

OS EFEITOS DAS DIVERSIDADES DE TENSÕES DE DISTRIBUIÇÃO NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO. ESTUDO DO REFRIGERADOR DOMÉSTICO

Carmeis, D. W.

Estudante de pós graduação. Faculdade de Engenharia Elétrica/UNICAMP, telefone: (19) 3788-3852.

e-mail: dean@dmcsi.fee.unicamp.br

Jannuzzi, G. M.

Professor Doutor. Faculdade de Engenharia Mecânica/UNICAMP, telefone: (19) 3788-3282.

e-mail: jannuzzi@fem.unicamp.br

Resumo. O decreto Lei nº 97280 de 16 de dezembro de 1988 estabelece para distribuição secundária de corrente alternada em redes públicas as tensões de 380/220V e 220/127V em sistemas trifásicos, além de 440/220V e 254/127V em sistemas monofásicas. Passados 12 anos desde a implantação dessa Lei, o país ainda possui cinco níveis de tensão (110V, 115V, 120V, 127V e 220V) para o fornecimento de energia elétrica às residências. Esta é uma situação crítica considerando os aspectos de qualidade e conservação de energia. Os equipamentos não operam com rendimento máximo e tem sua vida útil comprometida por serem construídos para operar em uma ampla faixa de tensão de alimentação. O refrigerador é um dos equipamentos domésticos que apresenta maior sensibilidade à esses níveis de variação. Sua corrente de trabalho, quantidade de refrigeração e vida útil são fortemente dependentes da tensão efetivamente disponível no ponto de consumo.

Neste artigo, analisaremos o comportamento dos refrigeradores domésticos instalados na área da região metropolitana de São Paulo, já que ali há 4,084 milhões de consumidores residenciais servidos por tensões que variam de 115V até 127V e que gastam anualmente 12598GWh (out. 2000), totalizando uma média de 257kWh/mês/residência.

Segundo estimativas, o refrigerador doméstico responde por quase 45% do consumo residencial de energia elétrica, assim, demonstraremos o prejuízo econômico e as perdas de energia para esses consumidores residenciais, para o setor elétrico e para a sociedade como um todo (foram feitas medições para confirmar os resultados). Mostraremos também os benefícios possíveis de serem alcançados caso a rede seja realmente uniformizada nas tensões de 127/220V, conforme determinação legal.

Palavras Chave. Refrigerador doméstico, consumo de energia, compressor hermético, motor de indução monofásico, nível de tensão.

1 Introdução:

O refrigerador é um membro cordial e de confiança da família, disposto sempre a economizar dinheiro e oferecer algo fresco para comer ou beber, além de poupar a tarefa das donas de casa, deixando-as livre para outras atividades - tradução livre de um slogan Frigidaire de 1930 (ASHRAE, 1996).

Sendo o Brasil um país de clima predominantemente tropical, o refrigerador elétrico é um bem indispensável e de fundamental importância dentro de uma residência, pois proporciona a conservação dos alimentos que em uma temperatura maior degradariam-se com facilidade.

Existem estudos (Guerreiro, Serra & Carvalho, 1996.) que apontam o refrigerador elétrico como responsável por cerca de 45% do consumo de energia elétrica do setor residencial. Isso equivale a nada mais, nada menos que 35,73 TWh/ano (ELETROBRÁS, 1998) ou seja, o equivalente à geração anual de uma usina hidrelétrica do porte de Tucuruí, no Rio Tocantins, com 4200MW de potência.

Cabe lembrar ainda que, segundo o PNAD (IBGE, 1998), 82% das residências brasileiras possuem refrigerador elétrico, sendo que esta porcentagem sobe para 96,5% se considerarmos somente o estado de São Paulo. E está aumentando, já que com o Plano Real e com a perspectiva de inflação controlada, os consumidores sentem-se mais "motivados" a comprar outros equipamentos ou simplesmente substituir os antigos por modelos mais novos.

O Brasil tem um total aproximado de 36.946.000 consumidores residenciais conectados à rede elétrica nas tensões nominais de 110V, 115V, 120V, 127V e 220V (ELETROBRÁS, 1998). Entretanto, neste trabalho serão considerados somente os consumidores residenciais localizados na região metropolitana da grande São Paulo, pois esta é a área de maior concentração de refrigeradores elétricos funcionando sob níveis inadequados de tensão, conforme pode ser observado pelas medições (Pavão, Affonso, Andrade & Dini, 1999) mostradas a seguir:

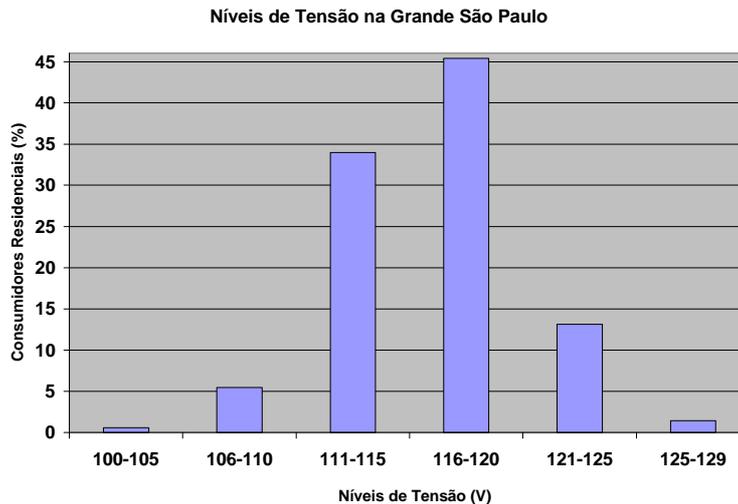


Figura 1. Níveis de tensão na grande São Paulo. Fonte: (Pavão, Affonso, Andrade & Dini , 1999):

