

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS, COMPONENTES E SISTEMAS INTELIGENTES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Os efeitos da diversidade de tensões de distribuição no setor elétrico
brasileiro.**
Estudo do caso do Refrigerador Doméstico

Autor:

Dean William. M. Carmeis

Orientador:

Prof. Dr. César José Bonjuani Pagan

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ana Cristina Cavalcanti Lira
Prof. Dr. Gilberto de Martino Jannuzzi
Prof. Dr. Yaro Burian Júnior

Campinas, 26 de março de 2002

RESUMO

Este trabalho abrange, basicamente, o estudo do comportamento e do desempenho de refrigeradores elétricos em função do nível de tensão em que são operados.

No capítulo 1 detalha-se o perfil dos refrigeradores existentes no Brasil, definido a partir dos dados de vendas no varejo, posse e características físicas dos aparelhos.

No capítulo 2 apresenta-se um panorama da situação atual do país quanto aos níveis de tensão de distribuição de energia praticados pelas concessionárias.

No capítulo 3 faz-se uma análise detalhada do refrigerador elétrico, seus componentes e aspectos de funcionamento, caracterizando o compressor hermético e os motores de indução monofásicos aplicados à refrigeração.

Partindo desse ponto, no capítulo 4 modela-se o motor de indução monofásico em função de sua tensão de alimentação e cria-se um método experimental para avaliar seu desempenho e consumo de energia elétrica de acordo com o nível de tensão da rede em que o equipamento é ligado.

No capítulo 5 são mostrados os resultados experimentais obtidos por nível de tensão em cada um dos refrigerados analisados. Já nos capítulos 6 e 7, os resultados dos impactos causados pelo funcionamento inadequado dos refrigeradores são discutidos em relação ao ponto de vista dos consumidores, sociedade e concessionária de energia, explorando o problema e sugerindo soluções.

Para complementação, no apêndice são apresentados seis anexos que contém as informações necessárias à boa absorção desse trabalho além de alguns tópicos sobre o refrigerador elétrico e sua inserção no contexto da atual crise energética a que todos nós, brasileiros, estamos submetidos nesse ano de 2001.

ABSTRACT

This work encloses, basically, the study of the behavior and the performance of electric refrigerators in function of the voltage level where they are operated.

Chapter 1 details the profile of the existing refrigerators in Brazil, defined from data of sales in retail, ownership and physical features of the devices.

In chapter 2 is presented a viewing of the country's current situation about distribution energy's voltage levels practiced by the utilities.

Chapter 3 becomes a detailed analysis of the electric refrigerator, its components and aspects of functioning, characterizing the hermetic compressor and the single-phase induction motors applied to the refrigeration.

As of this point, in chapter 4, the single-phase induction motor is modeled in function of its feed voltage and is created an experimental method to evaluate its performance and consumption of electric energy in accordance with the grid's voltage level where the equipment is on.

In chapter 5, experimental results gotten by voltage level in each one of the analyzed refrigerators are shown. Already in chapters 6 and 7, results of the impacts caused for refrigerators' inadequate functioning are argued in relation to the consumers, society and utilities' point of view, exploring the problem and suggesting solutions.

For complementation, in appendix, are presented six annexes containing the necessary information for a well absorption of this work beyond some topics on the electric refrigerators and its insertion in the context of the current energy crisis that we all, Brazilians, are submitted in this year of 2001.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Gilberto de Martino Jannuzzi, pela orientação científica, motivação, incentivo, credibilidade e amizade, sem os quais não teria realizado esse trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. César José Bonjuani Pagan, que com dedicação contribuiu em minha formação pessoal e profissional.

Ao Sr. José Antonio Schiavone Contri, da Comissão de Serviços Públicos de Energia (CSPE), pela prestatividade e atenção às minhas solicitações.

Ao Prof. Dr. Ioshiaki Doi, pela gentileza com que forneceu os equipamentos para a execução desse trabalho.

Aos amigos e colegas de mestrado Eduardo, José Renato e Renê.

Aos meus pais Carlos Roberto e Maria Ivone e à minha companheira Vanessa, pelo incentivo, paciência e colaboração.

A todos que direta ou indiretamente, prestaram seu apoio e cooperação na realização desse trabalho.

ÍNDICES

FICHA CATALOGRÁFICA	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMENTOS	v
ÍNDICES	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
Capítulo 1 BRASIL E SEUS REFRIGERADORES ELÉTRICOS	1
Capítulo 2 NÍVEIS DE TENSÃO DE DISTRIBUIÇÃO NO BRASIL	7
Capítulo 3 O REFRIGERADOR ELÉTRICO	19
3.1 Como o Frio Pode Preservar os Alimentos	19
3.2 Leis Térmicas da Refrigeração	20
3.2.1 Calor	20
3.2.2 Fluxo de Calor	20
3.2.3 Frio	21
3.3 Como Funciona um Refrigerador Elétrico	21
3.4 Principais Componentes e Funções de um Refrigerador Elétrico Comum	23
3.4.1 O Gabinete	23
3.4.2 A Estrutura	23
3.4.3 O Líquido Refrigerante	23
3.4.4 O Evaporador	23
3.4.5 O Acumulador	24
3.4.6 A Linha de Sucção	25
3.4.7 O Condensador	25
3.4.8 O Filtro Secador	27
3.4.9 O Tubo Capilar (Válvula de Expansão)	27
3.4.10 O Compressor Hermético	28
3.4.11 O Motor Elétrico Aplicado à Refrigeração	32
3.4.12 O Motor eficiente	42
3.4.13 Nota	43
3.4.14 Lubrificação	45
3.4.15 Controle do Motor	45
3.4.16 Aquecedores	45
3.5 Ciclo de Compressão	46
3.5.1 O operação do Ciclo de Compressão	46
3.5.2 Condições de Temperatura e Pressão no Ciclo de Compressão	47
3.6 Os tipos mais comuns de Refrigeradores Domésticos	50
3.6.1 Refrigerador Comum com Descongelamento Manual	51
3.6.2 Refrigerador com Freezer e Descongelamento Manual	53
3.6.3 Refrigerador com Freezer e Descongelamento Automático (Frost Free)	56
Capítulo 4 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO E EXPERIMENTAL	57
4.1 Desenvolvimento Teórico	57
4.1.1 Representação do Circuito do Motor de Indução	58
4.1.2 Equacionamento das Principais Grandezas do Motor de Indução	62
4.1.3 Análise para Caso de Máximo Conjugado	64
4.1.4 Análise para o Escorregamento	67
4.1.5 Análise para a Potência Mecânica	68
4.1.6 Análise para a Corrente de Entrada	69
4.1.7 Análise para as Perdas no Interior do Motor	70
4.1.8 Análise das Perdas em função da Potência Elétrica Total de Entrada	70
4.1.9 Análise para Quantidade de Ciclos de Refrigeração	71
4.2 Desenvolvimento Experimental	74

Capítulo 5	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	77
5.1	Refrigerador Brastemp 340 litros	79
5.2	Refrigerador Consul Gran Luxo 410 litros	80
5.3	Refrigerador Consul 3T – 420 litros	81
5.4	Refrigerador Brastemp Triplex 440 litros	82
5.5	Refrigerador Prosdócimo 340 litros	83
5.6	Refrigerador Consul 310 litros	84
5.7	Refrigerador Brastemp 324 litros	85
5.8	Refrigerador Consul Biplex 410 litros	86
5.9	Refrigerador Consul Smart 230 Litros	87
5.10	Refrigerador Brastemp 310 litros	88
5.11	Refrigerador White Westinghouse 430 litros	89
5.12	Refrigerador Prosdócimo 307 litros	90
5.13	Refrigerador Prosdócimo 132 litros	91
Capítulo 6	DISCUSSÕES E PERSPECTIVAS	97
6.1	Área Servida por Tensão de 115V	99
6.2	Área Servida por Tensão de 120V	101
6.3	Área Servida por Tensão de 127V	103
6.4	Os Impactos	103
6.4.1	Impactos ao Consumidor	105
6.4.2	Impactos à Sociedade	106
6.4.3	Impactos à Concessionária	108
Capítulo 7	CONCLUSÕES	109
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
	ARTIGOS PUBLICADOS	117
	APÊNDICES	119
	APÊNDICE 1 - Decretos, Leis e Portarias	119
	APÊNDICE 2 - Os Níveis de Tensão Efetivamente Disponíveis à População Brasileira	124
	APÊNDICE 3 - Como Comprar um Refrigerador Doméstico	126
	APÊNDICE 4 - O Software para Simulação do Motor de Indução Monofásico	128
	APÊNDICE 5 - Os Loggers	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Selo PROCEL de eficiência energética	02
Figura 2 Participação da Multibrás no mercado brasileiro de linha branca	03
Figura 3 Refrigerador Consul – O líder de mercado	04
Figura 4 Ligação monofásica em uma residência	08
Figura 5 Ligação bifásica (3 fios) em uma residência	09
Figura 6 Ligação trifásica (4 fios) em uma residência	09
Figura 7 Transformador trifásico de distribuição	10
Figura 8 Ligação Delta-Estrela de um transformador trifásico	10
Figura 9 Níveis de tensão medidos na grande São Paulo	12
Figura 10 Transformação Delta-Estrela 120/208V	13
Figura 11 Transformação Delta Aberto 230/115V	13
Figura 12 O transformador monofásico	14
Figura 13 Funcionamento de um Refrigerador Elétrico	21
Figura 14 Diagrama Ilustrativo de um Ciclo de Refrigeração	22
Figura 15 Diagrama Esquemático dos Componentes de um Ciclo de Refrigeração	22
Figura 16 O Evaporador	24
Figura 17 Linha de Sucção/Condensador/Compressor Hermético	25
Figura 18 O Condensador	25
Figura 19 Mudança de estado(vapor – líquido) no condensador	26
Figura 20 O Tubo Capilar	27
Figura 21 O Compressor Hermético	28
Figura 22 Eixo de Manivela, Pistão e Cilindro	30
Figura 23 Representação Física e Esquemática de um Motor Indução Monofásico	33
Figura 24 Ondas espaciais de força magnetomotriz de um motor de indução monofásico	33
Figura 25 Representação das ondas de força magnetomotriz por fasores espaciais	35
Figura 26 Características de Conjugado versus Velocidade de um Motor Monofásico	35
Figura 27 Motor de Fase Auxiliar – Diagrama de Ligações	37
Figura 28 Motor de Fase Auxiliar – Relações de Fase	37
Figura 29 Motor de Fase Auxiliar – Característica conjugado-velocidade	38
Figura 30 Motor com partida a capacitor – Diagrama de Ligações	39
Figura 31 Motor com partida a capacitor –Relações de Fase	39
Figura 32 Motor com partida a capacitor – Característica conjugado-velocidade	40
Figura 33 Motor com Capacitor Permanente – Diagrama de Ligações	40
Figura 34 Motor com Capacitor Permanente: Característica conjugado-velocidade	41
Figura 35 Motor com Capacitor de Partida e de Funcionamento – Diagrama de Ligações	41
Figura 36 Motor com Capacitor de Partida e de Funcionamento –Característica conjugado-velocidade	42
Figura 37 Compressor Embraco PW	43
Figura 38 Compressor Embraco EM	43
Figura 39 Estrutura do Compressor Hermético	45
Figura 40 Fluxo do Refrigerante no Ciclo de Compressão	47

Figura 41 Fluxo de Calor no Refrigerador _____	47
Figura 42 Ciclo de compressão de vapor _____	48
Figura 43 Representação gráfica das características de Pressão e Entalpia para o Refrigerador _____	49
Figura 44 Circuito elétrico para um refrigerador comum com descongelamento manual _____	53
Figura 45 Ciclo de Refrigeração para refrigerador com freezer _____	54
Figura 46 Circuito elétrico para um refrigerador com freezer _____	56
Figura 47 Circuito equivalente para um motor de indução monofásico nas condições normais de funcionamento _____	59
Figura 48 Circuito Elétrico Equivalente para o Motor de Indução Monofásico _____	60
Figura 49 Circuito Equivalente de Thevenin por Fase do Motor de Indução _____	61
Figura 50 Curvas de conjugado-velocidade típicas para motores de indução monofásicos de fase dividida com partida resistiva _____	66
Figura 51 Curvas ilustrativas de conjugado do motor e conjugado da carga em função da velocidade do rotor _____	68
Figura 52 Conversão de Energia em um Motor Elétrico _____	70
Figura 53 Diagrama esquemático da montagem experimental _____	74
Figura 54 Consumo mensal do refrigerador Brastemp 340 litros em função de sua tensão de operação _____	79
Figura 55 Consumo mensal do refrigerador Consul Gran Luxo 410 litros em função de sua tensão de operação _____	80
Figura 56 Consumo mensal do refrigerador Consul 3T 420 litros em função de sua tensão de operação _____	81
Figura 57 Consumo mensal do refrigerador Brastemp Triplex 440 litros em função de sua tensão de operação _____	82
Figura 58 Consumo mensal do refrigerador Prosdócimo 340 litros em função de sua tensão de operação _____	83
Figura 59 Consumo mensal do refrigerador Consul 310 litros em função de sua tensão de operação _____	84
Figura 60 Consumo mensal do refrigerador Brastemp 324 litros em função de sua tensão de operação _____	85
Figura 61 Consumo mensal do refrigerador Consul Biplax 410 litros em função de sua tensão de operação _____	86
Figura 62 Consumo mensal do refrigerador Consul Smart 230 litros em função de sua tensão de operação _____	87
Figura 63 Consumo mensal do refrigerador Brastemp 310 litros em função de sua tensão de operação _____	88
Figura 64 Consumo mensal do refrigerador White Westinghouse 430 litros em função de sua tensão de operação _____	89
Figura 65 Consumo mensal do refrigerador Prosdócimo 307 litros em função de sua tensão de operação _____	90
Figura 66 Consumo mensal do refrigerador Prosdócimo 132 litros em função de sua tensão de operação _____	91
Figura 67 Eficiência do Refrigerador Elétrico _____	93
Figura 68 Faixas de eficiência de refrigeradores _____	94
Figura 69 Consumo e Potencial de Conservação de Energia Elétrica na Área Atendida por rede de 115V _____	99
Figura 70 Consumo e Potencial de Conservação de Energia Elétrica na Área Atendida por rede de 120V _____	101
Figura 71 Item do selo de eficiência energética dos EUA _____	111

LISTA DE TABELAS

Tabela - 1 Venda de refrigeradores no Brasil _____	01
Tabela - 2 Domicílios particulares permanentes segundo a posse de refrigeradores elétricos _____	03
Tabela - 3 Domicílios paulistas particulares permanentes segundo a posse de refrigeradores _____	03
Tabela - 4 Regiões brasileiras e suas respectivas tensões _____	11
Tabela - 5 Sistema de distribuição de energia na grande São Paulo _____	12
Tabela - 6 Desempenho do refrigerador elétrico em vários níveis de tensão de operação _____	73
Tabela - 7 Descrição dos campos da tabela dos resultados do teste _____	77
Tabela - 8 Descrição dos campos da tabela de comparação de resultados _____	77
Tabela - 9 Resultados do ensaio do refrigerador Brastemp 340L para cada nível de tensão _____	79
Tabela - 10 Comparação entre os desempenhos do Brastemp 340L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	79
Tabela - 11 Resultados do ensaio do refrigerador Consul Gran Luxo 410L para cada nível de tensão _____	80
Tabela - 12 Comparação entre os desempenhos do Consul 410L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	80
Tabela - 13 Resultados do ensaio do refrigerador Consul 3T – 420L para cada nível de tensão _____	81
Tabela - 14 Comparação entre os desempenhos do Consul 3T-420L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	81
Tabela - 15 Resultados do ensaio do refrigerador Brastemp Triplex 440L para cada nível de tensão _____	82
Tabela - 16 Comparação entre os desempenhos do Brastemp 440L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	82
Tabela - 17 Resultados do ensaio do refrigerador Prosdócimo 340L para cada nível de tensão _____	83
Tabela - 18 Comparação entre os desempenhos do Prosdócimo 340L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	83
Tabela - 19 Resultados do ensaio do refrigerador Consul 310L para cada nível de tensão _____	84
Tabela - 20 Comparação entre os desempenhos do Consul 310L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	84
Tabela - 21 Resultados do ensaio do refrigerador Brastemp 324L para cada nível de tensão _____	85
Tabela - 22 Comparação entre os desempenhos do Brastemp 324L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	85
Tabela - 23 Resultados do ensaio do refrigerador Consul Bíplex 410L para cada nível de tensão _____	86
Tabela - 24 Comparação entre os desempenhos do Consul Bíplex 410L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	86
Tabela - 25 Resultados do ensaio do refrigerador Consul Smart 230L para cada nível de tensão _____	87
Tabela - 26 Comparação entre os desempenhos do Consul Smart 230L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	87
Tabela - 27 Resultados do ensaio do refrigerador Brastemp 310L para cada nível de tensão _____	88
Tabela - 28 Comparação entre os desempenhos do Brastemp 310L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	88
Tabela - 29 Resultados do ensaio do refrigerador White Westinghouse 430L para cada nível de tensão _____	89
Tabela - 30 Comparação entre os desempenhos do White Westinghouse 430L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	89
Tabela - 31 Resultados do ensaio do refrigerador Prosdócimo 307L para cada nível de tensão _____	90
Tabela - 32 Comparação entre os desempenhos do Prosdócimo 307L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	90
Tabela - 33 Resultados do ensaio do refrigerador Prosdócimo 132L para cada nível de tensão _____	91
Tabela - 34 Comparação entre os desempenhos do Prosdócimo 132L nos níveis de tensão diferentes de 127V _____	91
Tabela - 35 Eficiência do refrigerador em função do nível de tensão de operação _____	92
Tabela - 36 Consumo do refrigerador elétrico _____	95
Tabela - 37 Robustez do refrigerador elétrico _____	96
Tabela - 38 Áreas de distribuição de energia elétrica na grande São Paulo _____	97
Tabela - 39 Desperdício de energia com o uso de refrigeradores em tensões inadequadas _____	104
Tabela - 40 Custo anual para cada consumidor operar seu refrigerador em nível de tensão inadequado _____	117

Tabela - 41 *Níveis de Tensão Secundária por Estado* _____ 124

Tabela - 42 *Características de alguns dos refrigeradores existentes no mercado* _____ 127

CAPÍTULO 1 BRASIL E SEUS REFRIGERADORES ELÉTRICOS

Sendo o Brasil um país de clima predominantemente tropical, o refrigerador elétrico torna-se um bem indispensável e de fundamental importância dentro de uma residência, proporcionando melhoria na qualidade de vida das pessoas através da conservação dos alimentos que em uma temperatura maior degradariam-se com facilidade.

Pode-se dizer que em sua área urbana, o Brasil é um país relativamente bem servido por refrigeradores elétricos. De 1993 até 1998, o volume de refrigeradores na sociedade brasileira cresceu 15% e, continua a crescer ainda mais nos dias de hoje. Isso porque o plano Real difundiu o acesso ao consumo e, cada vez mais, as famílias sentem-se motivadas a abrir linhas de crédito de longo prazo (crediários, financiamentos, empréstimos) para adquirirem novos eletrodomésticos. A tabela a seguir (ELETROS, 2001) mostra o comportamento das vendas de refrigeradores no Brasil após a implantação do plano Real:

Tabela - 1 Venda de refrigeradores no Brasil

Ano	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Refrigeradores	2.400.191	3.031.247	4.042.065	3.720.164	3.207.477	3.006.751	3.239.111

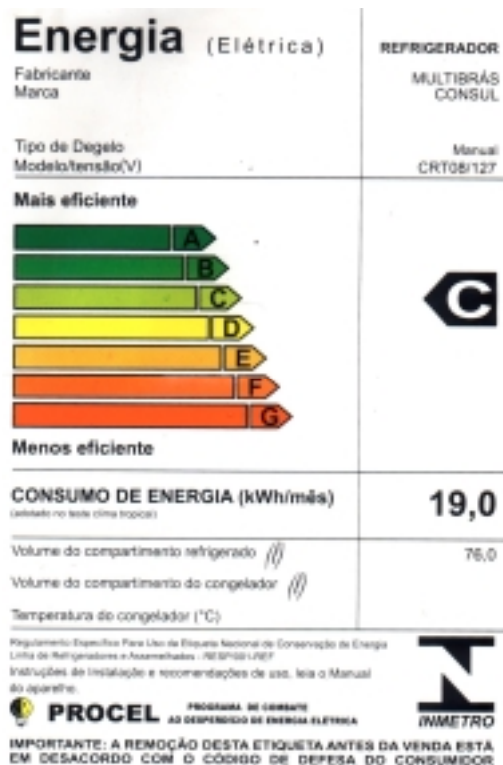
Fonte: ELETROS, 2001

No primeiro trimestre de 2001 foram vendidos 893.783 refrigeradores (ELETROS, 2001) o que mostra a acomodação do mercado em torno de 3,2 milhões de refrigeradores anuais, número semelhante ao atingido em 2000.

É muito interessante e louvável que com o plano Real mais famílias tiveram acesso aos equipamentos de refrigeração doméstica. O problema é que durante todos esses anos de evolução no consumo não houve política pública nenhuma para a orientação dos compradores sobre qual o melhor e mais adequado produto a ser adquirido.

Assim, o cidadão vai para a loja sem nenhuma noção do tamanho do refrigerador indicado às suas necessidades e muito menos do rendimento desta máquina. E, na maioria das vezes (segundo alguns vendedores de eletrodomésticos), a compra ocorre sempre em função da promoção do momento e do modelo que consideram mais bonito. Até mesmo o selo de eficiência do PROCEL (Fig. 1), criado em 1993 para premiar os equipamentos que usam mais racionalmente a energia elétrica é esquecido.

Durante as medições desse trabalho, foi constante a observação de famílias com 2 ou três pessoas possuindo refrigeradores



Fonte: PROCEL, 2001.

Figura 1 Selo PROCEL de eficiência energética

duplex, com volume superior a 370 litros. Ou seja, empregando motores de 1/5 cv, onde seria tranqüilamente possível utilizar um refrigerador de até 300 litros com motor de 1/6 ou 1/8 cv executando o mesmo serviço. Desperdício visível de energia por conta da falta de sensibilidade para a aquisição do equipamento!

Os dados de posse de refrigeradores utilizados nesse trabalho são oriundos da PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios), referente ao ano de 1998 e apresentada ao público em 30/11/1999. Realizada desde 1967, a PNAD é a mais abrangente fonte de informações anuais sobre a realidade socioeconômica brasileira, constituindo um poderoso instrumento para acompanhar as condições de vida da população e para planejar o desenvolvimento nacional. A PNAD cobre todo o país, exceto a área rural da região Norte (aproximadamente 2,5% da população nacional).

De acordo com os resultados apresentados na síntese de indicadores da PNAD de 1998, havia refrigeradores em 81,9% das moradias, englobando 89,2% dos domicílios urbanos e 50,1% das habitações rurais.

Tabela - 2 Domicílios particulares permanentes segundo a posse de refrigeradores elétricos

Tipo de Domicílio	Número	Refrigeradores	Percentual (%)
Urbano	33.993.829	30.322.417	89,20
Rural	7.845.874	3.928.545	50,07
Total	41.839.703	34.250.962	81,86

Fonte: PNAD – IBGE, 1999.

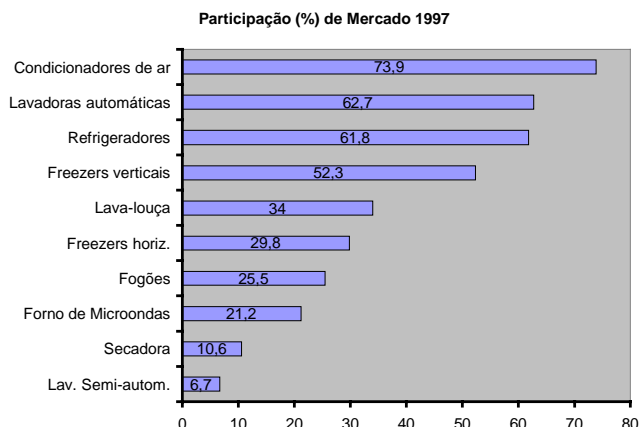
Para o Estado de São Paulo, os números da PNAD são mais generosos, retratando as melhores condições socioeconômicas da região em relação ao resto do país. Chega-se a um percentual médio de posse de refrigeradores da ordem de aproximadamente 96,5%, muito próximo a países ricos como a França (97%), Inglaterra (97%), Alemanha (98%), EUA (99%) e Japão (99%).

Tabela - 3 Domicílios paulistas particulares permanentes segundo a posse de refrigeradores

Tipo de Domicílio	Número	Refrigeradores	Percentual (%)
Urbano	9.140.056	8.842.991	96,75
Rural	625.083	572.415	91,57
Total	9.765.139	9.415.406	96,42

Fonte: PNAD – IBGE, 1999.

Uma questão bastante interessante a ser abordada trata da potência média dos refrigeradores existentes e daqueles comercializados atualmente no mercado brasileiro. A empresa Multibrás (dona das marcas Consul e Brastemp) reina absoluta no mercado de linha branca brasileiro. O gráfico abaixo (BANCO BRASCAN, 1998) ilustra a situação:



Fonte: Banco Brascan, 1998.

Figura 2 Participação da Multibrás no mercado brasileiro de linha branca

Enquanto a Multibrás detém quase 62% das vendas de refrigeradores, a outra fatia de 38% do mercado é palmo a palmo disputada entre Bosch, CCE, Continental, Electrolux e White WestingHouse. Só a Consul detém 42% do mercado nacional e, o refrigerador campeão nacional em vendas (MULTIBRÁS, 2001) é o Consul RC 28-E, com volume de

280 litros e compressor hermético Embraco tocado por motor de indução monofásico de fase dividida de 1/6cv.



Fonte: Multibrás, 2001.

Figura 3 Refrigerador Consul – O líder de mercado

Esse refrigerador possui uma potência média da ordem de 150W, entretanto, não representa a realidade do parque de refrigeradores brasileiros.

Um trabalho da Fundação Getúlio Vargas (CONJUNTURA ECONÔMICA, 1998), através de questionários e amostragens estatísticas determinou que o volume médio dos refrigeradores existentes nas cozinhas brasileiras varia desde 280 até 400 litros (capacidade frigorífica de 130 até 165kcal/h).

Isso, em termos de energia elétrica, equivale aproximadamente à existência de um motor de indução monofásico de 1/5cv consumindo na base de 170Wh/h em cada cozinha brasileira.

Muito pertinentes esses valores, já que as grandes concessionárias de energia nacionais Bandeirante, Cerj, CPFL, Elektro, Eletropaulo e Light, em seus manuais de uso racional de energia elétrica ensinam que os refrigeradores têm potência entre 150 e 400W, situando-se na média em torno de 200W.

Quanto à questão do tempo de uso de refrigeradores, deve-se ressaltar que ele está intimamente ligado aos hábitos do usuário e ao ambiente onde está inserido o aparelho. Isso porque os fatores que mais influenciam no consumo de refrigeradores são a temperatura do meio ambiente e a frequência de abertura de suas portas (KAO & KELLY, 1996).

Em um estudo feito pelo Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp (JANNUZZI & WARTUSH, 1997) determinou-se as curvas de consumo do refrigerador elétrico na região de Campinas e, com isso, estabeleceu-se um valor para o tempo médio de funcionamento diário de um refrigerador elétrico (soma de todos os tempos em que o refrigerador permaneceu ligado durante o dia) de cerca e 8 horas e 45 minutos, ou aproximadamente 36,6% do dia. É um número razoável, entretanto, nas medidas efetuadas pelo autor (capítulo 5) encontrou-se tempos muito superiores, da ordem de aproximadamente 10 horas, não porque as famílias estudadas possuíam hábitos mais perdulários e sim porque sofriam com as condições climáticas, pois enquanto o primeiro ensaio (JANNUZZI & WARTUSH, 1997) foi feito em Campinas,

onde a temperatura ambiente média é próxima à 22°C, o segundo foi feito na região de Ribeirão Preto, mais exatamente em Pradópolis, onde a temperatura média ambiente situa-se na faixa dos 28°C. Isso prova a fragilidade do sistema de isolamento térmica dos refrigeradores nacionais, que por permitirem a entrada do calor externo em seus gabinetes, têm que trabalhar mais tempo para conseguir “bombeá-lo” para fora. Esse mesmo raciocínio vale para a abertura de portas. Quanto mais vezes e mais tempo a porta permanece aberta, mais o calor do ambiente invade o gabinete do refrigerador e mais tempo ele precisará funcionar para “expulsá-lo”.

O estudo de Kao & Kelly (KAO & KELLY, 1996), feito em refrigeradores com volume de 400 litros mostra que para cada °C elevado na temperatura ambiente (a partir de 21°C) o consumo aumenta de 3 a 5%, enquanto que cada abertura de porta de 10 segundos custa 3 minutos de funcionamento a mais do compressor hermético.

Segundo a metodologia de análise do consumo residencial de energia elétrica por uso final do PROCEL (ELETROBRÁS, 1998), o refrigerador elétrico é responsável por cerca de 32% do consumo de energia elétrica de uma residência. Em âmbito nacional, considerando que 82% das famílias brasileiras possuem esse eletrodoméstico, a energia consumida anualmente somente com refrigeradores equivale a aproximadamente 20,83TWh (ELETROBRÁS, 1998), ou seja, quase a totalidade da geração anual de uma usina hidrelétrica como Ilha Solteira no rio Paraná, com 3444MW de potência instalada.

Esses refrigeradores encontram-se distribuídos por todo o território brasileiro em cerca de 34.250.962 lares conectados às redes elétricas de distribuição nas tensões nominais de 110V, 115V, 120V, 127V e 220V (JANNUZZI & PAGAN, 2000), contrariando o decreto 97.280 que desde 1988 fixa a tensão nominal de distribuição secundária em 380/220V ou 220/127V para redes trifásicas a quatro fios e 254/127V para redes monofásicas a três fios.

O sistema de distribuição tem importância fundamental dentro do contexto de um sistema elétrico, não só pelo investimento que ele exige, como também pela sua elevada responsabilidade na qualidade do serviço prestado ao consumidor.

A qualidade no fornecimento de energia elétrica passa por quatro indicadores: faixa de frequência, distorção harmônica, continuidade de fornecimento e faixa de tensão. Sendo a tensão o objeto de interesse neste estudo, implica-se que o fornecimento ideal de energia elétrica seria aquele que propiciasse faixa de regulação de tensão nula e igual à nominal de 127V, que é a tensão nominal prevista na legislação atual. Entretanto, não é isto que se verifica, visto que 12% das residências brasileiras ainda recebem energia

elétrica em níveis de tensão incoerentes com o decreto 97.280, situação que agrava-se na grande São Paulo, onde cerca de 3.672.000 casas continuam sendo atendidas por redes de distribuição com tensões de 115V e 120V (CSPE, 2000)

Essa diversidade de tensões traz dificuldades à população, já que o refrigerador elétrico é um dos eletrodomésticos que apresenta maior sensibilidade aos níveis de tensão existentes, pois, sua corrente de trabalho, capacidade de refrigeração e vida útil são fortemente dependentes da tensão disponível no ponto de consumo.

A determinação e fixação de faixas de tensão admissíveis, tanto em condições normais quanto de emergência, devem, evidentemente, fundamentar-se na compatibilização entre a tensão fornecida pela concessionária e os valores das tensões de placa dos eletrodomésticos e equipamentos elétricos. É evidente que, para o fabricante, o ideal seria a concessionária manter a faixa de variação entre as tensões máxima e mínima a mais estreita possível. Isso, no entanto significa maiores investimentos no sistema de distribuição. Em contrapartida, do ponto de vista da concessionária, o desejável seria manter essa faixa a mais ampla possível, resultando maiores custos para os eletrodomésticos e equipamentos elétricos.

Assim, baseando-se na performance técnica dos refrigeradores elétricos quando operados em 127V, serão estimados aqui os impactos econômicos para os consumidores da região metropolitana da grande São Paulo que recebem energia elétrica com tensões inadequadas, visando chamar a atenção para a necessidade de reformulação do sistema de distribuição de energia da capital paulista de acordo com os padrões estabelecidos pelo decreto 97.280, perseguindo um ponto de equilíbrio entre as necessidades da concessionária, dos consumidores de energia e da sociedade como um todo.

CAPÍTULO 2 NÍVEIS DE TENSÃO DE DISTRIBUIÇÃO NO BRASIL

O presente capítulo tem por objetivo explicar sobre as condições técnicas mínimas e os procedimentos para ligação de energia elétrica em tensão secundária de distribuição a residências, de acordo com os padrões estabelecidos pela ABNT e pela legislação em vigor. Portanto, são feitas agora algumas conceituações (ELETROBRÁS, 1986) para a perfeita compreensão do assunto em pauta.

- **Tensão Nominal** ⇒ Segundo o decreto 97.280 de 16.12.88, entende-se como tensão nominal o valor eficaz da tensão pelo qual o sistema é designado. Este valor identifica a classe de tensão a que está sujeito determinado circuito elétrico, assim, deve-se designar um valor operacional ideal para cada sistema.
- **Tensão de Utilização** ⇒ Valor eficaz da tensão efetivamente aplicada aos terminais dos equipamentos e aparelhos dos consumidores.
- **Tensão de Serviço** ⇒ Valor eficaz da tensão no ponto de entrega, ou seja, no local onde o sistema elétrico do consumidor liga-se ao sistema elétrico da concessionária.
- **Tensão Secundária** ⇒ Valor eficaz da tensão no ponto da rede da concessionária de onde deriva-se o ramal de ligação. É o ponto onde faz-se a medição rotineira para controle do fornecimento de energia.
- **Tensão de Fornecimento Primário** ⇒ Valor da tensão primária combinado entre concessionária e consumidor, no ponto de entrega de energia elétrica, nos termos da legislação em vigor. Atualmente, a Portaria 04 de 10.01.89, do DNAEE (vide anexos), estabelece que essa tensão pode variar em torno da tensão nominal de 127V entre limites aceitáveis de 116V até 132V.

