (BRASIL, 2012)

Portanto, um dos pontos importantes na implantação de um projeto de eletrificação, tanto quanto a consideração dos aspectos socioculturais das populações, é a acurácia na questão técnica que se refere à previsão de demanda energética de cada conjunto familiar, que deve considerar os elementos socioculturais e acompanhar as possíveis variações de consumo ao longo de um período de avaliação do projeto. (MORANTE, 2004)

MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Tem sido preocupação para os planejadores prever o comportamento da demanda de energia elétrica, diante da dinâmica imposta pela demanda e consumo energéticos e sua relação com a oferta de energia, historicamente. Nesse sentido, desenvolveu-se diversas ferramentas para estimar a demanda e relacionar seu comportamento com vários fatores, como, por exemplo, o preço e a temperatura, ou os efeitos da densidade urbana (MORANTE, 2004). Assim, também surgiram métodos de cálculo e algoritmos matemáticos para desenhar modelos de estimação da demanda ou efetuar simulações, e na medida em que os sistemas elétricos ficaram mais complexos, foi necessário desenvolver diversas ferramentas de gestão da demanda. Este aspecto adquiriu grande importância quando as decisões sobre condições de risco ou transmissão de energia foram se tornando mais sensíveis e urgentes.

Neste ponto as teorias probabilísticas de decisão e a teoria dos jogos foram de grande ajuda. No entanto, quando são levadas em consideração as condições vagas e não-específicas da formulação do ser humano por meio de seus objetivos, restrições e preferências, as teorias de decisão *fuzzy* se tornam relevantes (LIMA *et al.*, 2004).

No caso do Brasil, do ponto de vista institucional a previsão da demanda também se tornou um vetor fundamental para o planejamento energético. Neste caso, os modelos utilizados para calcular a expansão de sistemas de potência elétrica se agrupam em duas categorias. A primeira considera de forma simultânea a expansão, os programas de investimentos e a operação dos sistemas.

Dentro da diversidade de métodos existentes, cada país escolhe um ou alguns deles. Desse modo, na gestão do sistema elétrico brasileiro é utilizado o sistema de previsão PREVCAR, por meio do qual é possível fazer uma estimação mensal com horizonte de 12 meses, tanto da energia quanto da demanda na ponta e da demanda fora de ponta. Neste caso são utilizados quatro modelos univariados diferentes: ARIMA, Holt-Winters, Redes Neurais Artificiais e Lógica Fuzzy. Conforme descrito nos trabalhos de Morante (2004) e Teixeira

(2009). Infere-se que atualmente no setor energético, tanto nas avaliações e previsões quanto na gestão da demanda, também estão sendo aplicadas as Redes Neurais Artificiais e a Lógica Difusa de forma cada vez mais intensiva.

Modelos Econométricos

Modelos econométricos são métodos geralmente baseados em equações matemáticas de caráter estático. Por tal razão, quase não conseguem decompor qualitativamente o peso das influências de caráter sociocultural, políticas ou econômicas. Seu tratamento leva em consideração que estas variáveis se mantenham em condição inalterável. Embora exista este problema intrínseco, estes métodos de previsão não podem ser menosprezados, dado que contam com a vantagem de requerer menos dados e de possuir boa base teórica estatística.

Em princípio, as previsões resultantes desta metodologia levam em conta a hipótese de que, evidentemente, o futuro pode ser previsível mediante a análise dos dados quantificáveis do passado. Nas fases de crescimento nacional regular e contínuo, em que predomina a estabilidade dos preços, estes métodos apresentam suas vantagens. Porém, quando ocorrem bruscas mudanças estratégicas que modificam os padrões produtivos, financeiros e tecnológicos, tais como nos intervalos de recessão, estagnação ou inflação eles perdem sua eficiência e se tornam não-confiáveis.

Em geral, estes métodos de previsão baseiam-se na utilização dos dados do passado para realizar estimações estatísticas do comportamento da demanda. Estas previsões podem ser feitas utilizando-se a análise de regressão, em que alguns parâmetros, como a elasticidade energia-renda ou a elasticidade energia-preço, são estimados. Desta maneira, estes métodos procuram representar a demanda por meio de uma equação, e mesmo que essa equação expresse a demanda em função dos custos da energia e do nível da atividade econômica, modelos como este podem conduzir a uma sobre-estimação da demanda, pois a renda fica relacionada com o crescimento do PIB. Dado que a estimativa do PIB tem conexão com o crescimento econômico nacional, na verdade este indicador resulta em uma variável com alto grau de incerteza.

Os modelos econométricos têm diversas variantes resultantes das metodologias empregadas. Como exemplo, SANTOS CAIO (2002) menciona as seguintes:

- a) Metodologia de regressão linear simples

- b) Regressões que se tornam lineares por transformação
- c) Análise de tendência impactada
- d) Metodologia de análise de regressão linear múltipla

Modelos Técnico-Econômicos ou de Projeção de Usos finais

Embora as formulações analíticas sejam bastante simples, estes métodos são muito mais detalhados do que os econométricos, eles envolvem as externalidades energéticas e as mudanças nos níveis de serviço e tecnologia. Assim, é necessário classificar as diferentes atividades que formam a composição, ou seja, a estrutura da demanda de energia, em categorias homogêneas quanto às atividades econômicas e os usos finais da energia elétrica

Os modelos técnico-econômicos baseiam-se na identificação e representação numérica dos mecanismos fundamentais do desenvolvimento da demanda de energia. A base principal destes modelos é o levantamento de “cenários econômicos”, sendo que estes constituem “um conjunto de hipóteses que descrevem as características socioeconômicas, requerimentos de demanda de energia e estratégias de atendimento dessa demanda” (JANNUZZI & SWISHER, 1997: 51).

Esta metodologia fundamenta-se na hipótese de que o desenvolvimento de qualquer sistema energético deve ser compatível com a evolução da economia e da sociedade, com a finalidade de possibilitar uma análise que leve em consideração todos estes postulados, foram propostos diversos modelos, conforme SANTOS CAIO (2002) que são:

- a) Modelo de insumo-produto de Leontief
- b) Modelo de evolução da demanda energética (MEDEE/C)
- c) Modelo de requerimentos (IDEE)
- d) Modelo Message
- e) Modelo Markal

No trabalho de Teixeira (2009), são mencionados no âmbito dos modelos univariados de previsão de energia elétrica residencial, os de amortecimento exponencial, de Box & Jenkins, combinações lineares e geométricas de métodos de previsão. A proposta defendida pelo autor é a de combinação geométrica de três métodos devido à contribuição de cada método individual nos métodos combinados, cada um fornece informações distintas acerca da

dinâmica temporal da série analisada. Assim, cada método individual funciona como uma componente do modelo geométrico combinado responsável por fornecer diferentes informações da série de tempo:

- Modelo ARIMA: fornece informações acerca da estrutura de dependência linear simples e sazonal presentes na série;
- Modelo Holt-Winters: contribui com informações atinentes à variabilidade e sazonalidade temporal; e
- Modelo de Redes Neurais Artificiais: fornece informações contidas na não-linearidade da série.

No trabalho de Biondi Neto *et al* (2008) é considerada a temperatura como um dos *outputs* do modelo baseado em Análise Envoltória de Dados, relacionando de forma não paramétrica consumo de energia elétrica, temperatura e renda com o objetivo medir a eficiência na transformação do consumo de energia elétrica em rendimentos da população para alguns municípios do estado do Rio de Janeiro. É possível que a variável temperatura mencionada por Biondi *et al* (2008) possa revelar a diferença bastante marcante entre os consumos de eletricidade de comunidades que utilizam sistemas fotovoltaicos brasileiras e peruanas, já que as peruanas localizam-se em áreas de grande altitude e frio intenso, onde as necessidades de refrigeração e também a renda da população estão a níveis mais baixos que os encontrados nas comunidades brasileiras abastecidas com o mesmo tipo de sistema (MORANTE, 2004). Ainda assim, o foco do trabalho de Biondi Neto *et al* (2008) foi a inclusão de variáveis explicativas de caráter macro, diferente de Morante (2008) e do objetivo desse estudo.

Os modelos apresentados destinam-se ao contexto de estudos acerca do setor de energia como um todo e ao setor residencial, muitas pesquisas são realizadas também com intuito de dimensionar a demanda industrial e pública, porém não encontra-se referências a métodos de previsão de demanda de energia elétrica aplicáveis ao contexto de comunidades isoladas, tão pouco a projetos que visem o aproveitamento de fontes de energia alternativas, como o recurso solar em sua transformação fotovoltaica, eólica ou biomassa, focos deste trabalho e imprescindíveis para o sucesso na implementação desse tipo de aproveitamento energético.

O trabalho de Morante (2004) delinea o comportamento do consumo de energia elétrica em comunidades isoladas do Brasil e Peru, eletrificadas com SFD e pela rede de distribuição convencional, apresentando como descrito por uma função de Distribuição Gama, e embora o autor considere um espectro muito amplo de variáveis que podem estar associadas à demanda e consumo de energia, não propõe um modelo de previsão de demanda de energia, sob a alegação de que o caráter da demanda é aleatório, conforme os estudos realizados em comunidades isoladas brasileiras e peruanas, e deve ser acompanhado no microcosmo de cada família. Por outro lado, o mesmo autor aponta para a possibilidade de se prever demanda energética por meio de redes neurais e *lógica fuzzy*.

REDES NEURAIS

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são modelos computacionais biologicamente inspirados formados por elementos de processamento denominados neurônios artificiais, e conexões entre estes, constituídas por coeficientes ponderadores representando as sinapses dos neurônios biológicos (HAYKIN, 2001).

As Redes neurais têm sido utilizadas em diversas aplicações, algumas delas, tradicionalmente, dominadas por outras técnicas, e apresentado bons resultados. Pedrollo (2006) modelou variáveis hidrológicas, Paschoallino *et al.* (2007) realizou estudo sobre previsão de demanda de energia elétrica para o Brasil, utilizando Redes Neurais de Elman, Catalão (2007) aplicou o método na previsão de preços de energia elétrica, Lugon *et al.* (2011) aplicou à modelagem de problemas inversos envolvendo adsorção gás-líquido, transferência de massa, transferência radiativa e simultânea de calor e massa. Mais recentemente FIORIN *et al.* (2011) publicou estudos sobre previsão de disponibilidade de recursos solares utilizando redes neurais, a qual vinha sendo tratada por meio de processos paramétricos no INPE⁶.

A estrutura de uma rede neural é constituída por conjuntos de pontos ou nós, interligados por linhas de conexão, como em um grafo direcionado. Cada nó receptivo é um elemento de processamento, o neurônio artificial, com funções internas de transformação, capaz de receber qualquer número de conexões de entrada e de saída. As Redes Neurais

⁶ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Artificiais têm como propriedades fundamentais a capacidade de memorização, aprendizado e generalização.

Um neurônio é uma unidade de processamento de informação que é fundamental para a operação de uma rede neural. A figura 2.5.1 mostra o modelo de um neurônio que forma a base para o projeto de redes neurais artificiais.

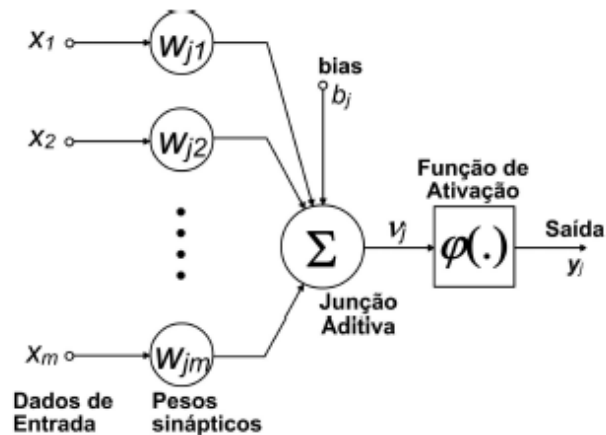


Figura 2-1 Modelo não-linear de um neurônio, utilizado em MPL. Fonte: adaptada (HAYKIN, 2001)

Nas redes MLP, descritas a seguir, o somatório ponderado dos valores das entradas é combinado com outro valor ajustável, denominado bias (b_j), que tem a função de expandir ou reduzir a entrada líquida da função de ativação para ajustar o chamado nível de atividade interna do neurônio (v_j). A saída do neurônio (y_j) é produzida pela aplicação da função de ativação ($\varphi(\cdot)$) ao nível de atividade interna do neurônio. Estas relações são descritas por

$$v_j = \sum_{i=1}^m w_{ji} x_i + b_j \quad (\text{eq. 2.1})$$

$$y_i = \varphi(v_j) \quad (\text{eq. 2.2})$$

Quanto a topologia as RNAs do tipo Perceptrons de Múltiplas Camadas (Multilayer Perceptron (MLP) são redes que apresentam uma ou mais camadas de neurônios intermediários, ou ocultos. As redes MLP são muito utilizadas por apresentarem maior simplicidade e facilidade de implementação. A figura 2.2 exemplifica uma MLP com três

entradas, duas camadas intermediárias com quatro neurônios e uma camada de saída com um neurônio, produzindo uma única informação de saída.

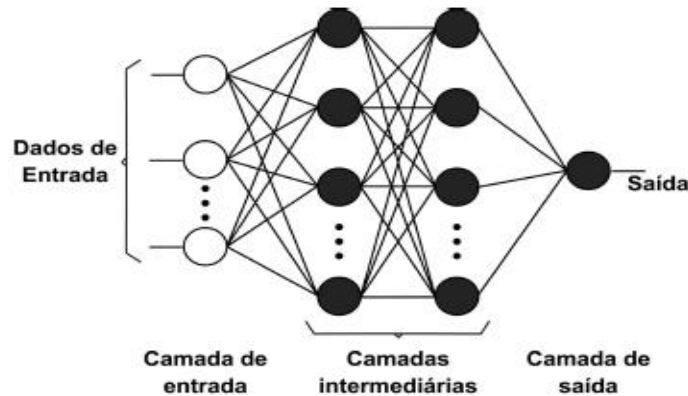


Figura 2-2 Representação de uma rede Multi layer perception, com duas camadas ocultas.

Há alguns tipos de função de ativação como a limiar, linear e a função sigmóide, descrita na equação 2.3 cujo gráfico tem a forma de S, esta é a função mais utilizada na construção de redes neurais artificiais. Ela é definida como uma função estritamente crescente que exibe um balanceamento adequado entre comportamento linear e não-linear, se estende somente de 0 a 1 e algumas vezes é desejável que a função de ativação se estenda de -1 a 1, assumindo neste caso uma forma anti-simétrica em relação à origem, chamada tangente hiperbólica.

$$\varphi(v_j) = \frac{1}{1 + e^{(-\alpha \cdot v_j)}} \quad (\text{eq. 2.3})$$

O algoritmo *backpropagation* (retropropagação) é o mais comumente empregado no treinamento supervisionado de redes MLP. Em uma primeira fase, ocorre a propagação do sinal funcional (*feedforward*) mantendo-se os pesos fixos de modo a gerar um valor de saída a partir das entradas fornecidas à RNA. Na segunda fase, as saídas são comparadas com os valores desejados, gerando um sinal de erro, que se propaga da saída para a entrada, ajustando-se os pesos de forma a minimizar o erro (retropropagação do erro, *backpropagation*).

O ajuste dos pesos é baseado no método do gradiente para minimização do erro, isto é, a correção é aplicada a cada peso do neurônio. O algoritmo possibilita também o ajuste dos

pesos das camadas internas da rede. O ajuste dos pesos sinápticos pode ser realizado a cada iteração (treinamento sequencial) ou após a apresentação à rede de todos os exemplos do conjunto de dados de treinamento (treinamento por lote).

O algoritmo de redução do gradiente por lote (*Batch Gradient Descent*) ajusta os pesos e desvios em direção ao gradiente negativo da função custo. O algoritmo *Batch Gradient Descent with Momentum* apresenta frequentemente melhores resultados ao introduzir o conceito de momento, que leva em conta os ajustes anteriores nos pesos, observando a recente tendência de mudanças na superfície de erro, desprezando pequenas sinuosidades na superfície de erro. Tal comportamento evita que o algoritmo fique preso a um pequeno mínimo local da superfície de erro, podendo mais facilmente chegar ao mínimo global (FIORIN, 2011). São ditos algoritmos de alto desempenho aqueles que usam técnicas heurísticas baseadas na redução do gradiente (*variable learning rate backpropagation* RProp) ou baseadas em padrões de otimização numérica como Gradiente Conjugado, Quase-Newton, e *Levenberg-Marquardt*.

O Gradiente Descendente utiliza apenas a derivada de primeira ordem para buscar o alvo, mínimo erro. O gradiente é um vetor no ponto x que indica (localmente) a direção na qual a função $f(x)$ mais cresce e é ortogonal (perpendicular) à tangente do contorno de $f(x)$ no ponto x . Na maximização utiliza-se diretamente o gradiente e o algoritmo é denominado de "gradiente ascendente", enquanto que na minimização usa-se a negativa do gradiente, por isso o nome "gradiente descendente". Portanto no método do gradiente descendente a direção de busca é igual a negativa do gradiente

O gradiente conjugado é também de primeira ordem, combinando (linearmente) o gradiente da iteração atual com o da anterior definindo a nova direção de busca, daí o nome gradiente conjugado. Sua taxa de convergência é quadrática e tem um desempenho superior ao método do gradiente descendente sem aumentar significativamente o esforço computacional. Maiores detalhes sobre os métodos dos gradientes descendentes e conjugado podem ser observados em Kalid (2012).

No treinamento por lote, a apresentação de todos os exemplos de treinamento à RNA é denominada época. Durante cada época, os pesos mantêm-se constantes e define-se uma nova função de custo como a média das funções de custo para cada exemplo. Devido ao cálculo de diferentes gradientes da nova função de custo para cada exemplo, ao final da época ajusta-se os pesos, de acordo com a média dos ajustes calculados para cada exemplo.

A memorização depende do poder de manutenção de um aprendizado obtido no treinamento implicando em determinados pesos sinápticos, que são valores ajustados durante a aprendizagem da rede, possuindo duas dimensões, sendo uma delas a memória temporária, constituída pelo estado atual do sistema como resposta a estímulos recém submetidos, e a outra a memória duradoura, constituída pelos pesos sinápticos resultantes de aprendizado.

A capacidade de aprendizado por meio de treinamento se configura como a mais notável das características nas redes neurais artificiais, proporcionando a adaptabilidade para produzir respostas adequadas a diversos problemas submetidos.

A generalização é a capacidade que uma rede neural artificial tem de ser aplicada a problemas diferentes daqueles utilizados no treinamento, desde que pertencentes ao mesmo domínio, após ter sido treinada para reproduzir um fenômeno a partir de uma amostra. Mais detalhes acerca dos métodos das redes neurais artificiais podem ser verificados em HAYKIN (2001) e em BRAGA *et al.* (2007).

A motivação para aplicação de redes neurais em determinado problema reside na capacidade de generalização, auto-organização, e processamento temporal que proporciona a resolução de inúmeros problemas a diferentes complexidades.

A aplicação de redes neurais na previsão de demanda de energia elétrica foi implementada para os setores industriais e residenciais urbanos, e de acordo com Teixeira (2009), a combinação de modelos tradicionais e de redes neurais implica em resultados mais precisos, como os apresentados em sua pesquisa sobre métodos de previsão de demanda de energia elétrica residencial urbana; porém não há registros de trabalhos que possam subsidiar políticas públicas voltadas à eletrificação rural fazendo uso de redes neurais, ou mesmo de métodos tradicionais como regressão.

3 ARTIGO CIENTÍFICO

PREVISÃO DE DEMANDA ENERGÉTICA POR REGRESSÃO LINEAR E REDES NEURAIS

RESUMO

Políticas públicas subsidiam implantação de sistemas individuais de geração de energia no atendimento a populações isoladas, e a demanda energética é tratada como uma constante, gerando ineficiência dos sistemas. Neste trabalho, desenvolve-se estudo sobre previsão de demanda energética por regressão linear e redes neurais. O estudo aponta para as redes neurais como método mais eficiente, pois um conjunto de oito variáveis de entrada explicaram 99% do consumo de energia elétrica, considerando uma amostra formada por famílias rurais e urbanas. Redes neurais podem ser utilizadas com alto grau de eficiência para previsão de demanda energética residencial, no meio rural e urbano.

Palavras-chave: Comunidades Isoladas. Demanda Energética. Redes Neurais. Regressão Linear.

Abstract

Implementation of public policies subsidize individual systems of energy generation in serving isolated populations, and energy demand is treated as a constant, inefficiency of the systems. In this work, to study on energy demand forecast by linear regression and neural networks. The study points to the neural networks as a more efficient method, because a set of eight input variables explained 99% of electricity consumption, whereas a sample made up of rural and urban families. Neural networks can be used with high efficiency for residential energy demand forecasting, in rural and urban areas.

Keywords: Isolated Communities. Energy Demand. Neural Networks. Linear Regression.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de energia elétrica no meio rural é um importante vetor de desenvolvimento. A partir desse recurso, é possível favorecer a irrigação, automatizar processos, beneficiar produtos e permitir, em alguns casos, atividades produtivas no período noturno. Ocorre que, no Brasil, justamente esse setor apresenta restrições no tocante ao fornecimento de eletricidade.