Oficialmente (CSPE, Out. 2000) o panorama atual do sistema de distribuição de energia para consumidores residenciais na região metropolitana da grande São Paulo está como mostra a tabela abaixo:

Tabela 1: Sistema de distribuição de energia na grande São Paulo

Nível de Tensão (V)	Número de Consumidores Residenciais	Consumo Anual (GWh)	Porcentagem (%)
115/230	3.412.000	10.536,00	83,63
120/208	260.000	802,50	6,37
127/220	408.000	1.259,50	10,00
Total	4.080.000	12.598,00	100,00

Essa diversidade de tensões traz dificuldades à população, já que a maioria dos eletrodomésticos são projetados para funcionarem em 127V e, na realidade, são utilizados em uma faixa de tensão que vai de 110V até 127V (Jannuzzi & Pagan, 2000). O refrigerador elétrico projetado para funcionar em 127V é um dos equipamentos domésticos que apresenta maior sensibilidade a esses níveis de variação, pois, sua corrente de trabalho, quantidade de refrigeração e vida útil são fortemente dependentes da tensão disponível no ponto de consumo (ASHRAE, 1990). Então, os moradores das regiões onde as tensões de distribuição estão fora do nível adequado de 127V perdem em desempenho, rendimento e consumo de seus refrigeradores. Assim, baseando-se na performance técnica dos refrigeradores elétricos quando operados em 127V (tensão de projeto), serão estimados aqui os impactos econômicos para os consumidores de energia elétrica da região metropolitana da grande São Paulo que recebem energia das redes de 115V e 120V (90% do total), para a concessionária de energia e para toda a sociedade brasileira.

Esse trabalho tem o objetivo de chamar atenção para a necessidade de reformular os sistemas inadequados de distribuição de energia elétrica de acordo com os padrões estabelecidos pelo decreto Lei nº 97280 de 16 de dezembro de 1988.

2 O funcionamento do Refrigerador

O "frio" é o resultado da remoção do calor. Um refrigerador produz o "frio" através da retirada do calor do interior de seu "gabinete", transferido-o de dentro para fora (ambiente). Um ciclo de refrigeração segue estas etapas: (ver figura 2)

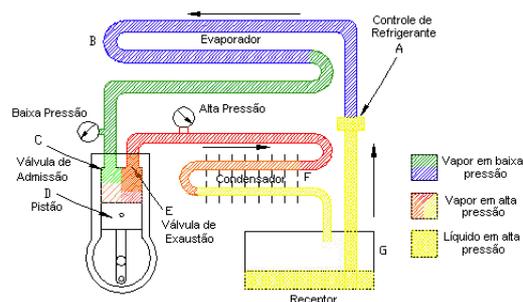


Figura 2. Ciclo de Refrigeração. Modificado pelos autores a partir da referência (Dossat, 1977).

A partir do receptor, o líquido refrigerante, em alta pressão, flui através do controle de refrigerante, (um redutor de pressão) até entrar no evaporador. O evaporador está sob uma pressão baixa. Então, nesta hora, o líquido refrigerante vaporiza (ferve) e absorve o calor. O vapor flui para o compressor através da válvula de admissão, **C**, voltando ao cilindro deste, para ser novamente bombeado. O pistão, **D**, no curso da compressão, aperta o vapor em um espaço pequeno, provocando um aumento na temperatura. O vapor comprimido e em alta temperatura é empurrado através da válvula de exaustão, **E**, para o condensador, **F**. No condensador, o calor do refrigerante é transmitido ao ar ambiente. Após essas trocas de calor, o refrigerante retorna ao estado líquido e é armazenado no receptor. A partir daí, o ciclo repete-se.

3 Metodologia e Considerações:

Conforme visto na ilustração anterior (figura 2), o refrigerante, geralmente R12 (para cada 0,45kg evaporado desse gás, retira-se 18kcal de calor do ambiente), deve fluir pelo circuito de refrigeração para promover resfriamento. E, o responsável por esse fluxo é, no caso dos refrigeradores domésticos comuns, representado pelo compressor hermético.

Esse compressor hermético compõe-se por um motor de indução monofásico e por uma bomba de pistão acoplados diretamente por um “eixo-manivela” e encapsulados em uma carcaça metálica, que isola satisfatoriamente o ruído e as vibrações.

