



**SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GCE 15
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO XIV

GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

ANÁLISE DE PERDAS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS

Ricardo Santos d'Avila(*)

Geraldo Francisco Burani()**

José Aquiles Baesso Grimoni()**

**IEE-USP (INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO)(*)
EPUSP (ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO) (**)**

RESUMO

Este trabalho procura estabelecer uma metodologia inicial de análise de viabilidade econômica e financeira para a substituição de uma instalação elétrica residencial baseada nos ganhos possíveis de serem obtidos pela diminuição das perdas por aquecimento nos condutores, sob a ótica de um consumidor individual e, também, impactos energéticos em um sistema elétrico (na cidade de São Paulo) na possibilidade de substituição de quantidades maiores de instalações de consumidores típicos.

Utiliza figuras de mérito aplicáveis para análises econômicas de investimentos e de eficiência energética para avaliar as substituições e, também, avalia questões relativas à adequação de normas técnicas de instalações elétricas residenciais e de equipamentos e materiais.

PALAVRAS-CHAVE

Instalações elétricas; perdas Joule, certificação, fios e cabos elétricos, conservação de energia.

1.0 INTRODUÇÃO

O racionamento de energia elétrica decretado entre 1º de Junho de 2001 a 1º de Março de 2002 impôs à população do Brasil uma redução compulsória de consumo de energia elétrica, com reflexos diretos e repercussões em toda a cadeia envolvida, da produção ao uso final. As metas mensais contabilizadas nas faturas emitidas pelas empresas concessionárias colaboraram para que os consumidores se ativessem ao preço pago pela energia elétrica e à quantidade de energia elétrica consumida e repercutiu em outros setores que não os consumidores, apenas. Outros setores, como as empresas concessionárias, os fabricantes de materiais e equipamentos elétricos e prestadores de serviços de projeto e de instalação também foram sensibilizados.

Associado ao comportamento dos preços das tarifas de energia elétrica no setor residencial brasileiro, que evoluíram 170,77% nominais no período de 1995 a 2002 (equivalente a aumento real de 96,11% para IPCFIPE de 74,66%) [1], sugere o interesse em estudos pormenorizados relativos ao setor residencial.

Dentro da cadeia que envolve da produção ao uso final da energia elétrica, em ambiente de restrição de consumo e de aumento real de tarifas, destacam-se interesses no setor residencial por parte dos consumidores preocupados com as imposições de consumo e com as oportunidades de economia de energia e, especificamente sobre as instalações elétricas residenciais por parte dos fabricantes de equipamentos e materiais para instalações elétricas que buscam continuamente oportunidades de negócios, associados ao setor de prestação de serviços de projeto, execução e processos verificação de instalações elétricas.

2.0 ANÁLISES E TESTES INICIAIS EFETUADOS

Os estudos foram iniciados a partir dos trabalhos desenvolvidos no IEE-USP para elaboração do relatório técnico [2] que adotou como metodologia duas frentes de trabalho: medições em laboratório para verificar as perdas elétricas dos componentes da instalação (interruptores, plugues, tomadas, disjuntores e emendas) e variação das perdas em uma instalação escolhida para análise em função de possíveis variações das seções dos condutores.

As medições de laboratório foram efetuadas em corrente alternada de 60Hz, com tensão reduzida, em 45 corpos de prova submetidos à circulação de correntes variáveis de valores de décimos até a corrente nominal. Foram medidas para cada corrente elétrica, em cada corpo de prova, as respectivas quedas de tensão, que permitiram obter valores médios de suas resistências elétricas.

Outros elementos componentes das instalações considerados no estudo foram os cabos de cobre isolados e os disjuntores termomagnéticos (linhas elétricas e dispositivos de proteção). As resistências elétricas dos disjuntores termomagnéticos foram calculadas e estimadas tomando como base os limites, estabelecidos pela norma NBR IEC 60898/98, de máxima perda de potência por pólo, já os cabos foram considerados através das resistências elétricas máximas prescritas pelas suas próprias normas técnicas.

Por ocasião da realização dos estudos e condições das análises para elaboração do relatório técnico [2], o trabalho [3] não se encontrava completo e dispunha dos dados das instalações de apenas 280 imóveis contra 628 imóveis na versão final. Foi então escolhido um imóvel, com as características apresentadas a seguir, para efeito de cálculos das perdas por aquecimento em componentes das instalações elétricas e, também, para comparação com outras instalações passíveis de serem encontradas:

- Apartamentos padrão normal com área útil situada na faixa de 50-100m²; Imóveis com 4 circuitos ; Imóveis compostos por: 2 quartos, 1 cozinha, 1 lavanderia, 1 banheiro e 1 sala.

Embora tenha sido ampliada a pesquisa, manteve-se a análise sobre o mesmo tipo de imóvel já escolhido anteriormente e optou-se por avaliar os cálculos das perdas nos circuitos das instalações para diferentes tempos de utilização das cargas conectadas a estes circuitos, o que permitiu avaliar a sensibilidade das perdas para diferentes hábitos de consumo.

Foram consideradas, no imóvel com 51m² escolhido, três instalações elétricas:

Instalação Tipo 1: segundo as orientações da norma NBR 5410/1997 que era a versão aplicável na época e sem alterações, na sua versão atual, no tocante aos aspectos considerados como tipos de circuitos, fios e cabos recomendados, quantidades de pontos de luz e de tomada.