O modelo adotado para o setor elétrico brasileiro contribuiu para o êxodo rural, quando essa população passa a ocupar os centros urbanos, levando consigo não só a demanda por energia elétrica, mas também todas as demais associadas a uma comunidade, tais como: educação, moradia, saúde e saneamento (CARVALHO & CRAVEIRO, 2006).

O serviço de distribuição de energia elétrica é considerado essencial pela Constituição Federal. Embora não expressa na Lei Maior, da leitura do § 1º do artigo 9º, que trata do direito de greve, vê-se a remissão à legislação infraconstitucional quanto à competência para definir os serviços ou atividades essenciais. A partir da promulgação da lei 7.783, de 28 de junho de 1989, tal definição se tornou imperativo legal. Em seu artigo 10º, inciso I, assim está definido:

“Artigo 10 - São considerados serviços ou atividades essenciais:
I - tratamento e abastecimento de água; produção e distribuição de energia elétrica, gás e combustíveis;”

A Constituição Federal de 1988 estabelece, ainda, em seu artigo 1º, incisos II e III, a cidadania e a dignidade da pessoa humana como fundamentos da República Federativa do Brasil. Os direitos de cidadania ali previstos são garantidos a todos, sem distinção, sendo pressupostos da atividade estatal na consecução de seus objetivos. Ao estabelecer o direito de todos os cidadãos brasileiros o acesso gratuito ao serviço público de eletricidade, a Lei 10.438, de 26 de abril de 2003, encontra abrigo perfeito no texto constitucional. A Resolução 233 da ANEEL, de abril de 2003, estabeleceu metas de atendimento para a consecução da universalização do acesso à energia elétrica, metas a serem alcançadas até o ano de 2015, em alguns casos.

A partir do lançamento do Programa Luz para Todos, em novembro de 2003, cujo objetivo é levar o acesso à energia elétrica gratuita à população rural, o Governo Federal e as concessionárias de energia devem instalar sistemas que atendam à demanda energética das populações rurais, o que viabilizou muitos empreendimentos, tanto via rede de distribuição elétrica, quanto por meio de sistemas isolados. Com a nova etapa do Programa Luz para Todos, definida de 2011 a 2014, pela Portaria nº. 628 de 03 de novembro de 2011, muitas outras famílias devem ser beneficiadas com acesso à energia elétrica, de forma que novamente impõe-se a questão da demanda em sistemas de geração com fontes alternativas, adequados para locais onde a rede de distribuição elétrica torna-se inviável econômica, geográfica, ou ambientalmente.

O Programa LpT, segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), cumpriu a meta de levar energia a dois milhões de famílias rurais, em maio de 2009, o que equivale a, aproximadamente, dez milhões de pessoas dispostas de energia elétrica e da esperança com relação ao desenvolvimento que esta energia pode proporcionar. Segundo Censo 2000 (IBGE, 2001), este era o número de domicílios no país sem acesso à energia elétrica, e serviu de parâmetro para a meta do Governo Federal, entretanto foi identificado um aumento de quase um milhão de domicílios no decorrer das execuções de obras do LpT.

Os números do Censo 2010 não refletem as afirmações do MME, posto que o Censo

2000 registrou dois milhões de domicílios sem energia e o Censo 2010 registra quase 730.000 famílias ainda sem acesso à esse serviço, verifica-se assim, uma discrepância entre os números de atendimento referidos pelo MME e IBGE, considerando que o número a ser atendido pelo LpT até 2010 era de 2.965.908 domicílios, número maior do que o apontado pelo Censo 2000, mas que ainda não contemplou as 728.512 residências sem atendimento contadas pelo IBGE no Censo 2010.







De fato, até o momento do fechamento do Censo 2010, o Brasil apresenta altas taxas de exclusão energética e sofre o impacto de social dessa exclusão, como o êxodo rural e conseqüente perda de produção agrícola. Por outro lado, as taxas migratórias podem ter sido minimizadas também pelos resultados do LpT até 2010, pois a taxa de crescimento do êxodo rural baixou de 1,31% para 0,65%, nos últimos dez anos e uma onda migratória inversa se configurou, trazendo novamente para áreas rurais noventa e seis mil famílias, possivelmente descrentes da vida nas cidades e voltando a sua terra e ao que sabem fazer, em função da perspectiva de melhor condição de vida proporcionada, especialmente, pela energia elétrica.

Ainda assim, o número de famílias sem acesso à energia elétrica é bastante alto, em todas as regiões do país, conforme Figura 3-1.

Tabela 3-1 IBGE , Sinopse do Censo demográfico 2010.(adaptada)

Resultados Preliminares do Universo do Censo Demográfico 2010

Tabela 13 - Domicílios particulares permanentes, por existência de energia elétrica, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação - 2010

Região	Grandes Regiões e Unidades da Federação	Domicílios particulares permanentes	Existência de energia elétrica Total	Existência de energia elétrica De companhia distribuidora	Existência de energia elétrica De outra fonte	Existência de energia elétrica Não tinham
	Brasil	57.324.185	56.595.007	56.044.395	550.612	728.512
	Região Norte	3.975.533	3.724.295	3.547.426	176.869	251.207
	Região Nordeste	14.922.901	14.583.662	14.460.942	122.720	339.087
	Região Sudeste	25.199.799	25.133.234	24.937.720	195.514	66.211
	Região Sul	8.891.279	8.859.224	8.829.870	29.354	31.979
	Região Centro-Oeste	4.334.673	4.294.592	4.268.437	26.155	40.028

São alarmantes as diferenças de acesso à energia elétrica entre as Regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste se comparadas às Regiões Norte e Nordeste, todavia os mais de sessenta e seis mil domicílios que não contam com energia elétrica na Região Sudeste, podem representar mais de trezentas mil pessoas no escuro, sem possibilidades de comunicação de massa e refrigeração, população de uma região rica, mas que também reflete as desigualdades sociais notórias no país.

Nas últimas décadas, a privatização de parte do setor elétrico brasileiro acentuou a exclusão energética, pois a eletrificação para o meio rural, em geral, esbarra em aspectos financeiros, como a baixa densidade da carga, ocasionada pela dispersão das instalações, colaborando para o afastamento do investidor privado (WEITZEL *et al.*, 2006). Assim, compete ao poder público arcar com tais investimentos assumindo um papel social importante, não só absorvendo o ônus dos investimentos iniciais, mas também concedendo subsídios tarifários às comunidades atendidas. Ocorre que tais recursos, via de regra, são mantidos por meio de arrecadação tributária e, ainda que indiretamente, são repassados aos demais contribuintes (NASCIMENTO *et al.*, 2003; NASCIMENTO *et al.*, 2005), assim a

otimização na alocação desses recursos torna-se imprescindível, o que passa inerentemente pelo dimensionamento da demanda.

A previsão de demanda de energia elétrica é de fundamental importância para todo setor elétrico desde o momento da contratação da energia até a distribuição da mesma, no sentido de garantir que o sistema de distribuição trabalhe dentro dos limites contratados, evitando assim pesadas multas. Nestes contratos, o erro médio das previsões deve estar abaixo da tolerância prevista em torno de 5% (RUAS *et al*, 2007) . Por outro lado, no atendimento a comunidades isoladas é preciso satisfazer a demanda energética das famílias, atualmente por força de lei, de forma intermitente, ou corre-se o risco de perder credibilidade junto à população, de os investimentos tornarem-se ineficazes e ao mesmo tempo não superestimar a demanda sob pena de perda de eficiência em sistemas individuais.

A busca de métodos, baseados em modelos, para a previsão de curto, médio e longo prazo, passou a despertar especial interesse, tanto de gestores quanto de pesquisadores nas mais diversas áreas, tais como economia, marketing, finanças e engenharia. Os modelos tradicionais de previsão – baseados em ferramentas estatísticas – ainda hoje são amplamente usados. Entretanto, devido ao acelerado avanço tecnológico observado nas duas últimas décadas, as pesquisas passaram a ser direcionadas para o uso de ferramentas mais modernas (e talvez mais eficientes) para desempenhar a tarefa de fazer previsões.

No trabalho de Carpinteiro e Reis (2004), para a estimativa de demanda de energia elétrica, foi proposto o uso de redes auto-organizáveis em um modelo de estrutura hierárquica. Os autores mencionam que a demanda se configura de forma complexa, sendo necessárias previsões cada vez mais precisas. A relação entre a carga e seus fatores exógenos tem caráter complexo e não-linear, o que torna estas previsões difíceis de serem modeladas por meio de técnicas convencionais, tais como as séries temporais e a regressão linear (CARPINTEIRO; REIS, 2004).

Ao se estudar a demanda e o consumo de energia elétrica algumas particularidades se manifestam, essencialmente, com relação ao tamanho dos sistemas utilizados na produção dessa energia. No que se refere às redes de distribuição de energia elétrica, diversos métodos foram desenvolvidos para prever demanda. Por outro lado, no âmbito da tecnologia solar fotovoltaica, de outros sistemas individuais, e na literatura referente à eletrificação rural, esta é uma questão não resolvida, o que implica em se continuar implantando sistemas projetados a partir de uma demanda padronizada e constante, e assim correndo-se o risco de subdimensionar sistemas, e até mesmo superdimensioná-los conforme mostram estudos em comunidades tradicionais (MORANTE, 2004).

Entendendo a demanda como uma variável e buscando métodos de previsão mais adequados poderá se estabelecer uma melhor alocação de recursos públicos e qualidade de vida para as comunidades, bem como a sustentabilidade dos programas de eletrificação rural.

O propósito deste estudo é avaliar se os modelos baseados em redes neurais artificiais podem ser mais eficientes que os tradicionais, fundamentados em métodos paramétricos, obtidos por regressão em séries temporais na previsão de demanda de energia elétrica, no contexto de comunidades rurais, considerando a teia de variáveis que podem estar associadas a ela. Neste artigo, a análise se dará tendo como amostra dados de comunidades do Vale do Ribeira – SP, Pedra Branca (PE) e Vera Cruz (PA), da comunidade da Praia Vermelha, Ilha Grande – RJ e uma amostra de quinze domicílios urbanos, com fim de avaliar a capacidade de generalização dos modelos.

MATERIAL E MÉTODO

A pesquisa foi iniciada a partir de revisão de literatura acerca da tecnologia solar fotovoltaica, especialmente em suas aplicações de caráter social, e nesse sentido teve como foco programas vinculados a políticas públicas de eletrificação rural. No percurso do estudo, foi percebida a problemática referente à demanda de energia elétrica em comunidades isoladas, as variações que esta demanda pode apresentar, e o insucesso que pode impor aos programas quando é tratada como constante no planejamento da eletrificação rural. A partir desta constatação a pesquisa passou a debruçar-se sobre a questão da demanda energética em comunidades isoladas e formas de se estabelecer um modelo de previsão adequado ao espectro de elementos envolvidos na demanda e consumo de energia elétrica, para isso propõe-se uma análise comparativa entre processos de Regressão Linear Múltipla e Redes Neurais.

A hipótese inicial era a de que o número de cômodos na residência, nível de contato com o meio urbano, renda familiar, existência ou não de renda proveniente de atividade sazonal, escolaridade, número de adultos e número de crianças, bem como o tipo de sistema elétrico seriam fatores que impactariam o consumo de energia elétrica de famílias inseridas em contextos isolados do meio urbano, observando as indicações do trabalho de MORANTE (2004), e assim, estas formariam o conjunto de variáveis previsoras para modelos de regressão, bem como dados de entrada em se tratando de redes neurais.

Os dados acerca das comunidades do Vale do Ribeira - SP, Pedra Branca - PE e Vera Cruz - PA, todas contando com sistemas fotovoltaicos domiciliares, foram coletados a partir do trabalho de MORANTE (2004). As informações sobre a comunidade da Praia Vermelha - RJ, ligada à rede de distribuição de energia por meio de cabo submerso, fazem parte dos resultados da pesquisa de campo realizada no percurso deste estudo. Posteriormente, foram coletados também as mesmas informações sobre famílias urbanas, numa amostra aleatória de 15 famílias.

Os dados passaram por processo de normalização pelo método da faixa (apêndice) para que variáveis com ordens de grandeza diferentes não impusessem maior, ou menor influência do que outras sobre o modelo, como seria o caso da renda familiar se comparada ao número de membros da família. A opção foi a da normalização através do método da faixa, que tem o objetivo de suprimir o problema de paralisia neural (HAYKIN, 2001). Assim, os dados de entrada são mapeados no intervalo [-1, 1].

Em princípio, foi estudada a correlação linear, por meio do coeficiente linear de Pearson (apêndice), entre as oito variáveis independentes constituintes da hipótese inicial, mais a variável dependente - consumo médio de energia familiar mensal. Quando a correlação entre duas variáveis é alta, presume-se que, mesmo conjuntamente, ocorra multicolinearidade entre variáveis, o que pode fazer com que o acréscimo dessas variáveis ao modelo de regressão não seja significativamente diferente de zero em termos de contribuição para o modelo. Estas avaliações podem ser confirmadas pela razão t , analisando cada variável independente com relação ao consumo de energia. Nesse sentido, comparou-se a correlação, pelo valor de R , com a estatística t e seu respectivo valor P , decidindo pela permanência, ou não, da variável independente no conjunto de variáveis previsoras do consumo médio familiar, no modelo de regressão. Para estas análises foram utilizados o pacote estatístico SPSS - IBM e o suplemento de análise de dados do MS Excel.

O modelo de regressão linear múltipla construído a partir do conjunto das oito variáveis hipoteticamente previsoras foi comparado a modelos em que se retirava variáveis pelos critérios de multicolinearidade e significância, verificando a eficiência do modelo na estimação do consumo de energia pelo coeficiente de determinação, R^2 .

Num segundo momento, os mesmos dados foram processados nos softwares MatLab e SPSS, utilizando suas ferramentas para redes neurais, o que possibilitou a comparação entre os dois métodos quanto sua eficiência na previsão de demanda energética por família. Diversas configurações de rede e parâmetros de treinamento foram testados com objetivo de otimizar a função de erro nas saídas da rede - consumo médio por família e seu desvio padrão. As redes que apresentaram os melhores desempenhos são descritas na sessão de resultados, assim como os modelos de regressão.

A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

A complexidade verificada no momento de dimensionar um sistema individual nasce da problemática imposta pela existência de duas variáveis aleatórias: o recurso solar e a demanda. Quanto à previsão da disponibilidade de energia solar, ou eólica há avanços importantes, ao passo que em relação à demanda essa evolução não tem ocorrido, especialmente em termos de modelos de previsão no âmbito residencial rural. Toda a proposta de eletrificação rural no Brasil se embasa em uma previsão de demanda padronizada.

Segundo MORANTE e ZILLES (2004), em pesquisa realizada junto a comunidades isoladas que possuem sistemas fotovoltaicos domiciliares e em comunidades ligadas à rede de distribuição de energia, no Brasil e Peru

[...] pode-se constatar que o comportamento do consumo de energia elétrica está sujeito à interação de diversos fatores que atuam de forma simultânea. Desta maneira, o consumo difere ao longo do tempo tanto na mesma família, quanto entre as famílias ou as comunidades. Em tal sentido os resultados exibem seu caráter aleatório o qual, desde nosso ponto de vista, reflete a atuação de um elenco de fatores.(MORANTE;ZILLES, 2004, p.3)

Os fatores de que falam os autores citados se constituem em elementos de ordem técnica, gerencial, psicológica, geográfica, demográfica, econômica e sociocultural; refletindo a tecnologia envolvida e sua difusão, a gestão dos sistemas no contexto da comunidade, as relações sociais e cultura estabelecidas pelos atores sociais – incluindo o agente implantador - o tipo de relevo, a paisagem, o clima e os acidentes geográficos que configuram o cenário e as influências externas sofridas, bem como a estrutura familiar com suas peculiaridades econômicas e socioculturais.

Este estudo considerou os aspectos envolvidos na configuração da demanda de energia em comunidades isoladas, entendendo que “qualquer estudo do comportamento da demanda de energia elétrica deve necessariamente centrar-se no microcosmo das famílias [...] pode-se ressaltar que os projetos de eletrificação com tecnologia fotovoltaica, ou com outro tipo de sistema individual, não podem desconsiderar esta importante questão” (MORANTE, 2004, p.234).

POLÍTICAS PÚBLICAS

O maior programa de eletrificação rural a nível mundial, segundo o Ministério de Minas e Energia, em relatório parcial publicado em 2009, Luz para Todos – PLpT – foi instituído pelo Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003 e alterado pelo Decreto nº 6.442, de 25 de abril de 2008, e destinou-se a suprir, até o ano de 2010, a demanda de energia

elétrica de parcela da população do meio rural brasileiro que ainda não tinha acesso a esse serviço público. Na Resolução nº. 83 de 2004 ficam regulamentadas características dos sistemas individuais de geração com fontes intermitentes – SIGFI – no âmbito do LpT, e em 2009, foi publicado o Manual de Projetos Especiais, tratando dos SIGFI como segue

No âmbito do Programa “Luz Para Todos”, foram identificadas diversas situações em que o atendimento está condicionado à execução de projetos com características especiais, uma vez que as localidades a serem atendidas encontram-se distantes das redes de distribuição de energia elétrica existentes, de difícil acesso, especialmente para o transporte de materiais e equipamentos e normalmente com baixa densidade populacional. Desta forma, **torna-se imperativo o atendimento por meio de geração de energia elétrica descentralizada, utilizando fontes renováveis compatíveis com a realidade local**, (...) utilizando-se tecnologias amparadas pela legislação em vigor. Assim sendo, os Projetos Especiais, dizem respeito a projetos de eletrificação rural destinados ao atendimento das situações acima mencionadas, de **forma sustentável, priorizando a utilização de fontes renováveis e mitigando o impacto ambiental**. (MME, 2009, fl. 1 grifo do autor)

Uma nova etapa do PLpT foi instituída a partir do Decreto nº. 7520 de julho de 2011, para atender demandas ainda não contempladas em anos anteriores, especialmente, nas regiões Norte e Nordeste, onde encontram-se boa parte das populações inseridas no Plano Brasil sem Miséria, do Programa Territórios de Cidadania, e minorias sociais como indígenas, quilombolas, comunidades extrativistas e localizadas em áreas destinadas a empreendimentos do setor elétrico. A previsão é de que o novo PLpT estenda-se até 2014, e segundo seu manual de operacionalização,

O Programa “LUZ PARA TODOS” se integra ao Programa Territórios da Cidadania e ao Plano Brasil Sem Miséria implementados pelo Governo Federal, para assegurar que o esforço de eletrificação do campo resulte em incremento da produção agrícola, proporcionando o crescimento da demanda por energia elétrica, o aumento de renda e a inclusão social da população beneficiada. (MME, 2011)

Nesse sentido, os sistemas fotovoltaicos individuais, eólicos, ou os que se utilizem de biomassa continuam sendo alternativas por sua característica modular, podendo atender até mesmo uma única residência isolada, como é o caso de muitos domicílios no Norte do país, e nesse ponto reside a relevância do adequado dimensionamento da demanda energética para a sustentabilidade dos projetos, inclusive para que atendam alguns critérios de elegibilidade do MME quanto aos SIGFI⁷, registrados no Manual de Projetos Especiais (MME, 2009), como

5.1.2 Que propiciem o atendimento de comunidades isoladas, preferencialmente da Amazônia legal, que não possam ser atendidas por extensão de rede elétrica convencional, devido a limitações financeiras, técnicas ou ambientais;

5.1.3 Que utilizem tecnologia que melhor aproveite os potenciais energéticos locais ou regionais;

⁷ Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente

5.1.5 Que disponibilizem a potência mínima capaz de atender às necessidades básicas dos domicílios (iluminação, comunicação e refrigeração), em face da análise de demanda energética da comunidade; (MME, 2009, grifo do autor).

O Manual de Projetos especiais, prevê então, que as necessidades inclusive de refrigeração sejam atendidas, o que requer cada vez mais precisão no dimensionamento da demanda, sob o ônus de que uma sub, ou superestimação de demanda possa levar a perda de eficiência e elevados custos com manutenção do equipamento. Se a demanda não for suprida, o agente executor do projeto não terá atendido aos critérios de elegibilidade impostos pelo MME, se por outro lado a demanda for superdimensionada podem ocorrer problemas de ordem técnica e difícil manutenção, especialmente com relação aos acumuladores de energia.

O Manual de Projetos Especiais estabelece alguns padrões mínimos, que não foram fruto de estudos de campo, mas de pesquisas em literatura e consulta pública a especialistas, gerando uma padronização que é refutada pelo trabalho de MORANTE (2004), quando trata de programas anteriores, os quais sempre consideraram a demanda como uma constante

(...) esta padronização não deveria desconsiderar as diferenças de necessidades quando se trata da eletrificação rural dispersa, em particular quando se utilizam sistemas fotovoltaicos. Na prática, essas diferenças têm por conseqüência a utilização dos equipamentos, em sua maioria, fora da condição de operação para a qual foram dimensionados. Muitos deles trabalharão com folga e outros, sobrecarregados. Em ambos os casos surgirão problemas de ordem técnica no sistema como um todo e, de maneira especial, no desempenho dos acumuladores de energia (baterias). (MORANTE, 2004).