Como o interesse desse estudo é o de tentar mensurar em termos de MWh e R\$ os efeitos da diversidade de tensões de distribuição de energia elétrica na região metropolitana da grande São Paulo sobre os refrigeradores domésticos, alguns parâmetros serão simplificados. Somente a análise do motor de indução monofásico contido no interior do compressor hermético, que é a parte mais importante e o maior consumidor de energia elétrica do refrigerador será tratada e, para tanto, **o rendimento de todos os outros componentes do refrigerador será considerado total (100%)**.

As equações a seguir foram extraídas da teoria de máquinas de indução monofásicas (Fitzgerald, 1972) e são utilizadas para representar o funcionamento de um motor de indução:

- Equação do Conjugado Mecânico (em Nm):

$$C = \frac{V_{th}^2}{S \cdot \Omega_S} \cdot \frac{R_2'}{\left[\left(R_{th} + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(X_{th} + X_2' \right)^2 \right]} \quad (1)$$

- Equação do Conjugado Máximo (em Nm):

$$C_{max} = \frac{V_{th}^2}{\Omega_S} \cdot \frac{1}{2 \cdot \left[\left(R_{th}^2 + X_{cc}^2 \right)^{1/2} + R_{th} \right]} \quad (2)$$

- Equação do Escorregamento (S) onde o Conjugado é Máximo:

$$S_{Cmáx} = \frac{R_2'}{\left(R_{th}^2 + X_{cc}^2 \right)^{1/2}} \quad (3)$$

Sendo:

- ◆ V_{th} → Tensão aplicada aos terminais de entrada do motor de indução;
- ◆ R_{th} → Resistência equivalente do primário do motor de indução;
- ◆ X_{th} → Reatância equivalente do primário do motor de indução;
- ◆ R_2' → Resistência do secundário do motor de indução refletida no primário;
- ◆ X_2' → Reatância do secundário do motor de indução refletida no primário;
- ◆ X_{cc} → $(X_{th} + X_2')$ → Reatância equivalente de curto circuito;
- ◆ Ω_S → velocidade angular do campo girante estatórico [rad/seg] → $\frac{120 \cdot p}{\text{pares} - \text{de} - \text{polos}}$;
- ◆ S → Escorregamento (diferença percentual entre a velocidade do campo do estator em relação ao campo do rotor).

Ainda, segundo as referências (Fitzgerald,1972), há alguns pontos a considerar:

- ◆ Sendo o Compressor Hermético uma bomba de pistão, seu conjugado mecânico por ciclo de refrigeração é constante, já que as propriedades e quantidades do líquido refrigerante a ser bombeado são também constantes por ciclo;
- ◆ As impedâncias ($R_{TH}+jX_{TH}$) e (R_2+jX_2) são constantes, visto que referem-se às características construtivas do estator e do rotor (respectivamente) da máquina de indução;

O escorregamento (S) será adotado como sendo da ordem de 5% (Fitzgerald, 1972), um valor típico para motores de indução monofásicos de dois pólos com fase dividida e partida resistiva operando em 127V, que são os modelos mais comuns utilizados em refrigeradores (Embraco, 1996). Além disso, considera-se que todos os consumidores residenciais ligados à rede elétrica na região metropolitana de São Paulo possuem refrigerador, o que não deixa de aproximar-se da realidade, já que segundo o PNAD (IBGE, 1998) 96,5% das residências dessa região o possuem e essa pesquisa não leva em consideração se a residência está ou não sendo servida por rede elétrica. Admite-se também que a potência média de cada refrigerador é de 170W, que é o valor médio da potência dos refrigeradores vendidos nos últimos 20 anos (Conjuntura Econômica, 1998). Essa potência equivale à aproximadamente um motor de 1/5 cv, traduzindo em um refrigerador que pode possuir um volume de 250 até 420 litros com capacidade frigorífica entre 130,03kcal/h e 141,12kcal/h, respectivamente (Embraco, 1996).

4 Desempenho do Refrigerador de acordo com a tensão de operação:

4.1 Análise para o Caso de Máximo Conjugado

Valendo-se da Eq. (2), nota-se que Ω_S depende da frequência da rede que sempre é de 60Hz, por isso, para qualquer nível de tensão, Ω_S será sempre constante e, considerando os níveis de tensão V_{TH} como 127V, 120V e 115V, tem-se:

- ◆ $C_{115V}=0,82*C_{127V}$
- ◆ $C_{120V}=0,89*C_{127V}$

4.2 Análise para o Escorregamento

Como o motor de indução do refrigerador toca uma bomba de pistão, tem-se que o conjugado resistente oferecido por esta carga é constante, então:

$$C_{127V}=C_{120V}=C_{115V}$$

Assim, a partir da Eq. (1), considerando que as características construtivas do motor permanecem inalteradas, independentemente da rede de alimentação em que o refrigerador é ligado, tira-se os valores dos Escorregamentos (S) para cada tensão de operação do refrigerador:

- ◆ $S_{115V}=1,22*S_{127V}$
- ◆ $S_{120V}=1,12*S_{127V}$

Esses resultados (Conjugado e Escorregamento) são confirmados através da utilização de um software para simulação de motores de indução monofásicos (Ong, 1998):