Instalação Tipo 2: segundo as constatações dos imóveis pesquisados disponíveis na época;

Instalação Tipo 3: considera a maioria dos circuitos utilizando condutores de seção 1,5mm².

Embora condição da Instalação Tipo 3 não tenha sido verificada nas pesquisas efetuadas, foi levada em conta dado que havia uma suposição de sua utilização freqüente a partir de informações da Associação Brasileira pela Qualidade dos Fios e Cabos Elétricos (QUALIFIO) que indicavam a venda de fios de seção 1,5mm² como dobro das vendas de fios de seção 2,5mm². Esta hipótese, per si, talvez não justificasse sua consideração, mas a experiência prática mostra esta ocorrência nas instalações residenciais, que pode ser corroborada por informações constantes de outros trabalhos [13] [3] [2], que dão conta da utilização de materiais de custos mais baixos e de serviços de execução e reparo de instalações por pessoas com qualificação questionável.

Foi adotada uma curva de demanda com energia de 12,46kWh por dia, ou seja, 373,8kWh por mês, aplicada às três instalações mantidas as cargas por cômodos para os três casos e calculadas as correntes nos circuitos e suas respectivas perdas percentuais, indicadas Tabelas 1, 2 e 3, a seguir.

TABELA 1 - Características da instalação elétrica segundo as orientações da norma NBR 5410/1997 (Instalação Tipo 1).

Circuito	Condutor de cobre Seção (mm ²)	Comprimento (m)	Fios e cabos	Perdas totais [%]
			Massa de cobre por m ² de construção 16,84/51 = 0,3302kg/m ²	1ª avaliação: 1,23 2ª avaliação: 1,46 a 1,47 Valor adotado: 1,29
1	2,5	36	Metros lineares de fios e cabos por m ² de construção 156,1/51 = 3,061m/m ²	Composição das perdas Cabos: 92% Acessórios: 8%
2	2,5	47		
3	2,5	10		
4	2,5	15		
5	2,5	15		
6	6	10		
entrada	16	24		

TABELA 2 - Características da instalação elétrica segundo as constatações dos imóveis pesquisados (Instalação Tipo 2).

Circuito	Condutor de cobre Seção (mm ²)	Comprimento (m)	Fios e cabos	Perdas totais [%]
			Massa de cobre por m ² de construção 7,61/51 = 0,149kg/m ² -----	1ª avaliação: 2,05 2ª avaliação: 2,08 a 2,11 Valor adotado: 2,08
1	2,5	36	Metros lineares de fios e cabos por m ² de construção 149,7/51 = 2,935m/m ²	Composição das perdas Cabos: 95% Acessórios: 5%
2	2,5	47		
3	2,5	10		
4	2,5	24		
5	4	10		
entrada	4	24		

TABELA 3 - Características da instalação elétrica considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção 1,5mm². (Instalação Tipo 3).

Circuito	Condutor de cobre Seção (mm ²)	Comprimento (m)	Fios e cabos	Perdas totais [%]
			Massa de cobre por m ² de construção 5,53/51 = 0,108kg/m ² -----	1ª avaliação: 2,25 2ª avaliação: 2,19 a 2,24 Valor adotado: 2,23
1	1,5	36	Metros lineares de fios e cabos por m ² de construção 149,7/51 = 2,935m/m ²	Composição das perdas Cabos: 95% Acessórios: 5%
2	1,5	47		
3	1,5	10		
4	1,5	24		
5	4	10		
entrada	4	24		

Os valores de perdas obtidos por ocasião da elaboração do relatório técnico [2] são indicados nas Tabelas 1, 2 e 3 como aqueles da “1ª avaliação”, considerados para as curvas de carga utilizadas. Posteriormente, as três instalações foram reavaliadas para diferentes curvas de carga com carregamentos variados nos circuitos, obtendo-se os valores máximos e mínimos indicados como “2ª avaliação”. Foram simulados valores de cargas e tempos máximos de utilização dos equipamentos e seus efeitos sobre os circuitos. Os valores indicados como “Valor adotado” correspondem às médias aritméticas entre os valores máximos e mínimos de cada instalação. Assim, a adoção destes valores típicos para estas três instalações é bastante razoável no tocante aos hábitos de consumo possíveis de serem encontrados, guardados o tamanho do imóvel adotado e as possíveis cargas neles instaladas.

O índice “Metros lineares de fios e cabos por m² de construção” foi indicado a título ilustrativo e podem orientar a utilização de fios e cabos em uma construção. Aqui para os três casos estudados, apenas, mostram maior quantidade de fios cabos para a instalação “Tipo 1” que possui um circuito a mais. A citação deste índice em pesquisa efetuada é encontrada em trabalho (4) onde é mencionada sem indicação de parâmetros comparativos e este índice, aparentemente, indica que seja utilizado para o uso em orçamentos de projetos não detalhados. Como este índice considera a soma dos comprimentos lineares de todos os fios e cabos utilizados, independentemente da seção, não parece ser um bom indicador para a qualidade ou adequação dos cabos para a instalação, embora possa servir como orientação inicial de quantidades sem que se elabore um projeto detalhado.