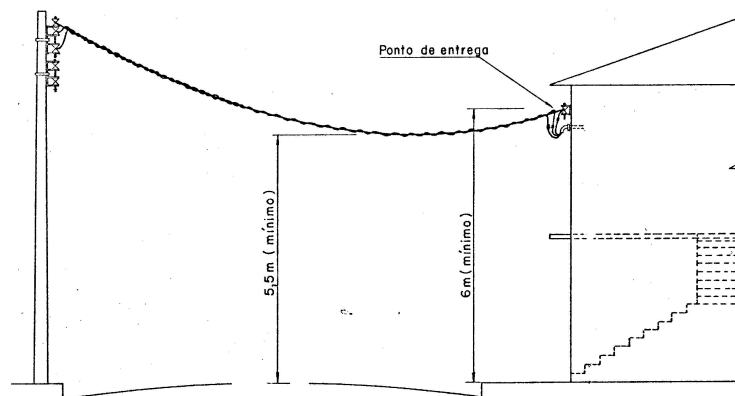
Continuando com o estudo, considera-se como unidade de consumo cada habitação individualizada pela respectiva medição de energia. E, o ponto de entrega de energia pela concessionária é o limite até essa medição, onde ela obriga-se a fornecer energia elétrica a consumidores de caráter permanente, com participação ou não nos investimentos necessários para sua instalação, conforme legislação e prática de atendimento de mercado em vigor e com manutenção por conta da companhia.

Sendo assim, de acordo com o decreto 97.280 de 16.12.88 (vide anexos), a ligação das residências a partir da rede secundária deve ser polifásica ou monofásica, com tensão de 220/127V, frequência de 60Hz e neutro solidamente aterrado. Esta alimentação dá-se a partir da rede secundária da via pública e, dependendo da carga

instalada e das características de cada consumidor, distinguem-se os tipos de fornecimento abaixo(CPFL, 1996):

- **Monofásico:** Dois Fios (Fase e Neutro):

Para carga instalada de até 6kW, inclusive. Neste tipo de fornecimento a tensão nominal é de 127V, não é permitida a ligação de aparelhos com potência individual superior à 5kW e a ligação de motores monofásicos com mais de 4cv.

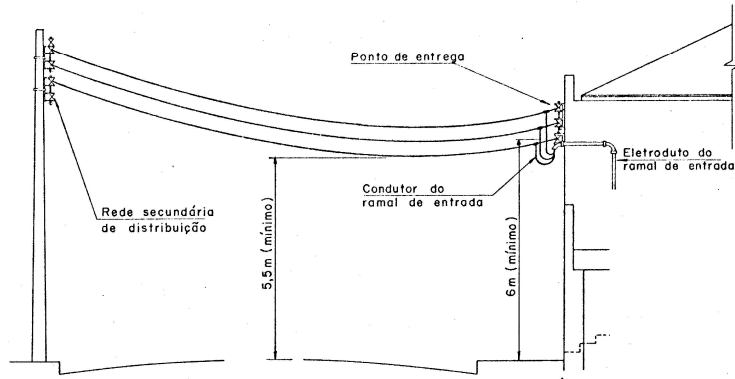


Fonte: CPFL, 1996.

Figura 4 Ligação monofásica em uma residência

- **Bifásico:** Três fios (Duas Fases e Neutro):

Para carga instalada de 7kW até 20kW, inclusive. Também estão incluídos neste tipo de fornecimento unidades consumidoras com carga inferior a 6kW, que possuam aparelhos fora dos limites do item anterior. Neste tipo de fornecimento, a unidade consumidora recebe energia em tensões com valores nominais de 127V entre fases e neutro e 220V entre duas fases. Não é permitido nesta ligação a instalação de aparelhos com potência individual superior a 8kW, entre duas fases, com ou sem neutro. Também não é permitida a ligação de aparelhos com potência individual superior a 5kW entre fase e neutro (127V), além de motores monofásicos com potência individual igual ou superior a 7,5cv entre duas fases (220V) e com potência individual superior a 4cv, entre fase e neutro (127V).

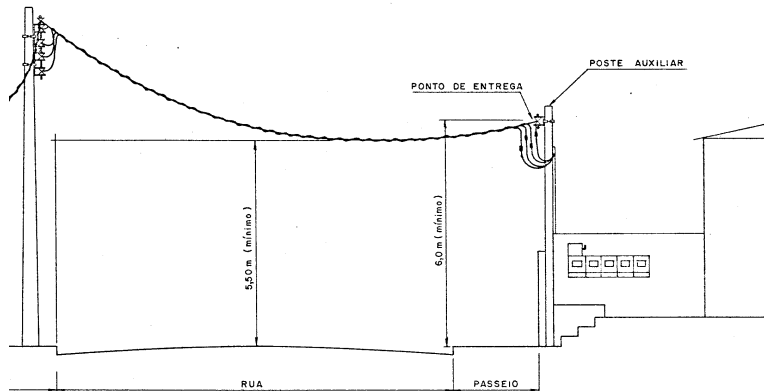


Fonte: CPFL, 1996.

Figura 5 Ligação bifásica (3 fios) em uma residência

- **Trifásico:** Quatro Fios (Três fases e Neutro):

Neste tipo de fornecimento, a unidade consumidora receberá energia em tensões com valores nominais de 127V entre fases e neutro e 220V entre fases. Este tipo de ligação é usado em residências com carga instalada de até 75kW.



Fonte: CPFL, 1996.

Figura 6 Ligação trifásica (4 fios) em uma residência

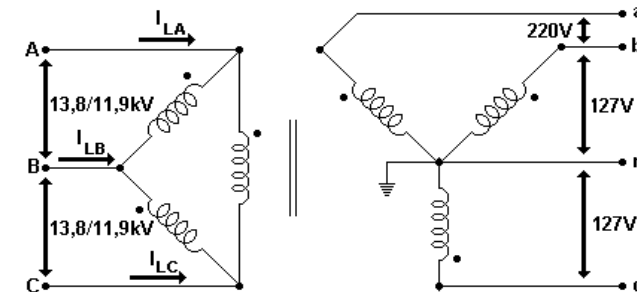
Para conseguirem obter essas tensões de fornecimento, a maioria das concessionárias utilizam-se de transformadores trifásicos (tendo todos os 6 enrolamentos em um núcleo comum, e contido em um tanque comum) ligados em Δ -Y (rotação de fase de 30° entre o primário e o secundário), os quais captam em seus enrolamentos primários 11,9kV, 12,6kV, 13,2kV ou 13,8kV (mais comum) e rebatem ao secundário tensões de 127/220V (KOSOW, 1988).



Fonte: TOSHIBA, 2001.

Figura 7 Transformador trifásico de distribuição

As vantagens de transformadores trifásicos são que eles custam menos, pesam menos, ocupam menos espaço e apresentam menor quantidade de ligações externas além de terem rendimento um pouco melhor. Um arranjo dessa configuração é mostrado na figura anterior (TOSHIBA, 2001):



Fonte: KOSOW, 1988.

Figura 8 Ligação Delta-Estrela de um transformador trifásico

Entretanto, mesmo decorridos mais de 12 anos da implantação do decreto que padroniza as tensões de distribuição (vide anexos), o Brasil, com aproximadamente 37 milhões de consumidores residenciais (ELETROBRAS, 1998), ainda continua a possuir outros três níveis de tensão de distribuição de energia elétrica, sendo eles: 110V, 115V e 120V (JANNUZZI & PAGAN, 2000). A tabela abaixo mostra as regiões geográficas do país servidas por cada nível tensão e sua porcentagem correspondente de domicílios.

Tabela - 4 Regiões brasileiras e suas respectivas tensões

Tensão nominal da rede	Área geográfica	(%) de domicílios brasileiros
110V	Manaus e algumas cidades do interior mineiro e carioca	1
115V	Aproximadamente 84% da região metropolitana da grande São Paulo e algumas áreas da cidade do Rio de Janeiro	10
120V	6,5% da região metropolitana da grande São Paulo e algumas cidades dos estados de Minas Gerais, Tocantins e Pará	1
127V	Maioria das cidades nas regiões Sudeste, Centro Oeste e Norte do Brasil. Alguns municípios na Bahia, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul	50
220V	região Nordeste (maior parte do estado da Bahia), Distrito Federal (Brasília) e os estados de Tocantins, Goiás, Rio Grande do Sul e Santa Catarina	38

Fonte: JANNUZZI & PAGAN, 2000.

Conforme pode-se perceber, atualmente cerca de 12% das residências brasileiras (aproximadamente 4,44 milhões de consumidores residenciais) ainda permanecem recebendo energia elétrica fora dos padrões estabelecidos pela legislação em vigor.

Essa situação faz-se mais crítica na região metropolitana da grande São Paulo, onde quase que a totalidade dos consumidores residenciais são atendidos com tensões fora dos níveis determinados. A área em questão é atendida pela concessionária ELETROPAULO METROPOLITANA – Eletricidade de São Paulo S.A. e engloba os seguintes municípios: Barueri, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Itapevi, Jandira, Juquitiba, Mauá, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santana do Parnaíba, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Lourenço da Serra, São Paulo, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista (SECRETARIA DE ENERGIA DE SP, 2000).

Um estudo do Instituto de Eletrotécnica da USP (PAVÃO, AFFONSO, ANDRADE & DINI, 1999) efetuou medições de tensão, em diversos pontos nas áreas da grande São Paulo, entre junho e agosto de 1998, constatando a dramaticidade da situação. Esses pesquisadores utilizaram medidores de energia SAGA 1000, modelo 1317, com registradores microprocessados configurados de modo a registrar a média do valor RMS verdadeiro da tensão a cada 5 minutos; sortearam 25 setores censitários da grande São Paulo e, dentro de cada um desses setores, selecionaram uma amostra de 4 domicílios, instalando um medidor eletrônico em cada domicílio. Os resultados são apresentados no gráfico a seguir:



Fonte: PAVÃO et Al, 1999.

Figura 9 Níveis de tensão medidos na grande São Paulo

A tabela abaixo contém dados fornecidos pela CSPE (Comissão de Serviços Públicos de Energia) e ilustra o cenário do fornecimento de energia elétrica às residências ali localizadas.

Tabela - 5 Sistema de distribuição de energia na grande São Paulo

Nível de Tensão (Volts)	Número de Consumidores Residenciais	Consumo Anual (GWh)	Porcentagem (%)
115/230	3.412.000	10536,00	83,63
120/208	260.000	802,50	6,37
127/220	408.000	1259,50	10,00
Total	4.080.000	12598,00	100,00

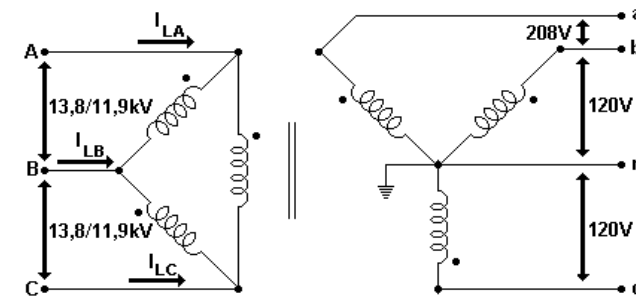
Fonte: CSPE, 2000.

Nota-se que 90% dos consumidores residenciais da grande São Paulo (aproximadamente 3,67 milhões de residências) estão ligados à níveis inadequados de tensão, perdendo energia e tendo prejuízo econômico. Isto porque a tensão elétrica efetivamente disponível no ponto de consumo determina o desempenho de grande parte dos equipamentos eletrodomésticos, que têm comprometidos sua eficiência e vida útil, além é claro, do consumo. Este trabalho ater-se-á somente aos efeitos causados nos equipamentos de refrigeração residenciais, entretanto esse fato também é significativo em sistemas de iluminação dotados de lâmpadas incandescentes, onde uma redução de tensão de 127V para 120V provoca uma queda de luminosidade de cerca de 18% enquanto uma redução maior, de 127V para 115V, causa uma depreciação da ordem de aproximadamente 29% na luminosidade dessas lâmpadas. Ou seja, o cidadão que possui uma lâmpada incandescente de 60W (127V) ligada à uma rede de 115V terá como resultado um efeito luminoso equivalente àquele proporcionado por uma lâmpada incandescente de 40W (127V), situação esta que pode gerar descontentamento e

conseqüente substituição por uma lâmpada de potência maior, onerando ainda mais as redes de distribuição (PAGAN, 1998).

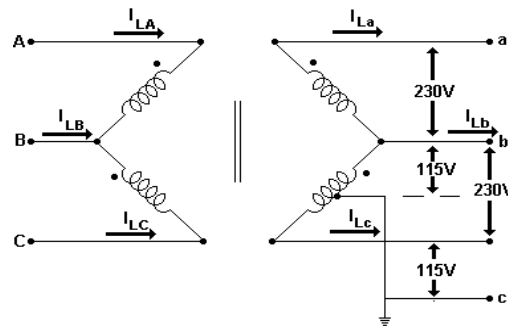
As particularidades do sistema de distribuição de energia da grande São Paulo advém do fato de que lá, a concessionária opera a rede de distribuição com sistemas trifásicos do tipo Δ - Y com os padrões de tensão de 127/220V (padrão de tensão definido pela legislação atual), 120/208V (padrão de tensão tipicamente norte americano e canadense – maioria das redes subterrâneas) e o popular sistema V-V ou Delta Aberto 115/230V (padrão de tensão tipicamente europeu), constituído por dois transformadores monofásicos que proporcionam a criação de um sistema trifásico.

As ilustrações abaixo mostram a configuração desses sistemas (KOSOW, 1988):



Fonte: KOSOW, 1988.

Figura 10 Transformação Delta-Estrela 120/208V



Fonte: KOSOW, 1988.

Figura 11 Transformação Delta Aberto 230/115V

O que levou a região da grande São Paulo ter um sistema de distribuição de energia com tantas peculiaridades foi o fato de que o Estado de São Paulo e notadamente sua capital foram a mola mestra do processo de industrialização do país no século XX. Ao mergulhar-se na história e voltar à década de 30, vê-se que o Brasil era ainda uma imensa fazenda, dependendo quase que exclusivamente da agricultura do café. Nesta época, a “The São Paulo Tramway Light and Power Co. Limited” era a concessionária privada responsável pelos serviços de energia elétrica em São Paulo, atendendo a uma

área quase que exclusivamente residencial e comercial, com uma ainda incipiente indústria em formação (indústria de alimentos, tecidos e vestuário).

Ao longo do século XX, e sobretudo no período após a Segunda Guerra Mundial, a partir de 1945, o país deixou a condição de uma república meramente agrícola e transformou-se em uma economia urbana e industrial. Nesta época (até 1967), o grupo Light mudou 5 vezes de razão social, sempre sob a tutela de americanos e canadenses, daí nota-se de onde vêm os sistema trifásicos Δ - Y com tensões de 120/208V, inspirados/copiados de projetos de distribuição subterrâneos implantados com sucesso na América do Norte.

Entre 1950 e 1980 o Brasil foi o país que mais cresceu no mundo, com média anual de 7,1%. Mas foi entre as décadas de 60/70 que ocorreram as maiores transformações na economia brasileira (...“Ninguém segura esse país!”...), a famosa época do milagre, onde crescia-se a incríveis 11,2% ao ano. Nesta época, a expansão da cidade de São Paulo era de uma dinâmica inigualável pois, passou a ser um pólo atrator de investimentos, totalizando 43% de toda produção industrial nacional e solidificando-se como o maior parque fabril da América Latina, principalmente após a chegada das grandes multinacionais montadoras de automóveis e das indústrias de máquinas e auto-peças.

Toda essa pujança econômica fomentava o crescimento da sociedade de consumo que mais e mais demandava por energia elétrica em todas suas atividades.

Então, o grupo Light, pressionado a entregar energia elétrica a consumidores que multiplicavam-se a cada dia, passou a utilizar-se do sistema V-V, ou Delta Aberto para, em uma tentativa de expandir rapidamente suas redes, levar energia elétrica aos consumidores da maneira mais rápida, confiável e barata possível. O sistema Delta Aberto ou sistema V-V usa um banco com dois transformadores monofásicos, ambos com o primário ligado em rede de 11,9kV,

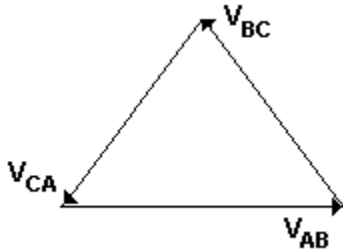


Fonte: TOSHIBA, 2001.

Figura 12 O transformador monofásico

12,6kV, 13,2kV ou 13,8kV e o secundário com tensões de 230V, sendo que na transformação V-V, apenas um secundário tem tap central ligado à terra.

O secundário com tap central fornece tensões monofásicas que são metade das tensões de linha ($V_L/2$) e supre potência trifásica às cargas ligadas em Δ ou Y sem alteração nas tensões como mostram as figuras 12-a e 12-b.



Fonte: KOSOW, 1988.

Figura 12-a- Tensões de Linha aplicadas ao primário do sistema V-V

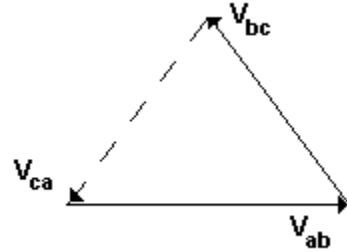


Figura 12-b - Tensões de Linha Secundárias produzidas pelo sistema V-V.

A figura 12-a mostra as relações fasoriais para as tensões de linha trifásicas aplicadas aos primários do sistema V-V. As relações fasoriais para as tensões de fase e de linha induzidas nos dois secundários estão mostradas na figura 12-b. Note-se que as tensões de fase e de linha são as mesmas. V_{ab} é a fem induzida na bobina secundária a do transformador. V_{bc} , por sua vez, corresponde à bobina b. A soma fasorial $V_{ab}+V_{bc}$ produz V_{ca} , como mostram as figuras 12 a e 12 b. Conseqüentemente, o sistema V-V ainda produz três tensões de linha defasadas de 120° .

Na ligação V-V, a carga em tensão de linha é ligada entre ab e bc mas não entre ca.

A potência suprida por transformador num sistema V-V não é a metade (50%) da potência total, mas sim 57,7%. Isto pode ser demonstrado como segue.

Desde que cada transformador num sistema V-V agora entregue a corrente de linha (e não de fase), a potência suprida por transformador num delta aberto, comparada à potência trifásica total, é:

$$\frac{\text{Potência - por - transformador}}{\text{potência - total - trifásica}} = \frac{V_F \cdot I_F \cdot \cos \theta}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta} = \frac{V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577 \quad [1]$$

A relação acima também implica em que, se dois transformadores estão operando em V-V e com carga nominal, a adição de um terceiro transformador aumenta a capacidade total de 73,2% (ou de $\sqrt{3}$). Assim, um aumento no custo de 50% para o terceiro transformador, permite um acréscimo da capacidade do sistema em 73,2%, ao convertê-lo de V-V em $\Delta - \Delta$.

Como resultado da ligação V-V, entretanto, a carga aumenta drasticamente em cada transformador, e mesmo assim, a sobrecarga em cada um aumenta pouco.

A Light, Serviços de Eletricidade S.A., seguidamente tirou proveito desta relação, ao iniciar um sistema trifásico pela ligação V-V, e acrescentar um terceiro transformador quando as condições de aumento de carga o exigiam.

Este expediente é facilmente justificável, desde que o aumento de capacidade (73%) supra o do investimento adicional (50% dos dois transformadores).

O Delta Aberto ou V-V, não produz rotação de fase entre as tensões de linha primária e secundária, como mostra a figura 12-a e b. Pode, portanto ser ligado em paralelo com aqueles transformadores (para as mesmas tensões de linha, primárias e secundárias) que não dão deslocamento angular.

Além disso, os sistemas V-V apresentam como vantagem o barateamento da manutenção (transformador reserva mais barato que o transformador trifásico) e o fato de que para certas potências e tensões, a demanda de transformadores monofásicos é muito maior que a de trifásicos. Neste caso, um banco trifásico pode ser mais econômico que um transformador trifásico.

Em 1979 o milagre brasileiro chegou ao fim. Os investimentos minguaram e nas décadas de 80 e 90 a economia brasileira teve um desempenho pífio, com crescimento médio de 2,1% ao ano. Também no ano de 1979, o grupo Light foi comprado pela Eletrobrás e, dois anos depois, as operações da Light foram transferidas para o governo de São Paulo, tendo sido criada em 1981 a Eletropaulo – Eletricidade de São Paulo S.A.

Durante os dezessete anos seguintes, mesmo com a estagnação econômica, o consumo manteve-se em alta de cerca de 5% ao ano, então, a Eletropaulo continuou a manutenção e expansão de suas redes de acordo com as condições e os padrões técnicos herdados de outrora. Somente as redes novas eram projetadas conforme a legislação atual. Em 15/04/98, a Eletropaulo foi privatizada, mudou o nome para Eletropaulo Metropolitana – Eletricidade de São Paulo S.A. e seu controle acionário passou a ser responsabilidade do consórcio formado por AES Corporation e Electricité de France.

Mudaram os donos, mas a política de manter tudo como está continuou. Por tudo isso é que ainda hoje, 90% dos consumidores residenciais de energia da região metropolitana da grande São Paulo, clientes da maior empresa de distribuição da América Latina com uma rede de aproximadamente 311 mil km de condutores aéreos, 10 mil km

de condutores subterrâneos e um milhão de postes são servidos por níveis inadequados de tensão.

Cabe ressaltar que problemas com níveis de tensão não são exclusividade brasileira, visto que a Comunidade Européia também não conseguiu ainda unificar seus padrões de tensão de distribuição de energia.

Por muitos anos, o fornecimento de energia elétrica para consumidores residenciais na Europa era feito em 110V/220V. Somente na Inglaterra era feito em 120V/240V.

Nos anos 80 as primeiras propostas para a padronização das tensões de fornecimento foram feitas pelo CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique - Comitê europeu para a padronização de normas elétricas).

Um acordo para a padronização dos níveis de tensão, com validade em toda a Comunidade Européia, o HD 472 S1, foi aprovado em 4 de Novembro de 1988. Essa nova norma determinou que todos os países membros da comunidade européia deveriam possuir nível de tensão de distribuição de 230V (115V entre fase e neutro e 230V entre fases para sistemas trifásicos com três fios – Delta; 230V entre fase e neutro e 400V entre fases para sistemas trifásicos a quatro fios - Estrela). Desde então, os principais países da Europa vêm gradativamente mudando as configurações de suas redes de 220V para 230V. Como conseqüência, as concessionárias vêm economizando nos custos de distribuição e incrementando a capacidade de carga de seus sistemas com pouquíssimos investimentos.

Na Inglaterra, o governo e as empresas concessionárias de serviços elétricos inicialmente rejeitaram a idéia de reduzir o nível de tensão de 240V para 230V, alegando que haveria um incremento nos custos de operação devido ao aumento da corrente para a mesma potência transmitida e ao investimento necessários à aquisição de novos transformadores. Somente no dia 9 de março de 1993, sob ameaças de sanções econômicas é que o governo inglês aceitou a padronização da tensão em 230V, mas com um alongamento nos limites de flutuação, sendo eles:

- A partir de janeiro de 1995 → a tensão de distribuição de 230V pode variar de 216V até 253V.
- A partir de janeiro de 2003 → a tensão de distribuição de 230V pode variar de 207V até 253V.

É evidente que as concessionárias inglesas não operaram nenhuma alteração em suas redes. O que ocorre é que com a expansão do consumo, as redes novas são

construídas adequadamente em conformidade com a norma e provocam melhorias nos índices de variação de tensão. Assim, cria-se um situação semelhante à vivida na capital paulista, onde os equipamentos domésticos não operam com desempenho ótimo, operam insatisfatoriamente, não operam, ou ainda, em casos mais graves, podem até queimar.

Voltando ao problema brasileiro, cumpre lembrar ainda, que pelo lado da demanda, o país tem evidências de que apresentará, por longo período de tempo, um crescimento acentuado no consumo. O brasileiro consome apenas 2000kWh/ano (ELETROBRÁS, 1998), índice que o coloca abaixo da média mundial. O consumo médio dos domicílios brasileiros atendidos por serviço de energia é extremamente baixo. Nos estados do nordeste esse valor não ultrapassa 100 kWh/mês, energia suficiente apenas para suprir uma pequena geladeira e duas lâmpadas. Observe-se que por ser um número médio, há domicílios que consomem bem abaixo deste valor. Como vivemos uma época em que são escassas as ofertas de energia, torna-se pertinente lembrar que a utilização da energia na imensa maioria dos lares brasileiros é “incompressível”, correspondendo apenas às necessidades básicas da família, sendo assim, deve-se haver uma preocupação no sentido de minimizar os focos de desperdício de energia para que o aumento da demanda venha a ser suprido satisfatoriamente e, um desses focos, invisível aos olhos dos consumidores leigos, é a questão dos níveis de tensão abordada nesse trabalho.

CAPÍTULO 3 O REFRIGERADOR ELÉTRICO

3.1 COMO O FRIO PODE PRESERVAR OS ALIMENTOS

Pode-se começar esta análise verificando o motivo porque temos um refrigerador na cozinha. A razão fundamental para sua existência é conservar o alimento frio, proporcionando que seja conservado fresco por mais tempo. Alguns determinados tipos de alimento (carne vermelha, peixes e frango por exemplo) são habitats muito convenientes para bactérias. A idéia básica por trás da refrigeração é diminuir a atividade das bactérias (que todos os alimentos contém) para que estas demorem um tempo maior para conseguirem estragá-los. Por exemplo: as bactérias estragariam o leite em duas ou três horas se ele fosse deixado à temperatura ambiente. Entretanto, através da redução de temperatura fornecida pelo refrigerador, o leite lá armazenado permanece fresco por uma semana ou até mais. A temperatura baixa no interior do refrigerador decresce muito a atividade das bactérias. Através do congelamento do leite é possível parar quase que completamente a atividade das bactérias e o leite pode ficar ali por meses a fio.

Então, a idéia básica por trás da preservação dos alimentos é:

- Retardar a atividade e os deterioramentos causados pelas bactérias;
- Eliminar completamente as bactérias;

Em alguns casos, a técnica de preservação pode também eliminar enzimas naturalmente encontradas em um alimento e que podem causar a sua destruição ou descoloração. Uma enzima é uma proteína especial que atua como um catalisador de reações químicas e, as enzimas são consideravelmente frágeis.

A refrigeração e congelamento são, nos dias de hoje, as formas mais comuns de preservação de alimentos. No caso da refrigeração, a idéia de retardar a atividade das bactérias leva a uma duração muito maior dos alimentos, que passam a demorar para estragar (talvez uma ou duas semanas ao invés de meio dia, por exemplo). No caso do congelamento, a idéia é fazer cessar completamente a atividade das bactérias, já que estando congeladas elas são completamente inativas.

A refrigeração e o congelamento são usados em quase todos os tipos de alimentos: carnes, frutas, verduras, bebidas, etc. Em geral, a refrigeração não exerce nenhum efeito sobre a textura ou gosto dos alimentos. E esse é um dos fatores responsáveis pelo sucesso do refrigerador (GONÇALVES, 1989).

CALOR

O calor é uma forma de energia. Relaciona-se ao átomo, parte menor e indivisível de um elemento. Todas as substâncias são compostas de átomos minúsculos que combinam-se para formar moléculas. Todos os átomos apresentam uma “movimentação” permanente. Quando a temperatura de uma substância aumenta, os átomos movem-se mais rapidamente, entretanto, se a temperatura cai, eles passam a movimentar-se mais lentamente. Se todo o calor de uma substância for removido (zero absoluto – 0 Kelvin), todo o movimento atômico pára (ÇENGEL & BOLES, 1998).

Se uma substância for aquecida, calor é adicionado, entretanto se ela for refrigerada, o calor é removido. A quantidade de calor em uma substância é proporcional à massa da substância multiplicada por sua temperatura. A quantidade de calor em uma substância pode afetar extremamente a natureza da mesma. Adicionar calor faz com que a maioria de substâncias expandam-se. Remover o calor causa, nas mesmas substâncias, contração.

A maioria das substâncias mudam seu estado físico com a adição ou a remoção de calor. Por exemplo, o gelo é um sólido (sob a pressão atmosférica em uma temperatura abaixo de 0°C). Adicionando calor ao gelo, ele derreterá e se transformará em água (um líquido). Uma adição maior de calor levará a água ao estado gasoso (vapor). O princípio básico de operação do ciclo de refrigeração à compressão faz uso desta metodologia. A unidade convencional para medida de calor nos EUA é o BTU (British Thermal Unit), sendo que: 1 Watt = 3,41 BTU/h. No Brasil, a unidade convencional para medida de calor é a caloria, sendo que: 1 Watt = 0,86 kcal/h (ALMEIDA, 1982).

FLUXO DE CALOR

O calor flui sempre de uma substância mais quente para uma substância mais fria. O que acontece é que os átomos com movimentos mais rápidos fornecem um pouco de sua energia para os átomos com movimentos mais lentos. Consequentemente, o átomo mais rápido retarda um pouco seus movimentos e o mais lento passa a mover-se um pouco mais rapidamente.

O calor faz com que alguns sólidos transformem-se em líquidos ou gases, ou os líquidos transformem-se gases. A refrigeração inverterá esse processo. Isto ocorre porque os átomos que constituem as moléculas das substâncias comportam-se de maneira

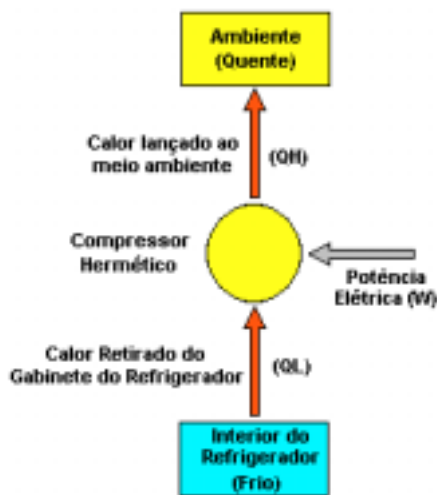
diferenciada com a variação da temperatura. Em vez de moverem-se mais rápido ou mais devagar, alguns dos átomos trocam de posição na molécula.

FRIO

O frio significa temperatura baixa ou a falta do calor. O frio é o resultado da remoção do calor. Um refrigerador elétrico produz o " frio " através da retirada do calor do interior de seu gabinete.

O refrigerador não destrói o calor mas, bombeia-o do interior do gabinete à parte externa (coloque a mão atrás de um refrigerador para confirmar como é quente). De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, o calor não pode fluir de um corpo frio para um corpo quente, mas flui sempre de uma substância em uma temperatura mais alta para uma substância em uma temperatura mais baixa.

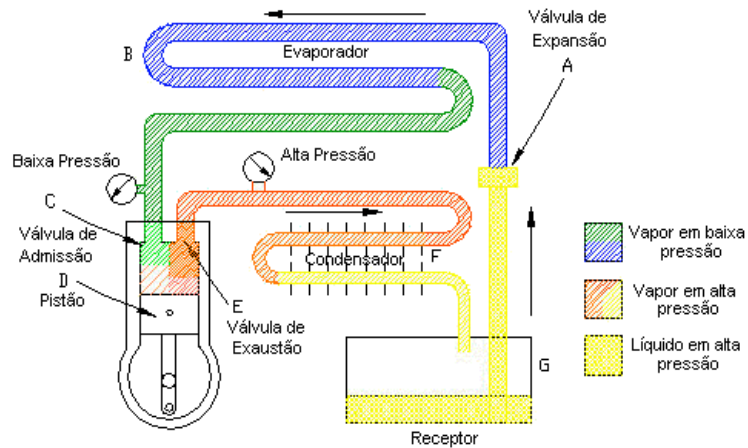
3.3 COMO FUNCIONA UM REFRIGERADOR ELÉTRICO



Fonte: ÇENGEL & BOLES, 1998

Figura 13 Funcionamento de um Refrigerador Elétrico

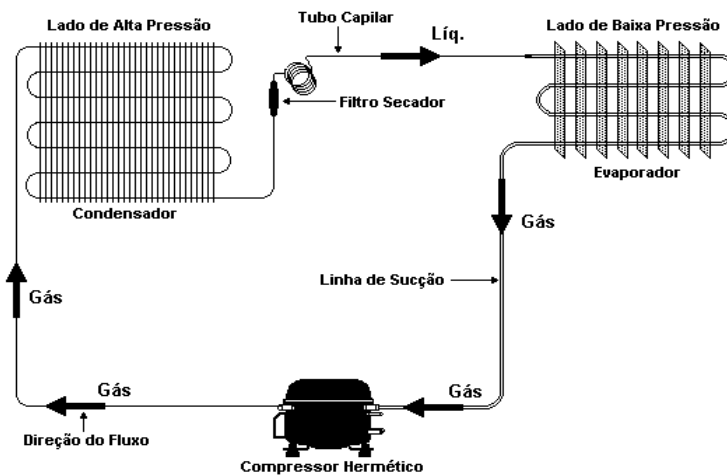
Remover o calor de dentro de um refrigerador é semelhante a remover a água de uma canoa furada, onde uma esponja pode ser usada para absorver a água. No refrigerador, o calor em vez da água é transferido de dentro para fora. No mecanismo de refrigeração, o calor é absorvido pela evaporação do líquido refrigerante no evaporador (unidade de refrigeração/congelador). Isto ocorre enquanto o refrigerante muda do estado líquido para o estado de vapor (gás). Após o refrigerante ter absorvido calor e mudado de estado (líquido para gás), ele é bombeado para a unidade de condensação (semelhante a um radiador de automóvel) na parte externa do refrigerador (DOSSAT, 1977).



Fonte: DOSSAT, 1977

Figura 14 Diagrama Ilustrativo de um Ciclo de Refrigeração

O condensador trabalha em oposição ao evaporador. No evaporador, o refrigerante líquido entra em uma extremidade e absorve o calor enquanto passa através do evaporador, chegando em forma de gás na outra extremidade. Já no condensador, o refrigerante entra no estado gasoso e durante seu percurso perde calor para o ambiente, chegando em estado líquido na extremidade final.



Fonte: Autoria própria, baseado em PORTASIO, 1982

Figura 15 Diagrama Esquemático dos Componentes de um Ciclo de Refrigeração

3.4 PRINCIPAIS COMPONENTES E FUNÇÕES DE UM REFRIGERADOR ELÉTRICO COMUM

O refrigerador elétrico é um conjunto de equipamentos que operando simultaneamente provocam o efeito da refrigeração. São eles:

O GABINETE

Os gabinetes formam e dão sustentação à estrutura do refrigerador e estão disponíveis em vários volumes. A profundidade e a largura são praticamente uniformes (exceto os refrigeradores *slims*). Entretanto, a altura variará com a capacidade (volume) do refrigerador.