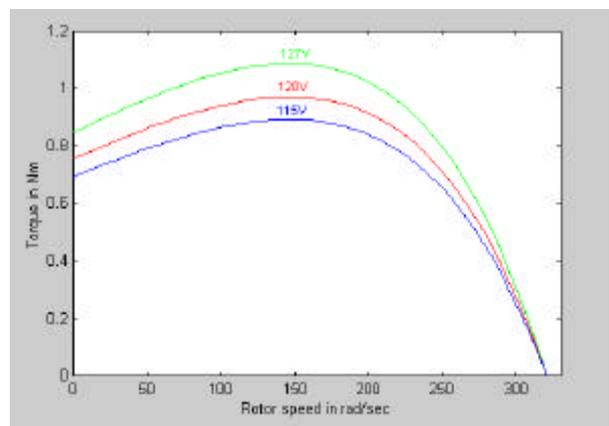


Figura 3: Simulação realizada pelos autores para o desempenho de um motor de Indução Monofásico de Fase Dividida em função de sua tensão de alimentação (Ong, 1998).

4.3 Análise para a Potência Mecânica

Ainda de acordo com a referência (Fitzgerald,1972), tem-se que a potência mecânica (em Watts) é dada por:

$$P_{mec} = C \cdot \Omega_R \quad (4)$$

Sendo:

$$\Omega_R = (1 - S) \cdot \Omega_S \quad (\text{em rad/seg}) \quad (5)$$

Então, substituindo os parâmetros calculados anteriormente nas Eq. (4) e Eq. (5), tem-se:

- ◆ $P_{mec_{127V}} = 1,012 * P_{mec_{115V}}$
- ◆ $P_{mec_{127V}} = 1,006 * P_{mec_{120V}}$

4.4 Análise para a Corrente de Entrada

A potência mecânica de entrada (em Watts) pode ainda ser definida como:

$$P_{mec} = \left[\left(\frac{1-S}{S} \right) \cdot R_2 \right] \cdot I^2 \quad (6)$$

Aplicando os resultados obtidos anteriormente, tem-se (em Amperes):

- ◆ $I_{115V} = 1,10 * I_{127V}$
- ◆ $I_{120V} = 1,06 * I_{127V}$

4.5 Análise para as Perdas no Interior do Motor

As perdas no cobre dos enrolamentos do motor (em Watts) são (Fitzgerald, 1972):

$$P_{cobre} = R_2 \cdot I^2 \quad (7)$$

Então, para os vários níveis de tensão de operação do refrigerador elétrico, tem-se:

- ◆ $P_{cobre_{115V}} = 1,21 * P_{cobre_{127V}}$
- ◆ $P_{cobre_{120V}} = 1,12 * P_{cobre_{127V}}$

4.6 Análise das Perdas em função da Potência Elétrica Total de Entrada

Quando a energia elétrica adentra um motor, ela é convertida em potência mecânica em seu eixo mais uma parcela relacionada às perdas. Assim, para os diversos níveis de tensão de operação:

$$P_{entrada(tensão)} = P_{mec(tensão)} + P_{cobre(tensão)} \quad (8)$$

Mas, as perdas internas em porcentagem da potência de entrada são:

$$Perdas_{(tensão)} (\%) = \frac{P_{cobre(tensão)}}{P_{entrada(tensão)}} \quad (9)$$

Portanto:

- ◆ $Perdas_{115V} = 6,10\%$ da Potência Elétrica de Entrada;
- ◆ $Perdas_{120V} = 5,58\%$ da Potência Elétrica de Entrada;
- ◆ $Perdas_{127V} = 5,00\%$ da Potência Elétrica de Entrada;

4.7 Análise para Quantidade de Ciclos de Refrigeração

Por ciclo de refrigeração considera-se o período de tempo em que o refrigerante dá uma volta completa no circuito. Isso fornece a capacidade frigorífica do refrigerador que, segundo o catálogo de aplicação de compressores (Embraco, 1996) fica em torno de 130,03kcal/h à 141,12kcal/h para refrigeradores domésticos com capacidades entre 250 e 420 litros, respectivamente, sempre operados na tensão de projeto de 127V. Isto é, quanto mais rápido o líquido refrigerante

circular pelo circuito, mais trocas de calor ele proporcionará nas mudanças de estado *líquido-gás* e mais rápido o interior do refrigerador atingirá a temperatura ajustada no termostato que provocará o desligamento do motor.

Toma-se como tempo padrão aquele gasto pelo líquido refrigerante para percorrer todo o circuito de refrigeração de um refrigerador doméstico projetado e ligado em rede de 127V, ou seja, em uma hora esse refrigerador promoverá uma quantidade de refrigeração de 130,03kcal (refrigerador com capacidade mínima de 250 litros e máxima de 420 litros). Para tanto, deve-se conhecer a velocidade do rotor do motor de indução ligado ao compressor hermético, pois é esse rotor o responsável pelos movimentos do pistão e consequentemente pela circulação do líquido refrigerante.