Para evitar os problemas levantados por Morante (2004) é conveniente que se repensem os métodos utilizados para definição dos padrões mínimos iniciais para projetos de eletrificação rural, e que no curso de sua implementação se estabeleça um acompanhamento do consumo de energia, permitindo avaliações acerca da potência ideal para cada família, até que o consumo de energia atinja um ponto de maturação.

REDES NEURAIS

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são modelos computacionais biologicamente inspirados formados por elementos de processamento, os denominados neurônios artificiais, e conexões entre estes, constituídas por coeficientes ponderadores representando as sinapses dos neurônios biológicos (HAYKIN, 2001).

A estrutura de uma rede neural é constituída por conjuntos de pontos ou nós, interligados por linhas de conexão, como em um grafo direcionado. Cada nó receptivo é um elemento de processamento, o neurônio artificial, com funções internas de transformação, capaz de receber qualquer número de conexões de entrada e de saída (Figura 3-1). As Redes Neurais Artificiais tem como propriedades fundamentais a capacidade de memorização, aprendizado e generalização.

Um neurônio é uma unidade de processamento de informação que é fundamental para a operação de uma rede neural. A figura 3-1 mostra o modelo de um neurônio que forma a base para o projeto de redes neurais artificiais.

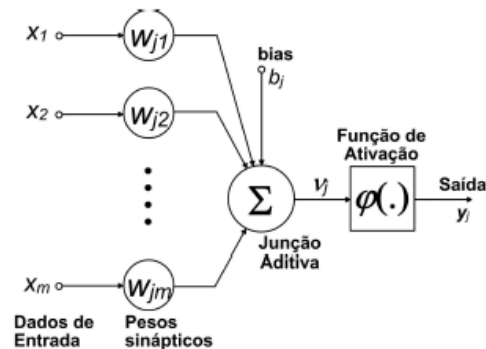


Figura 3-1 Modelo não-linear de um neurônio, utilizado em MLP. Fonte: adaptada (HAYKIN, 2001).

Onde, o conjunto de X_m são os dados de entrada da rede, W_{jm} o conjunto de sinapses, cada uma caracterizada por um peso ou força.; a junção aditiva fazendo o papel de um somador dos sinais de entrada, ponderados pelas respectivas sinapses do neurônio e uma função de ativação para restringir a amplitude da saída de um neurônio a um valor finito.

O modelo 3.5.1 inclui também um *bias* aplicado externamente, representado por b_k , que tem o efeito de aumentar ou diminuir a entrada líquida da função de ativação, dependendo se é positivo ou negativo, respectivamente.

Quanto a topologia as RNAs do tipo Perceptrons de Múltiplas Camadas (Multilayer Perceptron (MLP) são redes que apresentam uma ou mais camadas de neurônios intermediários, ou ocultos. As redes MLP são muito utilizadas por apresentarem maior simplicidade e facilidade de implementação. Na Fig. 3-2 temos um exemplo de MLP com três entradas, duas camadas intermediárias com quatro neurônios e uma camada de saída com um neurônio, produzindo uma única informação de saída.

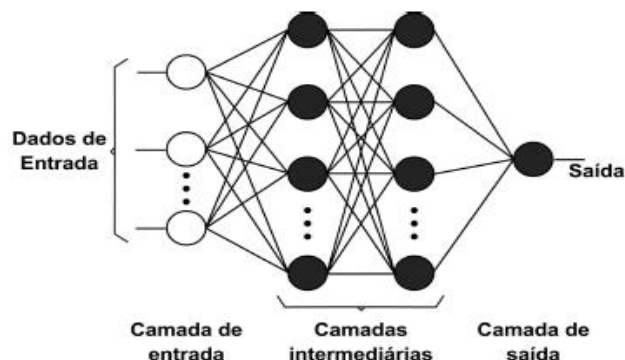


Figura 3-2 Representação de uma rede Multi layer perception, com duas camadas ocultas.

Há alguns tipos de função de ativação. A função sigmóide, cujo gráfico tem a forma de S, é a forma mais utilizada na construção de redes neurais artificiais. Ela é definida como uma função estritamente crescente que exibe um balanceamento adequado entre comportamento linear e não-linear. Esta função se estende somente de 0 a 1 e algumas vezes é desejável que a função de ativação se estenda de -1 a 1, assumindo neste caso uma forma anti-simétrica em relação à origem.

O algoritmo *backpropagation* (retropropagação) é o mais comumente empregado no treinamento supervisionado de redes MLP. Em uma primeira fase ocorre a propagação do

sinal funcional (*feedforward*) mantendo-se os pesos fixos de modo a gerar um valor de saída a partir das entradas fornecidas à RNA. Na segunda fase, as saídas são comparadas com os valores desejados, gerando um sinal de erro, que se propaga da saída para a entrada, ajustando-se os pesos de forma a minimizar o erro (retropropagação do erro, *backpropagation*).

O ajuste dos pesos é baseado no método do gradiente para minimização do erro, isto é, a correção é aplicada a cada peso do neurônio. O algoritmo possibilita também o ajuste dos pesos das camadas internas da rede. O ajuste dos pesos sinápticos pode ser realizado a cada iteração (treinamento sequencial) ou após a apresentação à rede de todos os exemplos do conjunto de dados de treinamento (treinamento por lote).

No treinamento por lote, a apresentação de todos os exemplos de treinamento à RNA é denominada época. Durante cada época, os pesos mantêm-se constantes e define-se uma nova função de custo como a média das funções de custo para cada exemplo. Devido ao cálculo de diferentes gradientes da nova função de custo para cada exemplo, ao final da época ajusta-se os pesos, de acordo com a média dos ajustes calculados para cada exemplo.

A memorização depende do poder de manutenção de um aprendizado obtido no treinamento implicando em determinados pesos sinápticos, que são valores ajustados durante a aprendizagem da rede, possuindo duas dimensões, sendo uma delas a memória temporária, constituída pelo estado atual do sistema como resposta a estímulos recém submetidos, e a outra a memória duradoura, constituída pelos pesos sinápticos resultantes de aprendizado.

A capacidade de aprendizado por meio de treinamento se configura como a mais notável das características nas redes neurais artificiais, proporcionando a adaptabilidade para produzir respostas adequadas a diversos problemas submetidos.

A generalização é a capacidade que uma rede neural artificial tem de ser aplicada a problemas diferentes daqueles utilizados no treinamento, desde que pertencentes ao mesmo domínio, após ter sido treinada para reproduzir um fenômeno a partir de uma amostra. Mais detalhes acerca dos métodos das redes neurais artificiais podem ser verificados em HAYKIN (2001) e em BRAGA *et al.* (2007).

As Redes neurais têm sido utilizadas em diversas aplicações, algumas delas, tradicionalmente, dominadas por outras técnicas, e apresentado bons resultados. PEDROLLO (2006) modelou variáveis hidrológicas, PASCHOALLINO *et al* (2007) realizou estudo sobre previsão de demanda de energia elétrica para o Brasil, utilizando Redes Neurais de Elman, CATALÃO (2007) utilizou o método na previsão de preços de energia elétrica, LUGON *et al.* (2011) aplicou à modelagem de problemas inversos envolvendo adsorção gás-líquido, transferência de massa, transferência radiativa e simultânea de calor e massa. Mais recentemente FIORIN *et al.* (2011) publicou estudos sobre previsão de disponibilidade de recursos solares utilizando redes neurais, a qual vinha sendo tratada por meio de processos paramétricos no INPE⁸.

A motivação para aplicação de redes neurais reside na capacidade de generalização, auto-organização, e processamento temporal que proporciona a resolução de inúmeros problemas a diferentes complexidades.

A aplicação de redes neurais na previsão de demanda de energia elétrica foi implementada para os setores industriais e residenciais urbanos, e de acordo com TEIXEIRA (2009), a combinação de modelos tradicionais e de redes neurais implica em resultados mais precisos, como os apresentados em sua pesquisa sobre métodos de previsão de demanda de energia elétrica residencial urbana; porém não há registros de trabalhos que possam subsidiar

⁸ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

políticas públicas voltadas à eletrificação rural fazendo uso de redes neurais, ou mesmo de métodos tradicionais como regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados de Programas em Nível nacional

Programas de eletrificação rural implementados no Brasil, como o PRODEEM⁹ e o atual Luz para Todos, o qual desde 2009 é responsável pelos equipamentos remanescentes do PRODEEM, não obtiveram sucesso, tanto com relação à credibilidade das tecnologias de geração de energia baseadas em fontes alternativas junto às comunidades isoladas, quanto a sua sustentabilidade técnica e financeira, as quais foram impactadas pela falta de planejamento que não considerou a participação das populações na implementação dos programas, na gestão participativa, imprescindível para a manutenção do funcionamento dos sistemas, e na difusão da tecnologia de forma que as populações se apropriassem do conhecimento e pudessem escolher formas de utilizar a energia em prol de seu desenvolvimento e qualidade de vida. A tabela 3-2 mostra o montante de investimentos, somente com os sistemas instalados no âmbito do PRODEEM de 1994 até 2002.

Tabela 3-2 Elaborada pelo autor. Fonte: PRODEEM/MME

	Atendimento até 2001		Atendimento em 2002		Atendimento até 2002	
	Sistemas	US\$	Sistemas	US\$ 1	Sistemas	US\$
TOTAL	4592	\$ 16.990.400,00	3000	\$ 15.801.000,00	7592	\$ 32.791.400,00

Considera o TCU¹⁰ que até o final de 2003, ano de término de PRODEEM, o montante de investimentos, contando sistemas emergenciais, foi de aproximadamente 45 milhões de dólares. Os sistemas a que se refere a tabela 3-2, em sua maioria não estão mais em funcionamento, alguns foram completamente depreciados, outros poucos retirados dos locais de funcionamento original e ainda sem destino determinado. Resultados de auditorias requisitadas em 2009 para o Programa ainda não foram divulgadas em sua totalidade, e mesmo resultados parciais, como o de Furnas, apresentam-se bastante vagos. Portanto, aproximadamente 45 milhões de dólares foram investidos sem que, até o momento, se possa avaliar sua efetiva contribuição para o desenvolvimento das comunidades envolvidas.

A tabela 3-3 apresenta a distribuição dos sistemas em suas cinco fases de implantação, as quais são criticadas pela auditoria do TCU¹¹, pois há em todo processo descontinuidade, haja vista que a Secretaria Federal de Controle Interno – SFC – detectou que no ano 2000 havia 138 sistemas (13% da amostra de 1029 sistemas) ainda estocados, além de outras inconformidades que impedem o atendimento às comunidades, num total de 77% de inconformidades, e mesmo assim o Programa seguia sem rever suas práticas, sequer de instalação e manutenção.

⁹ Programa de desenvolvimento de Estados e Municípios.

¹⁰ Tribunal de Contas da União.

¹¹ TC n°. 013.245/2002-7 Relatório de auditoria de natureza operacional programa energia das pequenas comunidades (nome atribuído ao PRODEEM no Plano Plurianual 2000-2003 do Governo federal)

Tabela 3-3 Dados de distribuição dos sistemas apresentados pela auditoria realizada pelo TCU em 2002.

SISTEMAS ADQUIRIDOS – DISTRIBUIÇÃO POR REGIÃO								
Fase		I e II	III	Emergencial	IV	Subtotal	V	Total
R	Norte	265	299	50	808	1.422	511	1.933
E	Nordeste	354	544	750	606	2.254	2.107	4.361
G	Centro Oeste	342	26	0	226	594	88	682
I	Sudeste	63	100	0	209	372	283	655
Ã	Sul	41	4	0	150	195	11	206
O	Estoque	88	86	0	901	1.075	0	1.075
Total		1.153	1.059	800	2.900	5.912	3.000	8.912
Valor (US\$ mil)		4.533	4.669	2.220	10.026	21.448	15.810	37.258

Fonte: CEPEL e MME, abril/2002

A incapacidade do Programa de manter os sistemas em operação, fez com que o Ministério de Minas e Energia adotasse na Fase V um novo modelo de aquisição dos equipamentos, os quais passaram a ser mais padronizados, entregues instalados e com garantia de 3 (três) anos de funcionamento, sem ênfase, entretanto, na formação de parcerias locais, no dimensionamento das reais necessidades do beneficiário e no desenvolvimento de recursos humanos especializados. Novamente impondo-se a questão do mau, ou nenhum, dimensionamento da demanda energética da comunidade a ser atendida.

O Programa deixava a critério das instaladoras nos estados o treinamento dos usuários, que constituía-se de práticas como ligar e desligar o sistema, sem ensinar operações de conservação e manutenção das instalações, e nem mesmo ocorria orientação dos usuários no sentido de limpar os painéis, ocasionando o baixo desempenho do sistema pelo acúmulo de sujeira sobre os painéis e como obstáculo adicional, existe o fator cultural de os usuários não possuírem familiaridade com a utilização da eletricidade, dificultando a capacitação e manejo dos equipamentos, implicando em reduzido envolvimento da comunidade com o programa.

O descontrole patrimonial foi desastroso, segundo o TCU (2002), pois frustraram os beneficiários e não permitiram que se desenvolvesse o sentido de zelo pelo sistema, ocorrendo a relevante perda patrimonial da União, de aproximadamente US\$ 5.000,00 por sistema, de equipamentos com alto valor unitário e que alcançam um valor total superior a US\$ 20.000.000,00 (vinte milhões de dólares), referentes à proporção dada como inexistente pela SFC e correspondente a 46% do total de sistemas instalados pelo Programa.

A proximidade de locais onde há energia convencional desestimulou as comunidades beneficiadas de exigir outros serviços potencialmente viáveis com o fornecimento da energia elétrica fotovoltaica. A existência desses serviços em localidades distantes poucos quilômetros, ou seja, acessíveis a custo de um pequeno deslocamento, fez com que as populações se satisfizessem com os serviços lá oferecidos, como: informação e lazer, basicamente por meio da televisão; escola já dotada de energia convencional; cursos e treinamentos oferecidos em centros comunitários e associações já alcançados pela rede de energia elétrica; entre outros. Outra implicação da maior proximidade, é a baixa valorização do sistema instalado pela comunidade, acarretando tanto resultados acanhados, quanto pouco comprometimento da população com a integridade física e a manutenção desses sistemas. Essa relação entre resultados e distância pode ser notada nas visitas às comunidades com diferentes distâncias à rede, por meio das entrevistas com os usuários e responsáveis. Os beneficiados mais entusiasmados estavam nas populações de comunidades da Amazônia, onde as distâncias à rede são enormes e não existe perspectiva de outra forma de acesso à energia (TCU, 2002).

A demanda por energia das comunidades não foi considerada no dimensionamento dos sistemas a serem nelas instalados. Como exemplo, em Alvorada do Norte/GO uma escola

beneficiada com o bombeamento d'água pode melhorar as suas condições de higiene e de seus alunos, no entanto, a bomba só precisava funcionar 5 minutos por dia para garantir o volume de água consumido, evidenciando um enorme superdimensionamento e desperdício de investimento público, com o sistema trabalhando muito abaixo de sua capacidade o que pode ocasionar problemas nos acumuladores de energia. As causas dessas situações podem ser entendidas pela demasiada centralização do programa, com aquisição padronizada de sistemas, aliada a sua acanhada estrutura funcional e de parcerias, que não permite o adequado levantamento de campo antes da instalação do sistema de geração de energia ou de bombeamento d'água. Não raro, para que seja colocado em uso um equipamento, por exemplo, uma televisão é forçoso que outro seja desligado, ou que não seja utilizada toda a iluminação possível.

O gestor do Programa afirma que inicialmente o Programa atendia equipamentos comunitários isolados pelo critério da demanda, ou seja, por solicitação de vereadores, prefeitos, deputados entre outros, afirmação que reflete a visão do PRODEEM sobre o conceito de demanda, ou seja, necessidade ou não do sistema energético, sem considerar as distintas necessidades de cada comunidade e família.

A partir da concepção centralizada é que o Programa desenvolveu seu modelo, baseado na aquisição de grandes lotes padronizados de equipamentos concebidos para atender as mais diversas condições encontradas no país, sem a necessidade de maiores participações das comunidades a serem beneficiadas, ou estudos das características locais. Após a aquisição, o Programa simplesmente escolheu, às vezes com participação das suas coordenações estaduais, os locais que deveriam ser contemplados e solicitou a alguns de seus parceiros, que os instalassem, ou seja, o modelo de atuação foi desenvolvido para atender às características do MME e não aos objetivos do Programa.

A escolha da tecnologia adotada, a fotovoltaica, se deu a partir da constatação de sua adequação a todo território nacional e sua capacidade de atendimento pontual. Sendo assim, não haveria necessidade de maiores estudos locais sobre a disponibilidade de fontes de energia mais adequadas, a demanda necessária pela comunidade, a forma de manutenção adequada e tudo o mais que é importante para se garantir o sucesso da implantação de um microsistema energético .

A atuação da auditoria realizada pelo TCU, por meio de Representação apresentada no decurso dos trabalhos, acarretou a suspensão da aquisição de 6.000 equipamentos previstos para 2002 no valor de US\$ 30.000.000,00 (trinta milhões de dólares) e que correriam elevado risco patrimonial, com conseqüente desperdício de recursos públicos e a adoção das recomendações também garantiria o melhor uso dos, aproximadamente, US\$ 45.000.000,00 (quarenta e cinco milhões de dólares) estimados para a compra dos 9.000 equipamentos prevista para 2003. No mínimo, diminuiria significativamente o percentual de equipamentos não funcionando (36%), acarretando economia de mais de US\$ 16.000.000,00 (dezesseis milhões de dólares), correspondente ao valor dos equipamentos adquiridos que potencialmente viriam a quebrar. No entanto, não há documentos públicos que comprovem medida cautelar que tenha impedido o investimento previsto para o ano de 2003.

Conforme Resolução Normativa nº. 493/12 as unidades consumidoras (UC) atendidas por meio de MIGDI ou SIGFI devem ser enquadradas conforme as disponibilidades mensais de energia explicitadas na tabela 3-4.

Tabela 3-4 Padronização dos sistemas individuais pela ANEEL.

Disponibilidade mensal garantida (kWh/ mês UC)	Consumo de referência (Wh/dia/UC)	Autonomia mínima (horas)	Potência mínima (W/UC)
13	435	48	250
20	670	48	250
30	1.000	48	500
45	1.500	48	700
60	2.000	48	1.000
80	2.650	48	1.250

Algumas concessionárias não investem em sistemas isolados por já terem constatado que os sistemas que garantem menos de 80 kWh por mês não atendem aos critérios de atendimento da totalidade das necessidades energéticas das famílias, mas atualmente esses são os critérios, igualmente padronizados, impostos pela Resolução da ANEEL de 2004.

Comunidades do Vale do Ribeira (SP) – eletrificada com SDF

A maior parte das famílias desta região mantém o modo de vida característico da cultura caiçara. Apesar das grandes influências externas sofridas nos últimos anos, estas peculiaridades permanecem e se originam de seu grande apego ao mar, como acontece com as comunidades de Sítio Artur, Itapanhapina e Marujá e, além disso, com a terra, tal como se verifica na comunidade de Varadouro. Na figura 3-3 podem ser observados aspectos do dia-a-dia das pessoas destas comunidades.



Figura 3-3 Imagens da Comunidade Marujá, região do lagamar, Vale do Ribeira. (MORANTE, 2004).

Comunidade Pedra Branca – PE (SFD)

Pedra Branca é caracterizada por caatinga, sofrendo efeitos da falta de chuvas, a comunidade convive com todos os problemas derivados da seca. A maioria dos habitantes subsiste realizando atividades agropecuárias, figura 3-4. Nas temporadas favoráveis, plantam, entre outros produtos, milho, feijão ou mandioca, criam caprinos, o que representa uma das principais fontes de renda e de proteína das pessoas. Além dessas atividades, muitas das

famílias dependem também dos rendimentos econômicos derivados das aposentadorias dos mais idosos. Os principais problemas da comunidade são a falta de água para uso produtivo (irrigação e criação), falta de água para consumo doméstico, péssimas condições de ensino, desemprego e falta de condições financeiras, falta de assistência à saúde, dificuldade de comunicação, falta de transporte e falta de trator (MORANTE, 2004).

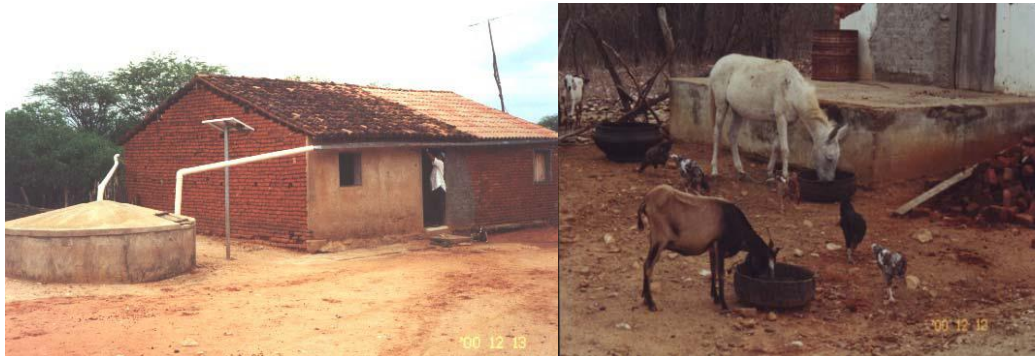


Figura 3-4 Casa e animais de criação típicos da região da caatinga em Pedra Branca (MORANTE, 2000).