A ESTRUTURA

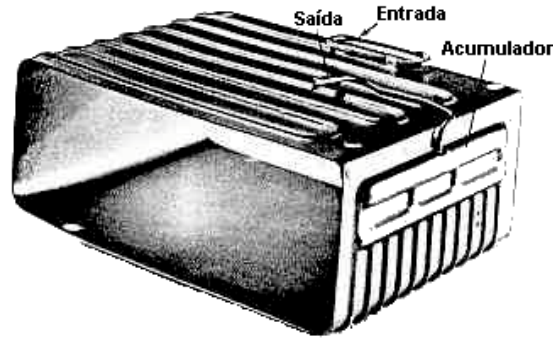
Uma estrutura típica contém ao menos dois ambientes com temperaturas distintas no interior do refrigerador, com um compartimento para alimentos congelados (congelador/freezer), um compartimento para alimentos frescos (o espaço maior do refrigerador) e, em alguns casos, um terceiro compartimento (em forma de gaveta) para acondicionamento de legumes verduras e frutas.

O LÍQUIDO REFRIGERANTE

O refrigerante é o fluido responsável pelas trocas de calor da geladeira. O refrigerante utilizado deve condensar durante a rejeição de calor (troca de calor com o ambiente externo – temperatura ambiente), e evaporar (aproximadamente a -30°C para o R-12) durante a retirada de calor (troca de calor com o ambiente interno da geladeira). Logo, o refrigerante utilizado deve apresentar como propriedade alto valor da entalpia de vaporização para que ocorra maior troca de calor nas mudanças de estado. Os tipos de refrigerantes mais usados são os compostos clorofluorados (CFC's), notadamente o R-12 em refrigeradores e o R-22 em aparelhos de ar condicionado.

O EVAPORADOR

Localiza-se no alto do “gabinete”, separando o compartimento dos alimentos congelados do compartimento dos alimentos frescos. O líquido refrigerante utilizado é o R-12. A evaporação do refrigerante no evaporador proporciona a absorção de calor requerida pelo gabinete (refrigeração). Através das correntes de convecção (o ar mais frio desce enquanto que o mais quente sobe), o calor é retirado de todos os compartimentos do refrigerador.



Fonte: PORTASIO, 1982.

Figura 16 O Evaporador

Ao entrar no evaporador a partir do controle de fluxo, o refrigerante líquido é bruscamente submetido à pressões baixas. Isto o faz vaporizar (fervor) e absorver o calor.

Os vapores movem-se para a linha de sucção. Se o refrigerante líquido não vaporizar-se completamente no evaporador, há geralmente um cilindro (acumulador) para impedir que o refrigerante líquido flua para linha de sucção. Os evaporadores são feitos em quatro estilos diferentes:

1 – Tipo concha/casca

2 – Tipo estante/prateleira;

3 – Tipo parede, usado no freezer horizontal;

4 – Tipo tubo em forma de aleta com circulação forçada. Este tipo de evaporador é mais usado em estruturas Frost-Free. Os refrigeradores Frost Free necessitam geralmente um ou mais ventiladores que circulam o ar sobre o evaporador e distribuem o ar frio por todo o gabinete.

O ACUMULADOR

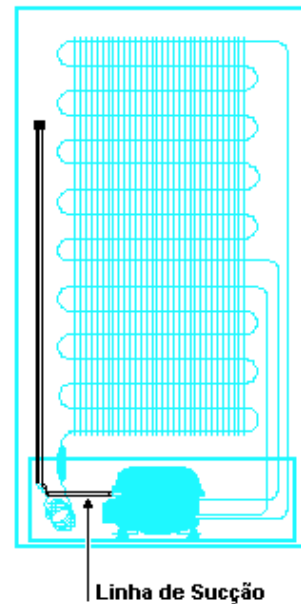
O acumulador é um dispositivo de segurança para impedir que o refrigerante líquido flua para a linha de sucção e para o compressor. Se o refrigerante líquido fluir para o compressor, pode causar-lhe danos consideráveis. Um acumulador típico, tem a entrada no alto do evaporador, assim, todo o refrigerante líquido que fluir para dentro do acumulador será evaporado. Então, somente o vapor fluirá para a linha de sucção, fornecendo também alguma refrigeração.

A LINHA DE SUCCÃO

Localiza-se atrás do gabinete do refrigerador, saindo da parte inferior do evaporador e estendendo-se até a lateral do compressor hermético, na base do gabinete.

A linha de sucção conduz o refrigerante vaporizado do evaporador ao compressor. A linha deve ser grande o bastante para carregar o refrigerante vaporizado com resistência mínima ao fluxo.

Esta linha funciona como um trocador de calor para evitar que ocorram danos ao compressor.



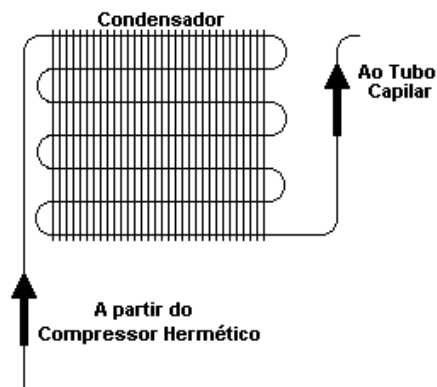
Fonte: Autoria própria, baseado em PORTASIO, 1982

Figura 17 Linha de Sucção/Condensador/Compressor Hermético

O trocador de calor tem como função resfriar o líquido saído do condensador com o vapor que se dirige para o compressor, vindo do evaporador.

É uma garantia para que o vapor entre superaquecido no compressor, além do sub-resfriamento do líquido vindo do condensador, evitando a formação de bolhas de vapor no mesmo.

O CONDENSADOR



Fonte: Autoria própria, baseado em PORTASIO, 1982

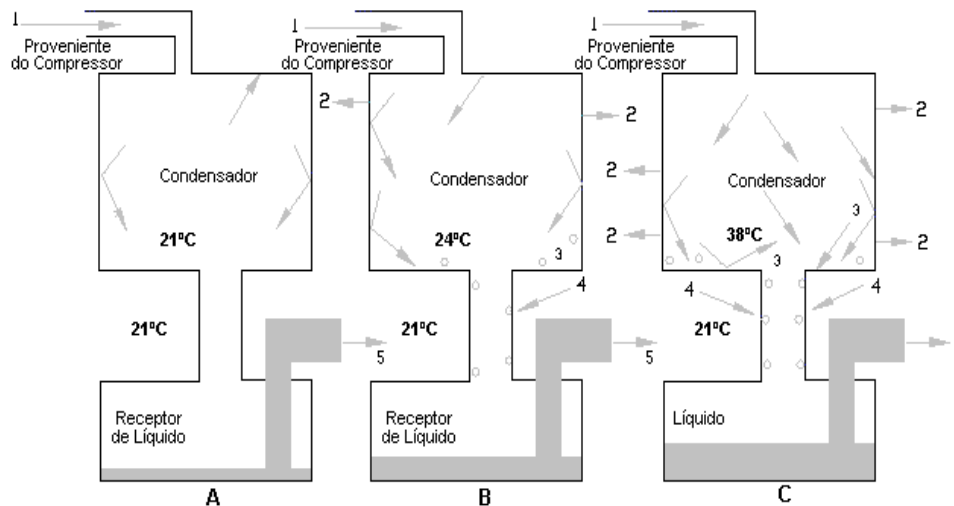
Figura 18 O Condensador

O condensador é uma espécie de tubo fino de metal (serpentina). A circulação forçada de ar é proporcionada pelo contato direto com o meio-ambiente. Funciona como um radiador de carro. O refrigerante circula por ele no intuito de trocar calor com o ambiente e resfriar-se.

Esse sistema apesar de apresentar uma baixa eficiência na troca de calor, possui um baixo custo (praticamente nulo) de manutenção e operação.

Quando o compressor parte, move as moléculas do refrigerante do lado de baixa pressão para o lado de alta pressão sem muita dificuldade.

O pistão do compressor, empurrando as moléculas de vapor do refrigerante ao lado de pressão mais elevada, bate-as mais duramente, aumentando a velocidade (temperatura crescente). Durante a compressão a pressão aumenta (devido à lei de Boyle). Ao mesmo tempo, a temperatura aumenta até que a temperatura do vapor esteja mais elevada do que a temperatura média do condensador. Um esquema das condições do refrigerante quando muda do vapor ao líquido no condensador é mostrado abaixo:



Fonte: DOSSAT, 1977

Figura 19 Mudança de estado (vapor – líquido) no condensador

Em A, observa-se que a operação do condensador está apenas começando. Em B, nota-se que a operação do condensador é suficiente apenas para condensar uma parte do refrigerante em forma de vapor. Em C, o condensador está em estado de equilíbrio (estável), o calor está sendo removido e o refrigerante vaporizado está sendo condensado na mesma taxa em que o compressor o bombeia para dentro do condensador.

A, B, C-1. O vapor entra sob pressão.

B-2. O calor está movendo-se para fora do condensador (em quantidade pequena).

B-3. O vapor está perdendo calor e condensando-se (uma quantidade pequena).

B-4. O refrigerante condensado entra no receptor de líquido (em quantidade pequena).

C-2. O calor está movendo-se para fora do condensador (em quantidade grande).

C-3. Gotas de refrigerante condensado (em quantidade grande).

C-4. O refrigerante condensado está fluindo para o receptor de líquido (em quantidade maior).

O controle de refrigerante é mostrado na figura 20.

O FILTRO SECADOR

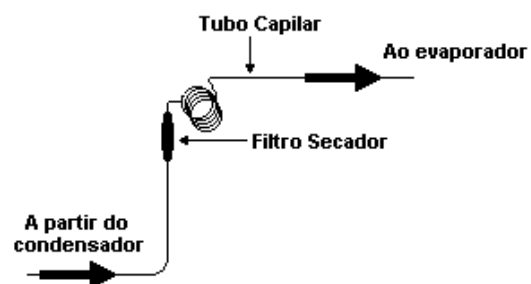
É um acessório em formato de tanque que retém a umidade (vide figura 20), a sujeira, os metais e as partículas estranhas, impedindo-as de incorporarem-se ao fluxo do refrigerante. Além disso, o elemento de secagem no filtro remove a umidade que poderia congelar-se na válvula de controle do fluxo de refrigerante. A umidade é também prejudicial quando misturada com o óleo em um sistema pois forma uma espécie de lama ácida que corrói as unidades herméticas.

O TUBO CAPILAR (VÁLVULA DE EXPANSÃO)

Após passar pelo condensador, o refrigerante é submetido a um filtro secador (remove toda a umidade ou impureza) com seção transversal maior e daí flui por um tubo capilar (diâmetro bem menor, como pode ser visto pela figura abaixo). O tubo capilar é o que se conhece como válvula de expansão, a qual tem o objetivo de fazer baixar a pressão do líquido pelo oferecimento de resistência à sua passagem. A pressão de chegada do refrigerante à válvula é em torno de 17,3 Kg/cm² e a válvula libera-o para o evaporador numa pressão de aproximadamente 1,4 Kg/cm². O refrigerante do tubo capilar é aspergido para dentro do evaporador, sob a forma de minúsculas gotas, através de um pequeno orifício. No evaporador, não mais sob pressão, o refrigerante volta ao estado gasoso, absorvendo o calor ali existente.

O tubo capilar (válvula de expansão) é cuidadosamente calibrado no comprimento e no diâmetro interno, para dosar a exata quantidade de líquido refrigerante exigido para cada unidade.

Um comprimento prévio do tubo capilar é usualmente soldado ao longo da



Fonte: Autoria própria, baseado em PORTASIO, 1982

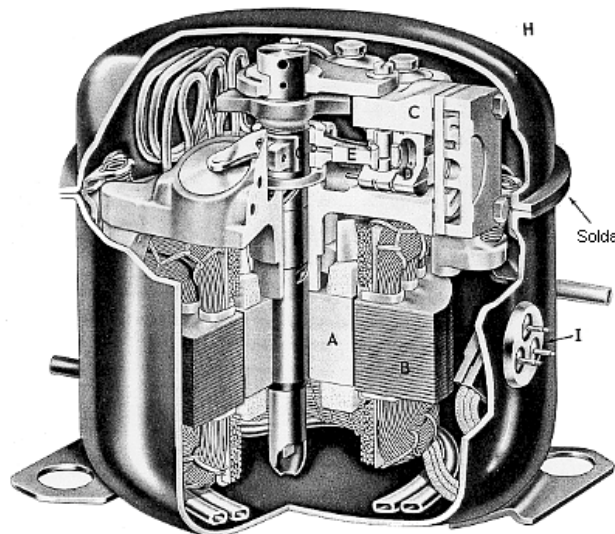
Figura 20 O Tubo Capilar

parte externa da linha de sucção, formando um trocador de calor que auxilia a esfriar o líquido refrigerante quente no tubo capilar. O tubo capilar nesse caso liga-se ao tubo de diâmetro maior do evaporador (Fig. 45).

A função secundária desta válvula é controlar a vazão do líquido refrigerante ao evaporador de modo que o gás que sai esteja ligeiramente superaquecido. Isto é necessário porque o compressor é projetado para bombear apenas gás, e não um líquido. Se o líquido entrar no compressor podem ocorrer danos ao mesmo.

O COMPRESSOR HERMÉTICO

O compressor do refrigerador é um dispositivo tocado por motor elétrico que puxa o refrigerante vaporizado do evaporador e o comprime em um volume pequeno a uma alta temperatura.



Fonte PORTASIO, 1982

Figura 21 O Compressor Hermético

Os compressores agem como bombas no ciclo de refrigeração para fornecerem a energia necessária ao transporte do refrigerante por todo o sistema. O compressor fornece também a separação entre os lados de alta e baixa pressão no ciclo.

O motor em um compressor hermético é inserido e lacrado dentro de uma abóbada ou carcaça juntamente com o compressor e conectado diretamente a esse.

O rotor desse motor é geralmente encaixado no eixo de manivela do compressor, para nele imprimir movimento. Algumas unidades herméticas são construídas com motor no alto e compressor na parte de baixo da carcaça, enquanto outras têm o motor na parte de baixo e compressor no alto (Fig. 21).

A unidade é geralmente montada sobre um sistema de amortecimento (mola por exemplo) dentro da carcaça hermética para abrandar as vibrações do compressor, evitando que sejam sentidas externamente (Fig. 39). As linhas de exaustão e de sucção

dentro da abóbada são feitas de materiais flexíveis. Uma conexão através da abóbada fornece meios para ligar as linhas do compressor ao restante do sistema. As conexões elétricas ao motor passam através da carcaça por meio de um cabo isolado. Para lubrificar o compressor, o gás que retorna na sucção é introduzido em um disco oco montado no eixo do motor do compressor. A força centrífuga joga o óleo e a porção de refrigerante líquido para a borda exterior do disco e a partir daí, fluem sobre os enrolamentos do motor. Somente o refrigerante vaporizado permanece no centro e é encaminhado ao cilindro do compressor.

3.4.1.1 Tipos de Compressores

Há quatro tipos básicos de compressores em uso:

1. Recíprocos (pistão-cilindro).
2. Giratório.
3. Tipo parafuso.
4. Centrífugo.

Será tratado nesse estudo somente do compressor recíproco, mais comum em refrigeradores domésticos.

3.4.1.2 Componentes do Compressor Hermético

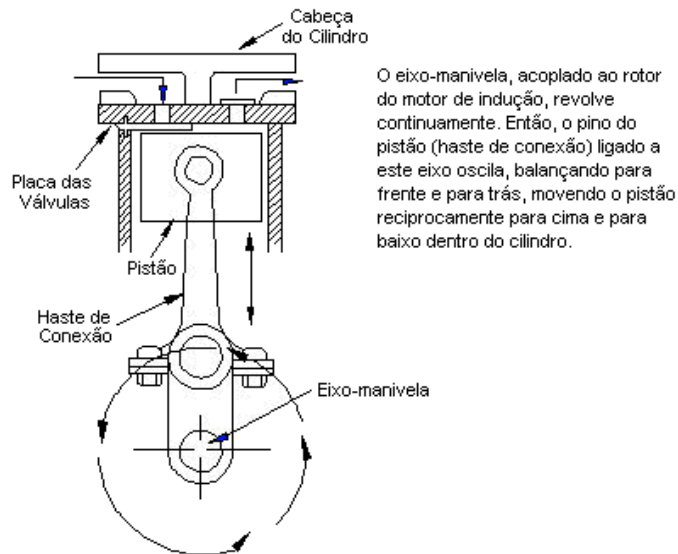
3.4.1.2.1 Pistões e Anéis

Os pistões usados em pequenos compressores herméticos de alta velocidade são de alumínio fundido. Compressores de tamanhos menores não têm anéis de pistão.

Há dois tipos de anéis de pistão. O anel ou os anéis superiores são conhecidos como anéis de compressão, enquanto que os anéis inferiores são projetados para controlar o "fluxo" de óleo após o pistão. Os anéis do pistão são geralmente moldados em ferro. Os pinos do pistão são feitos sob medida em aço-carbono de elevada dureza. São ocos para reduzir o peso.

3.4.1.2.2 Hastes de Conexão

A haste de conexão une o pistão ao eixo de manivela. As hastes de conexão para movimentação de compressores são feitas geralmente de aço forjado.



Fonte: DOSSAT, 1977

Figura 22 Eixo de Manivela, Pistão e Cilindro

3.4.1.2.3 Cabeça do Cilindro

As cabeças do cilindro de compressores herméticos são geralmente moldadas em ferro. A cabeça serve como uma placa de pressão para prender e sustentar as válvulas e seus comandos. Fornece também o caminho para as passagens do vapor para dentro e para fora do compressor.

Em alguns sistemas herméticos, a estrutura inteira do compressor fica dentro de uma carcaça (abóbada). Todo o espaço no interior da abóbada está aberto à linha de sucção. Conseqüentemente, a abóbada inteira está sob a pressão de baixa (ou baixa pressão). A cabeça do cilindro é unida geralmente ao cilindro com parafusos. A linha de sucção conecta-se à válvula de admissão na extremidade esquerda. A linha de exaustão, que vai ao condensador, é conectada à válvula de escape na extremidade direita (figura acima).

3.4.1.2.4 Válvulas e Placa das Válvulas

Um conjunto usual de válvulas compõe-se de: placa da válvula, válvula de admissão e escape e dos retentores da válvula. As placas da válvula são moldadas em ferro ou do aço fundido.

3.4.1.2.5 O Eixo Manivela

Compressores recíprocos devem usar de alguns artifícios para converter o movimento giratório do motor no movimento recíproco do compressor. A adição de uma manivela em forma de U ao eixo do rotor e sua conexão à haste do pistão é a solução mais freqüente. O eixo de manivela nesses projetos é geralmente moldado em aço forjado.

3.4.1.3 Taxa de Compressão

A taxa de compressão na refrigeração é a relação da pressão absoluta no lado de baixa com a pressão absoluta do lado de alta e com o volume total do cilindro. As relações variam até 10 a 1 para um compressor de único estágio. Se a relação for mais elevada, um compressor de dois estágios deve ser usado.

O MOTOR ELÉTRICO APLICADO À REFRIGERAÇÃO

Os sistemas de refrigeração à compressão devem ter uma fonte de potência ou de energia para tocar o compressor. O motor elétrico monofásico é o dispositivo mais popular para as unidades domésticas de tamanho pequeno e médio, pois transforma eficientemente a energia elétrica em energia mecânica. Os sistemas de refrigeração doméstica operam com motores isolados hermeticamente, construídos dentro do habitáculo (abóbada) do compressor e acoplados diretamente a este.

3.4.1.4 A Estrutura do Motor Monofásico

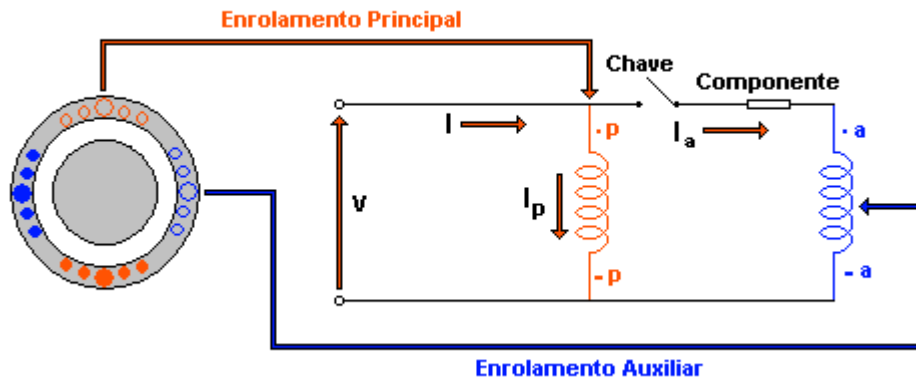
Estruturalmente, os tipos mais comuns de motores de indução monofásicos assemelham-se a motores polifásicos de gaiola. Todos os motores monofásicos possuem uma construção básica similar, que é composta por duas partes:

- 1 . O estator.
2. O rotor.

O estator pode também ser conhecido como a carcaça do motor. Esta carcaça tem geralmente uma forma cilíndrica. O rotor é montado em um eixo que tem dois rolamentos fixos, um em cada uma de suas extremidades. A carcaça do motor tem suas placas unidas a estes rolamentos, prendendo-os. Quando os rolamentos do eixo do rotor são acoplados às placas da carcaça, estas passam a suportar o peso do rotor.

Nas unidades herméticas construídas no habitáculo (abóbada) do compressor, os rolamentos do compressor podem também servir como os rolamentos do rotor. Os enrolamentos são fios de cobre isolados. Esta isolação é geralmente de poliéster. São resistentes à umidade e tem considerável resistência dielétrica e força mecânica.

No estator, existem dois enrolamentos em paralelo, ambos ligados à mesma fonte CA monofásica, para que seja produzida a rotação no motor. Um desses enrolamentos do estator, normalmente de impedância apreciável para manter baixa a corrente de funcionamento, é chamado de enrolamento principal ou de funcionamento e é distribuído nas ranhuras, uniformemente espaçado em volta do estator. O outro enrolamento, em paralelo com o enrolamento principal, é o enrolamento auxiliar ou de partida, que é também distribuído uniformemente em volta do estator, mas que começa em ranhuras defasadas de 90° elétricos do início do enrolamento principal.

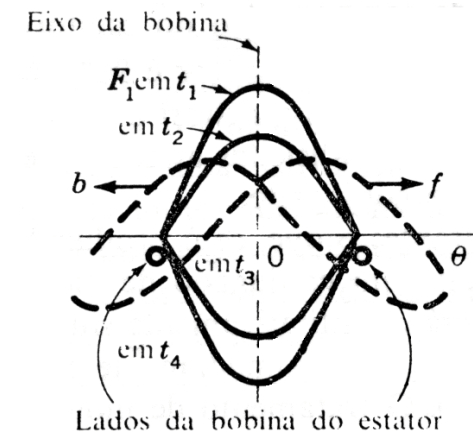


Fonte: autoria própria, baseado em FITZGERALD, 1972

Figura 23 Representação Física e Esquemática de um Motor Indução Monofásico

O enrolamento auxiliar tem normalmente sua corrente e impedância ajustadas em relação à tensão de linha, de modo que a corrente deste enrolamento seja adiantada em relação à corrente do enrolamento principal, não necessariamente de 90° , mas o suficiente para que haja um defasamento no tempo, uma vez que já há no espaço.

Com a máquina em repouso, ao aplicar-se uma corrente alternada em seu enrolamento de estator, produz-se no mesmo uma onda fmm estacionária no espaço mas pulsante em módulo, cuja intensidade alterna em polaridade e varia senoidalmente com o tempo.



Fonte: KOSOW, 1988

Figura 24 Ondas espaciais de força magneto motriz de um motor de indução monofásico

A figura anterior (Fig. 24) mostra esquematicamente os lados concentrados da bobina estatórica de um motor monofásico elementar. Na figura, F_1 é a onda espacial de fmm do estator e θ é o ângulo espacial elétrico contabilizado a partir do eixo da bobina.

Então:

$$F_1 = F_{1(\text{pico})} \cdot \cos(\theta) \quad [2]$$

Sendo $F_{1(\text{pico})}$ o valor instantâneo da onda de fmm no eixo da bobina, ele varia cossenoidalmente no tempo com a corrente de estator. Então:

$$F_{1(\text{pico})} = F_{1(\text{máx})} \cdot \cos(\omega t) \quad [3]$$

Onde $F_{1(\text{máx})}$ é o valor de pico equivalente à máxima corrente instantânea. Assim, ao substituir a Eq. 2 na Eq.3, obtém-se a onda de fmm como uma função de tempo e espaço, conforme pode ser visto abaixo:

$$F_1 = F_{1(\text{máx})} \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(\theta)$$

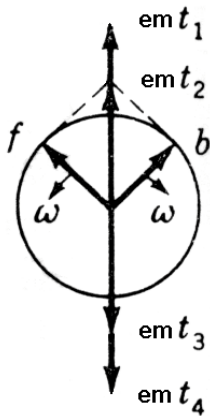
ou

$$F_1 = 0,5 \cdot F_{1(\text{máx})} \cdot \cos(\theta - \omega t) + 0,5 \cdot F_{1(\text{máx})} \cdot \cos(\theta + \omega t) \quad [4]$$

Analisando a equação 4 nota-se que cada um de seus termos descreve uma função senoidal do ângulo θ com um valor de pico equivalente à metade da amplitude máxima da onda pulsante e um ângulo de fase espacial ωt .

O ângulo ωt imprime rotação ao redor do entreferro à velocidade ω (rad.ele/seg.) para cada uma das ondas, sendo que ambas caminham em direções oposta (“ $\theta - \omega t$ ” eqüivale à direção de θ crescente, enquanto “ $\theta + \omega t$ ” eqüivale à direção de θ decrescente).

Então, fica claro a partir de agora que a distribuição espacial da fmm (F_1) pulsante do estator correspondente a diversos instantes de tempo mostrada na figura anterior (Fig. 24) pode ser decomposta em duas ondas progressivas de sentidos opostos (f e b – forward e back) e amplitudes constantes. Pode ainda ser representada por um fasor espacial de comprimento variável, apontando para cima durante metade do tempo e para baixo em outra metade, composto pela soma de dois fasores com comprimento constante igual à metade desse fasor pulsante original e girando à velocidade ω em direções opostas (“ $\theta - \omega t$ ” e “ $\theta + \omega t$ ”), conforme ilustra a figura a seguir:



Fonte: KOSOW, 1988.

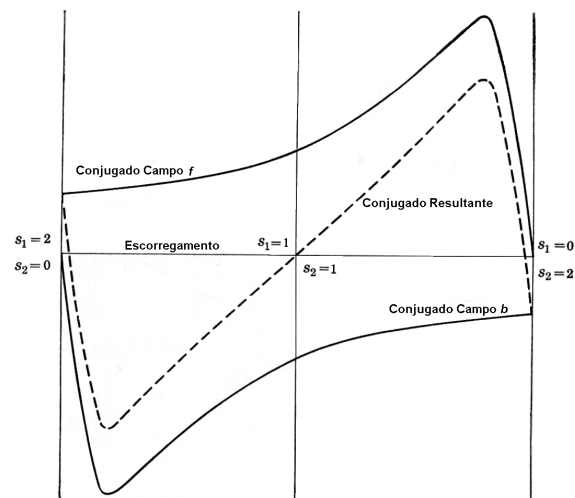
Cada uma destas ondas componentes de fmm (Fig. 25) produz ação de motor de indução, mas, seus conjugados resultantes correspondentes estão em direções opostas.

Se o rotor do motor de indução monofásico estiver em situação de repouso, as ondas de fluxo de entreferro f e b , resultantes da combinação das fmm de correntes estator e rotor, serão iguais, então, os conjugados produzidos por cada uma dessas ondas de fluxo serão também iguais em magnitude e terão sentido contrário, daí tira-se que nenhum conjugado resultante de

Figura 25 Representação das ondas de força magnetomotriz por fasores espaciais

partida é produzido. Entretanto, se o rotor do motor de indução monofásico estiver girando, cada um dos campos componentes produzirá uma característica conjugado *versus* velocidade semelhante àquela do motor de indução polifásico. Assim, as propriedades resultantes de conjugado *versus* velocidade serão dadas pela soma algébrica dessas duas curvas componentes, conforme é ilustrado pela figura a seguir.

As curvas de conjugado horário e anti-horário aparecem em linhas cheias na gama que vai desde o escorregamento nulo (velocidade síncrona) até o escorregamento 2,0, isto é, velocidade síncrona no sentido oposto. O conjugado resultante dos dois campos magnéticos girantes em oposição está representado em linha tracejada, na figura 26, indicando que, se o.



Fonte: KOSOW, 1988

Figura 26 Características de Conjugado versus Velocidade de um Motor Monofásico

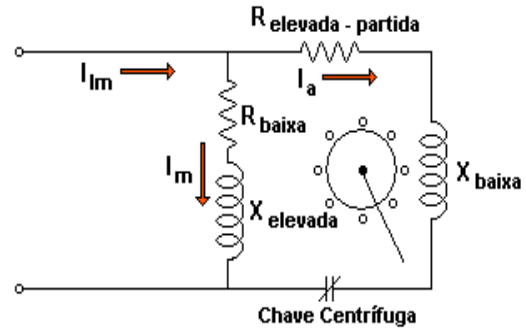
escorregamento do rotor puder ser alterado desde o valor unitário, para o rotor bloqueado, até algum outro valor, aparecerá um conjugado líquido horário ou anti-horário, conforme o sentido resultante.

Então, pode-se dizer que o conjugado resultante para um motor monofásico é nulo apenas para o escorregamento unitário, ou seja, para a velocidade síncrona em qualquer sentido. Entretanto, uma vez posto a girar num dado sentido, o motor monofásico continuará a girar neste sentido devido ao conjugado líquido resultante, produzido para esquerda ou para a direita (b ou f) do ponto de equilíbrio visto na figura 26.

Assim, para partir os motores de indução monofásicos usa-se de alguns artifícios, por isso é que eles são classificados de acordo com seus métodos de partida e são usualmente conhecidos pelos nomes descritos nesses métodos. A escolha do motor apropriado é baseada nas necessidades de conjugado de partida e de rotação nominal da carga no ciclo de serviço, e nas limitações na corrente de partida e de funcionamento da linha de alimentação do motor. O custo de motores monofásicos aumenta com a potência mecânica e com o desempenho, tal como a razão conjugado-corrente na partida; desse modo, os fabricantes de refrigeradores elétricos sempre escolhem o motor de menor potência mecânica e desempenho que satisfaça as necessidades de projeto para minimizar o custo. Isso porque no ramo de refrigeradores, mesmo pequenas diferenças de custo são importantes pois podem ou não viabilizar a montagem de uma linha de produção.

3.4.1.5 Motor de indução monofásico com partida por fase auxiliar

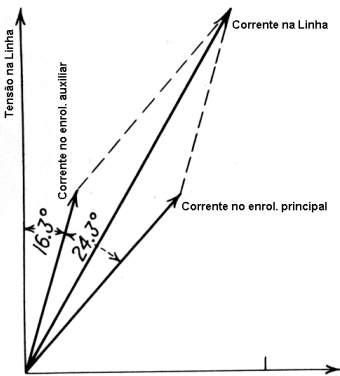
Motores de fase auxiliar possuem dois enrolamentos de estator, um enrolamento principal m e um enrolamento auxiliar a , com seus eixos deslocados de 90° elétricos no espaço, ligados conforme mostrado na figura 27.



Fonte: KOSOW, 1988

Figura 27 Motor de Fase Auxiliar – Diagrama de Ligações

O enrolamento auxiliar tem uma relação de resistência-para-reatância mais alta do que o enrolamento principal, de modo que as duas correntes estão fora de fase como indicado no diagrama fasorial da figura 28, representativo de condições de partida.



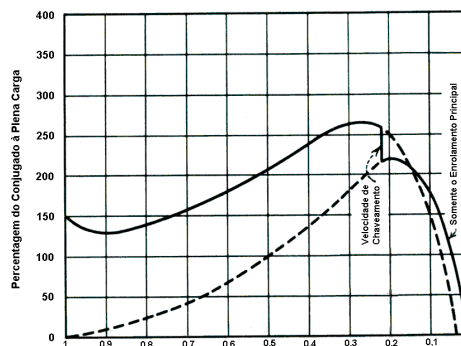
Fonte: VEINOTT, 1970

Figura 28 Motor de Fase Auxiliar – Relações de Fase

As correntes dos enrolamentos são equivalentes a correntes bifásicas não simétricas, e o motor é equivalente a um motor bifásico não simétrico.

Como a corrente do enrolamento auxiliar I_a está adiantada relativamente à corrente do enrolamento principal I_m , o campo girante do estator primeiro atinge um máximo ao longo do eixo do enrolamento auxiliar e então, mais adiante no tempo, atinge um máximo ao longo do eixo do enrolamento principal.

O resultado é um campo de estator girante, que faz o motor partir. Após a partida do motor, o enrolamento auxiliar é desligado, usualmente por meio de uma chave centrífuga que opera a cerca de 75% da velocidade síncrona.



Fonte: VEINOTT, 1970

Figura 29 Motor de Fase Auxiliar – Característica conjugado-velocidade

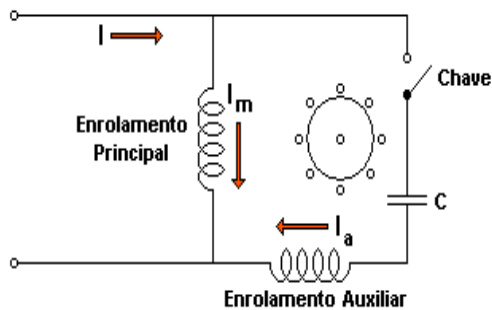
Um modo simples de obter a alta relação de resistência-para-reatância para o enrolamento auxiliar é enrolá-lo com fio mais fino do que o enrolamento principal, um procedimento permitido porque este enrolamento permanece no circuito somente durante a partida.

Sua reatância pode ser reduzida colocando-o no topo das ranhuras. Uma característica conjugado-velocidade típica é mostrada na figura 29.

Os motores de fase auxiliar têm escorregamento a plena carga em torno de 5%, enquanto sua corrente de partida com rotor bloqueado varia entre 5 e 7 vezes a corrente nominal, e o conjugado de partida entre 1,5 e 2,0 vezes o conjugado nominal. É o motor básico para pequenas unidades herméticas de compressão. É mais barato, desde que nenhum dispositivo extra seja solicitado, sendo muito aplicado em unidades herméticas pequenas - 1/10, 1/6, a 1/3 de CV já que nesta faixa, são os motores de menor custo disponíveis.