O índice “Massa de cobre por m² de construção” sugere uma melhor aproximação para efeito de comparação de perdas, como pode se notar é inversamente proporcional às perdas calculadas das instalações.

3.0 CONTABILIZAÇÃO DAS PERDAS CALCULADAS

Inicialmente, foram analisadas as possibilidades de ganhos financeiros por um consumidor individual que optasse por executar intervenção na instalação elétrica, promovendo uma redução das perdas da unidade consumidora. É encarado como um investimento para obtenção de ganhos de capital. Posteriormente, as avaliações foram feitas para um grupo de consumidores que tenham suas instalações afetadas pela mesma redução de perdas.

3.1 Consumidor individual

Os valores das perdas para as análises iniciais realizadas foram considerados como valores típicos das três instalações e uniformes mês a mês. Logo, de toda energia tarifada em um mês, a fração referente a cada perda típica é a energia gasta com aquecimento de cabos e de demais componentes da instalação.

As perdas em cada tipo de instalação foram calculadas para um ano de consumo e foram dadas como frações dos consumos (mensal e/ou anual) por categoria de consumo mensal. É dada pelo produto da perda percentual de cada tipo de instalação pelo consumo de energia elétrica anual medido no medidor de entrada da unidade e tarifado, classificada e baseada pelo consumo mensal. Não incorporam efeito sazonal e são admitidas constantes ao longo do ano.

O complemento do trabalho [3] levou a outro panorama de imóvel. Dos 628 imóveis considerados 74% são de casas com áreas úteis compreendidas na faixa de 50m² a 200m². Dados de pesquisas levam também a se considerar uma maior ocorrência deste tipo de imóvel, porém a análise feita inicialmente é representativa na medida em que os dados obtidos inicialmente podem ser transpostos para os imóveis residenciais de maior incidência na região sudeste e na cidade de São Paulo, pela própria conceituação utilizada para contabilização das perdas: uma fração da energia elétrica consumida, medida pela concessionária mensalmente e admitida constante para efeito de contabilização anual e também se levando em conta as avaliações realizadas nas perdas totais das instalações para diferentes utilizações horárias das cargas nos circuitos.

Foram escolhidas 10 categorias de consumidores em função do consumo mensal de energia elétrica: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 e 550kWh/mês que podem ser aplicadas ao consumidor habitante do imóvel típico considerado. A categoria 50kWh/mês represente um consumo mensal extremamente baixo e foi descartada na análise e poderá ser visto que é inviável a execução da substituição pela observação do Gráfico 2, adiante, que já mostra a inviabilidade para consumidores de 100kWh/mês.

O período de análise escolhido é igual à vida útil típica de uma instalação elétrica residencial, 30 anos para as três instalações.

Este valor de 30 anos parece razoável e admitido como plausível entre profissionais do setor, principalmente no tocante ao material isolante Policloreto de Vinila (PVC) utilizado nos fios e cabos elétricos, embora sejam conhecidos os efeitos da temperatura (entre outros) sobre os materiais isolantes. Algumas indicações de valores, em anos de vida útil, são encontrados em trabalhos que mostram estudos específicos de materiais isolantes, mas não das instalações elétricas.

As análises, em primeira vista, tiveram como objetivo considerar a substituição de uma instalação por outra, como decisão individual do consumidor para efeitos de ganho financeiro sobre a economia de energia perdida no aquecimento da instalação. Foi escolhida para análise, a substituição de uma “Instalação TIPO 3” para uma “Instalação TIPO 1”, o que representa a maior diferença nas perdas. Foram consideradas análises para o ano de 2006, com os respectivos preços dos materiais, da mão de obra e da energia elétrica.

Os custos referentes a cada tipo de instalação levaram em conta: preços dos fios e cabos com impostos obtidos em consulta em empresa varejista na cidade de São Paulo; valores de mão de obra para dos serviços de execução/adequação da instalação coletado através de consultas verbais feitas a profissionais eletricitistas.

Os preços da energia elétrica foram admitidos como aqueles calculados dividindo-se o valor total da conta fatura emitida pela concessionária (incluindo impostos, taxas e contribuições) pela quantidade de energia

mensal medida; em um imóvel residencial de área de 80m² na cidade de São Paulo. As análises consideram valores distintos dos preços de energia elétrica, progressivos geometricamente à razão de 1,105 (de 0,43R\$/kWh a 0,86R\$/kWh), porém não contemplam a evolução ao longo do tempo, durante o período de análise de 30 anos adotado, dos preços da energia elétrica adotados.