Comunidade De Vera Cruz - PA

A comunidade está inserida no ambiente amazônico, de tal forma que seu estilo de vida está modelado segundo esse entorno. Isto se manifesta na construção das moradias, utilizando materiais do próprio local, nas atividades econômicas de subsistência, nos meios de transporte de maior utilização que são as canoas, e outros, figura 3-5.



Figura 3-5 Comunidade Vera Cruz (MORANTE, 2004).

A configuração familiar, em geral, se estabelece sobre relações de solidariedade associada ao parentesco e ao afastamento dentro da floresta e, em certa medida, pela influência dos preceitos religiosos impostos pela Irmandade da Santa Cruz (MORANTE, 2004).

Praia Vermelha – RJ

A comunidade da Praia Vermelha, Ilha Grande, no município de Angra dos Reis fica a duas horas e meia de barco da costa, figura 3-6. Não conta com transporte regular, mas com embarcações que destinando-se a outras praias podem aportar, se solicitadas, na Praia Vermelha. A comunidade, atualmente, constitui-se de famílias que em sua maioria tem sua sobrevivência associada a atividades turísticas. Poucas são as casas de pescadores e apesar da história da Ilha, não se entendem como caiçaras.



Figura 3-6 Ilha Grande, Praia Vermelha (MIRANDA, 2004).

Por meio de cabos submersos a eletrificação chegou a Praia Vermelha, há mais de cinco anos. A comunidade possui um importante número de homens trabalhando como marinheiros, atividade que os mantém em contato com a zona urbana, constantemente, percebendo-se claramente a influência desse contato sobre o perfil de consumo das famílias pesquisadas. O nível de renda é razoável considerando-se uma comunidade com essas características geográficas, entre dois e três salários mínimos.

. Nesse contexto, sete famílias foram pesquisadas, constituindo uma amostra aleatória do conjunto de moradores, em torno de 15 famílias. Cabe ressaltar que essa comunidade não sofreu processo de pré-eletrificação como algumas comunidades da Baía da Ilha Grande e sua demanda encontra-se de certa forma estabilizada, dado o tempo de que já dispõe da energia elétrica de forma intermitente, sendo latente a distinção com relação a comunidades abastecidas por SFDs no que se refere ao nível de consumo de energia elétrica.

APLICAÇÃO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Estudo sobre amostra formada por famílias de comunidades isoladas (SDF e rede de distribuição elétrica)

Considerando a hipótese de que pelo menos oito variáveis influenciavam a variação no consumo de energia elétrica, fez-se um estudo de correlação para verificar colinearidades. Os coeficientes de Pearson entre as oito variáveis previsoras e o consumo de energia elétrica foram analisados para se presumir possíveis colinearidades entre as variáveis hipoteticamente associadas ao consumo de energia familiar, onde as variáveis previsoras são:

- Cômodos: número de cômodos da residência
- Contato urbano: nível de contato com o meio urbano, em escala crescente de 1 a 5.
- Escolaridade: maior escolaridade entre os responsáveis pela família, de zero a 9 (analfabeto – pós-graduação)
- Sazonal: ocorrência ou não de rendimento proveniente de atividade sazonal (0 ou 1)
- Renda Familiar: renda média familiar, em dólares americanos
- Adultos: número de adultos na família, considerados a partir de 13 anos de idade
- Crianças: número de crianças na família, até 12 anos de idade
- Sistema: tipo de sistema de geração de energia elétrica (fotovoltaico = 0, ou rede de distribuição = 1)

Dessa análise observou-se a alta correlação entre renda familiar (renda fam) e o tipo de sistema elétrico (sistema), ($R = 0,89$). Mesmo ciente de que os sistemas não foram instalados às expensas das famílias, a renda pode estar associada, de fato, ao tipo de sistema elétrico, pois a escolha pela implementação da tecnologia pode refletir o maior, ou menor, grau de afastamento do meio urbano e conseqüente tipo de atividade geradora de renda e o próprio nível de renda.

A amostra passou por processo de regressão linear múltipla, contemplando todas as oito variáveis independentes, e em seguida com as variáveis renda, sistema, adultos e crianças, as quais não foram eliminadas pelo estudo de colinearidade. O resumo de seu desempenho consta na Tabela 3.5. O objetivo foi o de confirmar por meio de testes, o nível de significância do modelo com oito variáveis previsoras e a significância dos coeficientes parciais, pela razão t e seu correspondente valor- P . Os valores- P , tabela 3.1, foram analisados para a definição acerca da permanência de cada variável no conjunto de previsoras, e ao se verificar a significância de cada variável com relação a sua contribuição para a estimação do consumo de energia elétrica, a única variável que apresentou *valor- P* indicando que o parâmetro correspondente é significativamente diferente de zero, ou seja, negando a hipótese nula de que seja igual a zero, é a variável que representa o tipo de sistema elétrico instalado na residência, a nível de confiança de 0,95.

Pelos resultados apresentados na tabela 3.-5, pode-se observar que o modelo com as oito variáveis previsoras apresenta o melhor percentual de explicação na variação do consumo de energia elétrica, porém a única variável significativa (*valor- P* < 0,05) é sistema (fotovoltaico, ou rede de distribuição elétrica). Sistema é uma variável que assume somente dois valores, portanto é preciso que se associe a ela pelo menos uma outra variável significativa, para que o modelo retorne valores suficientemente variados, como cabe a uma previsão de demanda energética. Renda e sistema apresentam correlação bastante alta entre si, mas quando estas duas variáveis formam o conjunto de variáveis previsoras, o modelo perde somente um ponto percentual em R^2 e as duas variáveis tornam-se significativas, fato observado pelo *valor- P* (Tabela 3-5), portanto este modelo mostra-se mais significativo e com

menor custo de construção.

Tabela 3-5 Estatística dos modelos de regressão com oito, duas e uma variável previsoras. Elaborada pelo autor.

MODELO	VARIÁVEIS PREVISORAS	R ²	Valor-P < 0,05
1	comodos, contato urbano, escolaridade, sazonal, renda, adultos, crianças, sistema	94%	sistema
2	renda, crianças	72%	renda
3	renda, sistema	93%	renda, sistema
4	renda	76%	renda

Estudo sobre os dados de comunidades isoladas e famílias urbanas

Foram acrescentadas à amostra de famílias isoladas, quinze famílias urbanas, com o objetivo de se verificar a possibilidade de se estender o uso dos modelos de regressão e redes neurais a estes dois ambientes.

Percorrendo os mesmos caminhos utilizados com as famílias de comunidades isoladas, submeteu-se uma amostra de 50 famílias entre rurais e urbanas ao processo de regressão linear. Os resultados estão registrados na tabela 3.6. A eficiência, do modelo medida pelo R², perde 9%, considerando o modelo com oito variáveis previsoras, e somente a variável renda apresenta influência significativa sobre a variação do consumo de energia, conforme *valor-P* (Tabela 3-6). Considerando-se o mais eficiente, para essa amostra, Modelo 6 (tabela 3.2), com 81% de coeficiente de determinação e suas duas variáveis previsoras com *valores-P* indicando significância, se comparado ao modelo com as mesmas variáveis, mas modelado a partir de dados somente de comunidades isoladas (Modelo 3, tabela 3-5), este perde doze pontos percentuais, em sua capacidade de explicação.

Os outros modelos, com quatro e uma variável previsoras, também perdem em sua capacidade de explicação na variação do consumo, quando os dados são de uma amostra mais heterogênea, o que pode apontar para a dificuldade do método de regressão linear em aproximar dados de conjuntos não homogêneos, adicionado ao fato de que a regressão linear permite apenas uma variável de saída, no caso o consumo, ou demanda energética familiar.

Tabela 3-6 Estatística dos modelos de regressão com oito, duas e uma variável previsoras., para amostra de 50 famílias, rurais e urbanas. Elaborada pelo autor.

Modelo	VARIÁVEIS PREVISORAS	R ²	Valor-P < 0,05
5	comodos, contato urbano, escolaridade, sazonal, renda, adultos, crianças, sistema	85%	renda
6	renda, sistema, adultos, crianças	81%	renda sistema
7	renda, sistema	81%	renda, sistema
8	renda	72%	renda

APLICAÇÃO DE REDES NEURAIIS

Estudo sobre amostra constituída por famílias de comunidades isoladas

O primeiro passo foi o estabelecimento da arquitetura da rede, testando empiricamente o número de variáveis de entrada e de neurônios na camada oculta, pois uma única camada oculta dá conta da maioria das funções contínuas (HAYKIN, 2001). Os critérios de eficiência adotados foram a soma dos erros quadráticos e o coeficiente de determinação. A melhor arquitetura foi estabelecida com oito variáveis de entrada, as mesmas previsoras da regressão linear, cinco neurônios na camada oculta e duas variáveis de saída, consumo de energia elétrica familiar e seu desvio padrão.

Definida a arquitetura foram testadas funções de ativação para a camada oculta e funções para a camada de saída. Nas duas camadas a função que apresentou melhor desempenho foi a sigmóide, a qual costuma ser a mais empregada nas camadas internas de uma MLP por serem contínuas, crescentes, diferenciáveis e não-lineares.

Nesta etapa, o algoritmo de otimização dos erros gerados na camada oculta tinha sido, em todos os testes, o gradiente descendente e mesmo alterando-se taxa de aprendizagem, termo de momentum e épocas de treinamento, o coeficiente de determinação não passava de 80%, ou seja, a rede não era capaz de explicar mais do que 80% da variação no consumo de energia elétrica, considerando amostra de comunidades isoladas e uma amostra heterogênea (famílias de comunidades isoladas e urbanas).

Ao adotar o gradiente conjugado como algoritmo de otimização os valores de R^2 passaram a ser superiores a 90%, na maioria das redes testadas, e mesmo quando era considerado um número menor de variáveis de entrada, a eficiência da rede mostrava-se superior a de uma rede com a mesma configuração, porém com o algoritmo gradiente descendente. Portanto, a escolha do algoritmo de otimização dos erros na camada oculta foi determinante na definição da melhor configuração de rede.

Para analisar a capacidade da rede de adaptar-se foram submetidas à mesma configuração de rede, uma amostra somente de famílias que possuíam sistemas fotovoltaicos, e em seguida a uma amostra heterogênea constituída por famílias eletrificadas com SFD, rede de distribuição residentes em comunidade isoladas e por famílias urbanas. Conforme consta na tabela 3-7, o desempenho de redes com a mesma configuração aplicadas as três amostras foi o mesmo, ou seja, as oito variáveis de entrada explicam 99% da variação no consumo de energia elétrica para os três tipos de amostras. A configuração de rede a que foram submetidas as três amostras possui as características descritas na tabela 3-8.

O bom desempenho das redes neurais pode revelar que a heterogeneidade das amostras não compromete sua eficiência e ao sinalizar que um menor número de variáveis de entrada é que pode diminuir sua eficácia (tabela 3.3), corrobora a tese de Morante (2004) que entende o consumo de energia elétrica delineado por um conjunto de variáveis complexas de diversos âmbitos, como social e cultural, psicológico, além do econômico.

Tabela 3-7 Estatística dos modelos neurais com oito, duas e uma variável previsoras., para amostra de 50 famílias, rurais e urbanas. Elaborada pelo autor.

VARIÁVEIS DE ENTRADA	AMOSTRA	SEQ	R ²
comodos, contato urbano, escolaridade, sazonal, renda familiar, adultos, crianças, sistema	SDF	0,052	99%
	Isoladas	0,005	99%
	Isoladas e urbana	0,083	99%
renda familiar, sistema	SDF	0,812	46%
	Isoladas	0,281	93%
	Isoladas e urbana	0,76	93%

Tabela 3-8 Configuração de rede que apresentou os melhores desempenhos para as três amostras submetidas.

ARQUITETURA	TREINAMENTO	CRITÉRIOS DE PARADA
8 variáveis de entrada, 5 neurônios na camada oculta e duas saídas, função de ativação na camada oculta e função na camada de saída sigmóide.	Apresentação dos dados à rede em lote, algoritmo de otimização de erros gradiente conjugado	Nesta ordem: uma etapa sem redução no erro, 100 etapas de treinamento, alteração relativa mínima no erro de treinamento de 0,0001.

Pela própria natureza do problema, que requer dados de entrada reais, que reflitam especificidades observadas do microcosmo de cada família, houve dificuldade em separar uma amostra de teste, especialmente no que se refere à pequena dimensão das amostras. A escolha foi pela partição a partir de uma semente aleatória, a qual atribui valores a cada elemento da amostra, criando assim partições de treinamento e teste, e mesmo particionando a amostra os erros mantiveram-se pequenos e a correlação entre dados reais de consumo e os previstos permaneceu bastante alta, conforme tabela 3-9, o que reitera a capacidade de adaptação das redes neurais testadas e aponta para uma boa chance de generalização para amostras maiores e heterogêneas, implicando assim em modelos que podem atender às necessidades de previsão de demanda de energia elétrica tanto no âmbito rural, quanto urbano residenciais.

Tabela 3-9 Desempenho das redes a partir de amostras particionadas em amostra de treinamento e teste.

VARIÁVEIS DE ENTRADA	AMOSTRA	SEQ	R ²
comodos, contato urbano, escolaridade, sazonal, renda familiar, adultos, crianças, sistema	SDF	0,041	98%
	Isoladas	0,003	99%
	Isoladas e urbana	0,057	99%

A amostra mais restrita, que somente inclui famílias de comunidades isoladas e abastecidas por sistemas individuais fotovoltaicos (amostra SDF), mesmo com número reduzido de elementos (28 famílias) e particionada em amostra de treinamento e teste obteve resultados bastante semelhantes aos testes com as demais amostras, conforme figura 3-7, com coeficiente de determinação de, aproximadamente, 98%, submetida à idêntica configuração de rede. Essa variação de amostras revelando resultados muito semelhantes pode ser também um

indicativo de que a configuração apresentada, nesse estudo, de rede neural é eficiente na previsão de demanda familiar.

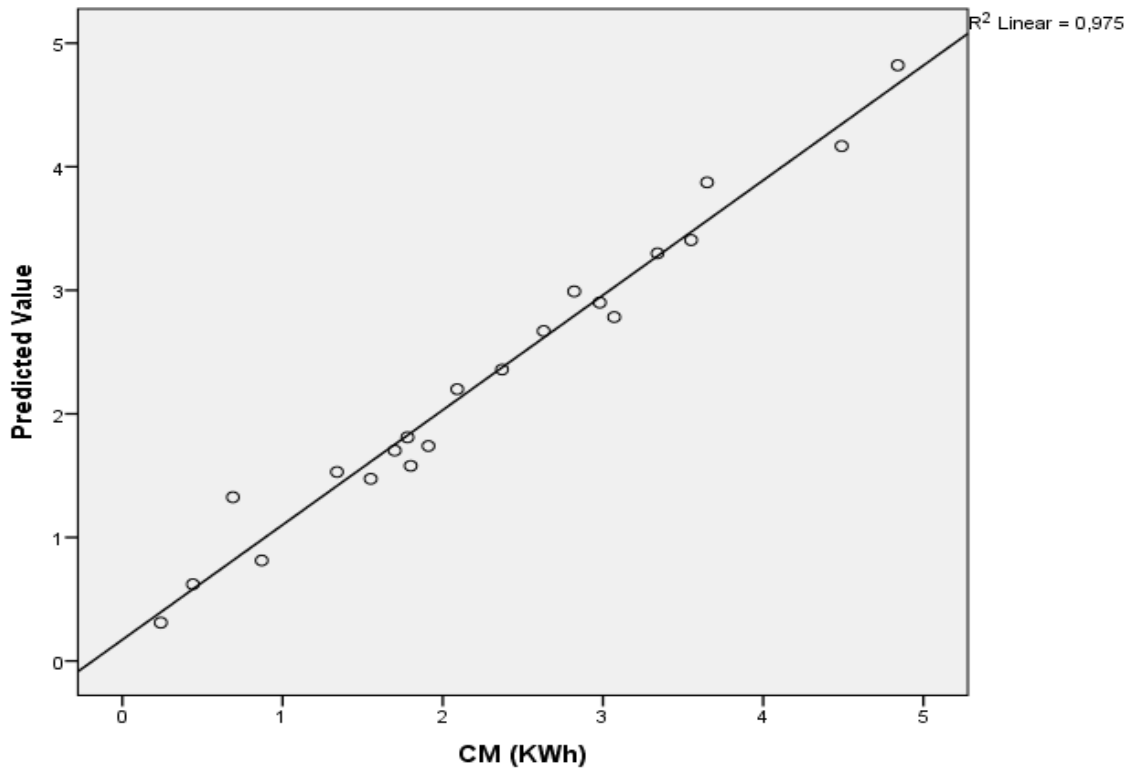


Figura 3-7 Correlação entre consumo real por família e a demanda prevista. Elaborada pelo autor. Saída SPSS-IBM.

Como a natureza da problemática da demanda energética requer que se atenda, no mínimo, a demanda da família, é mais adequado que se aproxime essa demanda por valores maiores que os reais, nesse sentido a figura 3-7 exemplifica a correlação entre valores de energia consumida e demanda prevista, pelo coeficiente de determinação, para amostra formada por famílias de comunidades isoladas e famílias urbanas.

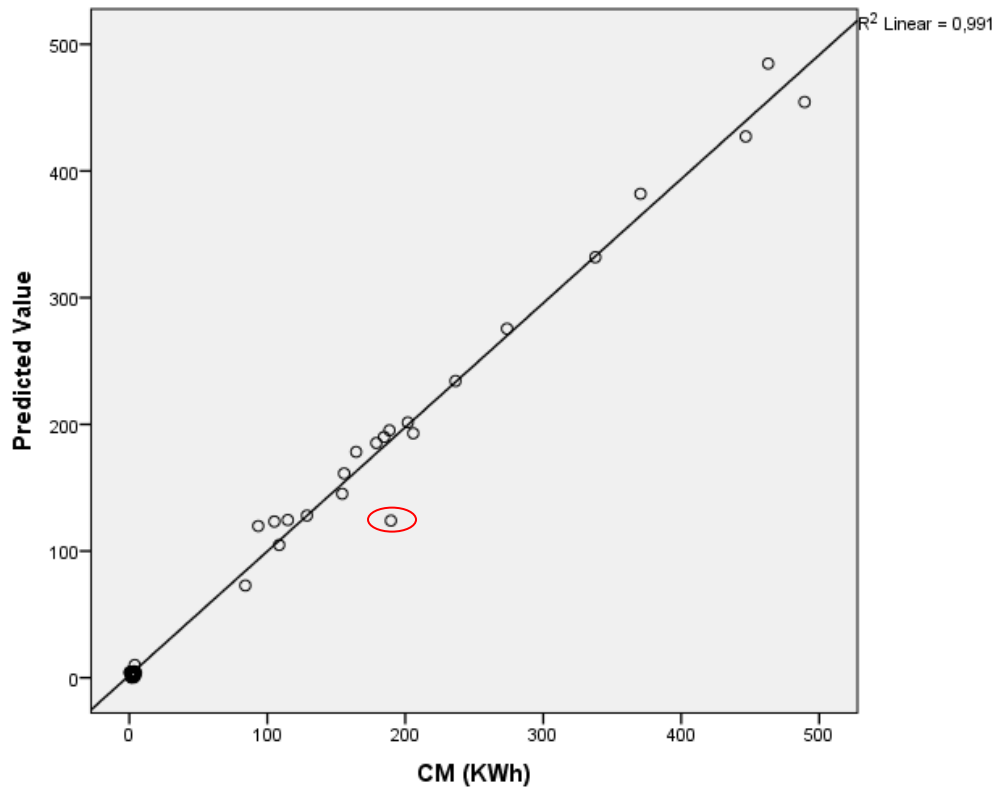


Figura 3-8 Correlação entre valores reais de consumo e demanda prevista, em kWh, por família. Elaborado pelo autor. Saída do SPSS-IBM.

Pode ser observado na figura 3-8 que algumas previsões aproximaram-se do consumo real por valores menores, como é o caso do ponto destacado em vermelho. Para resolução desse problema pesquisas posteriores podem investigar formas de se adicionar ao modelo de rede neural um artifício que implique sempre em aproximações por valores maiores que os de consumo reais, talvez utilizando internamente no modelo um desvio padrão médio, considerando-se que a configuração de rede proposta neste trabalho tem como saídas o consumo previsto e seu correspondente desvio-padrão.