3.4.1.6 Motores de indução monofásico com capacitor

3.4.1.6.1 Motor com partida a capacitor



Fonte: KOSOW, 1988.

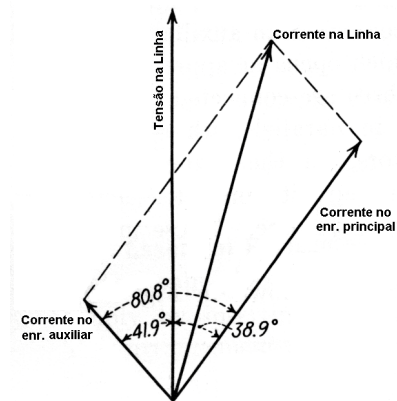
Figura 30 Motor com partida a capacitor – Diagrama de Ligações

Em um motor, para melhorar seu desempenho de partida, funcionamento normal, ou ambos, podem ser usados capacitores.

O motor com capacitor de partida é também um motor de fase auxiliar, mas o deslocamento de fase no tempo entre as duas

correntes é obtido por meio de um capacitor em série com um enrolamento auxiliar, como é mostrado na figura 30.

Novamente o enrolamento auxiliar é desligado após o motor ter partido, e conseqüentemente, o enrolamento auxiliar e o capacitor são projetados a mínimo custo para serviço intermitente. Utilizando um capacitor de partida de valor apropriado, pode-se conseguir que a corrente do enrolamento auxiliar I_a com rotor

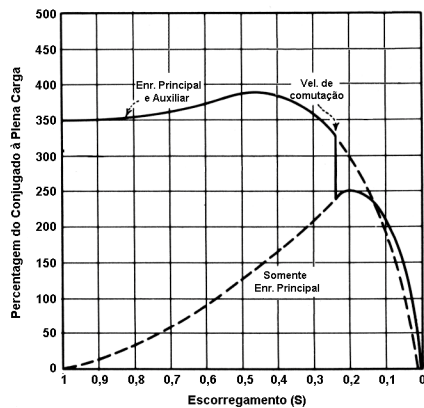


Fonte: VEINOTT, 1970.

Figura 31 Motor com partida a capacitor – Relações de Fase

parado esteja adiantada relativamente à corrente do enrolamento principal I_m de aproximadamente 90° elétricos, como aconteceria em um motor bifásico simétrico (veja a figura 31).

Na realidade, o melhor compromisso entre os diversos fatores como conjugado de partida, corrente de partida, e custo, corresponde a um ângulo de fase algo menor do que 90° .



Fonte: VEINOTT, 1970.

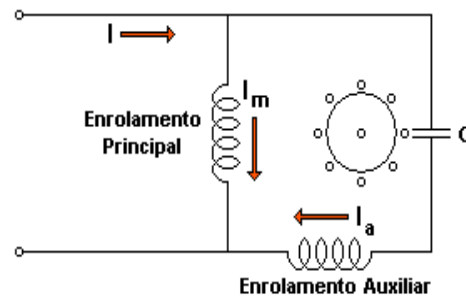
Figura 32 Motor com partida a capacitor – Característica conjugado-velocidade

com partida a capacitor é normalmente construído em tamanhos de potência inteira até 7,5cv. Esses motores são geralmente utilizados em equipamentos de refrigeração maiores e mais robustos e em situações onde o perfil de tensão da rede é ruim e torna-se necessário desenvolver um conjugado de partida mais elevado.

3.4.1.6.2 Motor com capacitor permanente

Neste tipo de motor, o capacitor e o enrolamento auxiliar não são desligados após a partida; a construção pode ser simplificada pela omissão da chave, assim, o fator de potência, rendimento, e pulsações de conjugado podem ser melhorados.

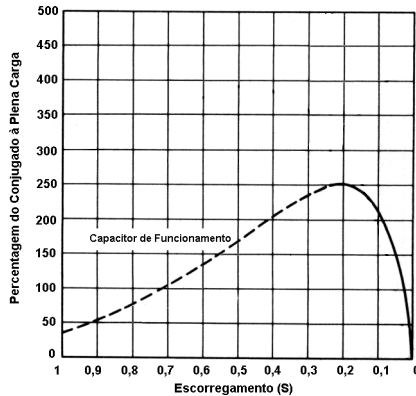
Por exemplo, o enrolamento auxiliar e o capacitor podem ser projetados para perfeita operação bifásica a qualquer carga desejada. O campo pulsante contrário seria então eliminado, com a resultante melhora em rendimento.



Fonte: KOSOW, 1988.

Figura 33 Motor com Capacitor Permanente – Diagrama de Ligações

As pulsações em conjugado na frequência dupla de estator também seriam eliminadas, pois o capacitor agiria como um reservatório de armazenamento de energia para aplainar as pulsações na potência de entrada fornecida pela linha monofásica.



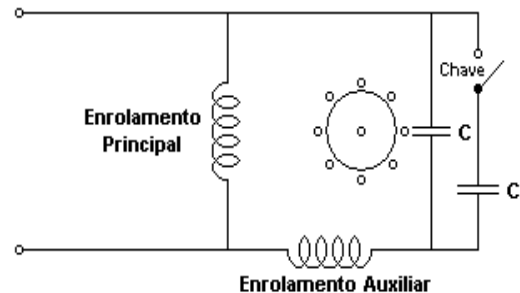
Fonte: VEINOTT, 1970.

Figura 34 Motor com Capacitor Permanente: Característica conjugado-velocidade

esse motor tem um conjugado de partida muito baixo, cerca de 50 a 100% do conjugado nominal. A característica conjugado-velocidade e um diagrama esquemático são dados nas figuras 33 e 34.

3.4.1.6.3 Motor com capacitor de partida e capacitor de funcionamento

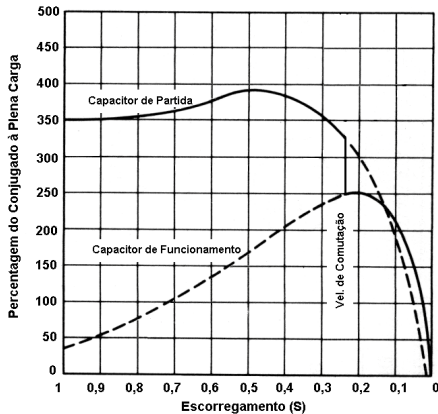
Se dois capacitores são usados, um para partida e outro para o funcionamento, pode ser obtido um desempenho teoricamente ótimo de partida e de funcionamento, já que o motor a duplo capacitor combina as vantagens da operação silenciosa, de um motor com



Fonte: KOSOW, 1988.

Figura 35 Motor com Capacitor de Partida e de Funcionamento – Diagrama de Ligações capacitor permanente, com o conjugado de partida elevado de um motor com partida a capacitor. Um modo de conseguir esse resultado é mostrado na figura 35.

O pequeno valor de capacitância necessário para satisfazer as condições ótimas de funcionamento é permanentemente ligado em série com o enrolamento auxiliar,



Fonte: VEINOTT, 1970.

Figura 36 Motor com Capacitor de Partida e de Funcionamento –Característica conjugado-velocidade

Como precisa conduzir corrente somente durante o período de partida, o capacitor é um tipo eletrolítico para CA, compacto, especial, feito para serviço de partida de motores, com uma especificação típica de $300\mu\text{F}$ para um motor de $\frac{1}{2}$ cv. Para o mesmo motor, o capacitor permanentemente ligado tem uma especificação típica de $40\mu\text{F}$; como ele opera continuamente, o capacitor é um típico CA a óleo.

3.4.1.7 Temperatura do Motor

A temperatura da peça mais quente do motor não deve ser mais de 40°C superior à temperatura do local onde o refrigerador está alocado. Isto significa uma temperatura média máxima de aproximadamente 66°C .

O MOTOR EFICIENTE

O motor de indução monofásico de fase dividida com partida resistiva possui o custo mais baixo, entretanto, é inerentemente limitado a uma faixa de eficiência 8 a 10% inferior ao motor de capacitor permanente. Nos motores de capacitor permanente e de partida e funcionamento a capacitor, o enrolamento secundário continua operando mesmo quando eles já estão rodando. O capacitor em série com este enrolamento desloca o ângulo de fase da corrente de entrada de aproximadamente 90° , então, os dois enrolamentos criam juntos um campo magnético rotativo. Os benefícios conseguidos por esses motores são a supressão das pulsações do conjugado e a melhoria das condições de utilização dos enrolamentos (principal e auxiliar) e do ferro do motor. Esses benefícios melhoram a eficiência e o fator de potência do motor, mas, elevam significativamente seu preço (PRATT & MILLER, 1997).

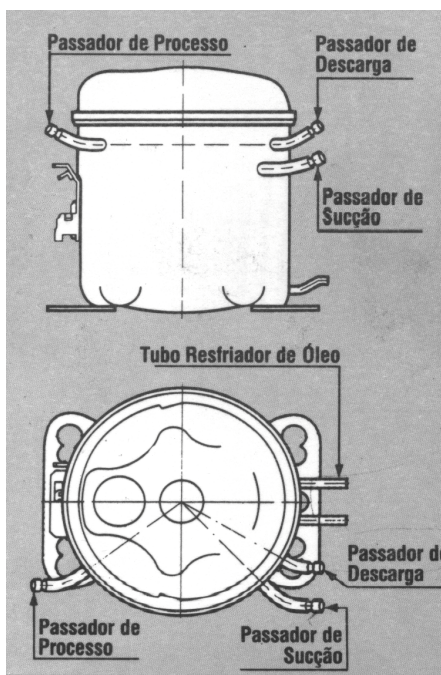
A eficiência de um motor é melhorada :

- Usando mais material (aumentando a espessura da laminação do rotor e do estator e aumentando a seção transversal dos condutores dos enrolamentos – através do uso de fios de diâmetros superiores ou do aumento do número de espiras do enrolamento);
- Usando na laminação um aço de poucas perdas;

NOTA

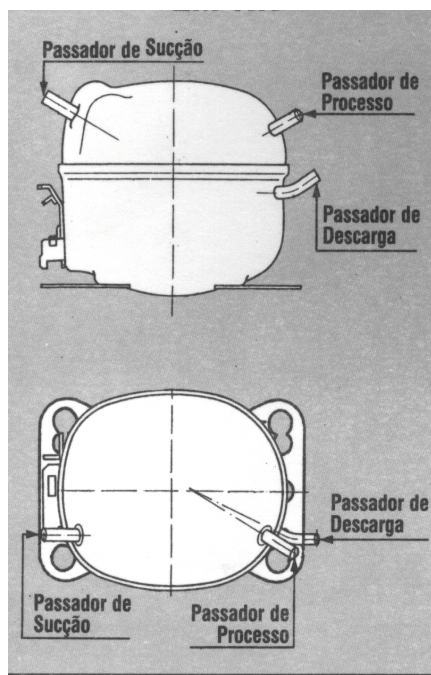
O custo dos motores está relacionado ao desempenho: o motor de fase dividida com partida resistiva, seguido do motor a capacitor permanente são os de custo mais baixo, o de capacitor de partida vem em segundo lugar, e o motor de capacitor de dois volumes é o de custo mais alto.

A empresa Multibrás, líder no mercado nacional de refrigeradores domésticos, dona das marcas Brastemp e Consul, emprega na construção da maioria dos seus refrigeradores os compressores herméticos modelos EM e PW (Figs. 37 e 38) fabricados pela Embraco (uma empresa do grupo Multibrás). Esses compressores são constituídos por motores de indução monofásicos de fase dividida, por serem mais baratos. Assim, todas as considerações desse trabalho serão feitas com base nesse tipo de motor.



Fonte: Embraco, 1996

Figura 37 Compressor Embraco PW



Fonte: Embraco, 1996

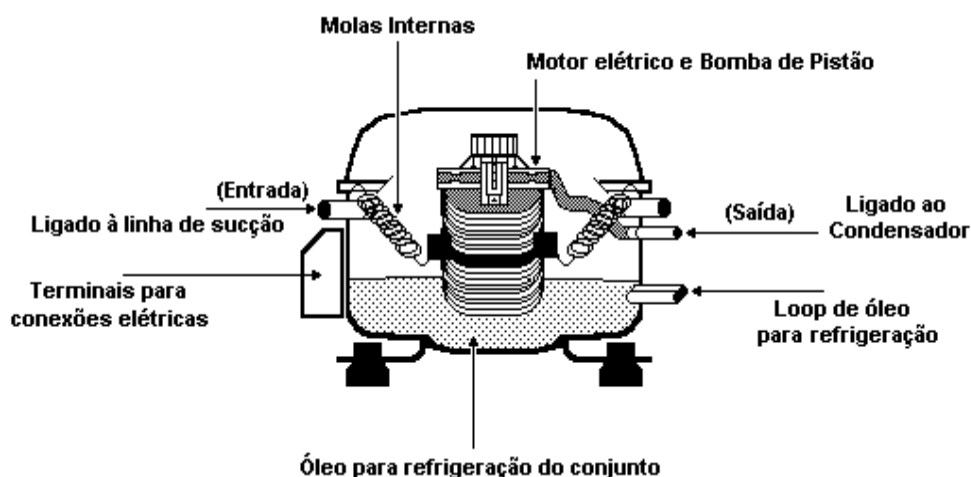
Figura 38 Compressor Embraco EM

Só por curiosidade, vale dizer que as normas norte-americanas da NAECA (National Appliance Energy Conservation Act) de 1999 determinam que a partir de 2001 todos os refrigeradores produzidos ou importados pelos Estados Unidos precisam funcionar com motores de capacitor permanente ou capacitor de partida e de funcionamento, além de serem construídos com materiais que proporcionem seu funcionamento com alta eficiência, no intuito de ser alcançado um consumo de energia que esteja entre 1,0 e 1,2 kWh por ano por litro do volume do aparelho refrigerador em questão (MEIER, 1996).

Um refrigerador de 408 litros, modelo ET4CSE*K*0*, bastante popular nos EUA, produzido pela Whirlpool, possui compressor hermético dotado de motor eficiente consumindo 394 kWh/ano, com índice de eficiência de 1,03kWh/litro/ano (AHAM, 2000). Enquanto isso, a mesma Whirlpool produz no Brasil (2001) o refrigerador Brastemp Zyrium BRG-43, tendo volume de 417 litros e compressor Embraco FFI (para R134a) rendendo na ordem de 1,80kWh/litro/ano (consumo mensal de 62,4kWh segundo o selo Procel), ou seja, para um pobre cidadão brasileiro conseguir a mesma quantidade de refrigeração que seu rico amigo norte-americano, terá que dispor no mínimo 74% a mais de energia elétrica.

LUBRIFICAÇÃO

Os compressores utilizados em refrigeração obtêm sua lubrificação a partir de uma pequena quantidade de óleo lubrificante especial colocado dentro do cárter ou do habitáculo do compressor. Este óleo envolve as várias peças do compressor. Em um sistema hermeticamente isolado, o óleo lubrifica também os rolamentos do motor.



Fonte: Autoria própria, baseado em DOSSAT, 1977.

Figura 39 Estrutura do Compressor Hermético

CONTROLE DO MOTOR

Praticamente todo o refrigerador elétrico automático é projetado com uma capacidade de refrigeração maior do que o necessário para seu tamanho. Conseqüentemente, sob o uso normal, não funcionam todo o tempo. Para que o refrigerador trabalhe na temperatura correta (ajustada pelo usuário), o motor deve ser desligado quando a temperatura baixa desejada é alcançada e ligado novamente quando o evaporador aquecer-se a uma determinada temperatura. Dois tipos principais de controles do motor são usados para ligá-lo e desligá-lo:

1. Controle do motor pela temperatura (termostático).
2. Controle do motor pela pressão (pressão no lado da baixa).

O controle pela temperatura é o mais popular, especialmente em instalações pequenas.

AQUECEDORES

Diversos dispositivos de aquecimento são usados, como secadores. Um calefator à resistência elétrica no alto do gabinete, mantém a parte externa do gabinete morna o bastante para que não haja condensação durante dias úmidos.

O ciclo de compressão é assim chamado porque é o compressor que transfere o refrigerante em estado gasoso da pressão baixa para a pressão alta. Este bombeamento causa transferência da energia calorífica do interior do refrigerador à parte externa. Já que a máquina de compressão transfere o calor de um lugar a outro, ela pode também ser chamada de bomba de calor. Um sistema de refrigeração consiste principalmente em um lado de alta pressão e em um lado de baixa pressão. Um ciclo de refrigeração (DOSSAT, 1977) segue estas etapas (ver figura 14):

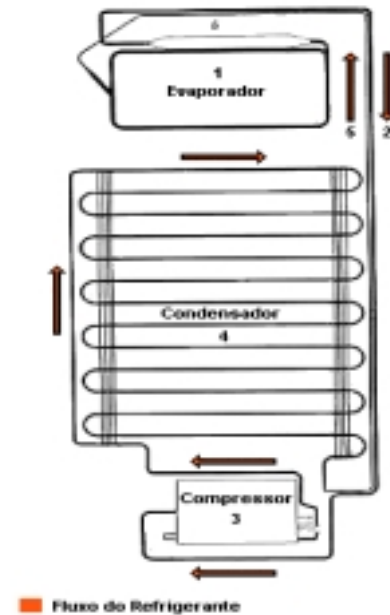
- A partir do acumulador, o líquido refrigerante, em alta pressão, flui através do controle de refrigerante, (válvula de expansão) até ser borrifado no evaporador. O evaporador está sob uma pressão baixa. Ali o líquido refrigerante vaporiza (ferve) e absorve o calor. O vapor flui então para o compressor 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 com 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 acumulador.
- A partir daí, o ciclo repete-se.

Nessa operação, o conjunto transfere o calor de um lugar para outro. Isto é, leva o calor do interior de um refrigerador ao ar do meio ambiente. Para existir transferência de calor, deve haver uma diferença da temperatura.

O OPERAÇÃO DO CICLO DE COMPRESSÃO

A próxima figura ilustra um típico ciclo de compressão, mostrando como ocorre o fluxo do líquido refrigerante em um refrigerador doméstico. Pode-se distinguir as seguintes partes:

- 1 - Evaporador
- 2 – Linha de Sucção.
- 3 - Compressor.
- 4 - Condensador.
- 5 – Tubo Capilar.
- 6 - Acumulador.

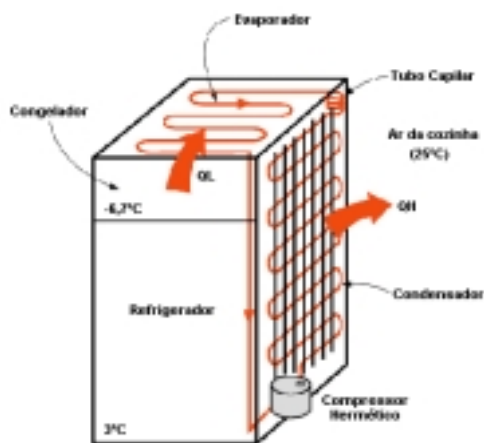


Fonte: Autoria própria, a partir de PORTASIO, 1982.

Figura 40 Fluxo do Refrigerante no Ciclo de Compressão

CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E PRESSÃO NO CICLO DE COMPRESSÃO

O calor flui naturalmente dos meios de temperatura superior para os meios de temperatura inferior. Para provocar um fluxo de calor na direção oposta do que é naturalmente convencionado, deve-se fazer uso de uma “bomba de calor”.



Fonte: Autoria própria, baseado em ÇENGEL & BOLES, 1998.

Figura 41 Fluxo de Calor no Refrigerador

Ou seja, utilizam-se do trabalho do compressor hermético para extrair o calor do compartimento interno e lançá-lo ao meio ambiente (vide equação abaixo).

$$Q_L + W = Q_H \quad [5]$$

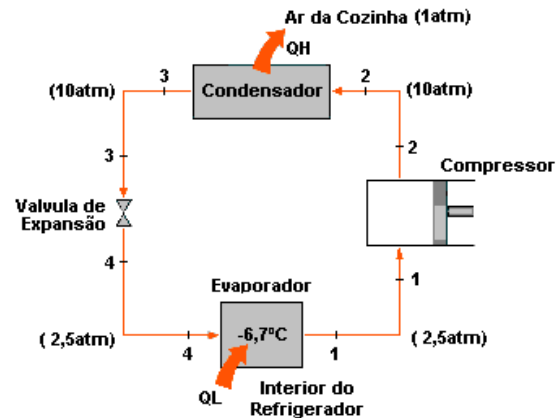
Sendo:

Q_L = Calor Retirado do Congelador

W = Energia fornecida ao Compressor

Hermético

Q_H = Calor Cedido ao Ambiente



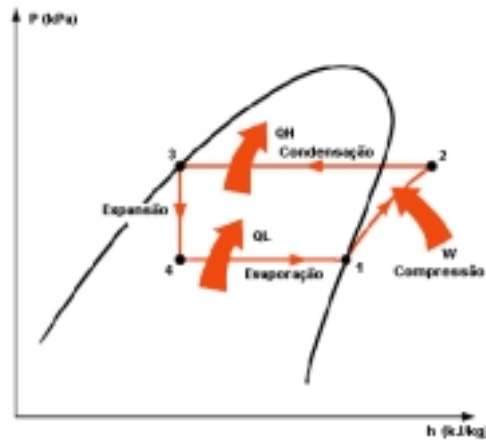
Fonte: Autoria própria, baseado em ÇENGEL & BOLES, 1998.

Figura 42 Ciclo de compressão de vapor

A eficiência de uma bomba de calor inserida no contexto de refrigeração doméstica está diretamente relacionada com os níveis de diferença de temperatura em que ela opera.

Quanto maior a diferença de temperatura entre o “lado” que a bomba absorve calor e o “lado” que ela cede o calor absorvido, maior será o consumo de energia por parte dessa bomba. Todas as bombas de calor utilizam o ciclo de compressão de vapor para levar o calor de uma localização para outra. Uma ilustração do ciclo de compressão a vapor pode ser visualizada na figura anterior (Fig. 42). Nos refrigeradores domésticos, o ciclo começa quando o líquido refrigerante passa através do evaporador e evapora na medida em que absorve o calor da fonte fria (compartimento interior do refrigerador). Então, o refrigerante, agora em estado gasoso, é guiado até o compressor onde é pressurizado, com aumento de temperatura. O refrigerante superaquecido é enviado ao condensador, onde perde calor ao meio ambiente durante a circulação. À medida em que o refrigerante perde calor, vai sendo concretizada sua mudança de fase do estado gasoso para o estado líquido. Na seqüência, o líquido refrigerante passa através da válvula de expansão e é borrifado dentro do evaporador, onde o processo inicia-se novamente.

O diagrama seguinte (ÇENGEL & BOLES, 1998), mostra as condições de temperatura e pressão durante um ciclo de compressão de vapor, proporcionando uma melhor compreensão do que ocorre dentro de um refrigerador.



Fonte: Autoria própria, baseado em ÇENGEL & BOLES, 1998.

Figura 43 Representação gráfica das características de Pressão e Entalpia para o Refrigerador

Da figura 43 extrai-se as seguintes etapas:

Etapa 1-2 – Compressor Hermético:

A passagem do fluido refrigerante pelo compressor hermético constitui um processo rápido onde não há troca de calor com o meio externo. Nesta etapa, a energia elétrica da rede é convertida em trabalho no pistão do compressor que atua comprimindo o refrigerante, provocando redução em seu volume e conseqüente elevação de pressão e temperatura. A energia fornecida pelo trabalho do compressor equívale ao aumento de energia interna do fluido refrigerante.

Etapa 2-3 – Condensador:

Nesta parte do ciclo, ocorre a diminuição da temperatura do fluido refrigerante através da troca de calor com o meio externo. O fluido refrigerante pressurizado entra no condensador à temperatura de aproximadamente 50°C e, ao escoar por suas aletas, vai perdendo parte desse calor de pressurização e mudando para a fase líquida à temperatura ambiente (em torno de 21°C).

Etapa 3-4 – Tubo Capilar (Válvula de Expansão):

Assim como na passagem do fluido refrigerante pelo compressor, este é um processo rápido onde não ocorre nenhum tipo de troca de calor. A pressão do refrigerante diminui à medida que atravessa o tubo capilar (alta resistência), então, o volume aumenta devido a diminuição da pressão e, por conseqüência, a temperatura também diminui.

Etapa 4-1 – Evaporador:

Quando sai do tubo capilar, o fluido refrigerante é diretamente aspergido no interior do evaporador, trocando calor com o interior do refrigerador e expandindo-se à medida que evapora. Nesta parte do ciclo, o refrigerante muda de estado à temperatura e pressão constantes, permanecendo nesta temperatura até ser totalmente evaporado e captado pela linha de sucção.

3.6 OS TIPOS MAIS COMUNS DE REFRIGERADORES DOMÉSTICOS

- *Refrigerador comum com descongelamento manual;*
- *Refrigerador com freezer e descongelamento manual;*
- *Refrigerador com freezer e descongelamento automático;*

Um equipamento moderno de refrigeração doméstica é constituído basicamente de três partes:

1. O gabinete;
2. O circuito de refrigeração;
3. O circuito elétrico.

O gabinete contém o evaporador e suporta a unidade de condensação; fornece também o espaço físico para o armazenamento dos alimentos ou bebidas.

No evaporador, o líquido refrigerante expande e transforma-se em vapor. Este vapor absorve o calor dos alimentos e do interior do gabinete. O condensador remove o calor absorvido no evaporador. O líquido refrigerante retorna então ao evaporador. Este é o circuito de refrigeração.

Os fabricantes projetam mecanismos para eliminar os acúmulos de gelo, para fornecer compartimentos adicionais para alimento congelado e para produzir gelo automaticamente. Neste item será descrito o circuito elétrico e o circuito mecânico de cada um dos tipos de refrigeradores mais difundidos nas cozinhas brasileiras.

REFRIGERADOR COMUM COM DESCONGELAMENTO MANUAL

O refrigerador comum consiste essencialmente em um evaporador colocado no alto ou em um dos cantos superiores do gabinete de uma porta. O evaporador colocado no alto do gabinete tem a forma de uma caixa (figura 16) e pode ser usado para armazenar alimento congelado por um período de tempo razoável (aproximadamente 6 meses – dependendo do tipo de alimento). A unidade de condensação (figura 18) está fixada na parte traseira externa do refrigerador. A gaveta para armazenamento de verduras situa-se abaixo da prateleira inferior, o acondicionador de manteiga (quando há) fica na porta, isolado termicamente do habitáculo e aquecido por uma pequena resistência que mantém a manteiga em uma temperatura ligeiramente mais alta do que os alimentos do gabinete.

Os gabinetes dos refrigeradores são feitos de aço forjado. As emendas são soldadas. A chapa exterior deve ser lisa e à prova de fuga de gases. A chapa interna fornece os suportes para montagem das prateleiras, luzes, termostatos, controles de temperatura etc.. A isolação é instalada entre a chapa externa e a interna; usa-se lã de vidro nesse isolamento. No refrigerador simples, o gabinete reserva um espaço no canto superior ou mesmo em toda área superior para o evaporador. O ar frio do evaporador flui por convecção natural através do espaço do refrigerador. Na maioria dos casos, o interruptor da lâmpada situa-se ao lado da dobradiça da porta. Assim, quando a porta abre, a luz liga e, quando fecha, desliga.

O mecanismo típico para um refrigerador simples consiste em um compressor hermético colocado na base do gabinete. O condensador está na parte traseira do gabinete, enquanto que o evaporador é colocado na parte superior interna do gabinete (Fig. 15).

A operação do ciclo é como segue:

1. O líquido refrigerante (geralmente R-12) entra no evaporador;
2. Quando o refrigerante ferve, ele absorve calor no evaporador, o vapor é conduzido através da linha de sucção, de volta ao compressor.
3. No compressor, o vapor é comprimido até atingir uma alta pressão. Sua temperatura aumenta e o vapor comprimido flui através da linha de alta pressão até o condensador. O condensador, neste caso, é um plano vertical, constituído por tubos de metal, por onde circula o vapor.

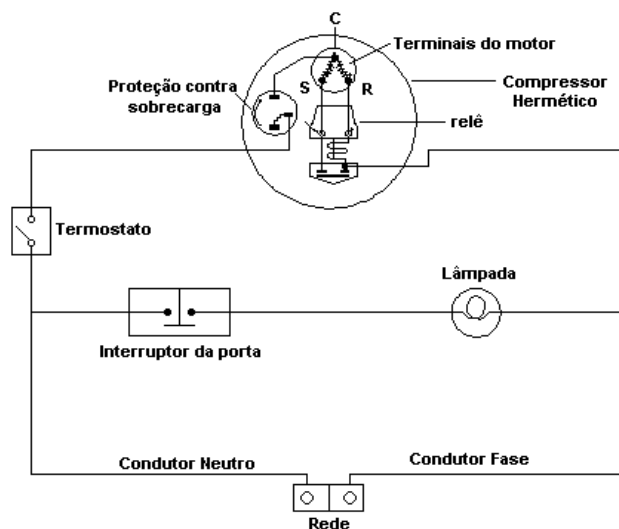
4. No condensador, o vapor em alta temperatura e alta pressão, troca (perde) calor ao ar circunvizinho e o vapor é condensado, voltando ao estado líquido. O líquido é armazenado no fundo do condensador.
5. Então, flui através do filtro-secador e entra no tubo capilar. O tubo capilar (controle de refrigerante), é unido à linha de sucção para que haja uma melhor troca de calor.
6. O refrigerante quente passando através do tubo capilar fornece um pouco de seu calor ao refrigerante vaporizado e frio que corre pela linha de sucção. Isto aumenta a capacidade de absorção de calor do líquido refrigerante além de aumentar a temperatura do refrigerante vaporizado que entra no compressor.
7. O refrigerante líquido em baixa pressão entra novamente no evaporador e o ciclo é repetido.

Este é o tipo o mais simples de refrigerador doméstico automático. Estes refrigeradores são descongelados manualmente, porque é necessário remover de vez enquanto o gelo acumulado no evaporador, já que acúmulo de gelo no evaporador reduz extremamente o efeito da refrigeração.

O circuito elétrico fornece potência à um pequeno painel central. Desse painel, partem dois circuitos distintos. Um circuito fornece corrente à lâmpada do gabinete, que é controlada pelo interruptor da porta, instalado em série com a mesma (se a porta abre, a luz acende, já, se a porta fecha, ela apaga). O segundo circuito conduz corrente ao compressor do motor. O termostato está em série com este circuito e controla o funcionamento do compressor.

Quando a temperatura no gabinete eleva-se acima de um determinado ponto, o termostato fecha o circuito, alimentando o motor. O compressor funciona e o ciclo de refrigeração entra em operação. Assim que a temperatura dentro do gabinete cair abaixo da temperatura mínima desejada, o termostato desliga (abre) e a corrente pelo motor do compressor pára.

O botão de controle de temperatura do refrigerador é unido ao controle do termostato. Ao girar-se tal botão, aumenta-se a capacidade de refrigeração e, por conseqüência, diminui-se a temperatura do gabinete, fazendo com que o compressor trabalhe por mais tempo. Ao girar-se o botão no sentido anti-horário, verifica-se o inverso.



O diagrama ilustra as conexões elétricas do termostato e do relê de controle do motor. Este relê possui proteção contra sobrecarga.

- A = Relê de Partida
- B = Alimentação
- S = Terminal do enrolamento de partida
- R = Terminal do enrolamento de funcionamento
- C = Terminal Comum

Fonte: MULTIBRÁS, 2001.

Figura 44 Circuito elétrico para um refrigerador comum com descongelamento manual

A maioria dos refrigeradores baseados em sistemas herméticos usam relê de partida, que é geralmente montado no corpo do motor do compressor. Esses relês de partida também fornecem proteção contra sobrecarga do motor. A proteção contra sobrecarga consiste de um resistor ligado em série com o enrolamento de funcionamento do motor. Caso haja uma sobrecarga, o resistor aquecerá e fará com que o contato bimetálico abra o circuito. A figura acima (Fig. 44) ilustra os circuitos elétricos para este refrigerador. O relê de partida conecta o enrolamento de partida e o enrolamento de funcionamento ao circuito de potência. Então, quando o compressor alcançar 75% de sua velocidade nominal de funcionamento, ele desconecta o enrolamento de partida do circuito de potência e conecta o enrolamento de funcionamento.

REFRIGERADOR COM FREEZER E DESCONGELAMENTO MANUAL

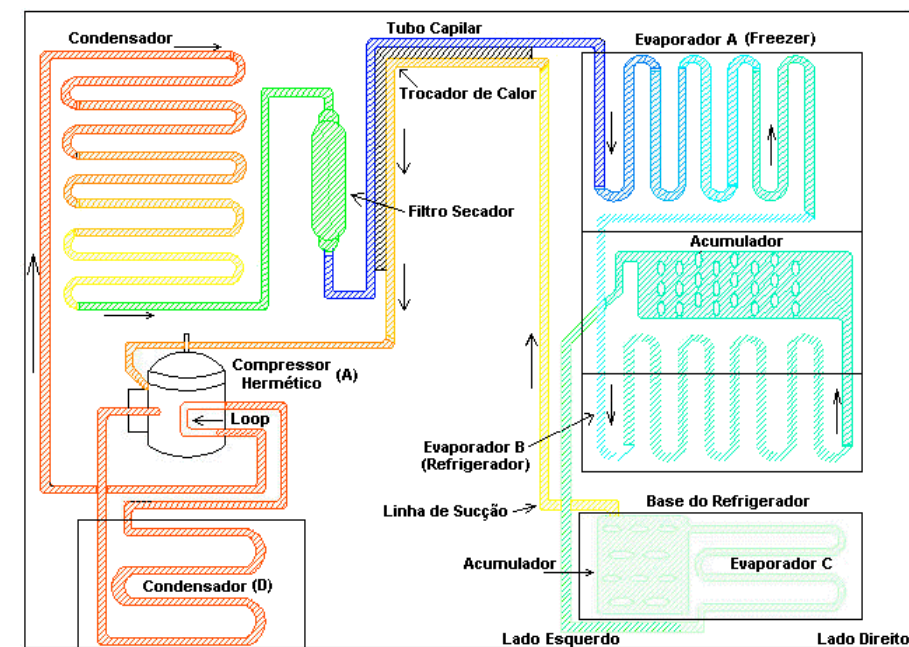
Consiste essencialmente em dois espaços de refrigeração, com portas separadas. Há um compartimento para alimentos congelados localizado no alto do gabinete, onde a temperatura é mantida em aproximadamente -18 °C (o Freezer) e, um compartimento para alimentos frescos, localizado logo abaixo, onde a temperatura mantém-se entre

aproximadamente 2° a 4°C (o refrigerador). A unidade de condensação localiza-se geralmente na parte traseira externa do gabinete.