Foram utilizadas nas análises, as figuras de mérito aplicáveis para análises econômicas de investimentos e de eficiência energética [5], a seguir listadas e explicadas:

- **Tempo de Simples Retorno (TSR):** É a razão entre o investimento inicial adicional e a economia dos custos da energia no primeiro ano de operação. Simplesmente calcula o retorno do investimento em termos da energia economizada e não leva em conta o valor do dinheiro no tempo. Fornece uma aproximação inicial para a substituição proposta e é expresso por:

$$TSR = (\text{DIFERENÇA DE PREÇOS DAS INSTALAÇÕES}) / (\text{ECONOMIA ANUAL DE ENERGIA})$$

- **Tempo de Retorno Descontado (TRD):** É uma extensão do TSR (Tempo de Simples Retorno), porém leva em conta o período de análise e o valor do dinheiro (através do período de análise em "N" anos e do Fator de Recuperação de Capital para "N" anos e taxa de desconto "r"), fornece uma noção mais próxima da realidade sob ambientes com elevadas taxas de desconto e é expresso por:

$$TRD = TSP \times (\text{período de análise em N anos}) \times FRC(r;N)$$

- **Taxa Interna de Retorno (TIR):** É definida como o valor de uma taxa de desconto para a qual dois investimentos têm o mesmo valor presente.

- **Custo da Energia Conservada (CEC):** É uma medida de eficiência de custo do investimento realizado, como sendo o custo equivalente para uma unidade de energia conservada. Leva em conta o valor do dinheiro no tempo e a vida útil, através do Fator de Recuperação de Capital (FRC) e é expressa por:

$$CEC = FRC(r;N) \times (\text{DIFERENÇA DE PREÇOS DAS INSTALAÇÕES}) / (\text{ECONOMIA ANUAL DE ENERGIA})$$

- **Custo do Ciclo de Vida (CCV):** É o valor presente de todos os gastos relativos à determinada instalação. Permite a comparação direta entre as alternativas de instalações que de mesma vida útil, sendo a alternativa de menor CCV aquela que apresenta maior eficiência de custos. É calculado para cada instalação e é expresso por:

$$CCV = (\text{PREÇO DA INSTALAÇÃO}) + [(\text{PREÇO DA ENERGIA}) \times (\text{ENERGIA CONSUMIDA})] / FRC(r;N)$$

Foram feitas análises para várias taxas de desconto, mas deve se salientar que o valor de 12%aa é o valor mínimo recomendado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em seu documento específico de elaboração de programas de eficiência energética [6]. Os valores de materiais foram obtidos por meio de pesquisa no comércio varejista na cidade de São Paulo e os de mão de obra por meio de consulta a profissionais eletricitistas na cidade de São Paulo e mostrados na Tabela 4.

TABELA 4 - Custos obtidos para execução dos serviços de execução/adequação das instalações elétricas propostas.

Instalação	Material (com impostos)	Mão de Obra (sem impostos)	Total (material + mão de obra)	Energia elétrica (R\$/kWh)	Mês/Ano
TIPO 1	R\$ 782,38	R\$ 500,00	R\$ 1.282,38	R\$0,43/kWh	Agosto/2006
TIPO 3	R\$ 550,00	R\$ 500,00	R\$ 931,37		

Calculados os indicadores das figuras de mérito para as condições delineadas, obteve-se, já pelo Tempo de Simples Retorno (TSR), uma situação inicial de avaliação da viabilidade de execução da substituição proposta mostrando que os consumidores de interesse encontram-se nas faixas acima de 300kWh/mês, para os quais os TSR encontram-se dentro do período de análise (vida útil da instalação) e mostrado no Gráfico 1.

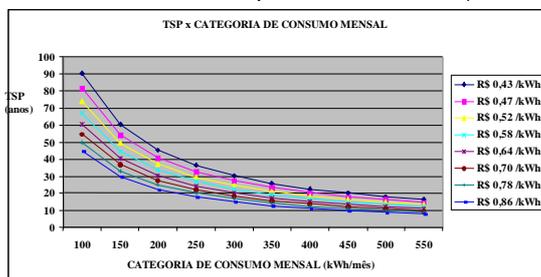


Gráfico 1 - Tempos de Simples Retorno

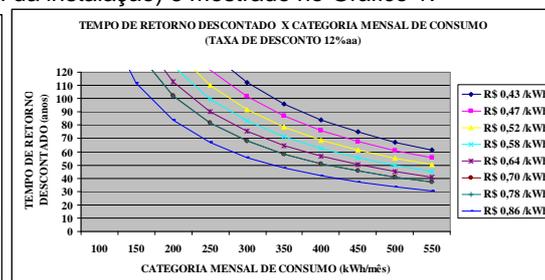


Gráfico 2 - Tempos de Retorno Descontados

Antes de se avançar nas análises com as demais figuras de mérito, já é de se supor fortemente que a substituição proposta se mostrará inviável sob a ótica do consumidor individual, pois ao se calcular os Tempos de Retorno Descontados (TRD) será levado em conta o custo do dinheiro (taxas de desconto ou de interesse). De fato, o Gráfico 2 mostra, que até mesmo para o valor da tarifa de energia elétrica do dobro da praticada atualmente, não é viável se executar a substituição.

A partir deste ponto, as análises das demais figuras de mérito são meramente ilustrativas e os Gráficos 3 e 4 denotam que o interesse se situa para consumidores da categoria 550kWh/mês, porém dobrado o custo da eletricidade. Isto sugere que novas análises devam ser feitas ou pela redução do custo do investimento inicial atingindo consumidores das faixas de menores consumos que 550kWh/mês ou envolvendo grupos de consumidores.