CONCLUSÃO

As novas exigências legais impostas pelas revisões do programa Luz para Todos, por exemplo, obriga os agentes executores de programas públicos de eletrificação a suprirem integralmente a demanda energética das famílias, o que deve balizar uma nova perspectiva sobre a questão da demanda energética familiar, que não é uma constante, mas sim uma variável dependente de vários aspectos e nesse sentido, requer métodos mais flexíveis para sua previsão como o de redes neurais, pois fracassos como o do PRODEEM, no qual se investiu mais de trinta milhões de dólares oriundos de recursos públicos, não podem ser repetidos no âmbito do LpT, sob pena de não se alcançar a universalização do acesso ao serviço de energia elétrica a toda população brasileira, universalização instituída por lei.

A participação da comunidade em todo processo de planejamento dos programas como na pesquisa preliminar sobre a cultura e vida cotidiana, na escolha do tipo de fonte

energética mais adequada, além da otimização na previsão da demanda energética preliminarmente baseada na carga, pode se configurar em um caminho para o melhor aproveitamento dos sistemas e conseqüentes benefícios às populações isoladas geograficamente, pontos dos quais os planejadores não podem prescindir.

As redes neurais mostraram-se mais eficientes que os modelos de regressão linear na previsão da demanda de energia elétrica familiar, especialmente quando a amostra torna-se mais heterogênea, contemplando tanto famílias que contam somente com sistemas fotovoltaicos, quanto amostras constituídas de famílias rurais e urbanas, o que pode estar associado a sua capacidade de generalização. Os testes revelaram também o importante impacto do número de variáveis de entrada sobre o desempenho das redes, os quais foram melhores quando o conjunto de oito variáveis de entrada foi implementado. A capacidade de redes submetidas a essas oito variáveis de entrada de explicarem a variação no consumo de energia elétrica, ultrapassando 99% implica em considerar-se as redes neurais como um método bastante eficaz para previsão de demanda de energia, seja para comunidades isoladas ou urbanas, podendo subsidiar tanto o planejamento de projetos vinculados a políticas públicas voltadas a comunidades rurais, quanto para projetos que visem incentivar o uso de fontes alternativas de energia no meio urbano.

Como forma de se aperfeiçoar o modelo em trabalhos futuros este estudo aponta para a inclusão de um artifício matemático que faça com que a rede sempre aproxime a demanda energética por valores maiores dos que são submetidos a ela, indicando a possibilidade de utilizar-se o desvio padrão médio para este fim. Ainda com relação a estudos subseqüentes, é importante salientar que o aumento da amostra de forma aleatória pode requerer a inclusão de variáveis de entrada como a temperatura média mensal da localidade, pois esta segundo Biondi Neto (2008) e Morante (2004) se configura como importante fator na decisão pelo consumo de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIONDI NETO, L. *et al.* Estudo não paramétrico da relação entre consumo de energia, renda e temperatura. IEEE Latin America Transactions, Vol. 6, n^o. 2, Junho, 2008.
- BRAGA, Antônio de P., CARVALHO, André P. de L, LUDERMIR, T.B.. Redes Neurais Artificiais. Editora LTC. São Paulo, 2007.
- CARVALHO, P.C.M.; CRAVEIRO, P.M.A. Introdução ao planejamento energético. Fortaleza: IEPRO/SEINFRA, 2006. 94 p.
- CARPINTEIRO, O. A. S. ; REIS, A. J. R. . A hierarchical self-organizing map model in short-term load forecasting. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA (CBA), 2004, Gramado, RS. Proceedings. v. 1.
- CATALAO, João, MARIANO, Sílvio, MENDES, Victor *et al.* Previsão dos Preços da Energia Elétrica através de Redes Neuronais Artificiais. *Inv. Op.*, dez. 2007, vol.27, n^o.2, p.151-163.

MME. Ministério de Minas e Energia. Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programs_display.do?prg=5> Acesso em: nov 2008a.

_____. Manual de Operacionalização do Programa Luz Para Todos. Revisão 6. Anexo à portaria no. 85 de 20 de fevereiro de 2009.

_____. Programa nacional de universalização do acesso e uso da energia elétrica manual de operacionalização para o período de 2011 a 2014. Decreto N° 7.520, De 8/7/2011.

MORANTE, Federico B. T. Demanda de energia elétrica e desenvolvimento socioeconômico: o caso das comunidades rurais eletrificadas com sistemas fotovoltaicos. 311 p., 2004 Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

MORANTE, Federico. ZILLES, Roberto. Principais fatores que influenciam a demanda e o consumo de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos domiciliares.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. Proceedings online. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000200035&lng=en&nrm=abn>. Acessado em: 09/05/2009.

NASCIMENTO, M.V.G.; VIEIRA, L.S.; SOARES, G.F. Análise econômica comparativa entre opções para suprimento energético ininterrupto de pequenas comunidades. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 17., 2003, Uberlândia. *Anais...* Uberlândia: Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2003. 1 CD-ROM.

NASCIMENTO, M.V.G.; MELLO, J.C.O.; PIZETA, E.G.; CASTRO, A.L.; SPALDING, E.C.; BIANCO, A. A participação crescente dos encargos setoriais no custo de energia brasileiro In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 18., 2005, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2005. 1 CD-ROM.

FIORIN, Daniel V. et al . Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 33, n. 1, Mar. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172011000100009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06/02/2011.

GALDINO, M.A., LIMA, J.H.G. PRODEEM- O Programa Nacional de Eletrificação Rural Baseado em Energia Solar Fotovoltaica. In: Anais do IX Congresso Brasileiro de Energia-CBE. 2002.

LUGON, Jader Jr., et al.. Application of Artificial Neural Networks and Hybrid Methods in the Solution of Inverse Problems. In: HUI, C. L. P.. Artificial Neural Networks - Application. InTech, 2011. p.542-566. Disponível em: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/application-of-artificial-neural-networks-and-hybrid-methods-in-the-solution-of-inverse-problems> .

PASCHOALINO, F. F. *et al.* Previsão de demanda de energia elétrica no Brasil utilizando redes neurais de Elman. SPOLM 2007 RJ. Disponível em: <http://www.uff.br/decisao/spolm2007_133.pdf>. Acesso em: 08/12/2009.

PEDROLLO. Previsão de níveis fluviais com redes neurais – aplicação para Rosário de Sul – RS. In: 1º. Simpósio de Recursos Hídricos do Sul. Curitiba, PR. 2006. Anais Associação Brasileira de recursos Humanos, 2006. CD ROM.

RUAS, Gabriel I. S. *et al.* Previsão de Demanda de Energia Elétrica Utilizando Redes Neurais Artificiais e Support Vector Regression. 2007. ENIA, Rio de Janeiro, 2007.

TEIXEIRA, Luiz Albino. Combinação geométrica de método preditivos; aplicação à previsão de consumo residencial mensal de energia elétrica. Rio de Janeiro, 2009. 115p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

WEITZEL, L.; ROVERE, E.L.; CUNHA R. As demandas do novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 5.,2006, Brasília. *Anais...* Brasília: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 2006. 1 CD-ROM.

4 CONCLUSÕES

No que se refere à sustentabilidade econômica, social e ambiental foi possível observar que o fracasso, ou falta de informação sobre os projetos implementados que envolvem sistemas de geração de energia individuais, aponta para a necessidade de reorientação dos programas, desde o seu planejamento até a implantação, ao longo de um período de análise. Ao considerar a demanda como uma variável a ser prevista no âmbito familiar, seria possível minimizar os problemas técnicos com os equipamentos, tanto na operação, quanto na manutenção, pois não trabalhariam sobrecarregados, ou subutilizados.

Os investimentos em projetos de eletrificação rural carecem de planejamento que envolva a participação das comunidades, sob pena de não se apresentarem sustentáveis social, ambiental e economicamente.

Na questão específica da previsão de demanda energética, as redes neurais mostraram-se mais eficientes que os modelos de regressão linear na estimação da demanda de energia elétrica familiar, especialmente quando a amostra torna-se mais heterogênea, contemplando tanto famílias que contam somente com sistemas fotovoltaicos, quanto amostras constituídas de famílias rurais e urbanas, o que pode estar associado a sua capacidade de generalização. Os testes revelaram também o importante impacto do número de variáveis de entrada sobre o desempenho das redes, os quais foram melhores quando o conjunto de oito variáveis de entrada foi implementado. A capacidade de redes submetidas a essas oito variáveis de entrada de explicarem a variação no consumo de energia elétrica, ultrapassando 99% implica em considerar-se as redes neurais como um método bastante eficaz para previsão de demanda de energia, seja para comunidades isoladas ou urbanas, podendo subsidiar tanto o planejamento de projetos vinculados a políticas públicas voltadas a comunidades rurais, quanto projetos que visem incentivar o uso de fontes alternativas de energia no meio urbano.

As novas exigências legais impostas pelas revisões do programa Luz para Todos, por exemplo, obrigam os agentes executores de programas públicos de eletrificação a suprirem integralmente a demanda energética das famílias, o que deve balizar uma nova perspectiva sobre a questão da demanda energética familiar, que não é uma constante, mas sim uma variável dependente de vários aspectos e nesse sentido, requer métodos mais flexíveis para sua previsão, como o de redes neurais.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Acompanhar a implementação de programas de eletrificação rural no Brasil realizando um levantamento mais amplo e recente sobre a universalização do acesso à energia elétrica, assim agregando um volume de dados maior às amostras submetidas à rede, a fim de verificar se a configuração de rede neural proposta neste trabalho manterá o padrão de eficiência atual.

Como forma de se aperfeiçoar o modelo em trabalhos futuros, este estudo aponta ainda para a inclusão de artifício matemático que faça com que a rede sempre aproxime a demanda energética por valores maiores dos que são submetidos a ela, indicando a possibilidade de utilizar-se o desvio padrão médio para este fim.

Ainda com relação a estudos subseqüentes, é importante salientar que o aumento da amostra de forma aleatória pode requerer a inclusão de variáveis de entrada como a temperatura média mensal da localidade, pois esta segundo Biondi Neto (2008) e Morante (2004) se configura como importante fator na decisão pelo consumo de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARTYA, Sen. O desenvolvimento como expansão de capacidades. Lua Nova, São Paulo, n.28-29, Apr. 1993. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-4451993000100016&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 29 Junho de 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-64451993000100016>.
- ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA nº 83, de 20 de setembro de 2004. Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI.
- BÔA NOVA, Antônio Carlos. Energia e Classes Sociais no Brasil. São Paulo: Loyola, 1985.
- BIONDI NETO, L. *et al.* Estudo não paramétrico da relação entre consumo de energia, renda e temperatura. IEEE Latin America Transactions, Vol. 6, nº. 2, Junho, 2008.
- BRAGA, Antônio de P., CARVALHO, André P. de L, LUDERMIR, T.B.. Redes Neurais Artificiais. Editora LTC. São Paulo, 2007.
- BRASIL. Decreto s/nº, de 27 de dezembro de 1994. Cria o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM), e dá outras providências. Publicado no D.O de 28.12.1994, seção 1, p. 20720.
- BRASIL. Tribunal de Contas da União. Avaliação do TCU sobre o Programa Energia das Pequenas Comunidades / Tribunal de Contas da União. -- Brasília : TCU, Secretaria de Fiscalização e Avaliação de Programas de Governo, 2003. 22p. (Sumários Executivos/TCU-SEPROG ; 10)
- BRASIL, Portaria no. 7 de 05 de abril de 2012. Cria a Comissão para Propor Desfazimento de Bens Remanescentes dos Sistemas Fotovoltaicos do Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios - PRODEEM, que estão armazenados nos Almoarifados de Furnas Centrais Elétricas S.A. - ELETROBRÁS FURNAS.
- BENNETT, Peter D. & Harold H. Kassarian (1975). O Comportamento do Consumidor. Editora Atlas S. A., Série Fundamentos de Marketing, São Paulo, 161 p.
- CATALAO, João, MARIANO, Sílvio, MENDES, Victor *et al.* Previsão dos Preços da Energia Elétrica através de Redes Neurais Artificiais. *Inv. Op.*, dez. 2007, vol.27, no.2, p.151-163.
- FERNANDES, Ricardo A. S.; SILVA, Ivan N. da; OLESKOVICZ, Mário. Identificação de cargas lineares e não-lineares em sistemas elétricos residenciais usando técnicas para seleção de atributos e redes neurais artificiais. *Sba Controle & Automação*, Campinas, v. 21, n. 4, Ago. 2010 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592010000400006&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 04 Julio de 2011.

FOSTER, G. As culturas tradicionais sob o impacto da tecnologia. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1964.

GALDINO, Marco A.; LIMA, Jorge H. G. PRODEEM - O Programa Nacional de Eletrificação Rural Baseado em Energia Solar Fotovoltaica. In: IX Congresso Brasileiro de Energia. Hotel Glória. Anais... . Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002. CD-ROM.

GOLDEMBERG, DONDERO VILLANUEVA, Luz (2003). Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento. 2ª Edição, Editora Universidade de São Paulo, Edusp, São Paulo, 226 p.

HAYKIN, Simon. Redes Neurais. Princípios e prática. Porto Alegre, RS: Bookman, 2001.

HERMES, Mara. 38704776.jpg. 2010. Largura: 1879 pixels, Altura: 1329 pixels. Disponível em :< <http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/38704776.jpg>>. Acessado em : 10/07/2011.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>> Acesso em: abr 2008.

JANNUZZI, Gilberto de Martino & SWISHER, Joel N. P.. Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis. Editora Autores Associados, Campinas, 1997.

KALID, Ricardo. Otimização de Processos. Laboratório de Controle e Otimização Industrial. Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial. Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/61799840/Apostila-Otimizacao-de-Processos-Ufba> Acesso em: abril de 2012.

LIMA, Áureo Cezar de; GUIMARÃES Jr., Sebastião; CAMACHO, José Roberto & BISPO, Décio (2004). Análise da demanda de energia elétrica usando o sistema decisório fuzzy, in Anais do IV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, (versão em CD), 25 e 26 de março de 2004, Itajubá.

LEMOS, C. F. de. O processo sociotécnico de eletrificação na Amazônia: articulações e contradições entre Estado, capital e território (1890 a 1990). Tese de doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ/IPPUR. 2007.

LUGON, Jader Jr., et al.. Application of Artificial Neural Networks and Hybrid Methods in the Solution of Inverse Problems. In: HUI, C. L. P.. Artificial Neural Networks - Application. InTech, 2011. p.542-566. Disponível em: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/application-of-artificial-neural-networks-and-hybrid-methods-in-the-solution-of-inverse-problems> .

MARX, Karl . O capital, vol. I. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 1975.

MME. Ministério de Minas e Energia. Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programs_display.do?prg=5> Acesso em: nov 2008a.

_____. Manual de Operacionalização do Programa Luz Para Todos. Revisão 6. Anexo à portaria no. 85 de 20 de fevereiro de 2009.

MORANTE, Federico & Roberto Zilles (2001). Energy Demand in Solar Home Systems: The Case of the Communities in Ribeira Valley in the State of São Paulo, Brazil. Progress In Photovoltaics Research And Applications, 9:379-388. Inglaterra.

_____, Federico; Roberto Zilles & Heitor Scalabrini Costa (2002b) Demanda energética em sistemas fotovoltaicos domiciliares: Resultados obtidos na comunidade de Pedra Branca, Município de Ouricuri - Pernambuco. Anais do Quarto Encontro de Energia no Meio Rural, AGRENER 2002, versão digital em CD. 29 a 31 de outubro de 2002, Campinas.

_____, Federico & Roberto Zilles (2002c). A influência do urbano sobre o rural no comportamento da demanda energética em sistemas fotovoltaicos. Anais do Quarto Encontro de Energia no Meio Rural, AGRENER 2002, versão digital em CD. 29 a 31 de outubro de 2002, Campinas.

MORANTE, Federico and ZILLES, Roberto. Principais fatores que influenciam a demanda e o consumo de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos domiciliares.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. Proceedings online. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000200035&lng=en&nrm=abn>. Acessado em: 09/05/2009.

MORETTIN, P.A. e TOLOI, L.M.C, Análise Séries Temporais, 2ª Ed. ABE Projeto Fisher, Ed. Edgard Blucher (2006).

PASCHOALINO, F. F. *et al.* Previsão de demanda de energia elétrica no Brasil utilizando redes neurais de Elman. SPOLM 2007 RJ. Disponível em: <http://www.uff.br/decisao/spolm2007_133.pdf>. Acesso em: 08/12/2009.

REIS, L. B. dos e SILVEIRA, S., orgs. Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável: Introdução de uma Visão Multidisciplinar. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.

ROSA, Henrique C. M. , Atores e interesses que articulam as transformações sócio-espaciais de uma localidade caiçara: o caso de Pouso da Cajaríba no litoral sul-fluminense (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2001.

ROSA, Victor Hugo da S.. Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: em busca de um modelo sustentável. Tese de doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília. 2007.

SACHS, Ignacy. Ecodesenvolvimento crescer sem destruir. São Paulo, Vértice, 1986.

SANTOS CAIO, Leonardo. Análise das Metodologias de Previsão de Mercado de Energia Elétrica: relações macroeconômicas e o novo perfil de planejamento no ambiente pós-privatização. III CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 1998.

Disponível em <http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/1998/trabalho/analisis~1.pdf>. Acessado em: 11/08/2011.

PEDROLLO, O. C.; LANNA, A. E.. 2003. Previsão de cheias em tempo atual com sistema especialista difuso. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. V.8, n.1, p. 45-60, 2003.

_____. SIRENE I : Sistema de Redes Neurais Progressivas. Versão 1.0. Relatório de Pesquisa. IPH-UFRGS, 2007. Disponível em <http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/pedrollo/Sirene/Sirene%20I.pdf>. Acessado em 01 de maio de 2011.

_____. Previsão de níveis fluviais com redes neurais – aplicação para Rosário de Sul – RS. In: 1º. Simpósio de Recursos Hídricos do Sul. Curitiba, PR. 2006. Anais Associação Brasileira de recursos Humanos, 2006. CD ROM.

RUAS, Gabriel I. S. et al. Previsão de Demanda de Energia Elétrica Utilizando Redes Neurais Artificiais e Support Vector Regression. 2007. ENIA, Rio de Janeiro, 2007.

SERPA, Paulo N.. Eletrificação Fotovoltaica em Comunidades Caiçaras e seus Impactos Socioculturais. *Tese de Doutorado*. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2001/teses/2001.htm>. Acessado em maio de 2009.

SANTOS, Milton (1972/2003). Economia Espacial: críticas e alternativas. 2ª edição, Editora da Universidade de São Paulo – EDUSP, São Paulo, 204 p.

TEIXEIRA, Luiz Albino. Combinação geométrica de método preditivos; aplicação à previsão de consumo residencial mensal de energia elétrica. Rio de Janeiro, 2009. 115p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

WEITZEL, L.; ROVERE, E.L.; CUNHA R. As demandas do novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 5.,2006, Brasília. *Anais...* Brasília: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 2006. 1 CD-ROM.