A construção do gabinete para este refrigerador é muito semelhante àquela do refrigerador simples. Entretanto, como há um compartimento para alimentos congelados, a isolamento é geralmente mais grossa de modo que uma temperatura baixa possa ser mais facilmente mantida no compartimento para alimento congelado. O revestimento interno é geralmente em plástico, embora alguns gabinetes mais sofisticados tenham interiores com acabamento em porcelana.

O controle do motor, o controle de temperatura, o interruptor da lâmpada, e a sustentação das prateleiras são idênticos àqueles usados nos refrigeradores simples.

Os refrigeradores com freezer têm um compressor hermético na base do gabinete, o condensador localiza-se na parte traseira do gabinete e o refrigerante líquido flui do tubo capilar até o evaporador no compartimento do freezer. A figura abaixo mostra um mecanismo típico para um refrigerador com freezer.



Fonte: PORTASIO, 1982.

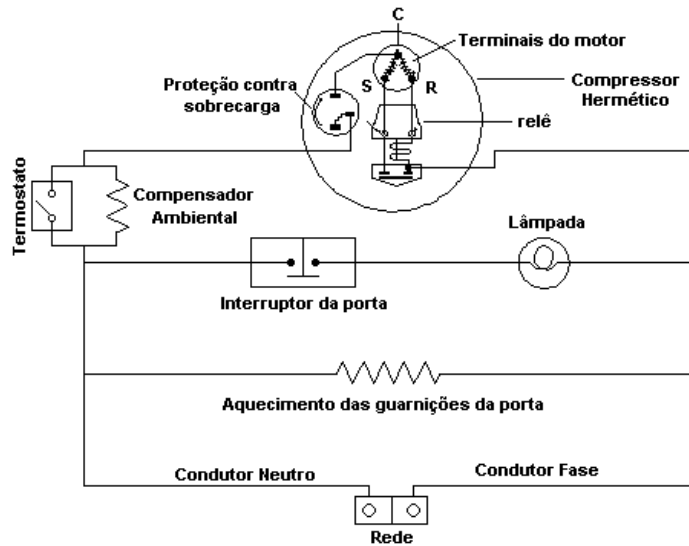
Figura 45 Ciclo de Refrigeração para refrigerador com freezer

Neste caso, a carga de fluido refrigerante é geralmente suficiente para manter o evaporador do freezer, **A**, cheio. Além disso, é também suficiente para escoar até o evaporador do compartimento de refrigeração, **B**, usualmente situado na parte traseira interna desse compartimento. Este evaporador tem um acumulador de tamanho grande e, todo o escoamento de refrigerante possível deste entra em um terceiro evaporador, **C**,

situado geralmente na parte inferior do compartimento de refrigeração. Este terceiro evaporador também contém um acumulador. Isto assegura que todo o refrigerante será evaporado antes que o vapor seja incorporado à linha de sucção.

A partir do circuito deste terceiro acumulador, o refrigerante vaporizado é puxado pela linha de sucção do compressor. Então, o vapor é comprimido e bombeado primeiramente para um circuito de condensação pequeno, **D**. A partir desse ponto, o vapor em alta pressão é bombeado através de um laço ("loop") na base do compressor que serve como um resfriador de óleo. Só após esse "loop", o vapor comprimido flui para o condensador, **E**, localizado na parte traseira do refrigerador. Lá, o calor do refrigerante vaporizado é radiado ao ar circunvizinho e assim o refrigerante é condensado. Então, o refrigerante líquido flui da base do condensador, passando pelo filtro secador até atingir o tubo capilar, que é unido à linha de sucção. O tubo do capilar controla o fluxo de refrigerante para o evaporador do freezer **A**. A partir desse ponto o ciclo é então repetido.

O circuito elétrico desse tipo de refrigerador é muito semelhante ao circuito do refrigerador comum, a única particularidade desses modelos fica por conta da existência de dois dispositivos elétricos adicionais. Um é uma resistência elétrica implementada em um fio que se aquece, também chamada de secador de perímetro, conforme é mostrado na figura abaixo (Fig. 46). Ela é colocada na guarnição da porta do freezer e trabalha em tempo integral, fornecendo um "efeito de aquecimento" suficiente para impedir a ocorrência de condensação nas paredes externas do gabinete e em torno da porta do compartimento do freezer. O segundo dispositivo elétrico é um compensador ambiental. Este é também um fio que se aquece com o calor fornecido por uma resistência elétrica. Fixado no lado da isolamento do compartimento de refrigeração, está ligado em paralelo com o termostato e é energizado somente no ciclo de "Off" (contatos do termostato abertos), fornecendo de 15 a 20Wh. A finalidade do compensador ambiental é fornecer um fluxo de calor pequeno e contínuo ao compartimento de refrigeração de modo a evitar falhas em casos onde a temperatura do ambiente em que o refrigerador está instalado seja menor do que a temperatura ajustada no termostato.



Fonte: MULTIBRÁS, 2001.

Figura 46 Circuito elétrico para um refrigerador com freezer

REFRIGERADOR COM FREEZER E DESCONGELAMENTO AUTOMÁTICO (FROST FREE)

Este equipamento apresenta as mesmas características construtivas daquele descrito no item anterior, possuindo como diferencial somente uma resistência automática (controlada por termostato) que, inserida ao longo da superfície do evaporador, aquece-o proporcionando o derretimento do gelo acumulado em sua superfície. Alguns modelos possuem ventiladores internos que auxiliam as correntes de convecção.

CAPÍTULO 4 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO E EXPERIMENTAL

4.1 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

O alvo desse trabalho é a tentativa de mensuração em termos de MWh e R\$ dos efeitos da diversidade de tensões de distribuição de energia elétrica na região metropolitana da grande São Paulo sobre os refrigeradores domésticos. Então, neste item será analisado o compressor hermético, que é um dos componentes mais importantes e o maior consumidor de energia elétrica do refrigerador; para tanto, considera-se que o rendimento de todos os outros componentes do refrigerador (condensador, evaporador, válvula de expansão, etc.) é total, ou seja, 100%.

Como já visto, o Compressor Hermético (Fig. 21) consiste de um motor de indução acoplado a um compressor (bomba de pistão), com a função de comprimir o refrigerante aquecendo-o e fazendo-o circular por todo o circuito de refrigeração (Fig. 22).

Ao examinar-se o funcionamento do motor elétrico que coloca em movimento um mecanismo de produção, é necessário, antes de qualquer coisa, revelar a correspondência existente entre as propriedades mecânicas do motor e a característica do mecanismo em questão, no caso, uma bomba de pistão. O trabalho durante os regimes transitórios (quando da partida, parada e regulação de velocidade) também depende das características de troca entre o conjugado do motor e o conjugado da carga, resistente à variações de velocidade.

A dependência entre a velocidade de rotação e o conjugado resistente do mecanismo $\omega = f(M_{res})$ denomina-se característica mecânica do mecanismo de produção. Os inúmeros mecanismos de produção possuem diversas características mecânicas. Assim, para determinar as características mecânicas de qualquer mecanismo de produção, podem ser feitas algumas deduções genéricas tendo como base a fórmula empírica seguinte (CHILIKIN, 1972):

$$M_{res} = M_0 + (M_{res-n} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x \quad [6]$$

Sendo:

M_{res} = conjugado resistente do mecanismo de produção à velocidade ω .

M_0 = conjugado resistente de atrito nas partes móveis do mecanismo.

M_{res-n} = conjugado resistente à velocidade nominal ω_n .

x = fator que caracteriza a variação do conjugado resistente em função da velocidade.

A partir da fórmula acima (Eq. 6), pode-se classificar, em primeira aproximação, o compressor hermético (bomba de pistão) como tendo característica mecânica não dependente da velocidade pois, em seu caso, $x = 0$ e o conjugado resistente M_{res} não depende da velocidade de rotação, já que as propriedades e quantidades do líquido refrigerante a ser bombeado são também constantes por ciclo. Então:

$$M_{res} = M_0 + (M_{res-n} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^0$$

$$M_{res} = M_0 + (M_{res-n} - M_0) \cdot (1)$$

$$M_{res} = M_0 + M_{res-n} - M_0$$

$$M_{res} = M_{res-n}$$

REPRESENTAÇÃO DO CIRCUITO DO MOTOR DE INDUÇÃO

Ao aplicar-se uma tensão alternada no estator da máquina de indução monofásica, é produzida uma onda de fmm estacionária, cuja amplitude varia senoidalmente com o tempo. Conforme já visto anteriormente, esta onda estacionária pulsante pode ser dividida em duas ondas girantes em direções opostas (f e b) à velocidade síncrona e com módulos iguais. Cada uma destas ondas componentes de fmm produz ação de motor de indução, mas os conjugados correspondentes estão em direções opostas.

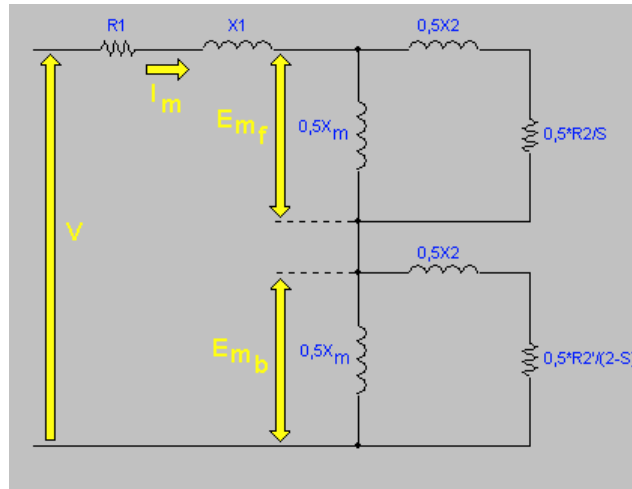
Considerando o caso em que o motor já foi acelerado por um meio auxiliar até à sua velocidade nominal de funcionamento e está girando somente com o enrolamento principal a um escorregamento S na direção do campo f , tem-se que as correntes de rotor induzidas por esse campo f são de freqüência de escorregamento Sf , onde f é a freqüência de estator.

Estas correntes de rotor produzem uma onda de fmm caminhando para frente à velocidade de escorregamento relativamente ao rotor, assim como em qualquer motor polifásico com um rotor polifásico simétrico ou gaiola. A onda resultante das ondas de fmm de estator para frente cria uma onda de fluxo de entreferro para frente, que gera uma fcm de valor Em_f no enrolamento principal do estator.

Examinando as condições do campo b , nota-se que seu escorregamento relativo à velocidade do rotor é $(2-S)$, então, esse campo induz no rotor correntes com a freqüência $(2-s)f$. Vista do estator, a onda de fmm do rotor criada pelas correntes de rotor de campo b

caminha à velocidade síncrona, mas na direção b. Então, o campo b resultante gera uma fcm no enrolamento principal do estator de valor E_{m_b} .

Os efeitos do rotor, refletidos no estator são semelhantes aos de um motor de indução polifásico e podem ser representados através do circuito equivalente da figura baixo (FITZGERALD, 1972).



Fonte: FITZGERALD, 1972

Figura 47 Circuito equivalente para um motor de indução monofásico nas condições normais de funcionamento

Da figura 47, nota-se que os fatores 0,5 são oriundos da decomposição da fmm pulsante de estator em campos f e b.

Na região de funcionamento normal, a uns poucos por cento de escorregamento, o campo f é várias vezes maior que o campo b. Neste caso, onde o objeto de estudo é um motor monofásico de partida resistiva, considera-se, a partir das referências bibliográficas, o escorregamento (S) nominal como da ordem de 0,05 (KOSOW, 1988). Assim, o valor da resistência do rotor no campo f é de $R_f = 0,5 \cdot \frac{R_2}{S} = 10 \cdot R_2$, enquanto que no campo b é de

$R_b = 0,5 \cdot \frac{R_2}{(2-S)} = 0,256 \cdot R_2$. Então, a potência em watts entregue pelo enrolamento de

estator ao campo f e b é dada respectivamente por:

$$P_{g_f} = I_m^2 \cdot R_f = 10 \cdot I_m^2 \cdot R_2 \quad [7]$$

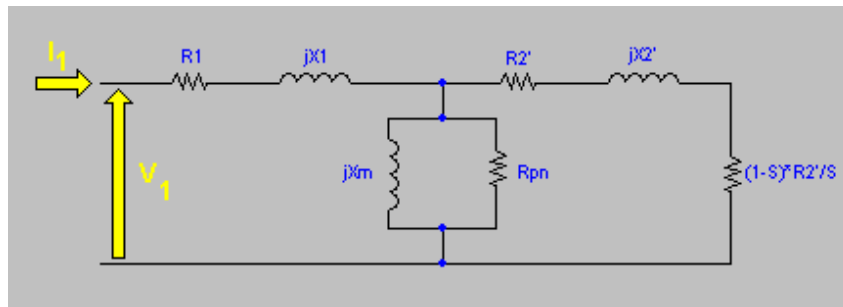
$$P_{g_b} = I_m^2 \cdot R_b = 0,256 \cdot I_m^2 \cdot R_2 \quad [8]$$

A partir das equações 7 e 8, percebe-se que a onda de fluxo de entreferro f é aproximadamente 39 vezes superior à onda b , dessa forma, pode-se admitir por aproximação que a onda de fluxo resultante não difere muito do campo girante de amplitude constante no entreferro de um motor polifásico equilibrado.

Na região de funcionamento normal, portanto, a característica de conjugado velocidade de um motor monofásico não é muito inferior àquela de um motor polifásico tendo o mesmo rotor e operando com a mesma densidade de fluxo máxima no entreferro.

Assim, para analisar o comportamento do motor de indução monofásico de uma maneira simplificada será utilizado o circuito equivalente por fase da máquina de indução polifásica contendo um circuito indicando o primário (estator) e outro indicando o secundário (rotor), ambos com suas respectivas indutâncias de magnetização, onde serão levados em conta somente os componentes f .

Uma representação eficaz para a máquina de indução monofásica em regime permanente senoidal é aquela onde refere-se todas as grandezas do secundário ao primário, conforme é ilustrado pela figura abaixo (FITZGERALD, 1972):



Fonte: FITZGERALD, 1972.

Figura 48 Circuito Elétrico Equivalente para o Motor de Indução Monofásico

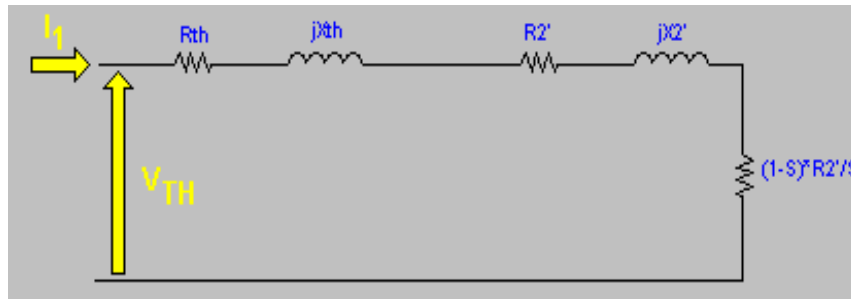
Sendo:

- ◆ R_1 → Resistência do primário do motor de indução;
- ◆ jX_1 → Indutância do primário do motor de indução;
- ◆ R_{PN} → Resistência de perdas no núcleo do motor de indução;
- ◆ jX_m → Indutância de magnetização do motor de indução;
- ◆ R_2' → Resistência do secundário do motor de indução refletida no primário;
- ◆ jX_2' → Indutância do secundário do motor de indução refletida no primário;
- ◆ $[(1-S)*R_2'] / S$ → Resistência que representa a carga mecânica acoplada ao eixo do motor.

- ◆ $S \rightarrow$ Escorregamento (diferença percentual entre a velocidade do campo do estator em relação ao campo do rotor)

Todas as características importantes de funcionamento em regime permanente, tais como: variações de corrente, velocidade e perdas em função do conjugado de carga podem ser concebidas a partir do circuito equivalente.

Para ressaltar as relações de conjugado e potência na máquina de indução, pode-se aplicar o teorema de Thevenin (substituição de uma rede de elementos por uma fonte de tensão V_{TH} em série com uma impedância Z_{TH}) ao circuito equivalente (Fig. 48). A partir dessa simplificação obtém-se:



Fonte: FITZGERALD, 1972.

Figura 49 Circuito Equivalente de Thevenin por Fase do Motor de Indução

Sendo:

- ◆ $(R_{th} + jX_{th}) = (R_{PN} + jX_n) // (R_1 + jX_1)$;
- ◆ $R_{th} \rightarrow$ Resistência equivalente do primário do motor de indução;
- ◆ $jX_{th} \rightarrow$ Indutância equivalente do primário do motor de indução;
- ◆ $R_2' \rightarrow$ Resistência do secundário do motor de indução refletida no primário;
- ◆ $jX_2' \rightarrow$ Indutância do secundário do motor de indução refletida no primário;
- ◆ $[(1-S) \cdot R_2'] / S \rightarrow$ Resistência que representa a carga mecânica acoplada ao eixo do motor.
- ◆ $S \rightarrow$ Escorregamento (diferença percentual entre a velocidade do campo do estator em relação ao campo do rotor)

Tomando o Circuito Equivalente de Thevenin, faz-se algumas considerações:

- ◆ As impedâncias $(R_{TH} + jX_{TH})$ e $(R_2' + jX_2')$ são constantes, já que referem-se às características construtivas do estator e do rotor (respectivamente) da máquina de

indução, validando esse modelamento, pois com a constância de R_2' , o conjugado máximo não será por ela influenciado;

- ◆ O escorregamento (S) é adotado como sendo da ordem de 5%, um valor típico para motores de fase dividida com partida resistiva em 127V, utilizados em refrigeradores elétricos (KOSOW, 1988);

EQUACIONAMENTO DAS PRINCIPAIS GRANDEZAS DO MOTOR DE INDUÇÃO

Do circuito equivalente de Thevenin (figura 49), tem-se:

- ◆ **Equação do conjugado Mecânico:**

$$V_{TH} = Z_1 \cdot I_1$$

e

$$I_1 = \frac{V_{TH}}{Z_1}$$

Sendo:

$$R_1 = R_{TH} + R_2' + \frac{(1-S) \cdot R_2'}{S} = R_{TH} + \frac{R_2'}{S}$$

$$X_1 = X_{TH} + X_2'$$

Assim:

$$Z_1 = \sqrt{(R_1)^2 + (X_1)^2}$$

Então:

$$I_1 = \frac{V_{TH}}{\sqrt{(R_1)^2 + (X_1)^2}}$$

Mas:

$$P_{mec_{eixo}} = R_{eixo} \cdot (I_1)^2$$

$$P = \frac{(1-S) \cdot R_2'}{S} \cdot \frac{(V_{TH})^2}{\left(\sqrt{(R_1)^2 + (X_1)^2}\right)^2} \quad [9]$$

Como o conjugado mecânico no eixo do motor é dado por:

$$C = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{\Omega_R} = \frac{P}{(1-S) \cdot \Omega_S} \quad [10]$$

Substituindo a Eq.9 na Eq.10, obtém-se:

$$C = \frac{(1-S) \cdot R_2'}{S \cdot (1-S) \cdot \Omega_S} \cdot \frac{(V_{TH})^2}{(R_1)^2 + (X_1)^2} \Rightarrow C = \frac{(V_{TH})^2}{S \cdot \Omega_S} \cdot \frac{R_2'}{\left(R_{TH} + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_{TH} + X_2')^2} \quad [11]$$

♦ **Equação do escorregamento (S) onde o Conjugado é Máximo:**

Para determinar o escorregamento (S) onde o conjugado é máximo, deve-se achar o ponto de máximo da função conjugado, então deve-se procurar o valor de (S) que se satisfaça a seguinte relação:

$$\frac{\partial C(S)}{\partial (S)} = 0$$

Nesse ponto, usa-se o artifício de multiplicar a Eq. 8 por $\left(\frac{S}{S}\right)$, obtendo:

$$C = \frac{(V_{TH})^2}{\Omega_S} \cdot \frac{S \cdot R_2'}{\left[S^2 \cdot \left(R_{TH} + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + S^2 \cdot (X_{CC})^2\right]} \quad [12]$$

Sendo:

$$X_{CC} = X_{TH} + X_2'$$

Assim, pode-se aplicar a seguinte regra para a execução do cálculo da derivada da função em relação a S:

$$\frac{\partial C(S)}{\partial (S)} = K \cdot \left[\frac{f'(S) \cdot g(S) - f(S) \cdot g'(S)}{g^2(S)} \right] = 0$$

Onde:

$$K = \frac{(V_{TH})^2}{\Omega_S}$$

$$f(S) = S \cdot R_2'$$

$$f'(S) = R_2'$$

e

$$g(S) = S^2 \cdot \left[\left(R_{TH} + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + X_{CC}^2 \right] = \left[(S \cdot R_{TH} + R_2')^2 + S^2 \cdot X_{CC}^2 \right]$$

$$g'(S) = 2 \cdot \left[S \cdot (R_{TH}^2 + X_{CC}^2) + R_{TH} \cdot R_2' \right]$$

Então:

$$f'(S) \cdot g(S) - f(S) \cdot g'(S) = -R_2' \cdot S^2 \cdot (R_{TH}^2 + X_{CC}^2) + (R_2')^3$$

e

$$g^2(S) = \text{nunca é zero pois há um termo independente} = 2(R_2')^2$$

Assim, para que $\frac{\partial C(S)}{\partial(S)} = 0$, deve-se ter a seguinte condição satisfeita:

$$-R_2' \cdot S^2 \cdot (R_{TH}^2 + X_{CC}^2) + (R_2')^3 = 0$$

Então o escorregamento onde o conjugado é máximo ocorre quando:

$$S_{c_{\text{máx}}} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_{TH}^2 + X_{CC}^2}} \quad [13]$$

◆ **Equação do conjugado Máximo:**

Para determinar a expressão do conjugado máximo, basta substituir a Eq.13 na Eq.11, daí, obtém-se:

$$C_{\text{máx}} = \frac{(V_{TH})^2}{\Omega_S} \cdot \frac{1}{2 \cdot \left[\sqrt{R_{TH}^2 + X_{CC}^2} + R_{TH} \right]} \quad [14]$$

ANÁLISE PARA CASO DE MÁXIMO CONJUGADO

Valendo-se da Eq. 14, e partindo do princípio que o refrigerador elétrico poderá operar em sistemas elétricos com três níveis de tensões (V_{TH}) distintos (115V, 120V e 127V), tem-se:

$$C_{\text{máx127V}} = \frac{(127)^2}{\Omega_S} \cdot K$$

e

$$C_{\text{máxV}} = \frac{(V)^2}{\Omega_S} \cdot K$$

Sendo:

$$K = \frac{1}{2 \cdot \left[\left(R_{\text{TH}}^2 + X_{\text{CC}}^2 \right)^{1/2} + R_{\text{TH}} \right]}$$

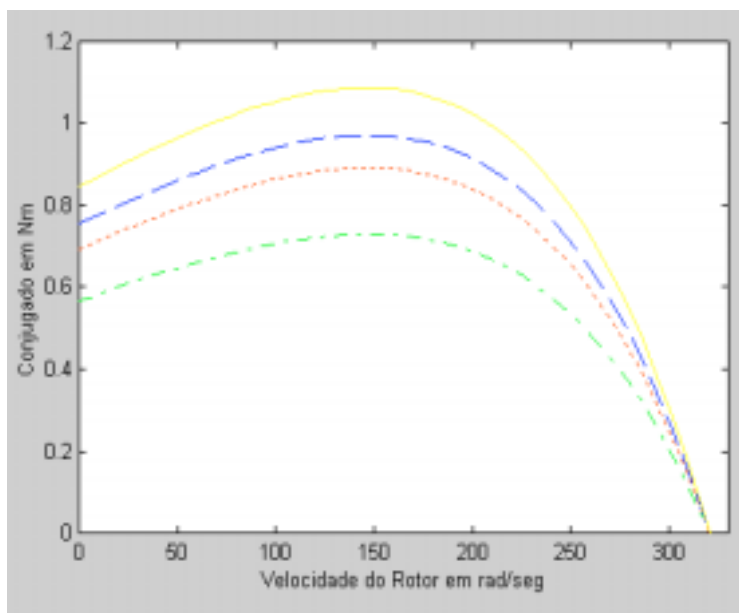
Sabe-se que Ω_S depende da frequência da rede que, no caso da região metropolitana da grande São Paulo, sempre é de 60Hz, por isso, para qualquer nível de tensão, Ω_S será sempre constante. Assim:

$$\frac{(V)^2}{C_{\text{máxV}}} = \frac{(127)^2}{C_{\text{máx127V}}}$$

Donde tira-se que:

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

Já a partir destas relações pode-se notar a queda no valor do conjugado do motor de indução quando este é alimentado por uma tensão menor que a nominal. A visualização desse efeito é melhor ilustrada através da simulação do motor (KRAUSE, 1965) com o auxílio de um software (ver apêndice) desenvolvido em Matlab-Simulink (ONG, 1998).



Fonte: Simulação. ONG, 1998.

Figura 50 Curvas de conjugado-velocidade típicas para motores de indução monofásicos de fase dividida com partida resistiva

Além das tensões encontradas na rede da região metropolitana da grande São Paulo (115V, 120V e 127V), este software projetou também o comportamento do motor no nível de tensão de 104V, que é o limite crítico de partida de um compressor hermético com motor de indução monofásico de fase dividida com partida resistiva (EMBRACO, 1996). Ou seja, este é o valor aproximado do conjugado resistente oferecido ao rotor do motor de indução pelo eixo do compressor hermético. Sendo assim, valores de tensão inferiores a 104V não produzirão um conjugado suficiente para tocar o compressor, e estando o rotor bloqueado a corrente que circula pelo estator será de 5 a 7 vezes a corrente nominal, podendo até queimá-lo dependendo da duração.

A partir daqui, já pode-se intuitivamente ter uma noção dos prejuízos causados pelos níveis inadequados de tensão de distribuição, pois com a diminuição da tensão cai o conjugado da máquina e conseqüentemente seu rendimento. É certo que esse prejuízo não é tão vultoso se olhado individualmente, mas, ao cercar-se uma área gigantesca como a grande São Paulo, o efeito global torna-se nocivo à sociedade consumidora de energia elétrica.

ANÁLISE PARA O ESCORREGAMENTO

Como no compressor hermético o motor de indução monofásico toca o compressor (uma bomba de pistão), tem-se que o conjugado resistente oferecido por esta carga é constante (conforme descrito no início deste capítulo), então, para qualquer nível de tensão de operação, o conjugado resistente oferecido pela carga será sempre o mesmo, assim:

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

Então, a partir da Eq. 12, tem-se:

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

Desse modo, como as características construtivas do motor de indução permanecem inalteradas, independentemente da rede de alimentação em que o refrigerador é ligado (115V, 120V ou 127V), tem-se que:

$$\frac{R_2'}{\left[\left(R_{th} + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + (X_{th} + X_2')^2 \right]} = \text{constante} = k$$

Assim:

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

[17]

$$\frac{(127)^2}{S_{127V} \cdot \Omega_S} \cdot k = \frac{(120)^2}{S_{120V} \cdot \Omega_S} \cdot k = \frac{(115)^2}{S_{115V} \cdot \Omega_S} \cdot k$$

Daí, tira-se os valores dos Escorregamentos (S) para cada tensão de operação do refrigerador:

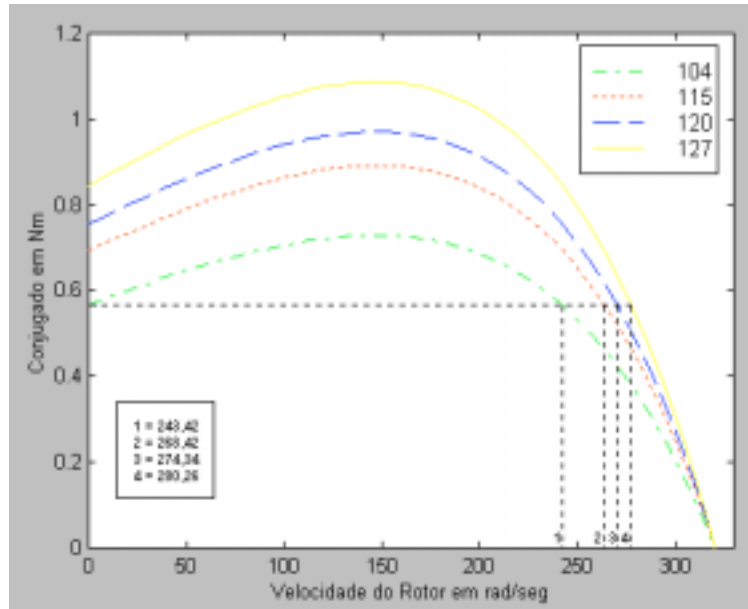
$$\blacklozenge S_{115V} = 1,22 \cdot S_{127V}$$

$$\blacklozenge S_{120V} = 1,12 \cdot S_{127V}$$

Das relações anteriores nota-se que se o motor que toca uma carga de conjugado constante for submetido à uma tensão de nível inferior, seu conjugado ficará comprometido e seu regime de funcionamento será mais lento, passando a produzir um campo magnético resultante no formato elíptico e pulsante, o que faz com que esse motor torne-se ruidoso.

O gráfico a seguir ilustra o cálculo desenvolvido acima, mostrando o comportamento do escorregamento do motor (velocidade do rotor) em função do

conjugado de carga e do nível de tensão aplicado em seus terminais. A simulação foi feita a partir de características genéricas de motores de indução monofásicos (KRAUSE, 1965), portanto, o valor simulado de conjugado não necessariamente corresponde à realidade dos compressores herméticos comerciais. O mérito aqui fica por conta do proporcionamento de uma visão prática do problema da diminuição da velocidade de operação do motor resultante de sua operação em tensões inferiores à 127V (ONG, 1998).



Fonte: Simulação. ONG, 1998.

Figura 51 Curvas ilustrativas de conjugado do motor e conjugado da carga em função da velocidade do rotor

ANÁLISE PARA A POTÊNCIA MECÂNICA

Ainda de acordo com o circuito equivalente aproximado do motor de indução (Fig. 49), tem-se que a potência mecânica é dada por:

$$P_{mec} = C \cdot \Omega_R$$

e,

$$\Omega_R = (1 - S) \cdot \Omega_S$$

Sendo:

Ω_R = velocidade angular do rotor (rad/Seg).

C = conjugado eletromecânico no eixo

Assim:

$$P_{mec127V} = C_{127V} \cdot (1 - S_{127V}) \cdot \Omega_S$$

$$P_{mec120V} = C_{120V} \cdot (1 - S_{120V}) \cdot \Omega_S$$

$$P_{mec115V} = C_{115V} \cdot (1 - S_{115V}) \cdot \Omega_S$$

Então, substituindo os parâmetros calculados anteriormente nas equações acima, obtém-se:

- ◆ $P_{mec127V}=1,012* P_{mec 115V}$
- ◆ $P_{mec127V}=1,006* P_{mec 120V}$

Dessa forma, nota-se a partir desses resultados que da potência total entregue pelo estator ao rotor do motor de indução monofásico, somente a fração (1-S) é convertida em potência mecânica. Então pode-se dizer que o escorregamento (S) é a fração de potência dissipada no cobre do enrolamento do circuito do rotor. Daí torna-se evidente que com o aumento do escorregamento, o motor começa a perder rendimento.

ANÁLISE PARA A CORRENTE DE ENTRADA

Seguindo ainda o circuito equivalente (Fig. 49), a potência mecânica no eixo rotor pode ser expressada como:

$$P_{mec} = \left[\left(\frac{1-S}{S} \right) \cdot R_2 \right] \cdot I^2 \quad [19]$$

Sendo:

I = corrente fluindo pelo circuito da máquina (A).

Então, para os níveis de tensão de 127V, 120V e 115V existem as seguintes situações:

$$P_{mec127V} = \left[\left(\frac{1-S_{127V}}{S_{127V}} \right) \cdot R_2 \right] \cdot I_{127V}^2$$

$$P_{mec120V} = \left[\left(\frac{1-S_{120V}}{S_{120V}} \right) \cdot R_2 \right] \cdot I_{120V}^2$$

$$P_{mec115V} = \left[\left(\frac{1-S_{115V}}{S_{115V}} \right) \cdot R_2 \right] \cdot I_{115V}^2$$

Aplicando os resultados obtidos anteriormente, tem-se:

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

Conforme pode-se observar, como consequência da redução do nível de tensão efetivamente disponível no ponto de consumo, além de ficar mais lento, o motor do refrigerador elétrico perde rendimento e necessita de uma corrente maior em sua operação, visto que o aumento do valor do escorregamento produz um aumento da corrente do rotor para contrabalançar o conjugado aplicado.

Esse aumento de corrente induzida no rotor reflete-se num aumento da corrente primária do estator, fazendo com que a máquina tenha tendência em solicitar mais potência da linha para cobrir as perdas por efeito Joule.