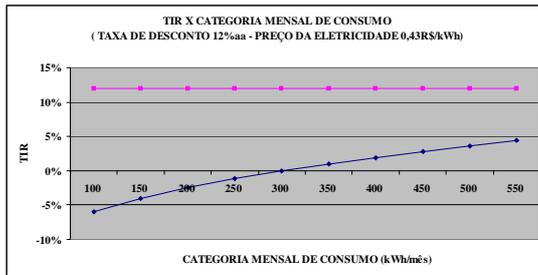


Gráfico 3 - Taxa Interna de Retorno para R\$0,43/kWh.

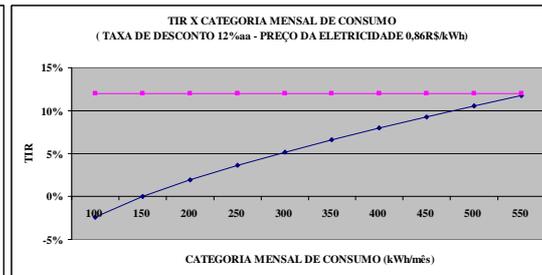


Gráfico 4 - Taxa Interna de Retorno para R\$0,86/kWh.

O Custo da Energia Conservada (CEC), mostrada no Gráfico 5, evidencia a inviabilidade da substituição, pois o custo de se conservar uma unidade de energia é maior do que o custo que se paga para consumir esta unidade de energia.

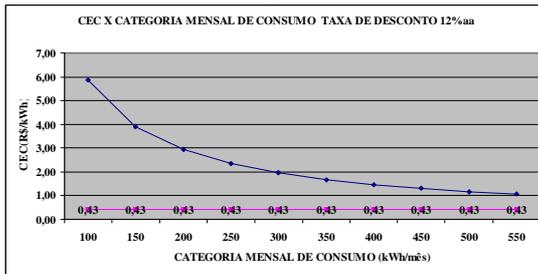


Gráfico 5 - Custo da Energia para R\$0,43/kWh.

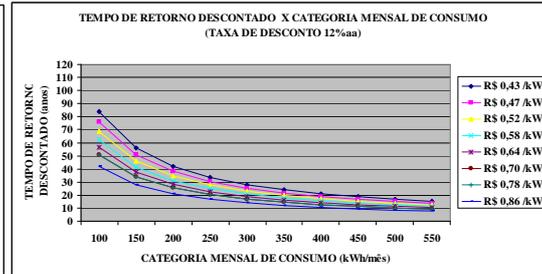


Gráfico 6 - Tempos de Retorno Descontados.

Uma nova estimativa é feita admitindo uma hipotética redução, pela metade, dos custos dos investimentos iniciais para a substituição proposta e seus efeitos são mostrados nos Gráficos 6, 7 e 8.

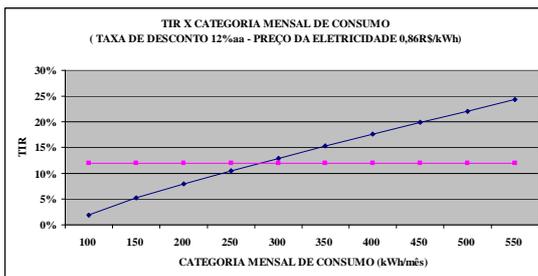


Gráfico 7 - Taxa Interna de Retorno.

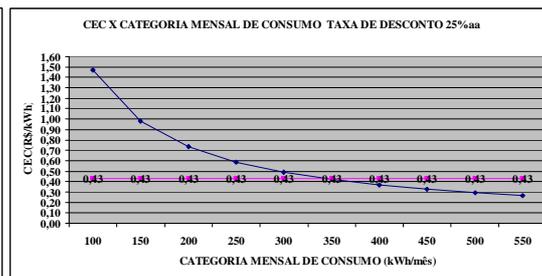


Gráfico 8 - Custo da Energia Conservada.

Deste modo, é possível deduzir que a promoção da redução das perdas consideradas não é atrativa aos olhos do consumidor que individualmente a promovesse. Há investimentos que proporcionam maiores ganhos de capital. Indica o enfoque de estudos mais detalhados sobre as perdas em circuitos de entrada e ramais alimentadores, que concentram as correntes de outros circuitos terminais, e contribuem com 52% em média sobre a perda total da instalação. Sugere que sejam avaliados os impactos sobre um grupo de consumidores.

É importante considerar que modificações nas instalações elétricas levarão a acréscimos nos materiais necessários, pois há grande probabilidade de que as instalações necessitem readequação dos condutores de proteção e de dispositivos de proteção contra choque elétrico, sobretensões e sobrecorrentes e sua adequação às prescrições da norma técnica [7].

Embora tenha sido considerada a hipótese de redução pela metade do investimento inicial da instalação, que tem efeito ilustrativo para efeito de eventual adoção de incentivo para a substituição é necessário levar em conta que o material predominante utilizado nos fios e cabos elétricos é o Cobre que tem seu preço mundial estabelecido em bolsa de negócios, a London Metal Exchange (LME), com aumento de aproximadamente 590% no preço em US\$/tonelada, com diretos reflexos sobre os preços dos produtos manufaturados a partir deste metal.

O preço do Cobre pode, por si, levar à tentação pura e simples de se economizar em fios e cabos de instalações, seja por parte de projetistas, de instaladores e de consumidores finais, mas o estabelecimento de adoção compulsória de norma técnica específica de instalação [7], a existência de constantes fóruns de discussões de profissionais em encontros e congressos indica uma pressão razoável para não se praticar esta falsa economia.