Então, essa velocidade pode ser expressada de acordo a Eq. (5) e, para os diversos níveis de tensão, em função da velocidade padrão em 127V, tem-se:

$$W_{R120V} = 0,994 * W_{R127V}$$

$$W_{R115V} = 0,988 * W_{R127V}$$

Conforme pode ser visto, a velocidade com que o pistão do compressor hermético comprime o líquido refrigerante diminui com a queda da tensão, fazendo com que o ciclo de refrigeração seja mais lento. Com isso, é necessário que o motor funcione por mais tempo em tensões inferiores para proporcionar a mesma quantidade de refrigeração que seria fornecida se estivesse operando em 127V. Do resultado anterior, dimensiona-se este tempo como:

- ◆ **120V** → O refrigerador **precisa funcionar 0,6% do tempo a mais** para executar os mesmos ciclos de refrigeração e fornecer os mesmos 130,03kcal/h (refrigerador com capacidade entre 250 e 420 litros) que forneceria se estivesse funcionando em 127V.
- ◆ **115V** → O refrigerador **precisa funcionar 1,2% do tempo a mais**.

Resumindo:

Tabela 2: Desempenho de refrigeradores em diferentes tensões de utilização (motores de 1/5 hp)

Tensão (V)	Corrente (A)	Capacidade Frigorífica	Perdas
127	I nominal (projeto)	entre 130,03 e 141,12kcal/h para refrigeradores de 250 até 420 litros	5% da potência de entrada
120	6% superior	0,6% inferior	5,58% da potência de entrada
115	10% superior	1,2% inferior	6,10% da potência de entrada

Como o leitor deve ter atentado, esses dados são exclusivamente teóricos e não consideram os agravantes presentes no uso cotidiano de um refrigerador (temperatura ambiente, perda de refrigeração pelas vedações, etc.). Então, utiliza-se um logger (dispositivo de monitoramento que indica o tempo de uso do equipamento) para estudar o comportamento de refrigeradores em diferentes níveis de tensão e tentar confirmar as previsões de aumento no tempo de funcionamento (queda na capacidade frigorífica).

O logger foi acoplado a um refrigerador Consul RX-34, modelo ET3573, série APH9348287, volume de 310 litros. E, o conjunto foi alimentado por um transformador Variac, com tensões ajustadas em 127V, 120V e 115V para cada serie de medidas. Assim, após algumas baterias de medidas (todas nas mesmas condições ambientes), obteve-se os seguintes tempos médios de funcionamento:

- ◆ **Em 127V:**

Tabela 3: Resultado apresentado pelo logger mostrando a operação do refrigerador em 127V.

DESCRIÇÃO	RESULTADO
Tempo da Análise	24,42hs
Tempo Ligado	10,42hs
Tempo Desligado	14,00hs
Porcentagem de Tempo Ligado	42,7%
Porcentagem de Tempo Desligado	57,3%

Quando operado em 127V, esse refrigerador permanece ligado durante 42,7% do tempo, o que corresponde a um funcionamento de 10 horas e 15 minutos por dia.

Em 120V:

Tabela 4: Resultado apresentado pelo logger mostrando a operação do refrigerador em 120V.

DESCRIÇÃO	RESULTADO
Tempo da Análise	24,16hs
Tempo Ligado	10,95hs
Tempo Desligado	13,21hs
Porcentagem de Tempo Ligado	45,3%
Porcentagem de Tempo Desligado	54,7%

Nesse nível de tensão, o refrigerador permanece ligado durante 45,3% do tempo, o que corresponde a um funcionamento de 10 horas e 52 minutos por dia. Portanto, em 120V, o tempo de funcionamento do refrigerador é, na prática, **6,08% superior** do que em 127V.

Em 115V:

Tabela 5: Resultado apresentado pelo logger mostrando a operação do refrigerador em 115V.

DESCRIÇÃO	RESULTADO
Tempo da Análise	24,36hs
Tempo Ligado	11,60hs
Tempo Desligado	12,76hs
Porcentagem de Tempo Ligado	47,6%
Porcentagem de Tempo Desligado	52,4%

Em 115V, o refrigerador fica ligado 47,6% do tempo, ou seja, 11 horas e 25 minutos por dia. Assim, o refrigerador em 115V funciona **11,47%** do tempo **a mais** do que em 127V.

Cumpra lembrar que essas medidas com logger são ilustrativas dos cálculos teóricos. E, servem apenas para mostrar o potencial de conservação existente na operação de refrigeradores em tensões inadequadas. Na realidade, para adotar esses valores (que são muito superiores aos obtidos teoricamente), as medições teriam que estender-se a aparelhos refrigeradores de varias marcas e modelos.

5 Resultados:

Antes da apresentação dos resultados, será feita uma consideração baseada num estudo de consumo de refrigeradores (Jannuzzi & Wartusch, 1997), que diz respeito ao levantamento das curvas de consumo do refrigerador elétrico. Através desse estudo, determinou-se um valor de tempo médio de funcionamento diário para o refrigerador elétrico (soma de todos os tempos em que os refrigeradores permaneceram ligados durante o dia) de cerca e 8 horas e 45 minutos, ou aproximadamente 36,6% do dia. Então, para prosseguir com a análise, adota-se o valor de 8 horas (para a simplificação dos cálculos) como sendo o tempo de funcionamento diário médio de um refrigerador elétrico.