ANÁLISE PARA AS PERDAS NO INTERIOR DO MOTOR

As perdas no cobre dos enrolamentos do motor são, em Watts, de acordo com as análises desenvolvidas (KOSOW, 1988), dadas por:

$$P_{\text{cobre}} = R_2 \cdot I^2 \quad [20]$$

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

$$P_{\text{cobre}127\text{V}} = R_2 \cdot I_{127\text{V}}^2$$

$$P_{\text{cobre}120\text{V}} = R_2 \cdot I_{120\text{V}}^2$$

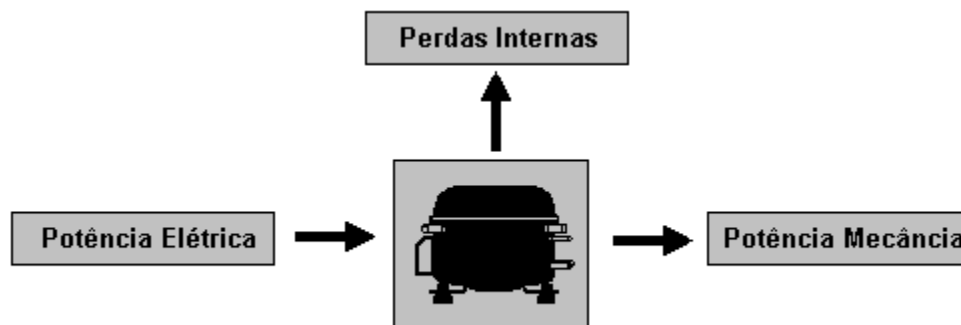
$$P_{\text{cobre}115\text{V}} = R_2 \cdot I_{115\text{V}}^2$$

A partir das correntes calculadas no item 4.1.6., obtém-se:

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

ANÁLISE DAS PERDAS EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA ELÉTRICA TOTAL DE ENTRADA

O diagrama abaixo ajudará a compreender melhor o que ocorre com a energia elétrica quando esta adentra o compressor hermético:



Fonte: KOSOW, 1988.

Figura 52 Conversão de Energia em um Motor Elétrico

Matematicamente, tem-se:

$$P_{\text{entrada}} = P_{\text{mec}} + P_{\text{cobre}} \quad [21]$$

Assim, para os diversos níveis de tensão de operação:

$$P_{\text{entrada}127\text{V}} = P_{\text{mec}127\text{V}} + P_{\text{cobre}127\text{V}}$$

$$P_{\text{entrada}120\text{V}} = P_{\text{mec}120\text{V}} + P_{\text{cobre}120\text{V}}$$

$$P_{\text{entrada}115\text{V}} = P_{\text{mec}115\text{V}} + P_{\text{cobre}115\text{V}}$$

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

$$\text{Perdas}_{127\text{V}} (\%) = \frac{P_{\text{cobre}127\text{V}}}{P_{\text{entrada}127\text{V}}}$$

$$\text{Perdas}_{120\text{V}} (\%) = \frac{P_{\text{cobre}120\text{V}}}{P_{\text{entrada}120\text{V}}}$$

$$\text{Perdas}_{115\text{V}} (\%) = \frac{P_{\text{cobre}115\text{V}}}{P_{\text{entrada}115\text{V}}}$$

Portanto, a partir do desenvolvimento anterior:

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

ANÁLISE PARA QUANTIDADE DE CICLOS DE REFRIGERAÇÃO

Por ciclo de refrigeração pode-se considerar 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 130kcal/h à 165kcal/h para refrigeradores domésticos com capacidades entre 280 até 400 litros (média brasileira), respectivamente, sempre operados na tensão 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.

Tomar-se-á 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 130kcal (refrigerador com capacidade de 250 litros).

Para tanto, deve-se conhecer a velocidade do rotor do motor de indução ligado ao compressor hermético, pois é esse rotor o responsável pela circulação do líquido refrigerante, já que é ele quem toca o compressor.

Então, essa velocidade pode ser expressada como:

$$\Omega_R = (1 - S) \cdot \Omega_S$$

Sendo:

Ω_R = velocidade do rotor em rpm;

Ω_S = velocidade do campo do estator;

S = escorregamento.

Para os diversos níveis de tensão, tem-se:

$$\Omega_{R127V} = (1 - S_{127V}) \cdot \Omega_S = 0,950 \cdot \Omega_S$$

$$\Omega_{R120V} = (1 - S_{120V}) \cdot \Omega_S = 0,944 \cdot \Omega_S$$

$$\Omega_{R115V} = (1 - S_{115V}) \cdot \Omega_S = 0,939 \cdot \Omega_S$$

Em função da velocidade padrão em 127V, tem-se:

$$\Omega_{R120V} = 0,994 \cdot \Omega_{R127V}$$

$$\Omega_{R115V} = 0,988 \cdot \Omega_{R127V}$$

Conforme pode ser visto, a velocidade com que o pistão do compressor hermético comprime o líquido refrigerante diminui com a diminuição da tensão (olhar simulação da figura 51), 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 de acordo com o nível de tensão aplicado ao equipamento, ou seja:

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

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

Levando-se em consideração o acréscimo nas perdas Joule, devido ao aumento na corrente de funcionamento, e o acréscimo no tempo de operação, resultante da queda de velocidade do rotor que imprime movimento ao compressor hermético do refrigerador, pode-se calcular o incremento percentual no consumo de energia desse equipamento para cada nível inadequado de tensão de operação através da seguinte relação:

$$\text{Cons}_{(V)} = \left\{ \left[\left(\frac{1 + P_{\text{Joule}(V)} (\% P_{\text{entrada}})}{\text{Cap.Frigor}_{(V)} (\% \text{Cap.}_{(127)})} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 + P_{\text{Joule}(127)} (\% P_{\text{entrada}})} \right) \right] - 1 \right\} \cdot 100 \quad [22]$$

Portanto, a partir das análises teóricas implementadas nesse item do trabalho, cria-se uma tabela de desempenho do refrigerador elétrico em função de seu nível de tensão de operação:

Tabela - 6 Desempenho do refrigerador elétrico em vários níveis de tensão de operação

Tensão (V)	Corrente (A)	Capacidade Frigorífica (kcal/h)	Perdas (W)	Consumo (kWh)
127*	I _{nominal} (projeto)	entre 130 e 165kcal/h para refrigeradores de 250 até 420 litros	5% da potência de entrada	Determinado pelo fabricante
120	6% superior	0,6% inferior	5,58% da potência de entrada	1,16% superior
115	10% superior	1,2% inferior	6,10% da potência de entrada	2,27% superior

Fonte: Autoria própria.

Esta tabela é de grande utilidade para mensurar-se os impactos energéticos e econômicos da utilização de refrigeradores elétricos em níveis inadequados de tensão. Mostrar-se -á mais adiante quem ganha e quem realmente perde com essa situação.

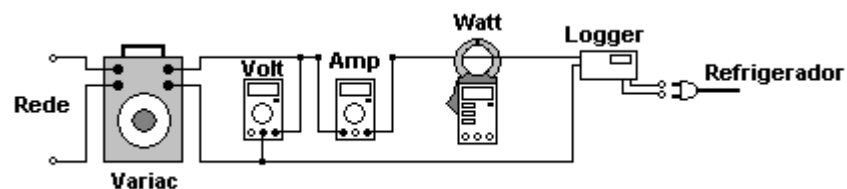
Tendo em mãos os resultados do desenvolvimento teórico, faz-se necessário confrontá-los, buscando a veracidade dos cálculos. Este item do trabalho busca avaliar, através de medidas realizadas em campo, os reais efeitos no consumo de energia elétrica causados pela operação de refrigeradores elétricos em níveis inadequados de tensão de distribuição.

Aqui, a idéia é simular a operação diária de um refrigerador elétrico em nível de tensão padrão de 127V e em níveis de tensão inferiores, como os existentes na grande São Paulo (120V e 115V). Isto é feito com o auxílio de um transformador variador de tensão (Variac) ligado na rede elétrica em paralelo com um logger (ver apêndice) e com o refrigerador analisado.

Assim, para a execução do experimento, fez-se uso dos seguintes equipamentos:

- Amperímetro (Multímetro Minipa modelo ET 2040);
- Logger Tou;
- Transformador Variac monofásico (STP – modelo 127/220V – 1,5kVA);
- Voltímetro (Multímetro Minipa modelo ET 1001);
- Wattímetro (Alicate Wattímetro Minipa modelo ET 4000);

A estrutura experimental consiste da ligação do Variac na rede de distribuição e, paralelo a este coloca-se o logger e o refrigerador a ser monitorado. Ainda em paralelo com a saída do Variac liga-se o multímetro ET 1001 (voltímetro). O multímetro ET 2040 é ligado em série com essa mesma saída (amperímetro) enquanto o alicate wattímetro abraça uma fase do sistema. Esse sistema é melhor representado na figura abaixo:



Fonte: Autoria própria

Figura 53 Diagrama esquemático da montagem experimental

Com essa configuração consegue-se estabelecer manualmente (ajustando o Variac) o nível de tensão desejado (115, 120 ou 127V) e a partir daí já pode-se ligar o refrigerador.

Os testes são feitos inicialmente na tensão de 127V, depois 120V e, por último em 115V. O refrigerador permanece ligado no nível de tensão selecionado por um período de 24 horas, onde, por três vezes faz-se leituras de corrente (A) e potência (W) (com o compressor ligado), buscando um valor médio de funcionamento. Após o período de 24 horas, tira-se a leitura do logger e verifica-se quanto tempo o refrigerador permaneceu ligado (h) durante aquele dia. De posse desses dados, multiplica-se o valor da potência média medida (W) pelo valor do tempo de funcionamento (h) e obtém-se o consumo diário de energia elétrica (Wh) de acordo com o nível de tensão. Assim, em um intervalo de tempo de três dias, tem-se o consumo do refrigerador nos níveis de tensão de 115V, 120V e 127V.

Buscando preservar ao máximo a integridade dos dados, recomendou-se aos usuários do refrigerador analisado que não mudassem seus hábitos de utilização entre um teste e outro e mantivessem seu cotidiano normal, pois, conforme já explanado anteriormente, o número de aberturas diárias da porta do refrigerador altera sensivelmente seu consumo (KAO & KELLY, 1996). Tomou-se também o cuidado de não realizar testes durante finais de semana, onde existe clara propensão em fazer uso mais intenso do refrigerador.

Para a execução desse teste, conseguiu-se captar 13 famílias voluntárias, detentoras de refrigeradores de diferentes modelos, marcas, volume e idade, entretanto, todos os refrigeradores foram ensaiados com o termostato indicando posição média, de modo a buscar alguma uniformidade de tratamento. Os testes consumiram aproximadamente 45 dias contínuos de trabalho entre os meses de abril e junho de 2001.

CAPÍTULO 5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nesta parte do trabalho apresentar-se-á os resultados colhidos através das montagens experimentais (figura 53) realizadas em cada um dos refrigeradores cedidos pelas treze famílias voluntárias do teste. Esses resultados virão acompanhados das características do refrigerador avaliado bem como das datas de realização do ensaio.

Esta seção expõe os resultados através de tabelas dos seguintes tipos:

- **Tipo 1:** Tabela de descrição dos resultados obtidos para cada nível de tensão de operação do refrigerador analisado.

Tabela - 7 Descrição dos campos da tabela dos resultados do teste

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
Leitura do ET1001	Leitura do ET2040	Leitura do ET4000	Leitura do Logger	$\frac{W \cdot h}{1000} = D$	$D \cdot 30 = E$	$E \cdot \text{tarifa} \cdot \text{ICMS}$	$D \cdot \text{tarifa} \cdot \text{ICMS} \cdot 365$

- **Tipo 2:** Tabela de comparação do desempenho dos refrigeradores de acordo com o nível de tensão de operação.

Tabela - 8 Descrição dos campos da tabela de comparação de resultados

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	$D_{120} - D_{127} = F$	$E_{120} - E_{127}$	$F \cdot 365 = H$	$H \cdot \text{tarifa} \cdot \text{ICMS}$	$\left(\frac{D_{120}}{D_{127}} - 1 \right) \cdot 100$
115V	$D_{115} - D_{127} = G$	$E_{115} - E_{127}$	$G \cdot 365 = I$	$I \cdot \text{tarifa} \cdot \text{ICMS}$	$\left(\frac{D_{115}}{D_{127}} - 1 \right) \cdot 100$

A tarifa de distribuição de energia elétrica considerada nesses cálculos é aquela vigente na área da região metropolitana da grande São Paulo, onde é mais crítica a questão da queda de desempenho dos aparelhos eletrodomésticos devido à diversidade de níveis de tensão de distribuição. Conforme já dito em outras seções, esta área é servida pela concessionária Eletropaulo Metropolitana - Eletricidade de São Paulo S/A e, segundo às Resoluções nº 254 da ANEEL de 02/07/2001, a tarifa convencional

residencial para essa área de concessão é fixada em R\$ 0,21031/kWh (SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2001), equivalente a US\$0,087996/kWh em cotação de 4 de julho de 2001 (US\$1,00 = R\$2,39).

Mas, não é só isso. Deve-se computar também aos cálculos a alíquota de ICMS praticada aos consumidores pelo governo estadual. E essa não é 25%, como o apregoado na fatura de energia, mas sim 33,33%. Veja como é faturado o ICMS de uma conta de energia normal:

$$\text{ICMS} = \left(\frac{\text{alíquota}}{1 - \text{alíquota}} \right) * \text{Consumo Faturado}$$

Desse modo, quando a alíquota da conta diz 25%, há de considerar-se, segundo a comprovação acima, uma taxa de 33,33%.

5.1 REFRIGERADOR BRASTEMP 340 LITROS

• Descrições do Aparelho:

Modelo: BR534Y40

Série: 7DE298803

Característica: 2 portas → congelador + refrigerador

Compressor: Embraco PW 7.5 K14 (11/08/98)

Potência (dado de placa): 1/5HP = 149,2W

Tabela - 9 Resultados do ensaio do refrigerador Brastemp 340L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	1,81	183,90	8h54min	1,64	49,2	13,80	167,85
120	2,23	192,67	9h06min	1,75	52,5	14,72	179,12
115	2,52	194,17	9h48min	1,90	57,0	15,99	194,46

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

10 e 11/04/2001 = 127V

11 e 12/04/2001 = 120V

12 e 13/04/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 10 Comparação entre os desempenhos do Brastemp 340L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,11	3,30	40,15	11,26	6,70
115V	0,26	7,80	94,90	26,61	15,85

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Brastemp 340L

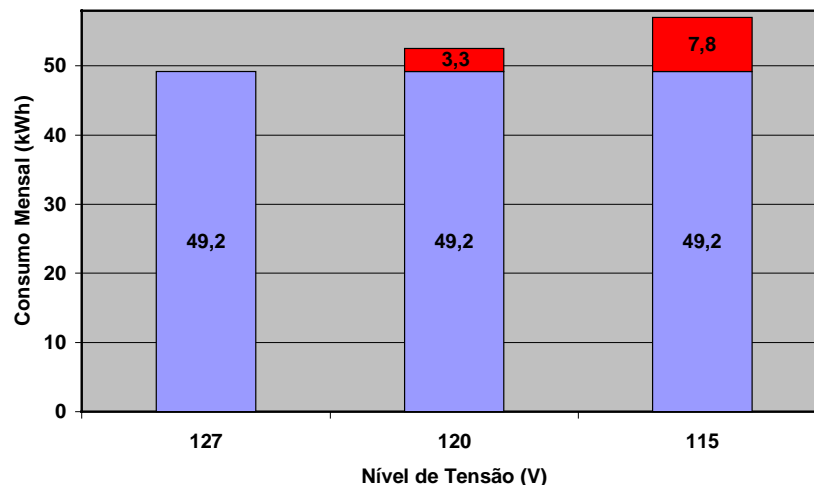


Figura 54 Consumo mensal do refrigerador Brastemp 340 litros em função de sua tensão de operação

5.2 REFRIGERADOR CONSUL GRAN LUXO 410 LITROS

• Descrições do Aparelho:

Modelo: ND

Série: ND

Característica: 2 portas → congelador + refrigerador

Compressor: Embraco PW 7.5 K14 (10/11/200)

Potência (dado de placa): 1/5HP = 149,2W

Tabela - 11 Resultados do ensaio do refrigerador Consul Gran Luxo 410L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	1,53	157,39	10h42min	1,68	50,4	14,13	171,94
120	1,80	159,84	10h48min	1,73	51,9	14,56	177,06
115	2,15	163,18	11h03min	1,80	54,0	15,15	184,22

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

16 e 17/04/2001 = 127V

17 e 18/04/2001 = 120V

18 e 19/04/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 12 Comparação entre os desempenhos do Consul 410L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,05	1,5	18,25	5,12	2,98
115V	0,12	3,6	43,80	12,28	7,14

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Consul 370L

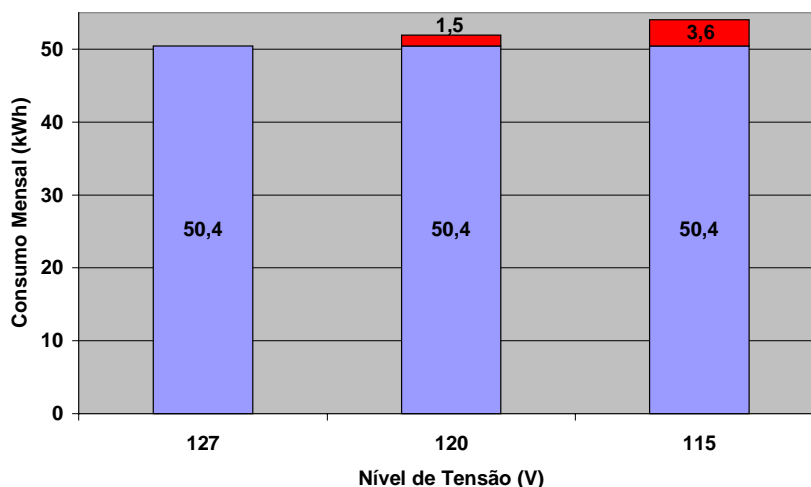


Figura 55 Consumo mensal do refrigerador Consul Gran Luxo 410 litros em função de sua tensão de operação

5.3 REFRIGERADOR CONSUL 3T – 420 LITROS

- **Descrição do Aparelho:**

Modelo: ND

Série: NBD7184655

Característica: 3 portas → congelador + refrigerador + hidratador

Compressor: Embraco PW 7.5 K14 (06/04/87)

Potência (dado de placa): 1/5HP = 149,2W

Tabela - 13 Resultados do ensaio do refrigerador Consul 3T – 420L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	2,04	204,67	10h54min	2,23	66,9	18,76	228,23
120	2,32	206,02	11h30min	2,37	71,1	19,93	242,57
115	2,53	206,57	12h12min	2,52	75,6	21,20	257,91

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

17 e 18/04/2001 = 127V

18 e 19/04/2001 = 120V

19 e 20/04/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 14 Comparação entre os desempenhos do Consul 3T-420L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,14	4,20	51,10	14,33	6,28
115V	0,29	8,70	105,85	29,68	13,00

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Consul 420L

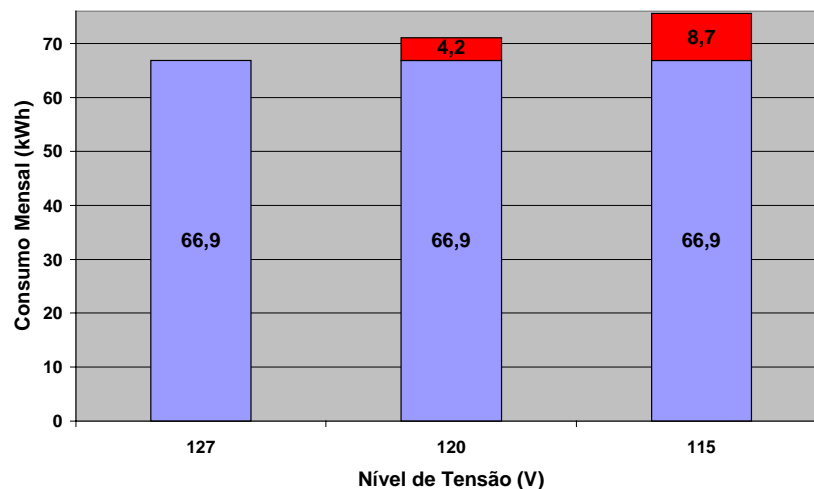


Figura 56 Consumo mensal do refrigerador Consul 3T 420 litros em função de sua tensão de operação

5.4 REFRIGERADOR BRASTEMP TRIPLEX 440 LITROS

- **Descrição do aparelho:**

Modelo: BRJ43T10

Série: 4AB621711

Característica: 3 portas → congelador + refrigerador + hidratador

Compressor: Embraco PW 7.5 K14 (ND/ND/86)

Potência (dado de placa): 1/5HP = 149,2W

Tabela - 15 Resultados do ensaio do refrigerador Brastemp Triplex 440L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	2,98	295,20	13h31min	3,99	119,70	33,56	408,36
120	3,37	299,26	14h04min	4,21	126,30	35,41	430,88
115	3,62	299,74	15h12min	4,56	136,80	38,36	466,71

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

23 e 24/04/2001 = 127V

24 e 25/04/2001 = 120V

25 e 26/04/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 16 Comparação entre os desempenhos do Brastemp 440L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício o Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,22	6,60	80,30	22,51	5,51
115V	0,57	17,10	208,05	58,33	14,28

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Brastemp 440L

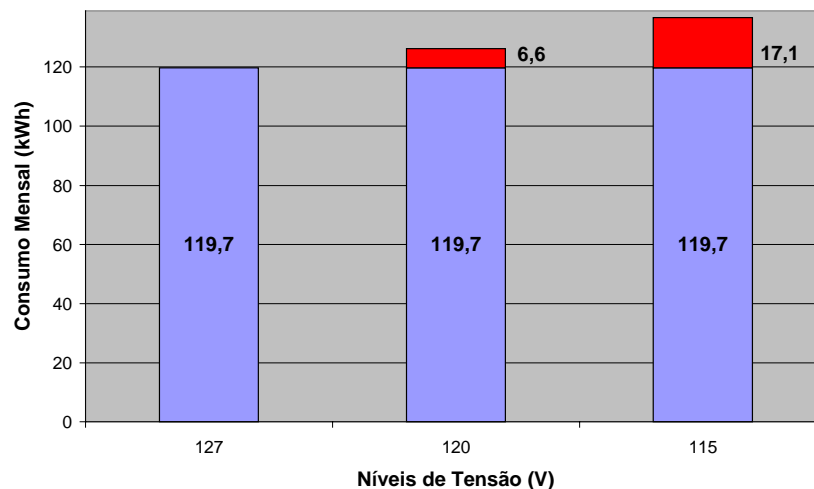


Figura 57 Consumo mensal do refrigerador Brastemp Triplex 440 litros em função de sua tensão de operação

5.5 REFRIGERADOR PROSDÓCIMO 340 LITROS

- **Descrição do aparelho:**

Modelo: ND

Série: ND

Característica: 1 portas → congelador + refrigerador

Compressor: Tecumseh B1687C4 (ND/ND/90)

Potência (dado de placa): 1/6HP = 124,3W

Tabela - 17 Resultados do ensaio do refrigerador Prosdócimo 340L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	1,22	128,60	10h54min	1,40	42,00	11,77	143,29
120	1,40	131,04	11h06min	1,45	43,50	12,20	148,41
115	1,58	134,46	11h24min	1,53	45,90	12,87	156,60

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

24 e 25/04/2001 = 127V

25 e 26/04/2001 = 120V

26 e 27/04/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 18 Comparação entre os desempenhos do Prosdócimo 340L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh*/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,05	1,5	18,25	5,12	3,57
115V	0,13	3,9	47,45	13,31	9,28

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Prosdócimo 340L

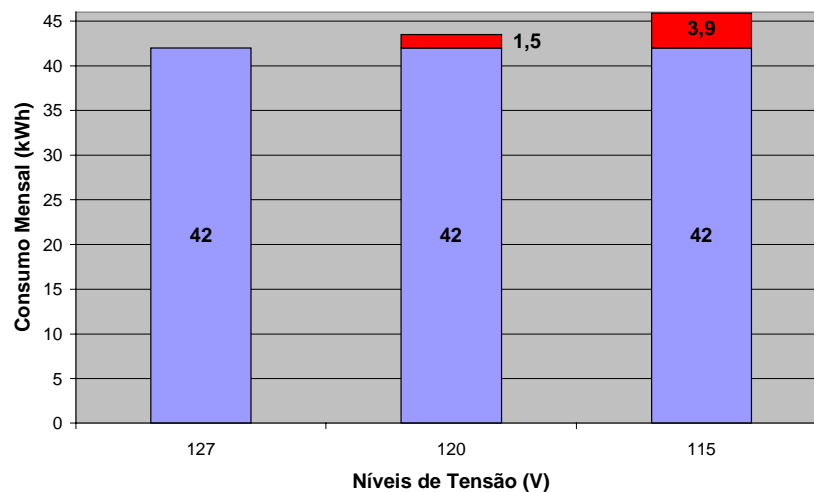


Figura 58 Consumo mensal do refrigerador Prosdócimo 340 litros em função de sua tensão de operação

5.6 REFRIGERADOR CONSUL 310 LITROS

- **Descrição do Aparelho:**

Modelo: ND

Série: GDC 1180323

Característica: 1 portas → congelador + refrigerador

Compressor: Embraco PW 4.5 K9 (ND/ND/83)

Potência (dado de placa): 1/6HP = 124,3W

Tabela - 19 Resultados do ensaio do refrigerador Consul 310L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	1,64	160,37	9h24min	1,51	45,30	12,71	154,54
120	1,82	161,62	9h42min	1,57	47,10	13,20	160,69
115	1,98	161,67	10h12min	1,65	49,50	13,88	168,88

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

30/04 e 01/05/2001 = 127V

01 e 02/05/2001 = 120V

02 e 03/05/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 20 Comparação entre os desempenhos do Consul 310L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh*ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,06	1,80	21,90	6,13	3,97
115V	0,14	4,20	51,10	14,33	9,27

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Consul 310L

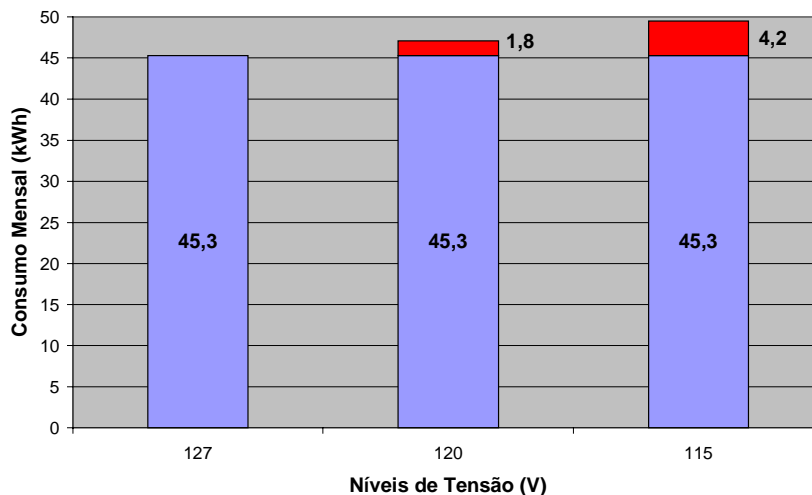


Figura 59 Consumo mensal do refrigerador Consul 310 litros em função de sua tensão de operação

5.7 REFRIGERADOR BRASTEMP 324 LITROS

- Descrição do aparelho:**

Modelo: BRM33BBANA

Série: JC0498766

Característica: 2 portas → congelador + refrigerador

Compressor: Embraco FFI 7.5 HAK (09/03/2000) – Gás R134a (único refrigerador com esse tipo de gás)

Potência (dado de placa): 1/5HP = 149,2W

Tabela - 21 Resultados do ensaio do refrigerador Brastemp 324L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	1,69	176,00	9h06min	1,60	48,00	13,45	163,76
120	1,91	176,48	9h24min	1,66	49,80	13,96	169,90
115	2,12	177,97	9h48min	1,74	52,20	14,64	178,08

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

01 e 02/05/2001 = 127V

02 e 03/05/2001 = 120V

03 e 04/05/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 22 Comparação entre os desempenhos do Brastemp 324L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,06	1,80	21,90	6,13	3,75
115V	0,14	4,20	51,10	14,33	8,75

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Brastemp 324L

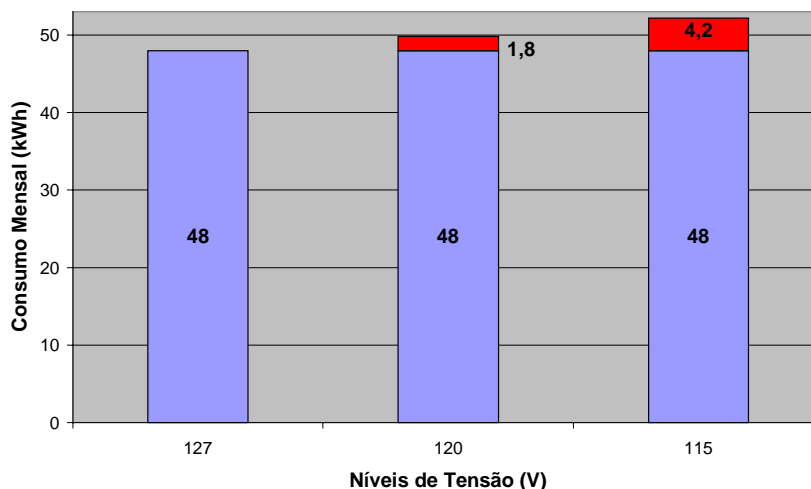


Figura 60 Consumo mensal do refrigerador Brastemp 324 litros em função de sua tensão de operação

5.8 REFRIGERADOR CONSUL BIPLEX 410 LITROS

- **Descrição do aparelho:**

Modelo: ND

Série: FHJ546649I

Característica: 2 portas → congelador + refrigerador

Compressor: Embraco PW 7.5 K14 (ND/ND/84)

Potência (dado de placa): 1/5HP = 149,2W

Tabela - 23 Resultados do ensaio do refrigerador Consul Biplex 410L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	3,01	256,12	16h30min	4,22	126,60	35,49	431,91
120	3,35	257,28	16h54min	4,35	130,50	36,58	445,22
115	3,73	257,37	17h24min	4,48	134,40	37,68	458,52

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

07 e 08/05/2001 = 127V

08 e 09/05/2001 = 120V

09 e 10/05/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 24 Comparação entre os desempenhos do Consul Biplex 410L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,13	3,90	47,45	13,31	3,08
115V	0,26	7,80	94,90	26,61	6,16

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Consul 410L

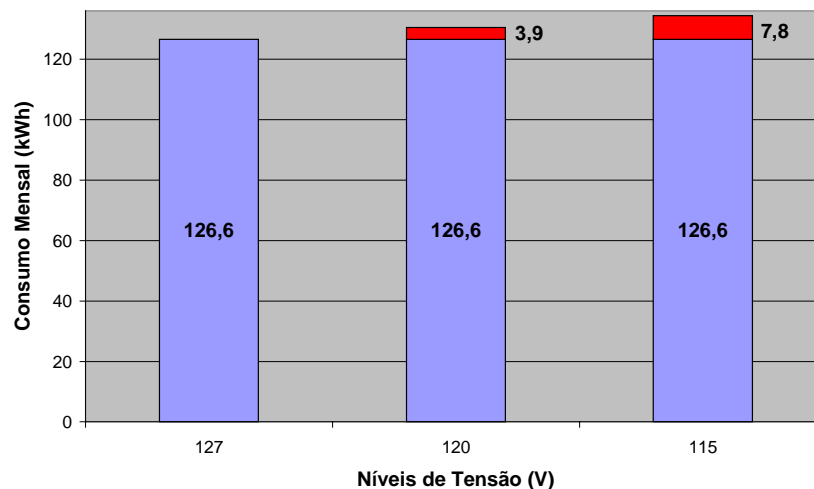


Figura 61 Consumo mensal do refrigerador Consul Biplex 410 litros em função de sua tensão de operação

5.9 REFRIGERADOR CONSUL SMART 230 LITROS

- **Descrição do aparelho:**

Modelo: ND

Série: ND

Característica: 1 portas → congelador + refrigerador

Compressor: Embraco PW 3.5 K14 (ND/10/98)

Potência (dado de placa): 1/10HP = 74,6W

Tabela - 25 Resultados do ensaio do refrigerador Consul Smart 230L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	1,26	129,62	9h12min	1,19	35,70	10,01	121,80
120	1,42	131,21	9h30min	1,25	37,50	10,52	127,92
115	1,59	131,65	9h48min	1,29	38,70	10,85	132,02

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

08 e 09/05/2001 = 127V

09 e 10/05/2001 = 120V

10 e 11/05/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 26 Comparação entre os desempenhos do Consul Smart 230L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,06	1,80	21,90	6,13	5,04
115V	0,10	3,00	36,50	10,24	8,40

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Consul 230L

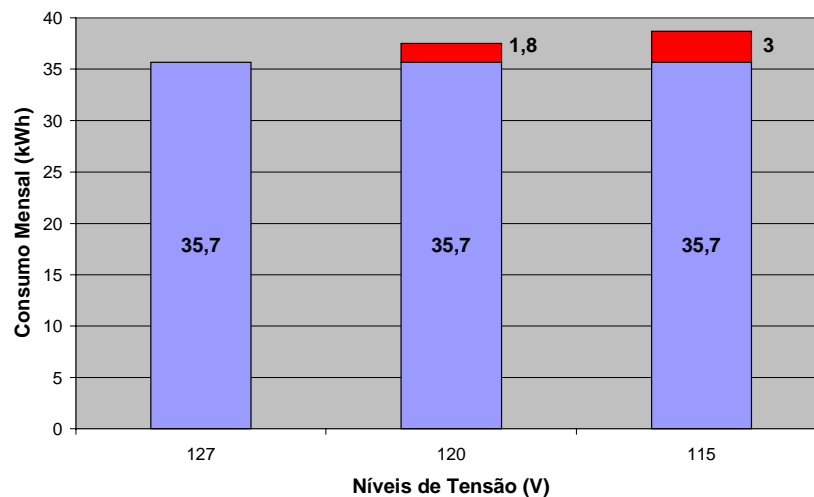


Figura 62 Consumo mensal do refrigerador Consul Smart 230 litros em função de sua tensão de operação

5.10 REFRIGERADOR BRASTEMP 310 LITROS

• Descrição do aparelho:

Modelo: BW10L

Série: 099472

Característica: 1 portas → congelador + refrigerador

Compressor: Embraco PW 5.5 K11 (ND/02/85)

Potência (dado de placa): 1/6HP = 124,3W

Tabela - 27 Resultados do ensaio do refrigerador Brastemp 310L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	1,71	147,68	10h36min	1,56	46,80	13,12	159,66
120	1,85	148,74	10h54min	1,62	48,60	13,63	165,81
115	1,94	149,48	11h12min	1,67	50,10	14,04	170,92

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

14 e 15/05/2001 = 127V

15 e 16/04/2001 = 120V

16 e 17/04/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 28 Comparação entre os desempenhos do Brastemp 310L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,06	1,80	21,90	6,13	3,85
115V	0,11	3,30	40,15	11,25	7,05