Adicionalmente, O "Programa Casa Segura", criado em 2005 na cidade de São Paulo, atua para orientar a população sobre a necessidade de modernizar as instalações elétricas, argumentando com a diminuição dos riscos de acidentes, com a valorização dos imóveis e com a promoção de economia de energia. Atua basicamente na cidade de São Paulo com as entidades parceiras, faz uso de assessoria de imprensa para divulgação e de sítio de internet próprio para orientações aos interessados. Promove atividades de alerta sobre situações de instalações elétricas [11] [12].

Neste programa podemos destacar um projeto piloto, em que foi realizada a avaliação por profissionais habilitados das instalações elétricas de uma amostra de 150 edifícios residenciais em São Paulo, todos com idade superior a 20 anos, com exames que abrangeram as condições dos principais componentes da parte comum da instalação elétrica (incluindo entrada de energia, centro de medição, quadro geral de distribuição e de comando de

bombas e prumadas) e alguns apartamentos. O objetivo foi de orientar os responsáveis pelas edificações sobre a necessidade ou não de se fazer uma ação corretiva ou preventiva. As ocorrências de destaque encontradas nas edificações são mostardas abaixo:

- Falta de condutor de proteção - 98%;
- Dispositivo de proteção incompatível com os condutores - 93%;
- Falta de dispositivo de proteção residual DR - 98%;
- Falta dispositivo contra sobretensões - 100%;
- Quadro de distribuição com partes energizadas acessíveis - 79%;
- Evidência de aquecimento excessivo dos condutores - 53%;
- Quadro com materiais combustíveis - 82%;
- Falha no sistema de proteção contra descargas atmosféricas - SPDA (aterramento, descidas, continuidade) - 85%.

3.2 Grupos de consumidores

Uma abordagem adicional para esta questão pode ser feita sobre um grupo de consumidores em um sistema elétrico regional, admitindo a substituição de instalações (com as respectivas diminuições das perdas) executada por um grande número de consumidores, dado que o incentivo sob uma ótica individual de consumidor não se mostra atrativo. Assim, optou-se por fazer avaliações e considerações, inicialmente apenas para a cidade de São Paulo e posteriormente incorporar todas as cidades na área da empresa concessionária. A Tabela 5 mostra os dados referentes aos consumidores residenciais, para o ano de 2005.

TABELA 5 - Características dos consumidores na região da Grande São Paulo. (Ref. Ano 2005).

Município	Quantidade de ligações residenciais	% do total de ligações residenciais da concessionária	Consumo mensal predominante [kWh/mês]	Quantidade de ligações	% de ligações no município na faixa de consumo mensal predominante
São Paulo	3.398.074	70%	101 - 200	1.254.549	37%
23 municípios da Grande SP	1.439.111	30%	101 - 200	578.141	40%
Totais	4.837.185	100%	---	1.832.690	38%

Da Tabela 5 podemos notar: A predominância da quantidade de consumidores residenciais, em todos os municípios, que se situam na faixa de consumo mensal de 101 a 200kWh/mês. 38% do total de consumidores residenciais, ou seja, um total de 1.832.690 consumidores em toda a área de concessão da empresa; A cidade de São Paulo, responde por 70% de todas as ligações residenciais da empresa concessionária, ou seja, um total de 3.398.074 consumidores; Na cidade de São Paulo, especificamente, os consumidores que se situam na faixa de consumo mensal de 101 a 200kWh/mês, somam um total de 1.254.549 consumidores.

Destes dados destacados podemos nos concentrar inicialmente em quantidades de consumidores que optem pela execução de substituição de instalações elétricas, com suas respectivas diminuições nas perdas por aquecimento destas instalações, e avaliar o impacto desta medida sobre a empresa concessionária de energia elétrica, considerando as seguintes condições de contorno: Concentrar as estimativas sobre os consumidores de maior incidência (101 a 200kWh/mês); Adotar que blocos de instalações residenciais, correspondentes às ligações da empresa concessionária de energia elétrica, atinjam a diminuição típica dotada; Calcular as quantidades de energia, as potências evitadas e as usinas equivalentes, nestes cenários adotados somente para a cidade de São Paulo e para todas as cidades da área de concessão da empresa concessionária de fornecimento de energia elétrica.

TABELA 6 - Estimativas de economia de energia elétrica e de consumidores atingidos pela substituição proposta na região da Grande São Paulo.

Quantidade de ligações afetadas por adequações nas instalações			Energia economizada (MWh/ano)	Potência de usina equivalente(MW) = Energia economizada / 720
313.637	25%	6%	4.900	6,81
627.275	50%	13%	9.799	13,61
940.912	75%	19%	14.699	20,42
(SP/SP) 1.254.549	100%	26%	19.598	27,22
1.832.690	-	37,9%	28.630	39,76
4.837.185	-	100%	97.465	135,37

Assim, são mostrados na Tabela 6 os valores médios de energia elétrica economizada em função das quantidades de ligações afetadas pelas adequações das instalações e calcula as respectivas usinas equivalentes para fator de carga 0,5. Constituem valores que podem orientar decisões de investimento por parte de empresas concessionárias.