5.1 Área Servida por Tensão de 127V

Esta área engloba 408.000 pontos de consumo residencial, o que equivale a aproximadamente 10% do total de consumidores residenciais existentes na região metropolitana da grande São Paulo. Sendo assim, tem-se:

- ◆ 408.000 refrigeradores com potência média de 170W cada um;
- ◆ Tempo de funcionamento de 8 horas diárias;
- ◆ Consumo diário de **1,36kWh/refrigerador**, que gera um consumo anual de **496,4kWh/refrigerador/ano**, totalizando um **consumo global de 202,53GWh/ano** para todos os refrigeradores dessa área.

Baseando-se nos cálculos desenvolvidos no item 4.6, as perdas para esses refrigeradores ficam em torno de 5% da potência total de entrada, o que leva ao montante de **10,13GWh/ano** para todo o consumo com refrigeradores na área de 127V.

Então, toma-se esses valores como base, pois, se fosse cumprido o decreto Lei nº 97280, que regulamenta os níveis de tensão de distribuição, todo o sistema elétrico da região metropolitana da grande São Paulo funcionaria nessas condições.

5.2 Área Servida por Tensão de 120V

Esta área engloba 260.000 pontos de consumo residencial, o que equivale a aproximadamente 6,37% do total de consumidores residenciais existentes na região metropolitana da grande São Paulo. Sendo assim, tem-se:

- ◆ 260.000 refrigeradores com potência média de 170W cada um;
- ◆ Tempo de funcionamento de 8 horas diárias;
- ◆ Consumo diário de **1,36kWh/refrigerador**, que gera um consumo anual de **496,4kWh/refrigerador/ano**, totalizando um **consumo global de 129,064GWh/ano** para todos os refrigeradores dessa área.

Baseando-se nos cálculos desenvolvidos no item 4.6, as perdas para esses refrigeradores ficam em torno de 5,58% da potência total de entrada, o que leva ao montante de **7,202GWh/ano** para todo o consumo com refrigeradores na área de 120V.

Se estes mesmos refrigeradores estivessem funcionando em 127V suas perdas internas seriam de 5%, o que equivale a 6,453GWh/ano. Então, há um desperdício real de energia da ordem de: **0,75GWh/ano**.

Além disso, deve-se considerar também o tempo que o refrigerador está funcionando a mais para promover a mesma quantidade de refrigeração que produziria se estivesse sendo alimentado com tensão de 127V. Pois, estando mais tempo em funcionamento, o refrigerador consome mais energia, que poderia estar sendo poupada ou simplesmente aplicada em causa mais nobre do que suprir deficiências do sistema de distribuição.

Do item 4.7, tem-se que o refrigerador **precisa funcionar 0,6% do tempo a mais** para executar os mesmos ciclos de refrigeração que executaria se estivesse funcionando em 127V. Isso representa um acréscimo de **3 minutos** no seu funcionamento diário, o que dá um total de aproximadamente **18 horas** por ano.

Assim, a potência unitária solicitada devido ao acréscimo de tempo de funcionamento será de **3kWh/ano/refrigerador**, perfazendo nessa região de distribuição um total de: **0,80GWh/ano**.

Portanto, as perdas totais na área de distribuição em 120V são: **1,55GWh/ano**.

5.3 Área Servida por Tensão de 115V

Esta área engloba 3.412.000 pontos de consumo residencial, o que equivale a aproximadamente 83,63% do total de consumidores residenciais existentes na região metropolitana da grande São Paulo. Sendo assim, tem-se:

- ◆ 3.412.000 refrigeradores com potência média de 170W cada um;
- ◆ Tempo de funcionamento de 8 horas diárias;
- ◆ Consumo diário de **1,36kWh/refrigerador**, que gera um consumo anual de **496,4kWh/refrigerador/ano**, totalizando um **consumo global de 1693,72GWh/ano** para todos os refrigeradores dessa área.

Baseando-se nos cálculos desenvolvidos no item 4.6, as perdas para esses refrigeradores ficam em torno de 6,10% da potência total de entrada, o que leva ao montante de **103,32GWh/ano** para todo o consumo com refrigeradores na área de 115V.

Se estes mesmos refrigeradores estivessem funcionando em 127V suas perdas internas seriam de 5%, o que equivale a 84,68GWh/ano. Então, existe um desperdício real de energia da ordem de: **18,64GWh/ano**.

Além disso, deve-se considerar também o tempo que o refrigerador está funcionando a mais para promover a mesma quantidade de refrigeração que produziria se estivesse sendo alimentado com tensão de 127V. Do item 4.7, tira-se que o refrigerador **precisa funcionar 1,2% do tempo a mais**. Isso representa um acréscimo de **6 minutos** no seu funcionamento diário, o que dá um total de aproximadamente **36 horas** por ano. Assim, a potência unitária solicitada devido ao acréscimo de tempo de funcionamento será de **6,12kWh/ano/refrigerador**, perfazendo nessa região de distribuição um total de: **20,88GWh/ano**.

Portanto, as perdas totais na área de distribuição em 115V são: **39,52GWh/ano**.