APÊNDICES

APÊNDICE A – SAÍDAS DO SOFTWARE SPSS-IBM PARA REDES NEURAIAS

1. RESULTADOS PARA AMOSTRA DE COMUNIDADES ISOLADAS ABASTECIDAS POR SFD, SOMENTE TREINAMENTO (RN_1)

Tabela 1A Programação do modelo RN_1

Notes

Output Created			12-JUN-2012 19:57:22
Comments			
Input	Data		C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_SDF_DOLAR_8X2.sav
	Active Dataset		Conjunto_de_dados1
	Filter		<none>
	Weight		<none>
	Split File		<none>
Missing Value Handling	N of Rows in Working Data File		28
	Definition of Missing		User- and system-missing values are treated as missing.
Weight Handling	Cases Used		Statistics are based on cases with valid data for all variables used by the procedure.
			not applicable
Syntax			MLP CMKWh (MLEVEL=S) DPKWh (MLEVEL=S) WITH comodos contatourb escolar sazonal RendaFamUS\$ adultos crianças sistema
			/RESCALE COVARIATE=ADJNORMALIZED DEPENDENT=NORMALIZED (CORRECTION=0.02)
			/PARTITION TRAINING=7 TESTING=0 HOLDOUT=0
			/ARCHITECTURE AUTOMATIC=NO HIDDENLAYERS=1 (NUMUNITS=6) HIDDENFUNCTION=SIGMOID OUTPUTFUNCTION=SIGMOID
			/CRITERIA TRAINING=BATCH OPTIMIZATION=SCALEDCONJUGATE LAMBDAINITIAL=0.000005 SIGMAINITIAL=0.00005 INTERVALCENTER=0
			INTERVALOFFSET=0.5 MEMSIZE=1000
			/PRINT CPS NETWORKINFO SUMMARY CLASSIFICATION SOLUTION IMPORTANCE
			/PLOT NETWORK PREDICTED
			/SAVE PREDVAL
			/STOPPINGRULES ERRORSTEPS= 1 (DATA=AUTO) TRAININGTIMER=ON (MAXTIME=15) MAXEPOCHS=200 ERRORCHANGE=1.0E-4
Resources			ERRORRATIO=0.0010
			/MISSING USERMISSING=EXCLUDE .
Variables Created or Modified	Processor Time		00:00:01,09
	Elapsed Time		00:00:01,09
	Predicted Value	CMKWh	MLP_PredictedValue_1_A
		DPKWh	MLP_PredictedValue_2_A

[Conjunto_de_dados1] C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_SDF_DOLAR_8X2.sav

Tabela 2A Particionamento da amostra e configuração da RN_1

Case Processing Summary

		N	Percent
Sample	Training	28	100,0%
Valid		28	100,0%
Excluded		0	
Total		28	

Network Information

		1	comodos
		2	contato urb
		3	escolar.
	Covariates	4	sazonal
Input Layer		5	Renda Fam US\$
		6	adultos
		7	crianças
	Number of Units ^a	7	
	Rescaling Method for Covariates		Adjusted normalized
	Number of Hidden Layers	1	
Hidden Layer(s)	Number of Units in Hidden Layer 1 ^a	6	
	Activation Function		Sigmoid
	Dependent Variables	1	CM (KWh)
		2	DP (KWh)
Output Layer	Number of Units	2	
	Rescaling Method for Scale Dependents		Normalized
	Activation Function		Sigmoid
	Error Function		Sum of Squares

Excluding the bias unit

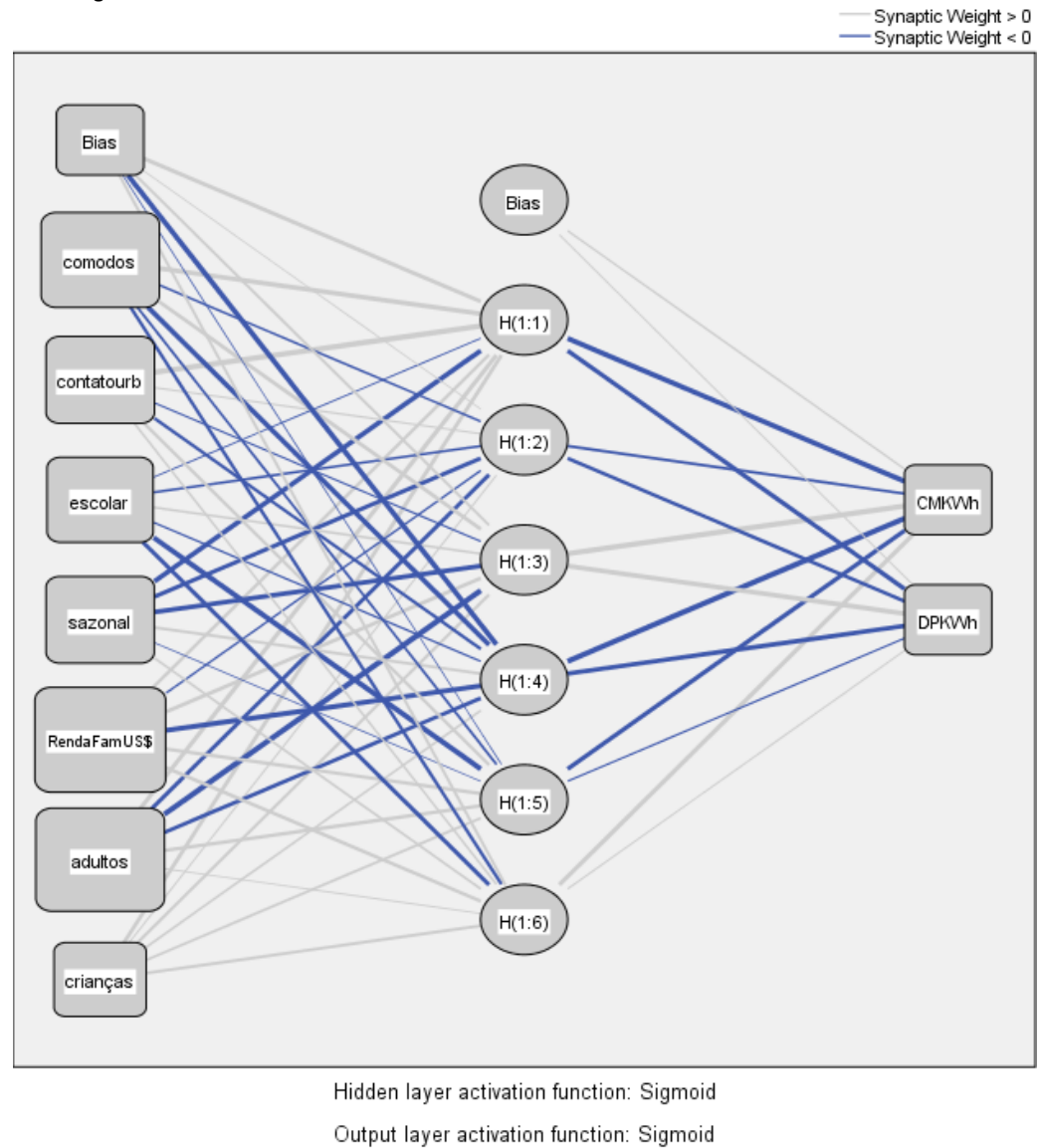


Figura 1A Topologia da RN_1

Tabela 3A Medidas de desempenho da RN_1

Model Summary

	Sum of Squares Error		,052
	Average Overall Relative Error		,035
Training	Relative Error for Scale Dependents	CM (KWh)	,016
		DP (KWh)	,073
	Stopping Rule Used	Maximum number of epochs (200) exceeded	
	Training Time	0:00:00,01	

Tabela 4A Pesos sinápticos da RN_1

Parameter Estimates

Predictor	Predicted								
	Hidden Layer 1						Output Layer		
	H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	H(1:5)	H(1:6)	CMKWh	DPKWh	
Input Layer	(Bias)	2,558	,131	1,083	-4,873	-,092	1,128		
	comodos	4,016	-,896	2,312	-4,377	-1,004	-2,015		
	contatourb	5,954	,455	-,642	-1,801	1,552	,869		
	escolar	-,315	-1,004	,971	-,738	-5,265	-2,595		
	sazonal	-4,348	-2,604	-4,052	1,283	-,036	,978		
	RendaFamUS\$	1,950	-,847	2,268	-4,674	2,030	2,035		
	adultos	2,943	-2,574	-6,746	-2,430	2,095	,286		
	crianças	2,339	,412	1,336	,962	1,060	1,511		
	(Bias)							,798	,317
Hidden Layer 1	H(1:1)							-4,739	-3,501
	H(1:2)							-1,196	-2,243
	H(1:3)							5,923	4,054
	H(1:4)							-6,150	-3,615
	H(1:5)							-3,295	-,695
	H(1:6)							3,143	,402

Predicted by Observed Charts

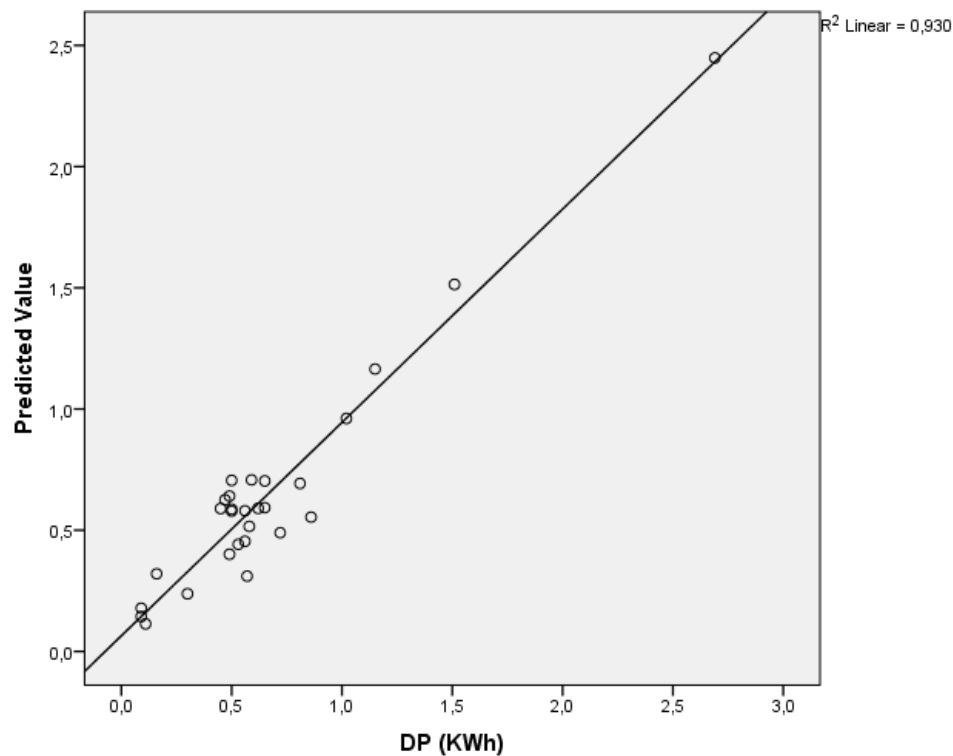


Figura 2A Ajuste Linear de dados de consumo de energia elétrica familiar real e previstos pela RN_1

Tabela 5A Importância das variáveis independentes RN_1

Independent Variable Importance

	Importance	Normalized Importance
comodos	,153	85,5%
contato urb	,133	74,3%
escolar.	,128	71,6%
sazonal	,133	74,0%
Renda Fam US\$,179	100,0%
adultos	,174	97,3%
crianças	,100	55,7%

2. RESULTADOS PARA AMOSTRA DE COMUNIDADES ISOLADAS ABASTECIDAS POR SFD, PARTICIONADA EM TREINAMENTO E TESTE (RN_2)

Tabela 6A Programação do modelo RN_2

		Notes	
Output Created			12-JUN-2012 22:24:03
Comments			
Input	Data Active Dataset Filter Weight Split File N of Rows in Working Data File	C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_SDF_DOLAR_8X2.sav Conjunto_de_dados1 <none> <none> <none>	
Missing Value Handling	Definition of Missing Cases Used	User- and system-missing values are treated as missing. Statistics are based on cases with valid data for all variables used by the procedure.	28
Weight Handling		not applicable MLP CMKWh (MLEVEL=S) DPKWh (MLEVEL=S) WITH comodos contatourb escolar sazonal RendaFamUS\$ adultos crianças sistema /RESCALE COVARIATE=ADJNORMALIZED DEPENDENT=NORMALIZED (CORRECTION=0.02) /PARTITION VARIABLE=PARTIÇÃO_0.8 /ARCHITECTURE AUTOMATIC=NO HIDDENLAYERS=1 (NUMUNITS=5) HIDDENFUNCTION=SIGMOID OUTPUTFUNCTION=SIGMOID	
Syntax		/CRITERIA TRAINING=BATCH OPTIMIZATION=SCALEDCONJUGATE LAMBDAINITIAL=0.0000005 SIGMAINITIAL=0.00005 INTERVALCENTER=0 INTERVALOFFSET=0.5 MEMSIZE=1000 /PRINT CPS NETWORKINFO SUMMARY CLASSIFICATION SOLUTION IMPORTANCE /PLOT NETWORK PREDICTED /STOPPINGRULES ERRORSTEPS= 1 (DATA=AUTO) TRAININGTIMER=ON (MAXTIME=15) MAXEPOCHS=200 ERRORCHANGE=1.0E-4 ERRORTATIO=0.0010 /MISSING USERMISSING=EXCLUDE .	
Resources	Processor Time		00:00:01,08
	Elapsed Time		00:00:01,07

[Conjunto_de_dados1] C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_SDF_DOLAR_8X2.sav

Tabela 7A Particionamento da mostra e configuração da RN_2

Case Processing Summary

		N	Percent
Sample	Training	21	75,0%
	Holdout	7	25,0%
Valid		28	100,0%
Excluded		0	
Total		28	

Network Information

Input Layer		1	comodos	
		2	contato urb	
		3	escolar.	
	Covariates	4	sazonal	
		5	Renda Fam	US\$
		6	adultos	
		7	crianças	
Hidden Layer(s)	Number of Units			7
	Rescaling Method for Covariates		Adjusted normalized	
	Number of Hidden Layers			1
	Number of Units in Hidden Layer 1			5
Output Layer	Activation Function		Sigmoid	
	Dependent Variables	1	CM (KWh)	
		2	DP (KWh)	
	Number of Units			2
	Rescaling Method for Scale Dependents		Normalized	
	Activation Function		Sigmoid	
	Error Function		Sum of Squares	

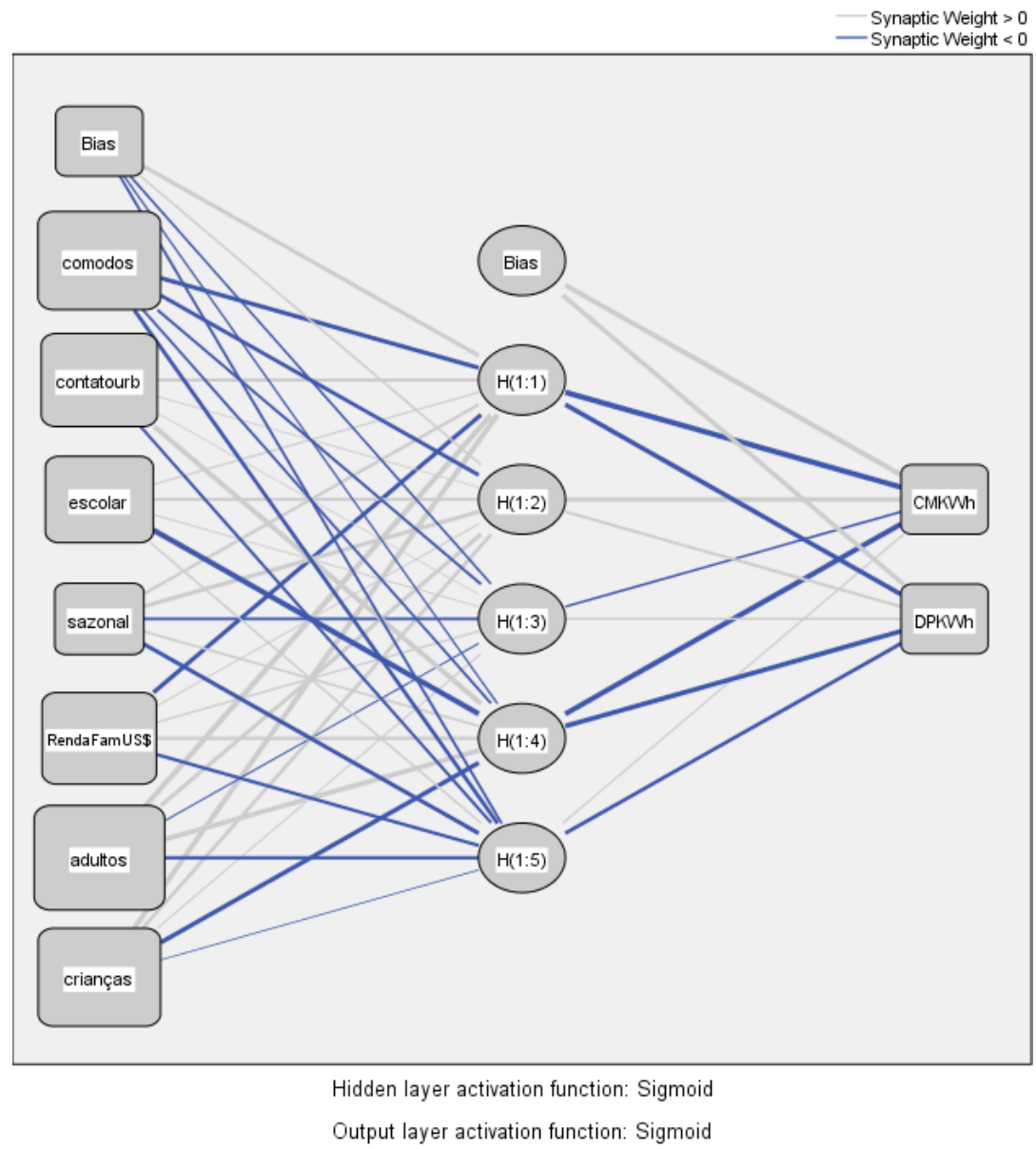


Figura 3A Topologia da RN_2

Tabela 8A Medidas de desempenho da RN_2

Model Summary			
	Sum of Squares Error		,041
	Average Overall Relative Error		,035
Training	Relative Error for Scale	CM (KWh)	,027
	Dependents	DP (KWh)	,048
	Stopping Rule Used	Maximum number of epochs (200) exceeded	
	Training Time		0:00:00,01
	Average Overall Relative Error		,619
Holdout	Relative Error for Scale	CM (KWh)	,523
	Dependents	DP (KWh)	,920

Tabela 9A Pesos sinápticos da RN_2

Parameter Estimates								
Predictor	Predicted							
	Hidden Layer 1					Output Layer		
	H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	H(1:5)	CMKWh	DPKWh	
Input Layer	(Bias)	3,728	,991	-1,167	-,668	-1,460		
	comodos	-4,527	-3,637	-1,521	-1,449	-3,207		
	contatourb	1,999	,293	,253	5,456	-1,659		
	escolar	,566	1,784	,397	-6,535	,711		
	sazonal	1,851	3,968	-1,562	1,347	-3,923		
	RendaFamUS\$	-4,426	,407	,678	2,446	-2,301		
	adultos	6,351	3,674	-,426	5,381	-2,509		
	crianças	6,098	2,780	,472	-4,535	-,268		
Hidden Layer 1	(Bias)						6,082	4,551
	H(1:1)						-7,425	-4,883
	H(1:2)						4,596	1,625
	H(1:3)						-1,227	1,425
	H(1:4)						-6,205	-5,181
	H(1:5)						,550	-3,026

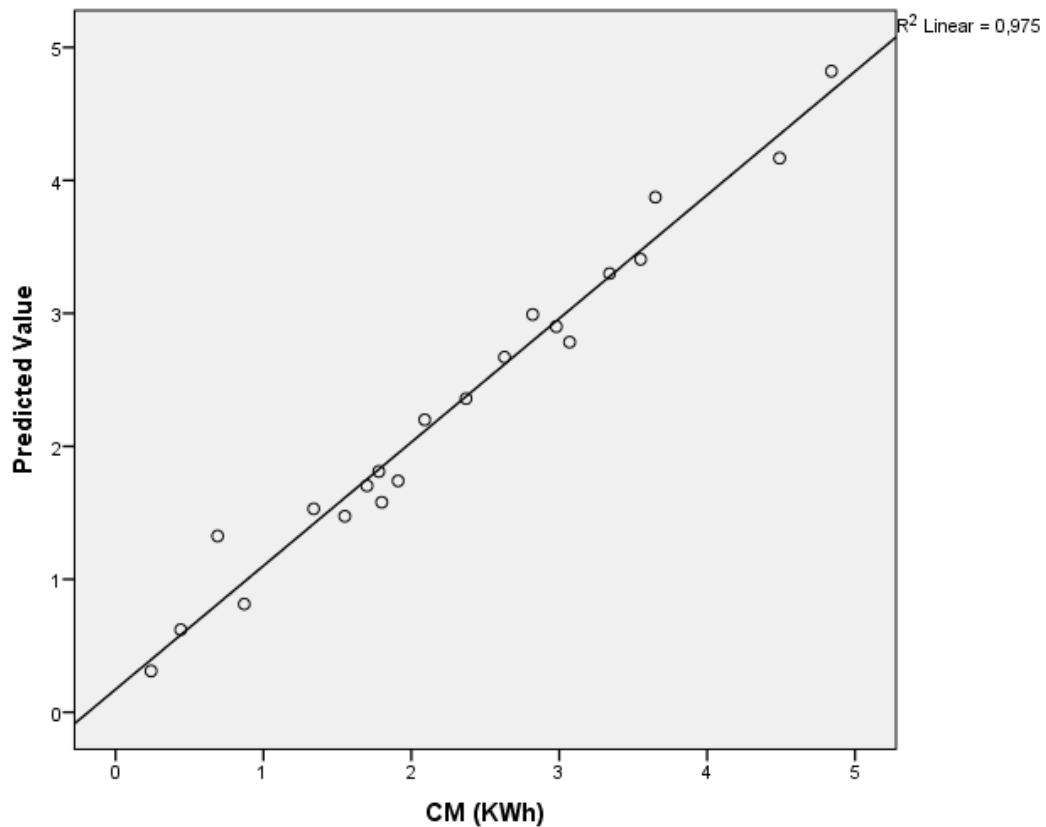


Figura 4A Ajuste linear de consumo de energia elétrica familiar mensal real e previstos pela RN_2

Tabela 10A Importância das variáveis independentes RN_2

Independent Variable Importance		
	Importance	Normalized Importance
comodos	,159	90,9%
contato urb	,146	83,5%
escolar.	,129	74,0%
sazonal	,091	52,4%
Renda Fam US\$,142	81,4%
adultos	,175	100,0%
crianças	,158	90,6%

3. RESULTADOS PARA AMOSTRA DE COMUNIDADES RURAIS ABASTECIDAS POR SFD E REDE ELÉTRICA CONVENCIONAL, SOMENTE TREINAMENTO (RN_3)