As análises econômicas e financeiras de conveniência e interesse da empresa concessionária, de algum modo, investir montantes financeiros para evitar as perdas mostradas não são abordadas aqui neste trabalho. Mas, mostram que a adoção da norma técnica de instalações é sempre conveniente e interessante, mesmo por que há outros fatores envolvidos na operação das instalações que a norma técnica determina e que são de interesse da operação do sistema elétrico da empresa concessionária, como medidas de proteção e segurança elétrica do imóvel do consumidor que podem colaborar para a operação mais regular do sistema elétrico. Isto pode ser visto nas especificações e exigências técnicas que as empresas concessionárias estabelecem, baseado nas normas técnicas vigentes no país para a entrega de energia elétrica aos consumidores, ainda que não seja

imperativo que a unidade consumidora, internamente, deva demonstrar que a instalação esteja adequada à norma técnica de instalações elétricas [7].

Sob a ótica das empresas concessionárias, as perdas de energia mostradas são faturadas. Desloca-se, então o foco no consumidor para outras partes das instalações da empresa concessionária, como condutores e conexões de ramais de distribuição de baixa tensão, transformadores de distribuição, medidores de energia e perdas comerciais incluindo o furto de energia. Mas, dependendo do tipo e localização da medição de energia do consumidor, estas perdas podem não ser faturadas e arcadas pela empresa concessionária.

Assim, são mostrados na Tabela 7 a seguir, valores para o todo o país considerando-se quantidades de novas ligações residenciais e estimativas das perdas e dos custos levando em conta unidades de consumo que não atendam a norma técnica de instalações e utilizando-se dados fornecidos pelo MME EPE [8] [9], como o consumo médio residencial, o total de consumidores residenciais e a taxa média anual de novas ligações do Brasil. A perda adicional se refere à perda de energia decorrente da diferença entre as novas instalações assumidas como executadas conforme a norma técnica (1,29%) e aquelas instalações admitidas pela pesquisa (2,08%). Foram considerados três preços da energia elétrica que podem representar três pontos de vista: o das concessionárias pelo preço de compra da energia (124 R\$/MWh), o dos consumidores com preço da tarifa da energia (283 R\$/MWh) pago pelos consumidores e o valor adotado como preço da energia para as análises dos consumidores individuais (450 R\$/MWh).

TABELA 7 - Estimativas das perdas e custos para novas ligações de consumidores residenciais no Brasil, com dados referentes ao intervalo 2005 a 2006.

Consumo médio Brasil 2005/2006 (kWh/mês)	Total de consumidores residenciais	Taxa média anual de novas ligações	Perda adicional anual para novas residências cujo projeto não segue a norma (GWh)	Custo da perda adicional anual para novas residências cujo projeto não segue a norma (R\$)		
				124 R\$/MWh	283 R\$/MWh	450 R\$/MWh
141,8	50700000	3,5%	23,9	2.957.891,62	6.750.672,00	10.257.204,81

Análises mais detalhadas deverão ser feitas em estudo futuro para a definição do valor a ser utilizado da tarifa de energia, que contemple de modo mais real e prático os enfoques.

Há trabalhos [2] [10] que fazem esta contabilização com outro enfoque, considerando: o preço da tarifa de energia elétrica de 0,24R\$/kWh, 60 % do total de ligações considerando as existentes mais o incremento anual, perda total da ligação (3% de perda por ligação) e consumo mensal de cada ligação maior do que valor médio do país (foi utilizada a energia diária de 12460Wh). Levam a valores maiores de perdas, ou prejuízo estimado. Isto indica que há outros modos de se abordar a questão e a necessidade de se determinar premissas consolidadas para a execução das análises.

Além do enfoque dos prejuízos monetários e financeiros, quer pela parte dos consumidores quer pela parte das empresas concessionárias, podem ser também estimados os impactos ambientais decorrentes do acréscimo de perdas encontrado. Para tal, indica-se em uma primeira vista a utilização dos ciclos de vida dos materiais (PVC e Cobre) empregados no acréscimo dos fios e cabos utilizados e também das instalações de geração adicional, ou retirada, da energia necessária para suprir as perdas.

4.0 CONCLUSÕES

As questões relativas às perdas nas instalações elétricas residenciais avaliadas sob a ótica do consumidor individual de categorias de consumo até 500kWh/mês, mostram-se pouco interessantes em termos de tomada de decisão do investimento em uma nova instalação. Isto leva a se considerar agrupamentos de consumidores e, mesmo assim, a contabilização destas perdas leva a um reflexo pequeno no universo considerado da concessionária em questão e, possivelmente, as contabilizações em um universo maior ainda como as mostradas para o país indicam valores para os quais se inicia maior atenção, mas demanda estudos e definições para as metodologias, o universo a ser considerado e as tarifas de energia serem aplicadas aos cálculos e análises. Deste modo, a sensibilização do consumidor sobre, e sob, este enfoque fica enfraquecida; inclusive ações de incentivos, e eventuais subsídios, para redução das “perdas Joule” em grandes grupos de consumidores.