Resumindo:

Tabela 6: Desperdício anual de energia elétrica causado pela operação de refrigeradores em tensões inadequadas:

Nível de Tensão (V)	Energia desperdiçada por ano (GWh)
120	1,55
115	39,52
Total	41,07

6 Os impactos:

Na região metropolitana da grande São Paulo, o uso de refrigeradores em redes de distribuição de energia com níveis de tensão diferentes daqueles para o qual foram projetados, traz, conforme desenvolveu-se no item anterior, um acréscimo total na demanda em torno de **4,7MW**, causando um desperdício de energia da ordem de aproximadamente **41,07GWh/ano**. Este valor é comparável à energia firme fornecida pela usina hidrelétrica de Rasgão, no rio Tietê (Pirapora do Bom Jesus –S.P.) que é de **5MW** médios por hora (ELETROBRÁS, 1998). A usina de Rasgão foi escolhida por ter pertencido à própria Eletropaulo (concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica na região metropolitana da grande São Paulo) em um passado recente (1997) e hoje vende à mesma quase que a totalidade de sua produção de energia (EMAE - 2000).

Os impactos econômicos desse acréscimo na demanda não são benéficos para ninguém, nem para os consumidores residenciais, nem para a Eletropaulo e nem para a sociedade.

Segundo a CSPE (CSPE, out. 2000), metade dos consumidores residenciais dessa região são tarifados como “Baixa Renda”, pagando uma tarifa média de R\$184,02/MWh (Julho/2001), a outra metade é tarifada em R\$210,31/MWh (Julho/2001). Assim, a quantia de **R\$8.097.566,55** é tungada anualmente desses consumidores só pelo fato do consumo de seus refrigeradores ter aumentado por conta da operação em níveis de tensão diferentes de 127 Volts.

A concessionária também perde. Na área servida por tensão de 120V só a corrente requisitada pelos refrigeradores é 6% maior que na área em 127V, o que faz com que as perdas Joule nessa área sejam 12,4% maiores. Na área servida por tensão de 115V a corrente requisitada pelos refrigeradores é 10% maior que na área em 127V, fazendo com que as perdas Joule nessa área sejam 21% maiores. Multiplicando esses valores por seus pesos em parcela de consumidores (6,37% e 83,63%, respectivamente), tem-se que as perdas Joule na rede de distribuição de energia da região metropolitana da grande São Paulo são **18,35%** superiores do que deveriam ser se esta mesma rede funcionasse totalmente no padrão de 127V, e isso não é pouco, já que a Eletropaulo possui 311 mil quilômetros de redes aéreas e 10 mil quilômetros de redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica (Eletropaulo, 2000). Então, se ao invés de ser dissipada, essa energia correspondente às perdas Joule fosse vendida no MAE ao preço de R\$648,00/MWh (ASMAE – Julho/2001) a concessionária teria um grande incremento em suas receitas. Fora isso, se as redes fossem padronizadas, a concessionária teria em suas mãos um potencial adicional de 4,7MW que poderia ser comercializado da melhor maneira possível.

Finalmente, a sociedade como um todo perde porque esse acréscimo na demanda de energia exige um aumento da capacidade de geração e, o custo para adicionar-se um único kW a mais no sistema gira em torno de US\$2000,00 para plantas hidrelétricas e US\$600 para as térmicas a gás, sem contar os problemas com inundações, poluição e segurança.

7 Conclusões:

Este trabalho não existiria se todo o sistema brasileiro de distribuição de energia elétrica em baixa tensão estivesse de acordo com o padrão 127/220 (trifásico) e 127/254 (monofásico) estabelecido da Lei n.º 97.280 de 16 de dezembro 1988. No entanto, 12 anos após essa Lei, o maior sistema de distribuição de energia em área urbana da América Latina ainda atende 90% de seus consumidores residenciais com tensões de 115V e 120V.

Pensando em qualidade e conservação de energia, esse é um quadro crítico, já que a maioria dos eletrodomésticos não apresenta rendimento adequado em uma vasta faixa de tensões de operação. Analisando somente os impactos causados sobre o refrigerador elétrico, nota-se que há uma demanda extra de **4,7MW**, causando um desperdício de energia da ordem de aproximadamente **41,07GWh/ano**, sem levar em consideração as perdas Joule decorrentes do aumento da corrente na rede, que agravariam ainda mais o problema.

Os consumidores da região metropolitana da grande São Paulo pagam, só com o uso do refrigerador elétrico, aproximadamente **8 milhões de Reais por ano** pelo fato da rede ainda não estar padronizada.

Não deve-se perder de vista que este problema não é exclusividade da grande São Paulo, pois, 12% da população brasileira vive em regiões com níveis inadequados de tensão, nos estados do Amazonas, Minas Gerais, Pará, Rio de Janeiro e Tocantins. E, se computados os problemas que ocorrem também nessas áreas, verificar-se-á o prejuízo enorme em termos de perdas de energia elétrica.

Propõe-se portanto que todas concessionárias de energia elétrica que tenham problemas com nível de tensão em suas redes de distribuição dediquem-se a cumprir, mesmo que gradativamente, a Lei 97.280 Já aos governantes e à ANEEL cabe exigir das concessionárias metas claras para corrigirem suas redes, pois em um contexto de retração de oferta e expansão da demanda de energia elétrica não podemos nos dar ao luxo de desperdiçá-la.