Tabela 11A Programação do modelo RN_3

		Notes	
Output Created			08-JUN-2012 18:31:47
Comments			
	Data	C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_RUR_DOLAR_8X2_NORM.sav	
	Active Dataset	Conjunto_de_dados2	
Input	Filter	<none>	
	Weight	<none>	
	Split File	<none>	
	N of Rows in Working Data File		35
Missing Value Handling	Definition of Missing	User- and system-missing values are treated as missing.	
	Cases Used	Statistics are based on cases with valid data for all variables used by the procedure.	
Weight Handling		not applicable	
		MLP CMKWh (MLEVEL=S) DPKWh (MLEVEL=S) WITH RendaFamUS\$ sistema comodos contatourb escolar sazonal adultos crianças	
		/RESCALE COVARIATE=NONE DEPENDENT=NORMALIZED (CORRECTION=0.02)	
		/PARTITION TRAINING=7 TESTING=0 HOLDOUT=0	
		/ARCHITECTURE AUTOMATIC=NO HIDDENLAYERS=1 (NUMUNITS=6) HIDDENFUNCTION=SIGMOID	
		OUTPUTFUNCTION=SIGMOID	
Syntax		/CRITERIA TRAINING=BATCH OPTIMIZATION=SCALEDCONJUGATE LAMBDAINITIAL=0.000005	
		SIGMAINITIAL=0.00005 INTERVALCENTER=0 INTERVALOFFSET=0.5 MEMSIZE=1000	
		/PRINT CPS NETWORKINFO SUMMARY SOLUTION IMPORTANCE	
		/PLOT NETWORK PREDICTED	
		/STOPPINGRULES ERRORSTEPS= 1 (DATA=AUTO) TRAININGTIMER=ON (MAXTIME=15) MAXEPOCHS=200	
		ERRORCHANGE=1.0E-4 ERRORRATIO=0.0010	
		/MISSING USERMISSING=EXCLUDE .	
Resources	Processor Time		00:00:01,01
	Elapsed Time		00:00:01,05

[Conjunto_de_dados2] C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_RUR_DOLAR_8X2_NORM.sav

Tabela 12A Particionamento da amostra e configuração da RN_3

Case Processing Summary

		N	Percent
Sample	Training	35	100,0%
Valid		35	100,0%
Excluded		0	
Total		35	

Network Information

		1	Renda Fam	US\$
		2	sistema	
		3	comodos	
		4	contato urb	
Input Layer	Covariates	5	escolar.	
		6	sazonal	
		7	adultos	
		8	crianças	
	Number of Units			8
	Rescaling Method for Covariates		None	
Hidden Layer(s)	Number of Hidden Layers			1
	Number of Units in Hidden Layer 1			6
	Activation Function		Sigmoid	
	Dependent Variables	1	CM (KWh)	
		2	DP (KWh)	
Output Layer	Number of Units			2
	Rescaling Method for Scale Dependents		Normalized	
	Activation Function		Sigmoid	
	Error Function		Sum of Squares	

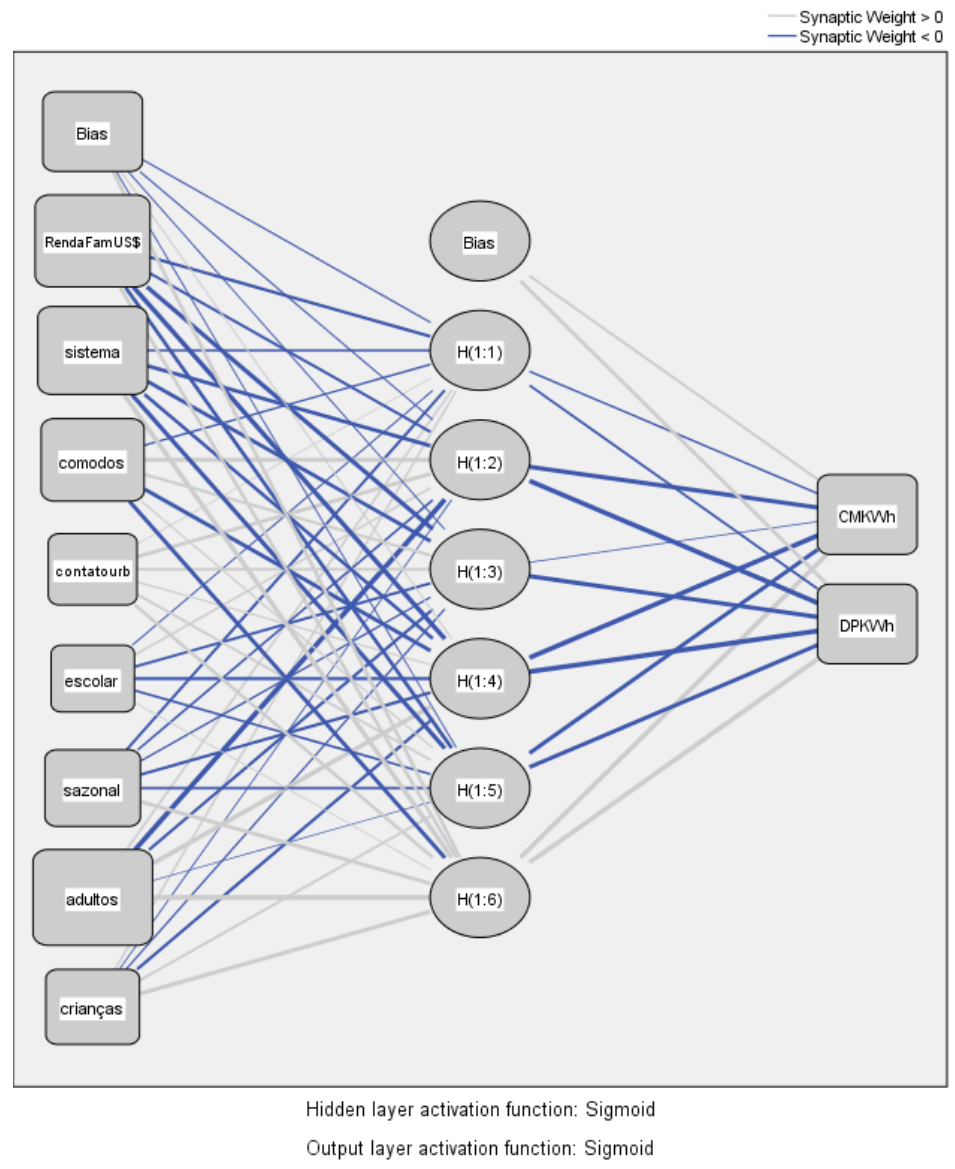


Figura 5A Topologia da RN_3

Tabela 13A Medidas de desempenho da RN_3

Model Summary			
	Sum of Squares Error		,005
	Average Overall Relative Error		,002
Training	Relative Error for Scale Dependents	CM (KWh)	,002
		DP (KWh)	,003
	Stopping Rule Used	Maximum number of epochs (200) exceeded	
	Training Time		0:00:00,02

Tabela 14A Pesos sinápticos da RN_3

Parameter Estimates									
Predictor	Predicted								
	Hidden Layer 1						Output Layer		
	H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	H(1:5)	H(1:6)	CMKWh	DPKWh	
Input Layer	(Bias)	-,318	-,310	-,169	,247	-,164	1,689		
	RendaFamUS\$	-1,260	-,993	-2,776	-4,154	-1,701	1,556		
	sistema	-,796	-1,834	-1,757	-1,651	-2,602	3,735		
	comodos	-,423	2,515	1,051	-1,842	,349	-1,854		
	contatourb	,069	1,742	1,103	,364	,839	1,503		
	escolar	-,281	,557	-,949	-1,401	-,786	,137		
	sazonal	-,992	-,724	-,408	-1,145	-,905	1,747		
	adultos	,660	-7,554	-1,144	3,689	-,064	7,967		
	crianças	,555	-,137	-,395	-1,248	,866	2,469		
Hidden Layer 1	(Bias)						,947	1,693	
	H(1:1)						-,509	-,850	
	H(1:2)						-3,210	-5,510	
	H(1:3)						-,097	-2,784	
	H(1:4)						-5,120	-6,873	
	H(1:5)						-1,913	-2,157	
H(1:6)						4,514	4,728		

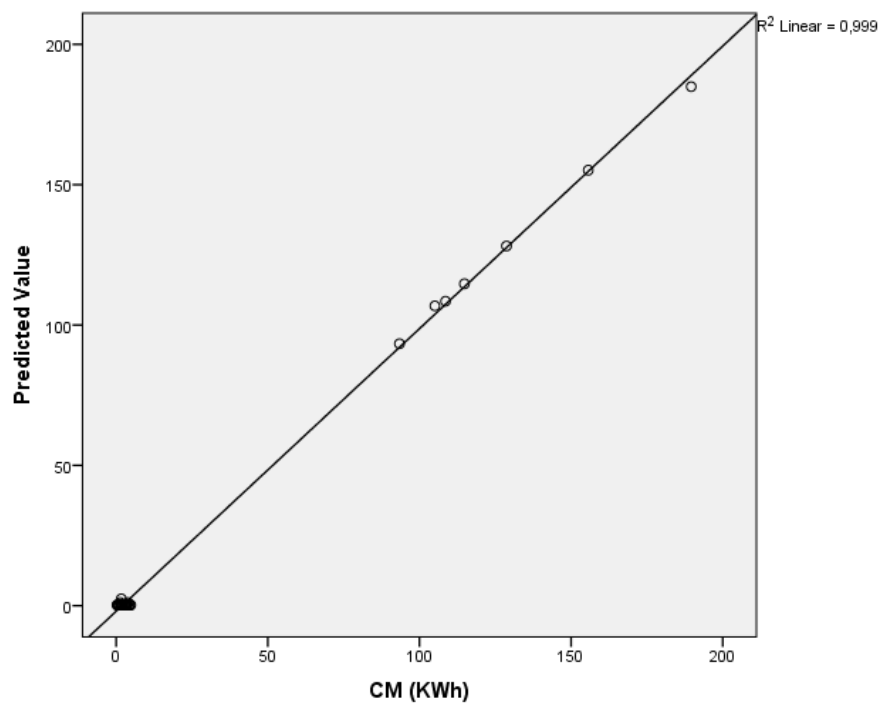


Figura 6A Ajuste linear de consumo de energia elétrica familiar mensal real e previstos pela RN_3

Tabela 15A Importância das variáveis independentes RN_3

		Independent Variable Importance	
		Importance	Normalized Importance
Renda Fam	US\$,206	88,3%
sistema		,176	75,3%
comodos		,136	58,4%
contato urb		,053	22,9%
escolar.		,021	9,1%
sazonal		,093	39,8%
adultos		,233	100,0%
crianças		,082	35,1%

3. RESULTADOS PARA AMOSTRA DE COMUNIDADES RURAIS ABASTECIDAS POR SFD E REDE ELÉTRICA CONVENCIONAL, PARTICIONADA EM AMOSTRA DE TREINAMENTO E DE TESTE (RN_4)

Tabela 16A Programação do modelo RN_4

			Notes	
Output Created				12-JUN-2012 19:48:16
Comments				
Input	Data Active Dataset Filter Weight Split File N of Rows in Working Data File		C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_RUR_DOLAR_8X2.sav Conjunto_de_dados1 <none> <none> <none>	
Missing Value Handling	Definition of Missing Cases Used		User- and system-missing values are treated as missing. Statistics are based on cases with valid data for all variables used by the procedure.	50
Weight Handling			not applicable MLP CMKWh (MLEVEL=S) DPKWh (MLEVEL=S) WITH comodos contatourb escolar sazonal RendaFamUS\$ adultos crianças sistema /RESCALE COVARIATE=ADJNORMALIZED DEPENDENT=NORMALIZED (CORRECTION=0.02) /PARTITION VARIABLE=PARTIÇÃO_0.8 /ARCHITECTURE AUTOMATIC=NO HIDDENLAYERS=1 (NUMUNITS=6) HIDDENFUNCTION=SIGMOID OUTPUTFUNCTION=SIGMOID	
Syntax			/CRITERIA TRAINING=BATCH OPTIMIZATION=SCALEDCONJUGATE LAMBDAINITIAL=0.0000005 SIGMAINITIAL=0.00005 INTERVALCENTER=0 INTERVALOFFSET=0.5 MEMSIZE=1000 /PRINT CPS NETWORKINFO SUMMARY CLASSIFICATION SOLUTION IMPORTANCE /PLOT NETWORK PREDICTED /SAVE PREDVAL /STOPPINGRULES ERRORSTEPS= 1 (DATA=AUTO) TRAININGTIMER=ON (MAXTIME=15) MAXEPOCHS=200 ERRORCHANGE=1.0E-4 ERRORRATIO=0.0010 /MISSING USERMISSING=EXCLUDE .	
Resources	Processor Time Elapsed Time			00:00:01,19 00:00:01,27
Variables Created or Modified	Predicted Value	CMKWh DPKWh	MLP_PredictedValue_1_A MLP_PredictedValue_2_A	

[Conjunto_de_dados1] C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_RUR_DOLAR_8X2.sav

Tabela 17A Particionamento da amostra e configuração da RN_4

Case Processing Summary			
		N	Percent
Sample	Training	28	80,0%
	Holdout	7	20,0%
Valid		35	100,0%
Excluded		15	
Total		50	

Network Information			
Input Layer	Covariates	1	comodos
		2	contato urb
		3	escolar.
		4	sazonal
		5	Renda Fam US\$
		6	adultos
		7	crianças
		8	sistema
Hidden Layer(s)	Number of Units ^a		8
	Rescaling Method for Covariates		Adjusted normalized
	Number of Hidden Layers		1
	Number of Units in Hidden Layer 1 ^a		6
Output Layer	Activation Function		Sigmoid
	Dependent Variables	1	CM (KWh)
		2	DP (KWh)
	Number of Units		2
	Rescaling Method for Scale Dependents		Normalized
	Activation Function		Sigmoid
	Error Function		Sum of Squares

a. Excluding the bias unit

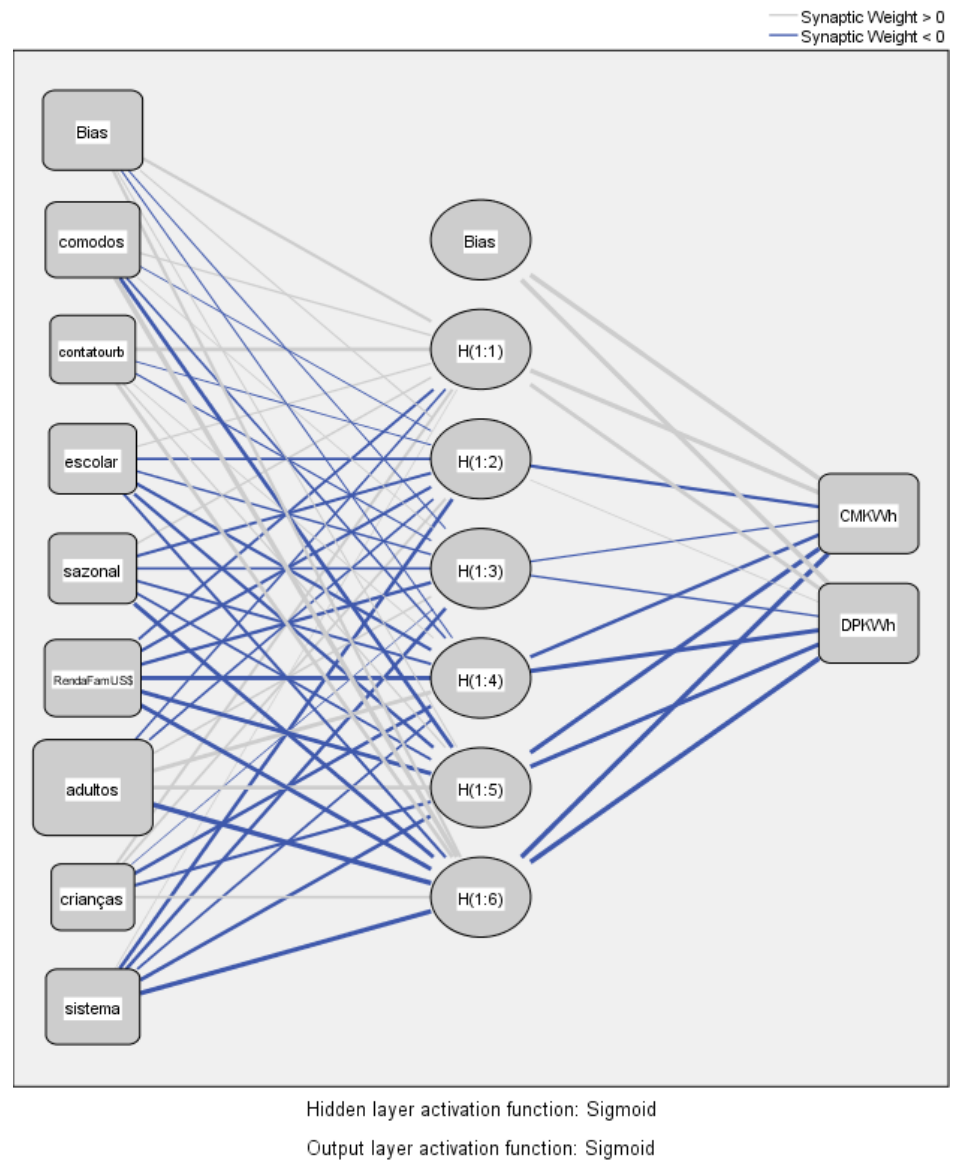


Figura 7A Topologia da RN_4

Tabela 18A Medidas de desempenho da RN_4

Model Summary			
Training	Sum of Squares Error		,003
	Average Overall Relative Error		,001
	Relative Error for Scale	CM (KWh)	,001
	Dependents	DP (KWh)	,002
	Stopping Rule Used	Maximum number of epochs (200) exceeded	
	Training Time		0:00:00,02
Holdout	Average Overall Relative Error		2,565
	Relative Error for Scale	CM (KWh)	2,512
	Dependents	DP (KWh)	2,631

Tabela 19A Pesos sinápticos da RN_4

Parameter Estimates									
Predictor	Predicted								
	Hidden Layer 1						Output Layer		
	H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	H(1:5)	H(1:6)	CMKWh	DPKWh	
Input Layer	(Bias)	1,115	,182	-,174	-,181	,173	1,363		
	comodos	,237	-,164	,120	-,489	-1,916	5,327		
	contatourb	2,001	-,171	-,223	,149	,215	1,847		
	escolar	,212	-,813	-,367	-1,420	-1,521	-1,009		
	sazonal	,272	-1,100	-,702	-,823	-,764	-2,095		
	RendaFamUS\$	-,870	-1,318	-1,592	-2,743	-2,581	-2,712		
	adultos	-,452	-,508	,325	2,184	2,374	-12,121		
	crianças	,918	,753	-,055	-1,670	-1,484	,820		
	sistema	,049	-1,728	-1,660	-,764	-1,792	-3,723		
Hidden Layer 1	(Bias)							4,785	5,205
	H(1:1)							3,385	2,022
	H(1:2)							-1,499	,113
	H(1:3)							-,227	-,292
	H(1:4)							-1,714	-3,176
	H(1:5)							-3,329	-3,108
H(1:6)							-6,558	-7,632	

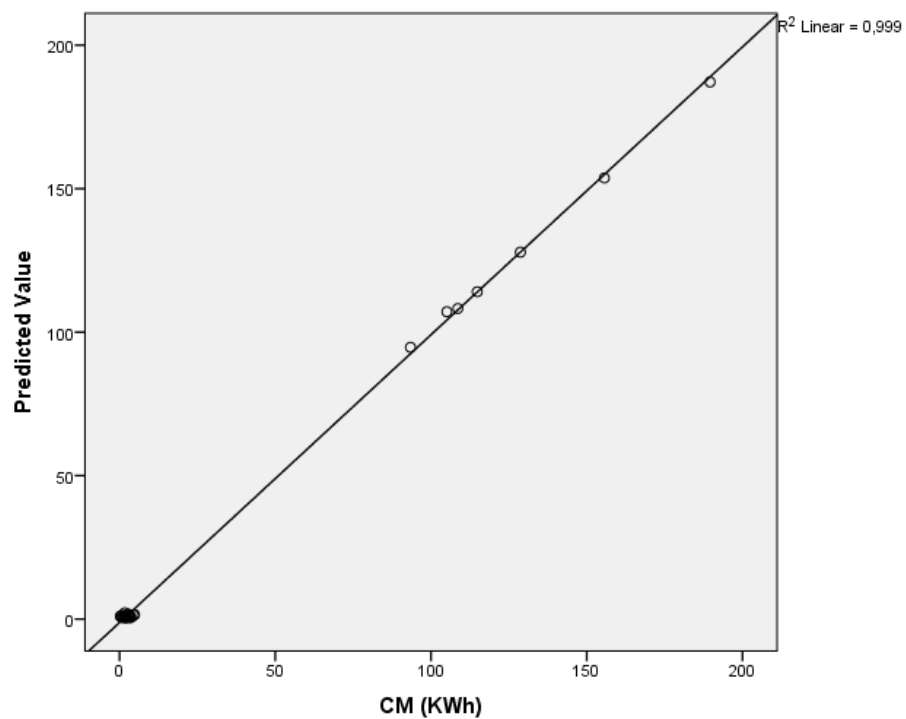


Figura 8A Ajuste linear de consumo de energia elétrica familiar mensal real e previstos pela RN_4