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Brastemp 310L

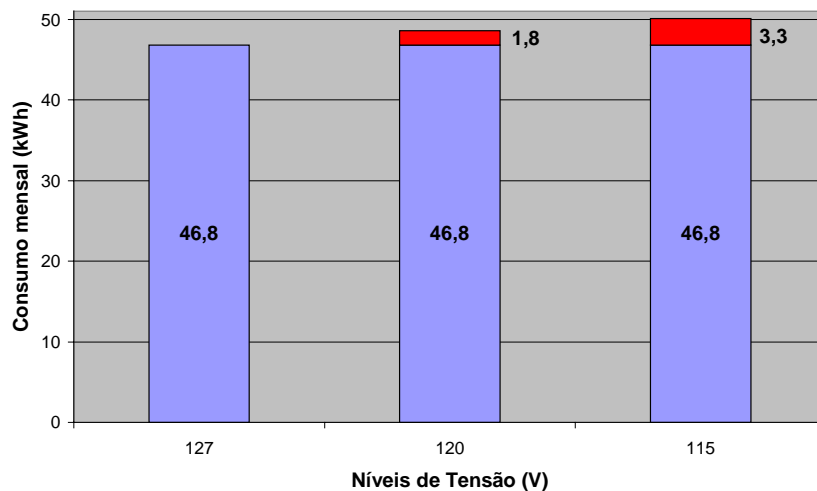


Figura 63 Consumo mensal do refrigerador Brastemp 310 litros em função de sua tensão de operação

5.11 REFRIGERADOR WHITE WESTINGHOUSE 430 LITROS

- **Descrição do aparelho:**

Modelo: BR1BAX125778

Série: RW435LL

Característica: 2 portas → congelador + refrigerador

Compressor: ND (ND/ND/89)

Potência (dado de placa): 1/5 = 149,2W

Tabela - 29 Resultados do ensaio do refrigerador White Westinghouse 430L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	2,1	216,03	12h30min	2,70	81,0	22,72	276,34
120	2,5	222,00	12h48min	2,84	85,2	23,89	290,67
115	2,8	225,40	13h24min	3,02	90,6	25,40	309,08

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

05 e 06/06/2001 = 127V

06 e 07/06/2001 = 120V

07 e 08/06/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 30 Comparação entre os desempenhos do White Westinghouse 430L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,14	4,20	51,10	14,32	5,19
115V	0,32	9,60	116,80	32,74	11,86

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - White Westinghouse 430L

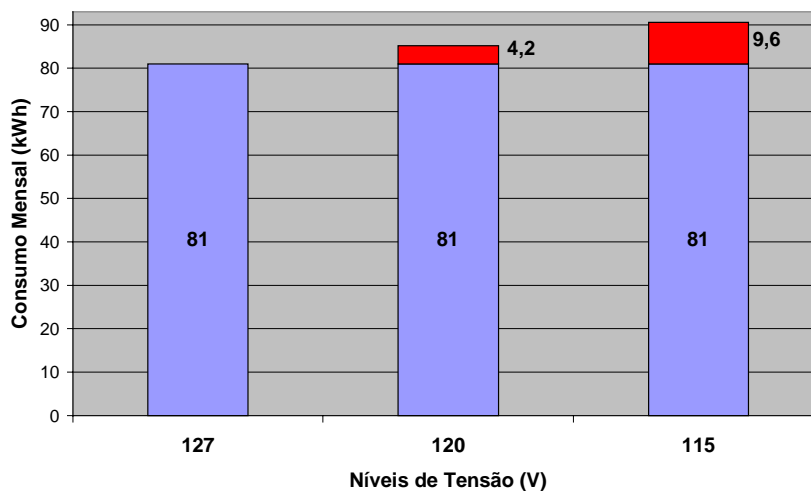


Figura 64 Consumo mensal do refrigerador White Westinghouse 430 litros em função de sua tensão de operação

5.12 REFRIGERADOR PROSDÓCIMO 307 LITROS

- **Descrição do aparelho:**

Modelo: 01341OBD162

Série: LQ154833

Característica: 1 portas → congelador + refrigerador

Compressor: Tecumseh (ND/ND/92)

Potência (dado de placa): 1/6HP = 124,3W

Tabela - 31 Resultados do ensaio do refrigerador Prosdócimo 307L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	1,6	168,66	8h36min	1,45	43,5	12,20	148,41
120	1,9	171,00	9h06min	1,56	46,8	13,12	159,66
115	2,1	173,88	9h42min	1,69	50,7	14,21	172,97

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

12 e 13/06/2001 = 127V

13 e 14/06/2001 = 120V

14 e 15/06/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 32 Comparação entre os desempenhos do Prosdócimo 307L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,11	3,3	40,15	11,25	7,58
115V	0,24	7,2	87,60	24,56	16,55

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Prosdócimo 307L

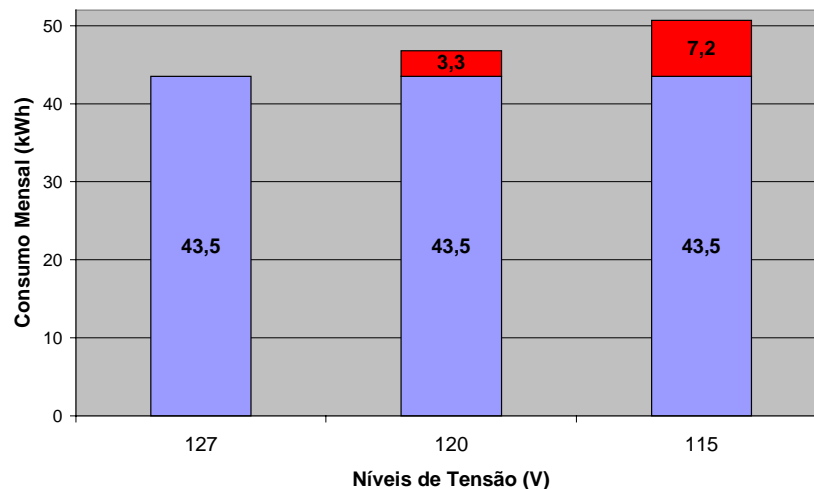


Figura 65 Consumo mensal do refrigerador Prosdócimo 307 litros em função de sua tensão de operação

5.13 REFRIGERADOR PROSDÓCIMO 132 LITROS

- **Descrição do aparelho:**

Modelo: 01130DBA162

Série: IQ024007

Característica: 1 porta → congelador + refrigerador

Compressor: Tecumseh (ND/07/91)

Potência (dado de placa): 1/8HP = 93,25W

Tabela - 33 Resultados do ensaio do refrigerador Prosdócimo 132L para cada nível de tensão

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Uso Diário	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
127	1,05	104,01	10h25min	1,08	32,40	9,08	110,53
120	1,21	108,90	10h57min	1,19	35,70	10,01	121,80
115	1,36	111,04	11h20min	1,26	37,80	10,60	128,96

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Ensaio realizado entre os dias:

05 e 06/02/2001 = 127V

06 e 07/02/2001 = 120V

07 e 08/02/2001 = 115V

Estimativa do desperdício de energia em relação aos 127V nominais:

Tabela - 34 Comparação entre os desempenhos do Prosdócimo 132L nos níveis de tensão diferentes de 127V

Nível de Tensão	Desperdício Diário(kWh/dia)	Desperdício Mensal (kWh/mês)	Desperdício Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Porcentagem de Desperdício (%)
120V	0,11	3,30	40,15	11,25	10,19
115V	0,18	5,40	65,70	18,43	16,67

* US\$0,087996/kWh = R\$0,21031/kWh

Consumo - Prosdócimo 132L

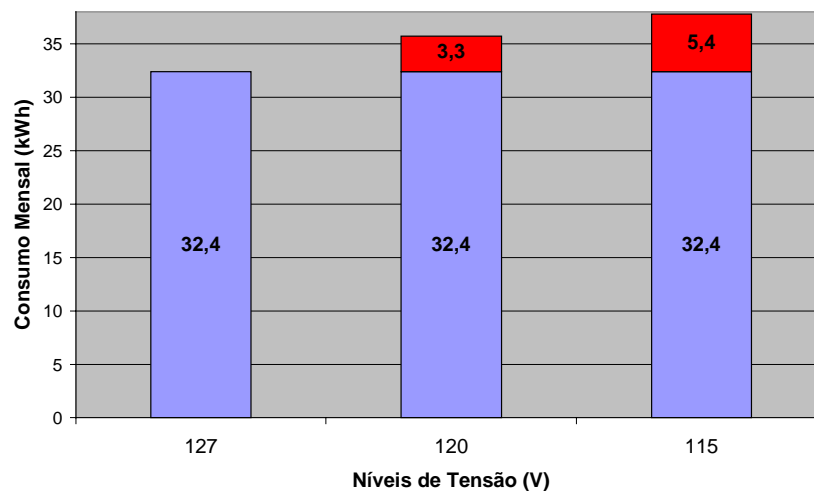


Figura 66 Consumo mensal do refrigerador Prosdócimo 132 litros em função de sua tensão de operação

Os resultados anteriores podem ser sintetizados nas seguintes características de desempenho do refrigerador elétrico: eficiência, padrão de consumo e robustez (tabelas 35, 36 e 37). Note-se que essas tabelas apresentam os dados arranjados em ordem crescente, donde tira-se que o comportamento individual de cada refrigerador não mantém-se uniforme por nível de tensão de operação.

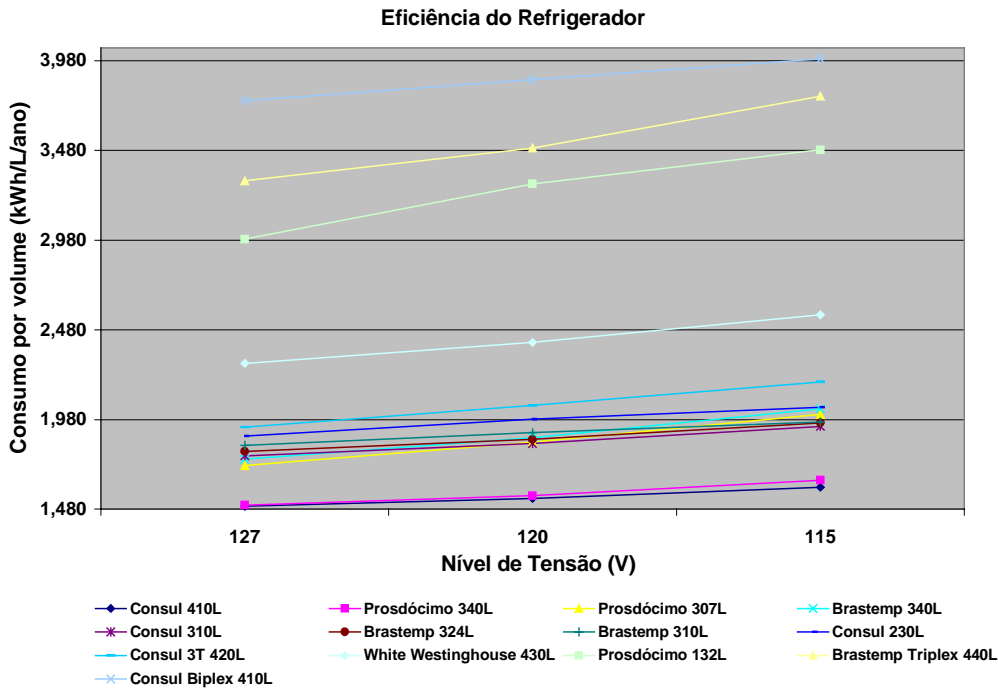
A eficiência denota a capacidade do equipamento promover refrigeração com o mínimo consumo de energia por unidade de volume. Enquanto isso, o padrão de consumo informa a quantidade de energia elétrica mensal necessária ao funcionamento do refrigerador. Já o índice de robustez indica o nível percentual da alteração no consumo de energia elétrica quando o refrigerador é operado em um nível de tensão inferior a 127V, quanto menor esse número, mais robusto é o equipamento e menores alterações de consumo ocorrerão.

Tabela - 35 Eficiência do refrigerador em função do nível de tensão de operação

Classificação	Níveis de Tensão					
	127V		120V		115V	
	Refrigerador	Eficiência (kWh/L/ano)	Refrigerador	Eficiência (kWh/L/ano)	Refrigerador	Eficiência (kWh/L/ano)
1	Consul 410L	1,497	Consul 410L	1,540	Consul 410L	1,602
2	Prosdócimo 340L	1,504	Prosdócimo 340L	1,555	Prosdócimo 340L	1,642
3	Prosdócimo 307L	1,723	Consul 310L	1,847	Consul 310L	1,942
4	Brastemp 340L	1,759	Prosdócimo 307L	1,854	Brastemp 324L	1,960
5	Consul 310L	1,778	Brastemp 324L	1,869	Brastemp 310L	1,967
6	Brastemp 324L	1,803	Brastemp 340L	1,880	Prosdócimo 307L	2,008
7	Brastemp 310L	1,836	Brastemp 310L	1,905	Brastemp 340L	2,040
8	Consul 230L	1,887	Consul 230L	1,982	Consul 230L	2,048
9	Consul 3T 420L	1,938	Consul 3T 420L	2,057	Consul 3T 420L	2,190
10	White Westinghouse 430L	2,292	White Westinghouse 430L	2,409	White Westinghouse 430L	2,562
11	Prosdócimo 132L	2,986	Prosdócimo 132L	3,292	Prosdócimo 132L	3,482
12	Brastemp Triplex 440L	3,311	Brastemp Triplex 440L	3,493	Brastemp Triplex 440L	3,781
13	Consul Biplax 410L	3,756	Consul Biplax 410L	3,873	Consul Biplax 410L	3,989

Fonte: Medições realizadas autor.

Os resultados da eficiência em função do nível de tensão de operação podem ser visualizados no gráfico a seguir:

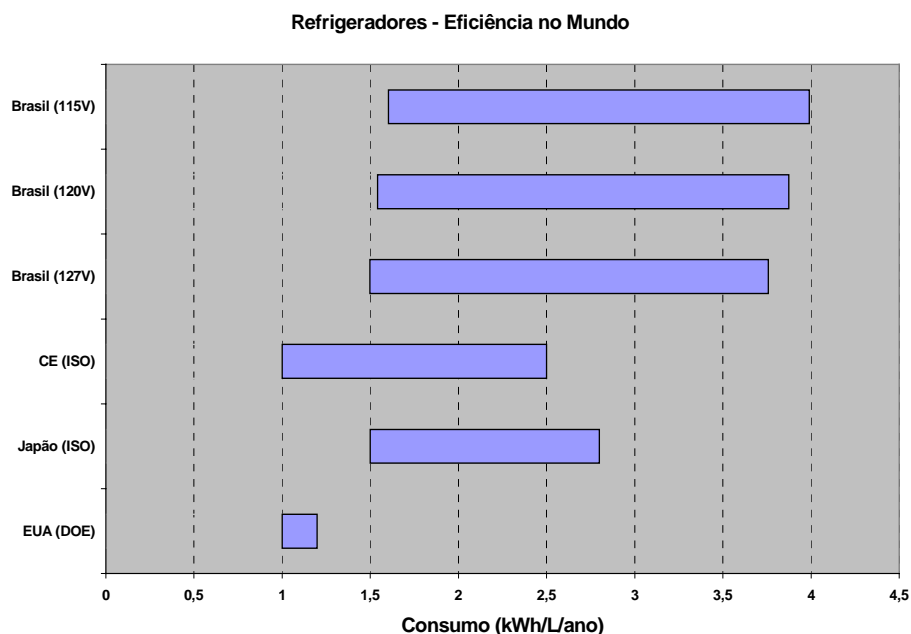


Fonte: Medições realizadas pelo autor.

Figura 67 Eficiência do Refrigerador Elétrico

Com este gráfico (Fig. 67), vê-se claramente a perda de eficiência do refrigerador com a diminuição da tensão (curvas ascendentes), independentemente da marca do aparelho. Na realidade, ocorre um incremento na quantidade de energia necessária à manutenção das características de refrigeração ajustadas em cada um dos modelos avaliados.

Em se tratando de eficiência no uso da energia elétrica pelos refrigeradores, é interessante destacar um estudo (Fig. 68) feito pela Universidade de Berkeley em 1996 (MEIER, 1996), onde é feito, segundo a metodologia do DOE (refrigerador analisado durante 24 horas sem abertura de portas e em um ambiente com temperatura controlada à 32°C), uma comparação entre a eficiência energética (consumo de energia elétrica por litro de volume) dos refrigeradores mais populares comercializados nos EUA, Europa e Japão.



Fonte: MEIER, 1996.

Figura 68 Faixas de eficiência de refrigeradores

Conforme nota-se (Fig. 68), acrescentou-se às medidas dos pesquisadores de Berkeley os dados de eficiência por nível de tensão obtidos neste trabalho. Daí, conclui-se que os produtos nacionais estão bem longe (em termos de uso racional de energia) daqueles existentes no primeiro mundo e, além disso, as faixas de eficiência são deslocadas para regiões piores com a operação em tensões inferiores a 127V.

A tabela abaixo mostra em ordem crescente o consumo mensal de cada aparelho refrigerador analisado. O ponto interessante dessa tabela é destacar que nem sempre o refrigerador de menor consumo pode ser interpretado como de melhor eficiência. Basta compará-la à tabela anterior (tabela 35) para verificar a veracidade dessa informação.

Tabela - 36 Consumo do refrigerador elétrico

Classificação	Consumo Mensal do Refrigerador Elétrico					
	127V		120V		115V	
	Refrigerador	KWh/mês	Refrigerador	KWh/mês	Refrigerador	KWh/mês
1	Prosdócimo 132L	32,40	Prosdócimo 132L	35,70	Prosdócimo 132L	37,80
2	Consul 230L	35,70	Consul 230L	37,50	Consul 230L	38,70
3	Prosdócimo 340L	42,00	Prosdócimo 340L	43,50	Prosdócimo 340L	45,90
4	Prosdócimo 307L	43,50	Prosdócimo 307L	46,80	Consul 310L	49,50
5	Consul 310L	45,30	Consul 310L	47,10	Brastemp 310L	50,10
6	Brastemp 310L	46,80	Brastemp 310L	48,60	Prosdócimo 307L	50,70
7	Brastemp 324L	48,00	Brastemp 324L	49,80	Brastemp 324L	52,20
8	Brastemp 340L	49,20	Consul 410L	51,90	Consul 410L	54,00
9	Consul 410L	50,40	Brastemp 340L	52,50	Brastemp 340L	57,00
10	Consul 3T 420L	66,90	Consul 3T 420L	71,10	Consul 3T 420L	75,60
11	White Westinghouse 430L	81,00	White Westinghouse 430L	85,20	White Westinghouse 430L	90,60
12	Brastemp Triplex 440L	119,70	Brastemp Triplex 440L	126,30	Brastemp Triplex 440L	136,80
13	Consul Biplax 410L	126,60	Consul Biplax 410L	130,50	Consul Biplax 410L	134,40

Fonte: Medições realizadas pelo autor.

É interessante notar, através da tabela 36, que os hábitos de uso do refrigerador são essenciais na definição de seu consumo final de energia elétrica. Só isto explica a situação ímpar, onde o refrigerador Brastemp 324L fabricado no ano 2000, tenha consumo de 48kWh/mês, similar aos refrigeradores Brastemp 310 e Consul 310L fabricados na década de 80, aproximadamente 15 anos antes, com consumos de 46,80kWh/mês e 45,30kWh/mês respectivamente.

A temperatura da cozinha agregada à média diária de abertura das portas do refrigerador são as grandes vilãs no acréscimo de consumo, então, residências com crianças ou com pessoas presentes constantemente têm a tendência de gastar mais com refrigeração (kWh) do que aquelas famílias que fazem uso regrado do equipamento ou que ficam fora a maior parte do dia.

Seguindo com os resultados, mostra-se abaixo (tabela 37) o índice de robustez dos refrigeradores, ou seja, a variação percentual ocorrida no consumo de energia quando se dá a operação em um nível de tensão diferente de 127V.

Tabela - 37 Robustez do refrigerador elétrico

Classificação	Incremento no consumo quando da diminuição de tensão de 127V			
	120V		115V	
	Refrigerador	Incremento (%)	Refrigerador	Incremento (%)
1	Consul 410L	2,98	Consul Biplex 410L	6,16
2	Consul Biplex 410L	3,08	Brastemp 310L	7,05
3	Prosdócimo 340L	3,57	Consul 410L	7,14
4	Brastemp 324L	3,75	Consul 230L	8,40
5	Brastemp 310L	3,85	Brastemp 324L	8,75
6	Consul 310L	3,97	Consul 310L	9,27
7	Consul 230L	5,04	Prosdócimo 340L	9,28
8	White Westinghouse 430L	5,19	White Westinghouse 430L	11,86
9	Brastemp Triplex 440L	5,51	Consul 3T 420L	13,00
10	Consul 3T 420L	6,28	Brastemp Triplex 440L	14,28
11	Brastemp 340L	6,70	Brastemp 340L	15,85
12	Prosdócimo 307L	7,58	Prosdócimo 307L	16,55
13	Prosdócimo 132L	10,19	Prosdócimo 132L	16,67

Fonte: Medições realizadas pelo autor.

Dos resultados individuais apresentados para cada aparelho refrigerador e das tabelas anteriores, nota-se que, independentemente de sua marca ou modelo, o desempenho do refrigerador sempre piora com a diminuição do seu nível de tensão de operação.

Isso dá-se como consequência da queda do conjugado e do aumento do escorregamento (S) do motor de indução para a mesma carga, pois a potência mecânica útil no rotor está ligada ao fator (1-S) então, ao ser incrementado o escorregamento, a potência útil no rotor cai.

Daí segue-se um aumento na corrente (A) drenada pelo motor, visto que o valor da pressão do líquido refrigerante no lado de alta (condensador) mantém-se constante, e o compressor hermético precisa trazê-lo através da linha de sucção e “bombeá-lo” ao condensador com a mesma taxa de compressão.

Com a diminuição do nível de tensão, também diminuem as interações entre o campo magnético do motor e do rotor (fluxo) devido à redução da fem de velocidade. Assim, o campo resultante tende a se tornar elíptico devido às pulsações maiores que ocorrem no sentido do campo principal do que as que ocorrem no sentido do campo do rotor em quadratura.

Esse efeito causa aumento de ruído na operação e, além disso, com a elevação da corrente, a parcela de energia perdida no cobre do estator aumenta visto que é proporcional ao quadrado da corrente de alimentação (Perda Joule). Por tudo isso, quando ocorre diminuição da tensão de alimentação (em relação a 127V), o refrigerador elétrico fica mais lento (quanto aos ciclos de refrigeração), mais barulhento e consome mais energia.

CAPÍTULO 6 DISCUSSÕES E PERSPECTIVAS

A partir deste ponto será feita uma extrapolação dos resultados colhidos na seção anterior e uma adaptação às condições de operação notadas na região metropolitana da grande São Paulo para serem determinados os impactos no consumo anual de energia elétrica e os custos incorridos aos consumidores atendidos por redes com níveis de tensão de 120V e 115V.

Desse modo, uma primeira consideração a ser acatada é aquela tratada na introdução desse trabalho, que discorre sobre a potência média e o tempo de funcionamento dos aparelhos refrigeradores, sendo assim, adota-se como refrigerador padrão aquele constituído por gabinete com volume de 300 litros, potência média de 170W e funcionamento diário (soma de todos os intervalos de tempo em que o refrigerador permanece ligado durante o dia) próximo a 9 horas; valores otimistas apresentados pela Fundação Getúlio Vargas (CONJUNTURA ECONÔMICA, 1998), mas eficazes para a realização dos cálculos estimativos do potencial de conservação de energia possível de ser obtido nessa região.

Para criar-se uma situação de comparação é feita uma segunda consideração, onde opera-se a divisão da região metropolitana da grande São Paulo em áreas distintas, sendo que cada uma dessas áreas é atendida por um nível de tensão diferente, conforme mostrado na tabela a seguir (CSPE, 2000):

Tabela - 38 Áreas de distribuição de energia elétrica na grande São Paulo

Área	Nível de Tensão	Consumidores Residenciais
1	115V	3.412.000
2	120V	260.000
3	127V	408.000

Fonte: CSPE, 2000.

Cabem ainda considerações sobre o índice de robustez dos aparelhos refrigeradores, os quais ilustram a variação percentual ocorrida no consumo de energia elétrica quando se dá a operação em um nível de tensão diferente de 127V. Conforme visto através da tabela 37, para o funcionamento do refrigerador elétrico em redes com nível de tensão de 120V, este índice pode provocar um incremento em seu consumo de energia elétrica entre 2,98% até 10,19% comparado àquele avaliado na operação em 127V. Já para a operação do refrigerador em redes de 115V, este índice causa um acréscimo no consumo de energia da ordem de 6,16% até 16,67% em relação ao consumo em 127V.

Como o objetivo maior desse trabalho é chamar a atenção para a necessidade de reformulação do sistema elétrico de distribuição de energia na grande São Paulo no intuito de aproximar suas características às determinadas pela legislação vigente, são calculados os potenciais de conservação de energia em cada uma das áreas determinadas na tabela 38 levando em consideração os mínimos efeitos que as variações de tensão causam nos equipamentos de refrigeração, ou seja, para refrigeradores operados em 115V adota-se um acréscimo de consumo da ordem de 6,16%, enquanto que para refrigeradores operados em 120V o incremento de consumo fica em 2,98% em relação àquele consumo verificado na operação em 127V.

Procedendo dessa forma, consegue-se mostrar que por mais crédula e otimista que seja a análise, existe um montante considerável de energia sendo mal usado, desperdiçado e perdido anualmente nos quase 320 mil quilômetros de linhas de distribuição existentes na grande São Paulo.

6.1 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.

Conforme já definido anteriormente, ao operar em rede de 115V, o aparelho refrigerador tem seu desempenho sacrificado e com isso passa a consumir mais energia para executar os mesmos ciclos de refrigeração, que agora estão mais lentos.

Sendo assim, os 3.412.000 refrigeradores dessa área passarão a ter um consumo diário de cerca de 1,62kWh (6,16% superior, conforme as considerações do início do capítulo), gerando um consumo anual de 591,30kWh por refrigerador, o que totaliza um montante de 2017,52GWh consumidos anualmente por todos refrigeradores da área.

Supondo que as redes estivessem em conformidade com o Decreto nº 97.280/1988, ou seja, operando com nível de tensão de 127V, esses mesmos refrigeradores teriam consumo diário de 1,53kWh, o que completaria em um ano um gasto aproximado de 558,45kWh, gerando um consumo global de energia de 1905,43GWh por ano nessa área.

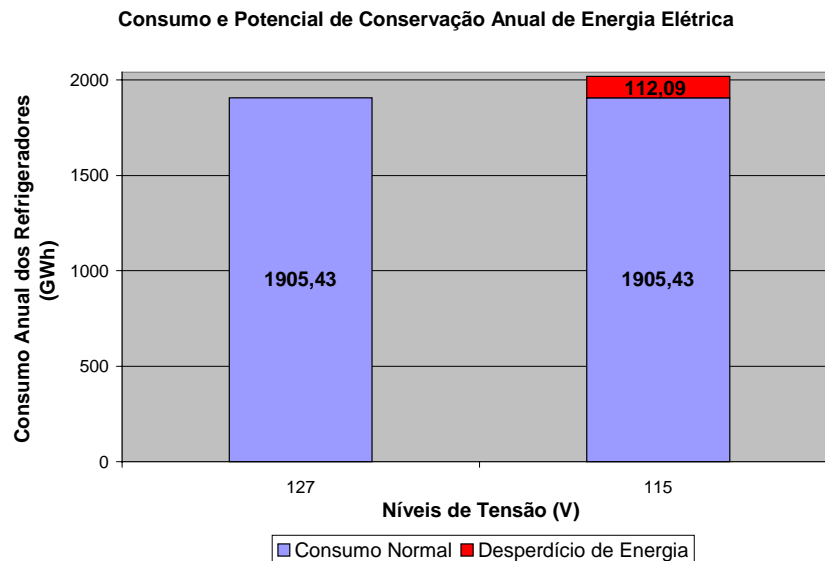


Figura 69 Consumo e Potencial de Conservação de Energia Elétrica na Área Atendida por rede de 115V

Comparando o funcionamento do aparelho refrigerador nos dois níveis de tensão (115V e 127V), nota-se, conforme a figura 69, que em toda região onde a distribuição de energia é feita em nível de tensão de 115V, o desperdício anual de energia devido ao mal funcionamento do refrigerador chega a ser da ordem de aproximadamente 112,09GWh.

No entanto, sabe-se que as perdas de energia resultantes dos processos de transmissão e distribuição são estimadas como sendo da ordem de 15% da energia transmitida (PAGAN, 1998). Então, para refletir no parque gerador os efeitos do desperdício anual de energia elétrica causado pelo mal funcionamento do refrigerador elétrico em redes de 115V deve-se acrescentar 17,6% aos valores calculados anteriormente.

Assim, a quantidade de energia elétrica gerada anualmente para suprir o inadequado funcionamento dos refrigeradores elétricos localizados em áreas servidas por redes de alimentação com tensão de 115V é cerca de 131,82GWh.

6.2 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.

Conforme já definido anteriormente, ao operar em rede de 120V, o aparelho refrigerador tem sacrificado seu desempenho e com isso passa a consumir mais energia para executar os mesmos ciclos de refrigeração, que agora estão mais lentos.

Sendo assim, os 260.000 refrigeradores dessa área passarão a ter um consumo diário de cerca de 1,58kWh (2,8% superior, conforme as considerações do início do capítulo), gerando um consumo anual de 576,70kWh por refrigerador, o que totaliza um montante de 149,94GWh consumidos anualmente por todos refrigeradores da área.

Supondo que as redes estivessem em conformidade com o Decreto nº 97.280/1988, ou seja, operando com nível de tensão de 127V, esses mesmos refrigeradores teriam consumo diário de 1,53kWh, o que completaria em um ano um gasto aproximado de 558,45kWh, gerando um consumo global de energia de 145,20GWh por ano nessa área.

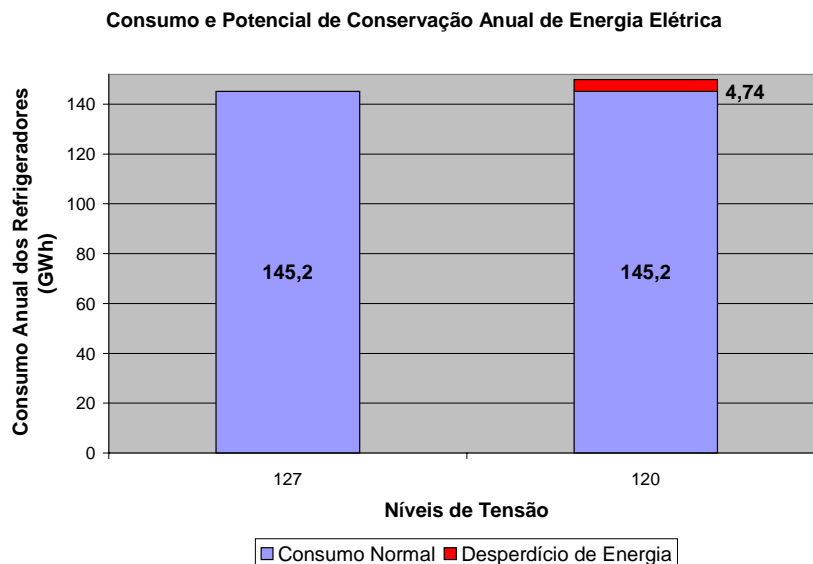


Figura 70 Consumo e Potencial de Conservação de Energia Elétrica na Área Atendida por rede de 120V

Comparando o funcionamento do aparelho refrigerador nos dois níveis de tensão (120V e 127V), nota-se, conforme a figura 70, que em toda região onde a distribuição de energia é feita em nível de tensão de 120V, o desperdício anual de energia devido ao mal funcionamento do refrigerador chega a ser da ordem de aproximadamente 4,74GWh.

No entanto, sabe-se que as perdas de energia resultantes dos processos de transmissão e distribuição são estimadas como sendo da ordem de 15% da energia transmitida (PAGAN, 1998). Então, para refletir no parque gerador os efeitos do desperdício anual de energia elétrica causado pelo mal funcionamento do refrigerador elétrico em redes de 120V deve-se acrescentar 17,6% aos valores calculados anteriormente.

Assim, a quantidade de energia elétrica gerada anualmente para suprir o inadequado funcionamento dos refrigeradores elétricos localizados em áreas servidas por redes de alimentação com tensão de 115V é cerca de 5,57GWh.

6.3 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 em cada um deles e tempo de funcionamento de 9 horas diárias. Então, o consumo diário é de 1,53kWh/refrigerador, gerando um consumo anual de 558,45kWh/refrigerador/ano, totalizando um consumo global de 227,85GWh/ano para todos os refrigeradores dessa área.

Conforme já dito anteriormente, ao refletir-se esses valores na geração tem-se um volume anual de energia de 267,95GWh.

Esses valores são tomados como base, pois, se fosse cumprido o Decreto nº 97.280, que regulamenta os níveis de tensão de distribuição, todo o sistema elétrico da região metropolitana da grande São Paulo funcionaria nessas condições (127V).

6.4 OS IMPACTOS

Conforme já explanado anteriormente, ao operar com níveis inadequados de tensão, o refrigerador elétrico perde rendimento e isso pode ser traduzido no incremento de seu consumo. A tabela a seguir (tabela 39) foi construída tomando-se como base a situação que deveria prevalecer de acordo com a Legislação atual (Decreto nº 97.280), isto é, todos os consumidores sendo atendidos por níveis de tensão de 127V ou muito próximos a este. Assim, comparou-se o desempenho do refrigerador equivalente de 170W em cada um dos níveis de tensão disponíveis na região metropolitana da grande São Paulo e fez-se a diferença entre o consumo real e o consumo na situação ideal (127V), resultando no montante de energia desperdiçado. Com isso, pode-se determinar os impactos no consumo anual de eletricidade e os custos incorridos pelas residências nas áreas de 115V e 120V.

Tabela - 39 Desperdício de energia com o uso de refrigeradores em tensões inadequadas

	Área (nível de tensão)	% das residências	Desperdício (GWh/ano) Concessionária	Impacto na Geração (GWh/ano)
	115V	83,63	112,09	131,82
	120V	6,37	4,74	5,57
Total	115V+120V	90,00	116,83	137,39

Fonte: Autoria própria.