Os estudos das perdas nas unidades consumidoras individuais podem ser melhorados, por exemplo, através de uma melhor compreensão do índice “Massa de cobre por m² de construção” ligado às perdas e de outro índice, “Perdas em W por massa de cobre”, demandando comparações entre vários tipos de edificações e de condutores utilizados.

Se consideradas as empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica, e suas relações com cabos de energia elétrica, embora não seja matéria relacionada a este trabalho, não é possível deixar de citar os problemas que envolvem a questão dos furtos de fios e cabos e de energia de suas instalações e que leva ao desenvolvimento de novos tipos de cabos (Aço e Cobre em cabos de para raios, por exemplo), novos tipos de isolamento e de dispositivos de medição de energia. Como afeta de maneira mais direta a operação do sistema elétrico e refletem em seus patrimônios e índices de qualidade de fornecimento, parece lógico que estas sejam preocupações mais prementes.

Ainda permanecem as questões relativas à segurança nas instalações dos consumidores, assunto este de difícil contabilização específica que é associado a “uma sensação” e/ou “uma percepção” de segurança, denotada em [3], em que pesem indicações e demonstrações [2] [11] [12] e próprio conhecimento técnico e tecnológico já acumulado e disponível. Todavia é assunto recorrente entre fabricantes de equipamentos e materiais e utilizado, inclusive, com justificativa e argumento de vendas de seus produtos.

A energia elétrica utilizada nas instalações residenciais em tensões baixas (até 220V) e correntes também relativamente baixas (até 100A de corrente de projeto nos circuitos de entrada) tem boas características

de distribuição, de controle e de proteção. Demandam atenção do usuário e proprietário quanto ao uso e manutenção seguros, ao mesmo tempo permite fácil e arriscada utilização improvisada, com conseqüências muitas vezes não perceptíveis em curto espaço de tempo. No caso de incêndios, há um tempo de latência que pode variar de minutos a meses antes da ocorrência de incêndio. Há um intervalo de tempo para que todos os desvios ocorram simultaneamente desencadeando o início do incêndio e isto, talvez, explique porque poucas ocorrências catastróficas ocorram.

A adoção de certificação compulsória das instalações elétricas, em tese e à primeira vista, é uma ação com efeitos benéficos sobre os consumidores e empresas concessionárias de energia, pois a adequação das instalações às prescrições à norma técnica específica vigente engloba não só as perdas por aquecimento, mas também aspectos de proteção e segurança contra choques elétricos, riscos de incêndio e efeitos de descargas atmosféricas. A existência de materiais e equipamentos elétricos fabricados e comercializados conforme regulamentações técnicas e legais compulsórias sugerem que regulamentações compulsórias para projeto, execução, certificação e manutenção sejam adotadas.

Os estudos, ainda, sugerem que: a adoção de práticas de verificação e/ou certificação de instalações elétricas podem eventualmente colaborar para a redução dos valores dos prêmios de seguros de imóveis; a análise das perdas sejam estendidas e focadas em circuitos alimentadores e de distribuição internos aos edifícios. Estes dois pontos serão objetos de análises em trabalhos futuros para a verificação de suas características e impactos possíveis.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Notas de Aula da Disciplina ENE5703. 2005.
- [2] BURANI, G.F.; GRIMONI, J.A.B.; SUETA, H.E.; CAIRES, L.E.; d'AVILA, R.S.; Relatório técnico sobre análise de perdas em instalações residenciais. Universidade de São Paulo. Instituto de eletrotécnica e energia. Documento Nº2001DP00RT001. 2001.
- [3] Instituto Brasileiro do Cobre (PROCOBRE). Análise do estado atual das instalações elétricas residenciais em São Paulo. - Maio/2002.
- [4] Andrade, V.A., Modelagem dos custos para casas da classe média. Florianópolis. 1996. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção.
- [5] DUTT, G.S. Techniques For End Use Electricity Analysis and Conservation Program Design and Evaluation - A Manual. Princeton: CEES/USAID, 1992. Volume A.
- [6] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Manual para elaboração do programa de eficiência energética (ciclo2005/2006).
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro. 2004. (NBR5410/2004).
- [8] MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. EPE. Rio de Janeiro. 2004 – Relatório analítico – Mercado de energia elétrica – Ciclo de planejamento/2003.
- [9] MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. EPE. Rio de Janeiro. Boletim Mensal de Energia Elétrica (17/05/2006).
- [10] GRIMONI, J.A.B.; BURANI, G.F.; SUETA, H.E. Um estudo sobre as perdas nas instalações elétricas residenciais – causas, impactos no sistema e mitigação. 7º SNPTE. Uberlândia. 2003.
- [11] Programa Piloto do Programa Casa Segura avalia condições em 150 edifícios na Capital. Disponível em: <http://www.programacasasegura.org/interna.php?conteudo=13>
- [12] Blitz em Higienópolis leva orientação para síndicos e moradores. Disponível em: <http://www.programacasasegura.org/interna.php?conteudo=16>
- [13] CHU, W.; CHEN, B.; YU, P. The Measurement and Economic Evaluation of the residential wiring system losses – IEEE Transactions on Power Systems, Vol 9, Nº3, August 1994.
- [14] MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. EPE. Rio de Janeiro. 2004 – Relatório analítico – Mercado de energia elétrica – Ciclo de planejamento/2003.