8 Agradecimentos:

Ao Sr. José Antonio Schiavone Contri, da Comissão de Serviços Públicos de Energia (CSPE), pela prestatividade e atenção no atendimento às solicitações dos autores.

9 Referências:

[1] Administrador do Mercado Atacadista de Energia – ASMAE. Disponível em:

- <http://www.asmae.gov.br> (consulta feita em julho de 2001)
- [2] ASHARE Handbook, Refrigeration, System and Applications. **American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers**, Atlanta, Ga, 1990.
- [3] ASHARE Journal, History of Sealed Refrigeration System. **American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers**, Atlanta, Ga, 1996.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADÉE. Disponível em: <http://www.abradee.com.br> (consulta feita em dezembro de 2000)
- [5] Comissão de serviços públicos de Energia – CSPE. Disponível em: <http://www.cspe.gov.br> (consulta feita em outubro de 2000)
- [6] Conjuntura Estatística. *Conjuntura Econômica*. FGV, abril de 1998.
- [7] DOSSAT, R. J.. *Princípios de Refrigeração*. Hemus Editora Ltda, São Paulo, 1977.
- [8] ELETROBRÁS. *Plano Decenal de Expansão 1999/2008*. Brasília, 1999
- [9] ELETROPAULO METROPOLITANA. Disponível em: <http://www.eletropaulo.com.br> (consulta feita em janeiro de 2001)
- [10] Empresa Metropolitana de Águas e Energia - EMAE. Disponível em: <http://www.emaie.sp.gov.br> (consulta feita em janeiro de 2001)
- [11] Fitzgerald, A. E.; KINGSLEY JR., C.; KUSKO, A. *Máquinas Elétricas*. 2ª edição. New York: McGraw-Hill, 1972. 623p.
- [12] GUERREIRO, A. G.; SERRA, S. T.; FILHO, M. C.. A influência da venda de eletrodomésticos na expansão do consumo residencial de energia elétrica. **VII Congresso Brasileiro de Energia**. Anais, v.1, 1996. p. 22-33.
- [13] IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 1998*. Rio de Janeiro 1999.
- [14] JANNUZZI, G. M.; PAGAN, C. J. B.. The impacts of technical standards for incandescent lamp manufacture in Brazil. *Energy*, v.25 (2000), p. 1033-1045, Jan 2000.
- [15] ONG, CHEE-MUN. *Dynamic Simulation of Electric Machinery*. Prentice Hall Inc, New Jersey, 1998.
- [16] PAVÃO, A. C.; AFFONSO, O.; DE ANDRADE, A. M.; DINI, N.. Levantamento do nível de tensão domiciliar em quatro capitais brasileiras. **III Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica**. Anais, v.1, 1999. p. 226-260.
- [17] PORTASIO, J. M.. *Manual Prático de Refrigeração*. Editora Aurora. São Paulo, 1982.
- [18] STOEKER, W. F.. *Refrigeration and Air Conditioning*. Mc Graw-Hill. New York, 1959.
- [19] WARTUSCH, F.; JANNUZZI, G. M.. **Consumo Residencial de Energia Elétrica: Geladeiras**. Campinas, 1997. 39p. Relatório Final de Iniciação Científica – Departamento de Energia – Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas.

THE EFFECT OF THE DISTRIBUTION DIVERSITY TENSIONS IN BRAZILIAN RESIDENTIAL SECTOR. STUDY OF THE DOMESTIC REFRIGERATOR

Carmeis, D. W.

Master degree student –Electrical Engineering Faculty /UNICAMP, phone: (19) 3788-3852.
e-mail: dean@dmcsi.fee.unicamp.br

Jannuzzi, G. M.

Professor, PhD – Mechanical Engineering Faculty /UNICAMP, phone: (19) 3788-3282.
e-mail: jannuzzi@fem.unicamp.br

Abstract. Law number 97280 of 1988, December 16th, establishes the voltages of 380/220V and 220/127V in three-phase networks for secondary alternated distribution current in public networks, and 440/220V and 254/127V in single-phase networks. Nevertheless, after 12 years the country still has five tension levels (110V, 115V, 120V, 127V and 220V) supplying Brazilian homes. This situation is critical regarding the aspects of quality and energy conservation. Appliances cannot operate at their best performance and lifetime, since they have to be manufactured to operate under a broad band of tension values. Refrigerators are one of the domestic equipments that are affected by these variations. The electrical current, number of operating hours and useful life are strongly dependent of the tension effectively available at the consumption point.

In this paper, we will analyze the behavior of the domestic 127 V refrigerators operated in Sao Paulo's metropolitan region area. Sao Paulo has 4,080 million residential consumers connected in tensions there that vary from 115V up to 127V and that they spend 12,598GWh annually, averaging 257kWh/month/residence.

According to estimates, the domestic refrigerator is responsible for almost 45% of total residential electricity consumption. We will also demonstrate the economic impact and associated energy losses for residential consumers, the electric sector and the society as a whole (measurements were made to confirm this results). We will also consider the benefits for consumers if the electrical distribution system were really standardized in the 127/220V tensions, as prescribes the legal determination.

Keywords. Domestic refrigerator, energy's consumption, hermetic compressor, single phase induction motor, tension level.