Tabela 20A Importância das variáveis independentes RN_4

Independent Variable Importance

	Importance	Normalized Importance
comodos	,134	36,6%
contato urb	,049	13,3%
escolar.	,069	18,8%
sazonal	,072	19,6%
Renda Fam US\$,151	41,3%
adultos	,366	100,0%
crianças	,029	8,0%
sistema	,130	35,4%

5. RESULTADOS PARA AMOSTRA COMPOSTA DE FAMÍLIAS DE COMUNIDADES RURAIS ABASTECIDAS POR SFD E REDE ELÉTRICA CONVENCIONAL, E POR FAMILIAS URBANAS, SOMENTE TREINAMENTO (RN_5)

Tabela 21A Programação do modelo (RN_5)

		Notes	
Output Created			08-JUN-2012 20:18:47
Comments			
	Data	C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_TODAS_DOLAR_8X2.sav	
	Active Dataset	Conjunto_de_dados5	
Input	Filter	<none>	
	Weight	<none>	
	Split File	<none>	
	N of Rows in Working Data File		50
Missing Value Handling	Definition of Missing	User- and system-missing values are treated as missing.	
	Cases Used	Statistics are based on cases with valid data for all variables used by the procedure.	
Weight Handling		not applicable	
		MLP CMKWh (MLEVEL=S) DPKWh (MLEVEL=S) WITH comodos contatourb escolar sazonal RendaFamUS\$ adultos crianças sistema	
		/RESCALE COVARIATE=ADJNORMALIZED DEPENDENT=NORMALIZED (CORRECTION=0.02)	
		/PARTITION TRAINING=7 TESTING=0 HOLDOUT=0	
		/ARCHITECTURE AUTOMATIC=NO HIDDENLAYERS=1 (NUMUNITS=5) HIDDENFUNCTION=SIGMOID	
		OUTPUTFUNCTION=SIGMOID	
Syntax		/CRITERIA TRAINING=BATCH OPTIMIZATION=SCALEDCONJUGATE LAMBDAINITIAL=0.0000005 SIGMAINITIAL=0.00005	
		INTERVALCENTER=0 INTERVALOFFSET=0.5 MEMSIZE=1000	
		/PRINT CPS NETWORKINFO SUMMARY SOLUTION IMPORTANCE	
		/PLOT NETWORK PREDICTED	
		/STOPPINGRULES ERRORSTEPS= 1 (DATA=AUTO) TRAININGTIMER=ON (MAXTIME=15) MAXEPOCHS=200	
		ERRORCHANGE=1.0E-4 ERRORRATIO=0.0010	
		/MISSING USERMISSING=EXCLUDE .	
Resources	Processor Time		00:00:00,98
	Elapsed Time		00:00:01,01

[Conjunto_de_dados5] C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_TODAS_DOLAR_8X2.sav

Tabela 22A Particionamento da amostra e configuração da RN_5

Case Processing Summary			
		N	Percent
Sample	Training	50	100,0%
Valid		50	100,0%
Excluded		0	
Total		50	

Network Information			
Input Layer	Covariates	1	comodos
		2	contato urb
		3	escolar.
		4	sazonal
		5	Renda Fam US\$
		6	adultos
		7	crianças
		8	sistema
Hidden Layer(s)	Number of Units		8
	Rescaling Method for Covariates		Adjusted normalized
	Number of Hidden Layers		1
	Number of Units in Hidden Layer 1		5
Output Layer	Activation Function		Sigmoid
	Dependent Variables	1	CM (KWh)
		2	DP (KWh)
	Number of Units		2
	Rescaling Method for Scale Dependents		Normalized
	Activation Function		Sigmoid
	Error Function		Sum of Squares



Hidden layer activation function: Sigmoid

Output layer activation function: Sigmoid

Figura 9A Topologia da RN_5

Tabela 23A Medidas de desempenho da RN_5

Model Summary			
	Sum of Squares Error		,083
	Average Overall Relative Error		,029
Training	Relative Error for Scale Dependents	CM (KWh)	,009
		DP (KWh)	,070
	Stopping Rule Used	Maximum number of epochs (200) exceeded	
	Training Time		0:00:00,02

Tabela 24A Pesos sinápticos da RN_5

Parameter Estimates								
Predictor	Predicted							
	Hidden Layer 1					Output Layer		
	H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	H(1:5)	CMKWh	DPKWh	
Input Layer	(Bias)	1,190	2,351	-4,584	-,633	-,884		
	comodos	4,200	5,019	11,046	2,028	4,743		
	contatourb	-,265	-3,010	-,308	,424	2,014		
	escolar	-3,187	-1,184	-2,328	-1,695	,872		
	sazonal	1,117	-,267	4,595	-1,022	,102		
	RendaFamUS\$	5,670	-3,631	11,301	,088	-1,201		
	adultos	4,644	-3,361	-8,674	-1,034	2,874		
	crianças	-,078	-1,339	1,243	-1,239	1,253		
	sistema	-3,359	,125	-3,654	-3,725	-,030		
	(Bias)						2,175	-,379
Hidden Layer 1	H(1:1)						-5,660	-6,357
	H(1:2)						-3,233	-1,004
	H(1:3)						7,078	7,723
	H(1:4)						-3,773	-3,521
	H(1:5)						2,605	,368

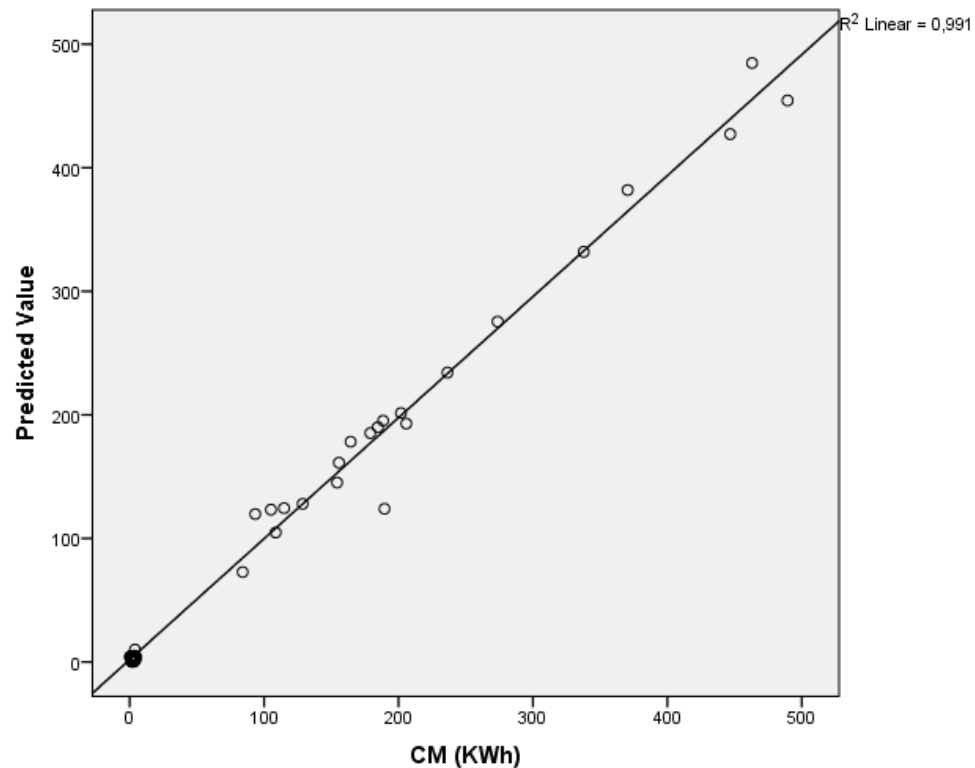


Figura 10A Ajuste linear de consumo de energia elétrica familiar mensal real e previstos pela RN_5

Tabela 25A Importância das variáveis independentes RN_5

Independent Variable Importance

	Importance	Normalized Importance
comodos	,223	100,0%
contato urb	,043	19,5%
escolar.	,089	40,0%
sazonal	,066	29,7%
Renda Fam US\$,218	97,7%
adultos	,132	59,1%
crianças	,073	32,9%
sistema	,155	69,8%

6. RESULTADOS PARA AMOSTRA COMPOSTA DE FAMÍLIAS DE COMUNIDADES RURAIS ABASTECIDAS POR SFD E REDE ELÉTRICA CONVENCIONAL, E POR FAMILIAS URBANAS, PARTICIONADA EM AMOSTRA DE TREINAMENTO E TESTE (RN_6)

Tabela 26A Programação do modelo RN_6

			Notes	
Output Created				09-JUN-2012 20:57:23
Comments				
Input	Data		C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_TODAS_DOLAR_8X2.sav	
	Active Dataset		Conjunto_de_dados2	
	Filter		<none>	
	Weight		<none>	
	Split File		<none>	
Missing Value Handling	N of Rows in Working Data File			50
	Definition of Missing		User- and system-missing values are treated as missing.	
Weight Handling	Cases Used		Statistics are based on cases with valid data for all variables used by the procedure.	
			not applicable	
Syntax			MLP CMKWh (MLEVEL=S) DPKWh (MLEVEL=S) WITH comodos contatourb escolar sazonal RendaFamUS\$ adultos crianças sistema	
			/RESCALE COVARIATE=ADJNORMALIZED DEPENDENT=NORMALIZED (CORRECTION=0.02)	
			/PARTITION VARIABLE=PARTIÇÃO_0.7	
			/ARCHITECTURE AUTOMATIC=NO HIDDENLAYERS=1 (NUMUNITS=5) HIDDENFUNCTION=SIGMOID	
			OUTPUTFUNCTION=SIGMOID	
			/CRITERIA TRAINING=BATCH OPTIMIZATION=SCALEDCONJUGATE LAMBDAINITIAL=0.0000005	
			SIGMAINITIAL=0.00005 INTERVALCENTER=0 INTERVALOFFSET=0.5 MEMSIZE=1000	
			/PRINT CPS NETWORKINFO SUMMARY CLASSIFICATION SOLUTION IMPORTANCE	
			/PLOT NETWORK PREDICTED	
			/SAVE PREDVAL	
Resources	Processor Time			00:00:01,06
	Elapsed Time			00:00:01,06
Variables Created or Modified	Predicted Value	CMKWh	MLP_PredictedValue_1_K	
		DPKWh	MLP_PredictedValue_2_K	

[Conjunto_de_dados2] C:\Users\ROBERTA & EVERTON\Desktop\JADER_11-04-12\DADOS_TODAS_DOLAR_8X2.sav

Tabela 27A Particionamento da amostra e configuração da RN_6

Case Processing Summary

		N	Percent
Sample	Training	34	68,0%
	Holdout	16	32,0%
Valid		50	100,0%
Excluded		0	
Total		50	

Network Information

Input Layer		1	comodos	
		2	contato urb	
		3	escolar.	
	Covariates	4	sazonal	
		5	Renda Fam	US\$
		6	adultos	
		7	crianças	
		8	sistema	
Hidden Layer(s)	Number of Units			8
	Rescaling Method for Covariates		Adjusted normalized	
	Number of Hidden Layers			1
	Number of Units in Hidden Layer 1			5
Output Layer	Activation Function		Sigmoid	
	Dependent Variables	1	CM (KWh)	
		2	DP (KWh)	
	Number of Units			2
	Rescaling Method for Scale Dependents		Normalized	
	Activation Function		Sigmoid	
	Error Function		Sum of Squares	

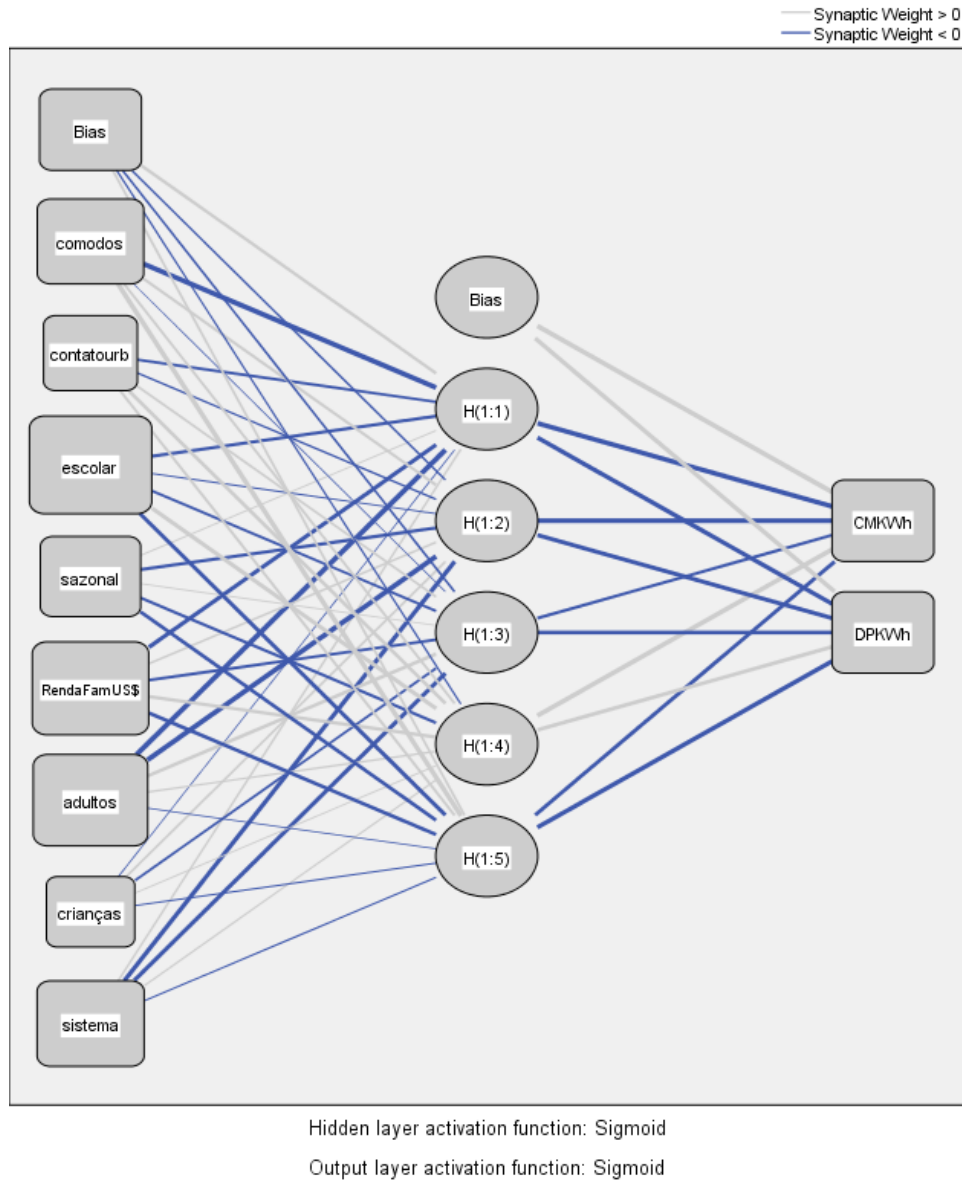


Figura 11A Topologia da RN_6

Tabela 28A Medidas de desempenho da RN_6

Model Summary

	Sum of Squares Error			,057
	Average Overall Relative Error			,026
Training	Relative Error for Scale Dependents	CM (KWh)		,012
		DP (KWh)		,053
	Stopping Rule Used		Maximum number of epochs (100) exceeded	
	Training Time			0:00:00,01
	Average Overall Relative Error			,676
Holdout	Relative Error for Scale Dependents	CM (KWh)		,416
		DP (KWh)		,839

Tabela 29A Pesos sinápticos da RN_6

Parameter Estimates

Predictor	Predicted							
	Hidden Layer 1					Output Layer		
	H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	H(1:5)	CMKWh	DPKWh	
Input Layer	(Bias)	1,364	-,555	-,647	-,439	,693		
	comodos	-3,937	,959	-,057	,754	3,277		
	contatourb	-,839	-,541	,666	1,695	,813		
	escolar	-1,430	-,341	-,775	2,147	-2,078		
	sazonal	,209	-1,456	,120	-1,209	-1,703		
	RendaFamUS\$	-2,164	,594	-1,104	1,565	-2,044		
	adultos	-4,461	-3,862	1,693	,455	-,103		
	crianças	-,073	,657	-,720	,207	-,384		
	sistema	,590	-2,473	-2,197	,419	-,403		
		(Bias)					3,297	2,647
Hidden Layer 1	H(1:1)					-3,365	-2,680	
	H(1:2)					-3,413	-2,296	
	H(1:3)					-1,275	-2,046	
	H(1:4)					3,084	2,049	
	H(1:5)					-2,065	-2,944	

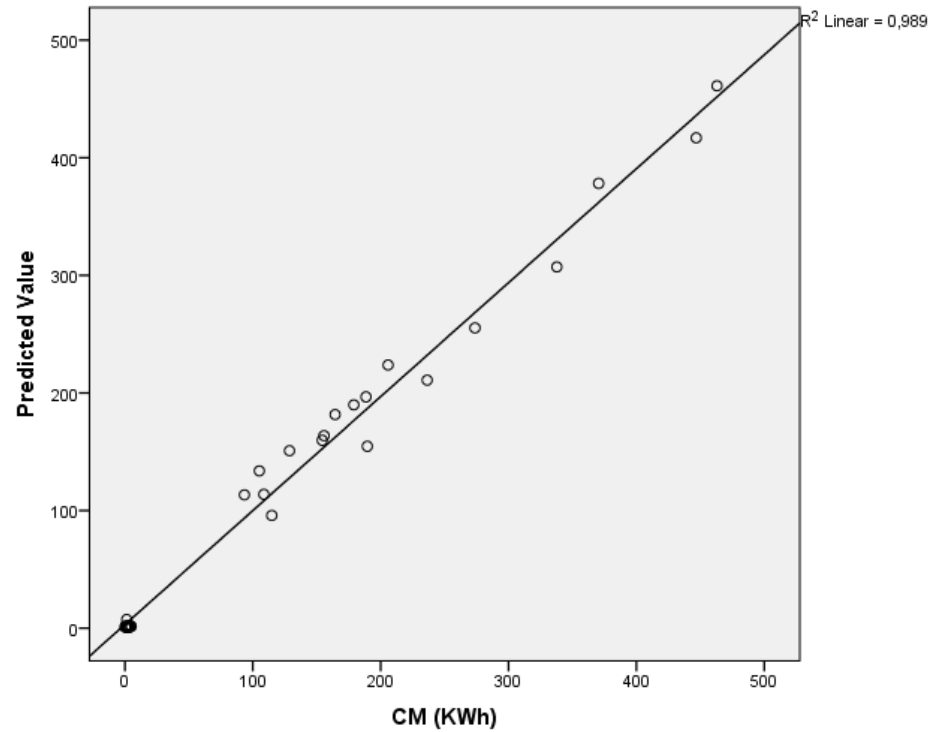


Figura 12A Ajuste linear de consumo de energia elétrica familiar mensal real e previstos pela RN_6

Tabela 30A Importância das variáveis independentes RN_6

Independent Variable Importance		
	Importance	Normalized Importance
comodos	,127	61,1%
contato urb	,062	30,0%
escolar.	,207	100,0%
sazonal	,096	46,2%
Renda Fam US\$,177	85,3%
adultos	,167	80,7%
crianças	,034	16,6%
sistema	,130	62,6%

APÊNDICE B – REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

O modelo de regressão múltipla pode ser expresso como

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

Os β 's podem ser estimados pelo método dos mínimos quadrados.

Para estimar os β 's pode-se utilizar uma amostra de n observações de y associados com os x 's. O modelo para a i -ésima observação é

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

As suposições para ε_i (ou y_i) são análogas àquelas da regressão linear simples a saber:

1. $E(\varepsilon_i) = 0$ para todo $i = 1, 2, \dots, n$, ou, equivalentemente, $E(y_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik}$.
2. $var(\varepsilon_i) = \sigma^2$ para todo $i = 1, 2, \dots, n$, ou, equivalentemente, $var(y_i) = \sigma^2$.
3. $cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$ para todo $i \neq j$, ou, equivalentemente, $cov(y_i, y_j) = 0$.

Escrevendo para cada uma das n observações temos

$$\begin{aligned} y_1 &= \beta_0 + \beta_1 x_{11} + \beta_2 x_{12} + \dots + \beta_k x_{1k} + \varepsilon_1 \\ y_2 &= \beta_0 + \beta_1 x_{21} + \beta_2 x_{22} + \dots + \beta_k x_{2k} + \varepsilon_2 \\ &\vdots \\ y_n &= \beta_0 + \beta_1 x_{n1} + \beta_2 x_{n2} + \dots + \beta_k x_{nk} + \varepsilon_n \end{aligned}$$

Essas n equações podem ser escritas na forma matricial como

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$