Essa tabela (tabela 39) mostra a quantidade de energia anual (GWh/ano) desperdiçada nas regiões da grande São Paulo com redes em 115V e 120V. Energia esta que poderia ser poupada ou simplesmente aplicada em causa mais nobre do que suprir deficiências do sistema de distribuição.

Se as redes de distribuição adotassem os níveis de tensão determinados pela legislação, segundo as considerações aqui adotadas, o consumo de todos os refrigeradores da grande São Paulo (aproximadamente 4.080.000) seria algo em torno de 2278,49GWh por ano, o que representa uma demanda média firme por energia da ordem de 260,10MW para a concessionária e 305,88MW para o parque gerador. Mas, como essa é uma hipótese muito remota, a realidade mostra que a energia efetivamente consumida pelos refrigeradores é de aproximadamente 2395,31GWh/ano, ou seja, 5,13% superior.

Isso faz com que haja uma demanda média firme instalada “virtualmente a mais” de 13,34MW (concessionária) e 15,69MW (geração), onerando o sistema elétrico, lesando a sociedade por conta da necessidade de maiores investimentos no parque gerador e principalmente prejudicando os consumidores residenciais dessa região, que pagam pelo fornecimento de energia e não recebem um serviço de qualidade no que diz respeito à tensão.

IMPACTOS AO CONSUMIDOR

O uso do refrigerador elétrico em redes inadequadas aumenta seu consumo de energia e provoca demanda por novos investimentos no sistema elétrico. Considerando que atualmente no setor residencial existem diversos degraus tarifários e que, quanto menor o consumo, menor o valor por kWh pago, é de concluir que existe uma espécie de compensação, em que supõe-se que os consumidores de classes econômicas mais baixas consumam menores quantidades de energia e, conseqüentemente paguem menos (tarifa de baixa renda). As tarifas praticadas pela concessionária Eletropaulo Metropolitana foram definidas em 2 de julho de 2001 pela resolução número 254 da ANEEL e eqüivalem a R\$0,07362/kWh (US\$0,03080/kWh) para consumo mensal de até 30kWh, R\$0,12618/kWh (US\$0,05279/kWh) para consumo mensal entre 31 e 100kWh, R\$0,18928/kWh (US\$0,07920/kWh) para consumo mensal entre 101 e 200kWh e R\$0,21031/kWh (US\$0,0880/kWh) para consumo mensal superior a 200kWh.

Será desconsiderada a tarifa de consumo de até 30kWh/mês, visto que o refrigerador padrão desse estudo consome mensalmente 45,9kWh. Assim, os custos adicionais impostos às residências para a operação do refrigerador elétrico em tensões inadequadas são mostrados na tabela a seguir para os três tipos restantes de tarifas.

Tabela - 40 Custo anual para cada consumidor operar seu refrigerador em nível de tensão inadequado

Nível de Tensão	Desperdício aproximado de Energia	Tarifa	Custo ao Consumidor *
120V	18,25kWh/ano	R\$0,12618/kWh	R\$3,07/ano → US\$1,28/ano
		R\$0,18928/kWh	R\$4,60/ano → US\$1,92/ano
		R\$0,21031/kWh	R\$5,12/ano → US\$2,14/ano
115V	32,85kWh/ano	R\$0,12618/kWh	R\$5,53/ano → US\$2,31/ano
		R\$0,18928/kWh	R\$8,29/ano → US\$3,47/ano
		R\$0,21031/kWh	R\$9,21/ano → US\$3,85/ano

Fonte: Autoria própria.

Conforme mostram os resultados da tabela 40, os custos adicionais incorridos pelos consumidores residenciais de energia para a operação de um refrigerador em área com rede de 120V podem estar entre R\$3,07 e R\$5,12 por ano. Já para o funcionamento do mesmo refrigerador em área servida por rede de 115V os custos adicionais para cada consumidor residencial podem ser de R\$5,53 até R\$9,21 por ano dependendo do tipo de tarifa.

Segundo o Sr. Antoninho Borghi, vice presidente da Eletropaulo Metropolitana e membro da Câmara de Gestão da Crise de Energia, os níveis de tensão abaixo de 127V são imperceptíveis aos consumidores e fazem com que os aparelhos consumam menos

(Folha de São Paulo, 26/06/2001). Raciocínio impecável se aplicado à lâmpadas incandescentes (desde que o usuário não promova substituição por uma lâmpada mais potente), entretanto, se aplicado à motores de indução (caso do compressor do refrigerador) torna-se nulo.

No caso das lâmpadas incandescentes, a instalação de uma lâmpada qualquer na rede de 115V causa uma perda de 28% em seu fluxo luminoso. Uma lâmpada de 60W (820lm em 127V), por exemplo, terá sua luminosidade semelhante à de uma lâmpada de 40W quando submetida à tensão de 115V (580lm), induzindo o consumidor a utilizar lâmpadas de potência mais elevada para manter a mesma sensação de conforto (PAGAN, 1998). Isto tem como resultado um acréscimo na potência e na energia demandadas!

Retornando aos refrigeradores, pode até ser que, individualmente, o consumidor não sinta diferença no desempenho de seu aparelho refrigerador, pois, afinal de contas um custo médio entre R\$3,07 e R\$9,21 amortizado em doze meses é mesmo imperceptível, mas e em toda área da grande São Paulo com aproximadamente 4 milhões de refrigeradores elétricos, o que ocorre?

Veja o tamanho do estrago: segundo a Comissão de Serviços Públicos de Energia (CSPE, 2000), metade das residências da grande São Paulo paga tarifas de baixa renda (tarifas de R\$0,12618/kWh e R\$0,18928/kWh) enquanto a outra metade paga tarifa normal de R\$0,21031/kWh, dessa forma, para efeito de cálculo, elabora-se uma tarifa média resultante da composição proporcional de todas as tarifas praticadas, assim, tem-se o valor de R\$0,18402/kWh. Então, como na área da grande São Paulo o desperdício global de energia por conta da má qualidade da tensão que alimenta os refrigeradores é da ordem de 116,83GWh/ano, a empresa concessionária de energia nessa área (Eletropaulo Metropolitana), tem uma receita garantida da ordem de R\$21.499.056,60 por ano (ou US\$8.995.421,17 em cotação de US\$1 = R\$2,39 observada no dia 4/07/2001).

IMPACTOS À SOCIEDADE

Conforme pautado anteriormente, analisando-se individualmente cada residência, os valores de acréscimo anual no consumo dos refrigeradores parecem quantias irrisórias, porém no global são significativos.

Funcionando em níveis de tensão inadequados, somente os refrigeradores da grande São Paulo consumirão anualmente 116,83GWh além da energia nominal necessária à sua operação normal; energia suficiente para sustentar durante um ano todo

idades do porte de Jaboticabal (113,27GWh/ano) ou Ubatuba (115,93GWh/ano) ou quem sabe até, suprir a grandiosa Pradópolis (17,82GWh/ano) por um período de quase seis anos e meio (SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2001).

Esse montante de energia equivale a uma potência média demandada “virtualmente” a mais de aproximadamente 13,34MW para a rede de distribuição e 15,69MW para o parque gerador. Observando-se o sistema de suprimento de energia elétrica do estado de São Paulo, tem-se que essa demanda “virtual” de energia supera a potência firme instalada das seguintes usinas da EMAE: Bocaina (0,40MW), Isabel (0,60MW), Porto Goes (4,00MW), Rasgão (5,00MW), Salesópolis (1,40MW) e Sodre (0,40MW), que juntas fornecem energia firme de 11,80MW médios (ELETROBRÁS, 1998). A EMAE (EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA S.A) é detentora e operadora do sistema hidráulico e gerador de energia elétrica, localizado na Região Metropolitana de São Paulo, Médio Tietê e Vale do Rio Paraíba do Sul, fruto da cisão da Eletropaulo, em janeiro de 1998.

Cumpra lembrar também que o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) consumiu durante o ano de 1998 aproximadamente US\$145 milhões em recursos para efetuar suas ações, que resultaram na redução de desperdícios de energia elétrica da ordem de 1909GWh (ELETROBRÁS, 2001). Fazendo uma analogia à situação da grande São Paulo, nota-se que os 116,83GWh desperdiçados anualmente com a operação de refrigeradores em níveis de tensões incoerentes com a Legislação levam à “queima” de aproximadamente 6,12% de todo o montante de energia poupado pelo PROCEL no território nacional, o que equivale ao desaparecimento da “módica” quantia de US\$9 milhões investidos pelos cofres públicos na conservação de energia.

Como se isso não bastasse, o custo para a sociedade gerar um único kW a mais no sistema elétrico para suprir essa demanda é de US\$2000 para empreendimentos em usinas hidrelétricas e de US\$400 para empreendimentos em usinas térmicas a gás natural (TANABE & OLIVEIRA, 1999), sem contar os ônus maiores causados por problemas como inundações, poluição e segurança, para os quais não existem soluções mágicas.

IMPACTOS À CONCESSIONÁRIA

Pode ser que a concessionária Eletropaulo Metropolitana não tenha interesse algum em promover melhorias em sua rede de distribuição para que esta torne-se adequada aos padrões determinados pelo Decreto nº97.280/1988 pois assim deixaria de vender seus “garantidos” 116,83GWh anuais, renunciando a uma receita aproximada de R\$21.499.056,60 ou US\$8.995.421,17 em cotação de 4/07/2001 (US\$1 = R\$2,39).

Mas, seguindo a linha de raciocínio do “staff” da AES Corporation, de Arlington no estado de Virginia - EUA, para quem a Eletropaulo necessita prestar contas, considera-se a hipótese que toda a rede de distribuição da grande São Paulo esteja em conformidade com a legislação, ou seja, todos os consumidores residenciais atendidos por redes de 127V.

Assim, só pelo fato do refrigerador elétrico funcionar em nível adequado de tensão, haveria uma potência “excedente” ou “folga” na demanda de 13,34MW médios no sistema de distribuição, que poderia ser comercializada pela Eletropaulo junto ao MAE (Mercado Atacadista de Energia). Tomando-se o preço médio de comercialização de R\$648,00/MWh praticado no Mercado em 4 de julho de 2001 (ASMAE, 2001), a Eletropaulo ao vender essa energia durante um ano faturaria R\$75.705.840 ou quase quatro vezes mais do que arrecadaria vendendo a mesma energia aos consumidores residenciais.

Esse pequeno exemplo tem o intuito de mostrar que todo o conjunto (consumidor – sociedade - concessionária) pode lucrar com a melhoria das condições da rede de distribuição de energia. Os consumidores lucram porque ao receberem energia de boa qualidade melhora o desempenho de seus aparelhos eletrodomésticos, as concessionárias lucram pois podem comercializar seus excedentes da melhor forma possível no MAE e a sociedade como um todo lucra pois adia-se a necessidade de novos empreendimentos de geração de energia, muitas vezes danosos ao meio ambiente, à saúde da população e à economia do país.

CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES

Este trabalho não existiria se todo o sistema brasileiro de distribuição de energia elétrica em baixa tensão estivesse em concordância com o padrão de 127/220V (trifásico) e 127/254V (monofásico) estabelecido pelo Decreto nº 97.280 de 16 de dezembro 1988. No entanto, doze anos após esse Decreto, cerca de 12% dos domicílios brasileiros recebem energia elétrica com níveis inadequados de tensão. Na região metropolitana da grande São Paulo, onde existe a maior rede urbana de distribuição de energia elétrica da América Latina, essa situação é mais grave já que 90% dos consumidores residenciais dessa área são atendidos por redes elétricas com tensões de 115V e 120V.

A tensão é um índice de qualidade no fornecimento de energia. Então, ao pensar-se na conservação e na qualidade da energia, esse é um quadro crítico, visto que a maioria dos eletrodomésticos não apresenta rendimento adequado em uma vasta faixa de tensões de operação.

Mesmo tendo este estudo adotado uma postura muito otimista em relação à robustez dos eletrodomésticos, ao analisar-se somente os impactos causados sobre o consumo anual dos refrigeradores elétricos da grande São Paulo, nota-se que há uma demanda média extra de cerca de 15,69MW, causando um desperdício de energia da ordem de aproximadamente 137,39GWh/ano (efeitos na geração).

Este problema só será resolvido se a concessionária investir em suas redes de distribuição, para que a tensão de fornecimento seja feita nos termos da legislação em vigor. Cabe ressaltar ainda que essa alternativa não tem mão única, pois com a melhora e adequação da rede, não só os consumidores deixarão para trás o ônus da má qualidade da energia elétrica, mas a própria concessionária terá excedentes de energia passíveis de comercialização no mercado "spot". As melhorias na rede de distribuição de energia da grande São Paulo devem ser feitas através da implantação de um número maior de subestações, instalação de mais reguladores de tensão nas linhas, substituição das redes secundárias monofásicas por redes trifásicas mais curtas, utilização de condutores de bitolas maiores, etc.

Em se tratando de expansão da demanda por energia, cabe destacar aqui um aspecto que transcende o problema da questão dos níveis de tensão verificados na grande São Paulo. Esse aspecto trata da eficiência dos refrigeradores comercializados em todo o Brasil.

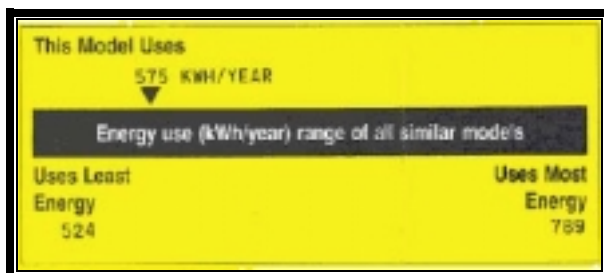
Com base em discussões entre fabricantes e especialistas, a equipe do Procel vem empregando esforços que contribuíram para grandes ganhos em eficiência de refrigeradores durante a última década, através de melhorias no isolamento e uso de compressores herméticos mais eficientes. O consumo de energia de um refrigerador fabricado em 2001 é, por exemplo, 3 vezes menor que o consumo de um refrigerador de mesmo volume fabricado em 1980.

O setor de refrigeração doméstica encontra-se hoje com padrões de eficiência (consumo máximo anual em função do volume do refrigerador) de 0,88 até 2,5kWh/L/ano, muito semelhantes àqueles encontrados na comunidade europeia (MEIER, 1996). Isso é bom, mas pode melhorar, visto que a maioria dos refrigeradores aqui produzidos (tabela 42) não atende aos padrões de qualidade exigidos por outros países, como os EUA, onde a limitação de eficiência está em 1,2kWh/L/ano (AHAM, 2000). Convém lembrar que há no país a tecnologia para a produção de refrigeradores de alto rendimento, pois os modelos mais eficientes manufaturados pela Whirlpool dos EUA utilizam-se de compressores Embraco VCC fabricados em Joinville SC.

A crise energética de 2001 mostrou aos brasileiros que a melhor eletricidade provém da conservação de energia, entretanto não basta que somente os consumidores busquem poupar energia. Do lado da demanda, o investimento das empresas do ramo eletro-eletrônico em tecnologias mais eficientes será muito bem vindo. Nesse contexto é muito oportuno o sancionamento da Lei de Eficiência Energética (Lei nº10.295/2001 – vide anexos), que torna obrigatório a todos os aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no Brasil a comprovação de níveis máximos de consumo e mínimos de eficiência energética de acordo com dados aferidos em laboratórios credenciados (uma etiqueta passará a indicar obrigatoriamente a quantidade de energia necessária para o equipamento funcionar – se esse equipamento não possuir a etiqueta ou não atender os requisitos mínimos de eficiência energética, será retirado do mercado).

Desde 1995, o código de defesa do consumidor exige que cada refrigerador tenha o selo do Procel colado em sua porta no momento da venda. É desejável que este selo torne-se mais informativo. O fato é que o uso de eletricidade varia em todas as categorias de refrigeradores, sendo que em algumas categorias, o melhor modelo chega a usar 25% menos eletricidade que o pior. No âmbito dessa nova Lei de Eficiência energética seria interessante que o selo Procel fosse acrescido de um tópico presente no selo dos EUA (Energy Guide Label), no qual é mostrado também uma comparação entre o modelo que consome menos e o modelo que consome mais energia dentro da mesma categoria (Fig.

71), proporcionando ao consumidor uma visão mais ampla da eficiência dos produtos oferecidos no mercado e sinalizando a aquisição do refrigerador mais eficiente dentro daquela classe de volume.



Fonte: AHAM, 2000.

Figura 71 Item do selo de eficiência energética dos EUA

Por fim, fica a sugestão ao Procel e às agências gestoras do sistema elétrico nacional, para que estimulem e fomentem a participação dos fabricantes, consumidores e setores de ensino e pesquisa no desenvolvimento de novas propostas que tragam a médio e longo prazos, mais economia para todos os setores da vida nacional, além de melhores tecnologias. Propõe-se também a adoção permanente de um programa abrangente de indução à substituição dos refrigeradores domésticos por modelos nota **A** (devidamente certificados), nos moldes daquele implementado em Manaus no ano de 1996, envolvendo descontos e muita publicidade.

Uma política pública nessa direção, proporcionaria ao mesmo tempo elevação da qualidade de vida da população, redução do consumo de energia elétrica, incentivo aos empresários que empregam melhorias técnicas e reforço na consciência de cidadania do povo brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ADMINISTRADOR DO MERCADO ATACADISTA DE ENERGIA – ASMAE. **Cotação de Energia no mercado spot**. Disponível em: www.asmae.com.br. Acesso em 4 jul. 2001.
- [02] ALISSI, M., S.; RAMADHYANI, S.; SCHOENHALS, R. J. Effects of ambient temperature, ambient humidity, and doors openings on energy consumption of a household refrigerator-freezer. **Ashrae Transactions**, 94(2), Sep 1988.
- [03] ALMEIDA, M. S. V. **Modelamento matemático de um sistema de refrigeração por compressão em regime permanente, com análise de dois tipos de controle de temperatura**. Campinas: Publicação FEC, 1982. 176p.
- [04] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. **Handbook: Refrigeration, System and Applications**. Atlanta, Ga, 1990.
- [05] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. **Journal: History of Sealed Refrigeration System**, Atlanta, Ga, 1996.
- [06] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS GRANDES EMPRESAS GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRAGE. **Parque gerador**. Disponível em: <http://www.abrage.com.br/parque.htm>. Acesso em: 20 jan. 2001.
- [07] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADDEE. **Níveis de tensão por estado brasileiro**. Disponível em: http://www.abradee.com.br/nivel_p.htm. Acesso em: 15 dez. 2000.
- [08] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE APARELHOS ELETRODOMÉSTICOS – ELETROS. **Estatísticas: Linha Branca**. Disponível em: <http://www.eletros.org.br>. Acesso em: maio de 2001.
- [09] ASSOCIATION OF HOME APPLIANCE MANUFACTURERS – AHAM. **ANSI/AHAM HRF-1-1988: American national standard on household refrigerators and household freezers**. Chicago, 1988.
- [10] ASSOCIATION OF HOME APPLIANCE MANUFACTURERS – AHAM. **2000- Directory of Certified Refrigerators and Freezers**. Edition nº2. July 2000. Disponível em: www.aham.org. Acesso em 27 ago. 2001.
- [11] BANCO BRASCAN. **Relatório de Acompanhamento da Empresa Brasmotor**. São Paulo: 18 set. 1998.
- [12] CAGE, C. L. Field usage and its impacts on energy consumption of refrigerator/freezers. **Ashrae Transactions**, 101(2), Jun 1995.
- [13] ÇENGEL, Y. A., BOLES, M. A.. **Thermodynamics: an engineering approach**. Boston: McGraw-Hill, 1998. 1010p.
- [14] CENTER FOR THE ANALYSIS AND DISSEMINATION OF DEMONSTRATED ENERGY TECHNOLOGIES – CADDET. **Low energy domestic refrigerator**. Denmark, 1993
- [15] CHILIKIN, M.. **Acionamentos elétricos**. Moscou: Editorial Mir Moscú, 1972. 495p.
- [16] COMISSÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ENERGIA – CSPE. Disponível em: www.cspe.sp.gov.br. Acesso em 15 out. 2000.
- [17] COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ - CPFL. **NT-114: Fornecimento de energia elétrica à residências e edifícios**. Campinas, 1996.
- [18] DEPARTAMENTO DE PATRIMÔNIO HISTÓRICO DA ELETROPAULO. **História & Energia 7. Estatização x Privatização**. São Paulo, 1997. 392p.

- [19] DOSSAT, R. J.. **Princípios de Refrigeração: teoria, prática, exemplos, problemas, soluções**. São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1977. 884p.
- [20] DUNCAN INSTRUMENTS LTD. **TOU Loggers**. Disponível em: <http://www.duncaninstr.com>. Acesso em: 23 mai. 2001.
- [21] ELETROBRÁS. Comitê de Distribuição. **Planejamento de Sistemas de Distribuição**. Coleção Distribuição de Energia Elétrica. Volume 1, 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora Campus LTDA, 1986. 241p.
- [22] ELETROBRÁS. **Plano Decenal de Expansão 1999/2008**. Brasília, 1999
- [23] ELETROBRÁS. PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - PROCEL. **Resultados de 1998**. Disponível em: <http://www.eletrabras.gov.br/procel/1.htm>. Acesso em 4 jul. 2001.
- [24] ELETROPAULO METROPOLITANA. **Conheça a Eletropaulo**. Disponível em: http://www.eletropaulo.com.br/Sub_Topico.cfm?Topico_ID=21. Acesso em: janeiro 2001.
- [25] EMPRESA BRASILEIRA DE COMPRESSORES – EMBRACO. **Tabela de aplicação de compressores**. Joinville: 1996.
- [26] EMPRESA BRASILEIRA DE COMPRESSORES – EMBRACO. **Produtos**. Disponível em: <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos.htm>. Acesso em: maio 2001.
- [27] EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA - EMAE. **A empresa, seus serviços e objetivos**. Disponível em <http://www.emae.sp.gov.br/estrutura/indice.htm>. Acesso em: 20 jan. 2001.
- [28] EUROPEAN COMMITTEE FOR ELETROTECHNICAL STANDARDIZATION – CENELEC. **MEMORANDUM Nº 14**: The recommended marking of the rated voltages of electrical equipment. Bruxelas, 1989
- [29] FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR., C.; KUSKO, A. **Máquinas Elétricas**. 2ª edição. New York: McGraw-Hill, 1972. 623p.
- [30] FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. CONJUNTURA ESTATÍSTICA: **Conjuntura Econômica**. São Paulo: abril 1998.
- [31] GONÇALVES, J. R. **Desempenho de um refrigerador doméstico na rotina caseira**. Publicação FEA, Campinas, 1989. 109p.
- [32] 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.
- [33] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **PNAD**: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 1998. Rio de Janeiro, 1999.
- [34] INSTITUTO DE DESENSOLVIMENTO ESTRATÉGICO DO SETOR ELÉTRICO – ILUMINA. Disponível em: www.ilumina.org.br. Acesso em: abril 2001.
- [35] 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.
- [36] KAO, J. Y.; KELLY, G. E.. Factors Affecting Energy Consumption of Two Refrigerator-Freezers. **Ashrae Transactions**, v.102, Pt. 2, Jul 1996.
- [37] KOSOW, I. L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. São Paulo: Globo, 1988. 667p.
- [38] KRAUSE, P. C. Simulation of Unsymmetrical Induction Machinery. **IEEE Trans. on Power Apparatus**, Vol.PAS-84, No.11, Nov 1965.

- [39] MEIER, A. K.; JANSKY, R. Field performance of residential refrigerators: A comparison with the laboratory test. **Ashrae Transactions**, 99(1), Jul 1993.
- [40] MEIER, A.. United States Leads in Refrigerator Efficiency. **Home Energy Magazine**, Jan./Fev. 1996.
- [41] MULTIBRÁS S.A. – ELETRODOMÉSTICOS. **A empresa**. Disponível em: <http://www.multibras.com.br/empresa.htm>. Acesso em: abril 2001.
- [42] ONG, CHEE-MUN. **Dynamic Simulation of Electric Machinery**. New Jersey: Prentice Hall Inc, 1998. 626p.
- [43] PAGAN, CÉSAR J. B.. Lâmpadas Nacionais Duram Menos e Custam Mais. **Ciência Hoje**. V.24, 1998.p. 70-73.
- [44] 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.
- [45] PORTASIO, J. M. **Manual Prático de Refrigeração: doméstica, comercial, industrial e para automóveis**. Rio de Janeiro: Editora Aurora, 1982. 244p.
- [46] PRATT, R. G.; MILLER, J.D. **The New York power authority's energy-efficient refrigerator program for the New York city housing authority – Saving Evaluated**. New York, 1997. 67p. Research final report. U.S. Department of Energy.
- [47] PROCTOR J. What's wrong with refrigerator energy rating?. **Home Energy**. Jan. 1993.
- [48] RESENDE, E. D. **Técnicas de modelagem, simulação e otimização de processos de refrigeração e congelamento**. Campinas, 2000. 243p. Tese (Doutorado). - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.
- [49] SCHIELLERUP, P. An examination of the effectiveness of the EU minimum standard on cold appliances: the British case. **2001 European Council for an Energy-Efficient Economy - Summer Study – Further than ever from Kyoto? Rethinking energy efficiency can get us there**. Proceedings, v.1, 2001. p. 20-27.
- [50] SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Empresas de Distribuição de Energia Elétrica do Estado de São Paulo**. Disponível em: www.energia.sp.gov.br. Acesso em: 29 nov. 2000.
- [51] SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Consumo e Número de Consumidores por Classe de Consumo e Município no Estado de São Paulo – 1998**. Disponível em: www.energia.sp.gov.br. Acesso em: 11 nov. 2001.
- [52] STOEKER, W. F. **Refrigeration and Air Conditioning**. New York: Mc Graw-Hill,1959.
- [53] TANABE, C. S., OLIVEIRA FILHO, D. Considerações sobre a utilização eficiente da energia nas tarifas de energia elétrica. **III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. Anais, v.1, 1999. p. 13-18.
- [54] TOSHIBA. **Transformadores de Distribuição**. Disponível em: www.toshiba.com.br. Acesso em: jan. 2001.
- [55] VEINOTT, C. G. **Fractional and Subfractional Horsepower Electric Motors**. 3º Edição. New York: Mc Graw-Hill,1970. 475p.
- [56] 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.

[57] YASNAR, D., A. **Repeatability of energy consumption test results for compact refrigerators.** Washington, 2000. 21p. National Institute of Standards and Technology research report - U. S. Department of Commerce.

[58] YIN, C., LESNER, R., MENATH, M., PRITCHETT, T., ENGLAND, K. **Understanding Refrigerators.** Tucson, 1997. 26p. Research Final Report - The University of Arizona.

[59] YUZIK, C., W. **The Complete Handbook of Refrigeration Care.** . New York: Mc Graw-Hill, 1995.

ARTIGOS PUBLICADOS

- Carmeis, D.W.M., Jannuzzi, G.M. "Os efeitos da diversidade de tensões de distribuição no setor elétrico brasileiro. Estudo do caso do refrigerador doméstico", **XVI COBEM – Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**. Anais, (4), 329-338, 2001.

RESUMO:

O decreto nº 97280/1988 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, analisa-se 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 35% do consumo residencial de energia elétrica, assim, demonstra-se 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). Mostra-se também os benefícios possíveis de serem alcançados caso a rede seja realmente uniformizada nas tensões de 127/220V, conforme determinação legal.

- Carmeis, D.W.M., "Os refrigeradores elétricos brasileiros e o uso racional de energia", **IX CBE – Congresso Brasileiro de Energia**. Artigo a ser publicado em maio de 2002 nos anais desse congresso.

RESUMO:

Este artigo traça um panorama da situação dos refrigeradores elétricos existentes no Brasil, mostrando os efeitos de sua inserção no sistema elétrico nacional através de dados de posse, potência média e uso diário. Também expõe tecnologias simples capazes de proporcionar seu funcionamento de maneira mais eficiente além de sugerir que hajam estímulos na direção de oferecer aos cidadãos brasileiros suporte e orientação mais adequada para a aquisição de equipamentos que lhes habilitem a conseguir grandes vantagens energéticas.

São mostradas nesse item as portarias e os decretos citados no texto do trabalho.

DECRETO Nº 97.280, DE 16 DE DEZEMBRO DE 1988

Altera o art. 47, do Decreto nº 41.019, de 26 de fevereiro de 1957, com a redação dada pelo art. 1º, do Decreto nº 73.080, de 05 de novembro de 1973.

O Presidente da República, usando da atribuição que lhe confere o art. 84, inciso IV, da Constituição,
DECRETA:

Art. 1º O inciso III e o § 2º do art. 47 do Decreto nº 41.019, de 26 de fevereiro de 1957, alterado pelo art. 1º do Decreto nº 73.080, e 05 de novembro de 1973, passam a ter a seguinte redação:

"III - Para distribuição secundária de corrente alternada em redes públicas: 380/220 e 220/127 volts, em redes trifásicas; 440/220 e 254/127 volts, em redes monofásicas;

§ 2º Tensões nominais de transmissão e subtransmissão ou distribuição primária diferentes das indicadas neste artigo, somente poderão ser utilizadas em reforço ou extensão de linhas ou redes já existentes, desde que técnica e economicamente justificável.

Art. 2º Ficam acrescentados ao art. 47 do Decreto nº 41.019, de 26 de fevereiro de 1957, alterado pelo art. 1º do Decreto nº 73.080, de 05 de novembro de 1973, os §§ 5º e 6º com a seguinte redação:

"§ 5º A partir de 1º de janeiro de 1990, em ampliação, reforço, melhoria e reforma das redes secundárias de distribuição que envolvam a instalação de transformador, somente poderão ser utilizadas as tensões nominais padronizadas neste Decreto, exceto nos casos de troca de transformadores por avaria ou outras necessidades operacionais, enquadráveis no orçamento de despesas operacionais.

§ 6º As concessionárias poderão optar por planos de implantação diferentes do estabelecido no § 5º, desde que previamente aprovados pelo DNAEE."

Art. 3º Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 4º Revogam-se as disposições em contrário.

JOSE SARNEY

Aureliano Chaves

PORTARIA Nº 4, DE 10 DE JANEIRO DE 1989

O Diretor-Geral do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, no uso de suas atribuições e, Considerando o disposto no Decreto nº 97.280, de 16 de dezembro de 1988, que altera o art. 47 do Decreto nº 41.019, de 26 de fevereiro de 1957, com a redação dada pelo art. 1º do Decreto nº 73.080, de 5 de novembro de 1973; Considerando ser imprescindível para a conceituação de serviço adequado o estabelecimento dos níveis de determinadas tensões de fornecimento de energia elétrica, bem como a definição dos limites de variação de tensões, em geral, a serem observadas pelos concessionários de serviço público de energia elétrica,

RESOLVE:

Art. 1º As alíneas "a" e "b" do inciso II e o § 4º do art. 1º da Portaria nº 47, de 17 de abril de 1978, passam a ter as seguintes redações:

"II -

a) para as Tensões Nominais Secundárias Padronizadas: os constantes dos Quadros I (limites precários) e Quadro II (limites adequados) anexos a esta Portaria;

b) para as Tensões Nominais Secundárias não Padronizadas: os constantes dos Quadros III (limites precários) e Quadro IV (limites adequados) anexos a esta Portaria;

.....

§ 4º Os limites precários (inciso I, alínea "b", nº I, e inciso II, alíneas "a" e "b") só prevalecerão":

.....

Art. 2º Ficam substituídos pelos Quadros: I, II, III e IV anexos a esta Portaria, os Quadros I e II anexos da Portaria DNAEE nº 47, de 17 de abril de 1978.

Art. 3º Esta Portaria entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

GETULIO LAMARTINE DE PAULA FONSECA

DOU 11.01.89

QUADRO II

ANEXO À PORTARIA Nº 4, DE 10 DE JANEIRO DE 1989
DO DIRETOR-GERAL DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE
ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DNAEE

Limites Adequados de Variação de Tensão

Consumidores Atendidos em Tensões Secundárias de Distribuição

TENSÃO NOMINAL (Volt)	LIMITES DE VARIAÇÃO	
	MÍNIMO (Volt)	MÁXIMO (Volt)
Trifásico		
220/127	201/116	229/132
380/220	348/201	396/229
Monofásico		
254/127	232/116	264/132
440/220	402/201	458/229

PORTARIA Nº 47, DE 17 DE ABRIL DE 1978

O Diretor-Geral do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, no uso de suas atribuições, tendo em vista a competência legal deste Departamento para resolver sobre as condições técnicas e a qualidade do serviço de energia elétrica; e

Considerando ser imprescindível para a conceituação de serviço adequado o estabelecimento dos níveis de determinadas tensões de fornecimento de energia elétrica, bem como a definição dos limites de variação das tensões, em geral, a serem observados pelos concessionários de serviços públicos de eletricidade;

RESOLVE:

Art. 1º O concessionário de serviço público de energia elétrica deve observar, quanto às tensões de fornecimento a seus consumidores, os seguintes critérios:

I – quando o atendimento for feito em tensão de transmissão, subtransmissão ou primária de distribuição:

a) a tensão de fornecimento no ponto de entrega de energia pode ser fixada em $\pm 5\%$ (mais ou menos cinco por cento) em relação à tensão nominal dos sistema;

b) os limites de variação da tensão de fornecimento no ponto da entrega de energia são os seguintes:

“1 – até 30 de junho de 1982: $+5\%$ (mais cinco por cento) e -10% (menos dez por cento), entendido este último como limite precário;”

* Prazo alterado pela portaria DNAEE nº 50, de 12.06.81.

“2 – após 1º de julho de 1981: $+5\%$ (mais cinco por cento) e $-7,5\%$ (menos sete e meio por cento), entendido estes como limites adequados”

* Prazo alterado pela portaria DNAEE nº 87, de 01.08.80.

II – quando o atendimento for feito em tensão secundária de distribuição, os limites de variação da tensão de fornecimento no ponto de entrega de energia são os seguintes:

“a) para as Tensões Nominais Secundárias Padronizadas: os constantes dos Quadros II (limites adequados) anexos a esta Portaria;

*Redação dada pela Portaria DNAEE nº 4, de 10,01,89.

§ 1º Os limites de variação de que trata a alínea “b” do inciso I supra referem-se a tensão fixada nos termos da alínea “a” do mesmo inciso, ou, na falta desta, com relação à tensão nominal do sistema.

§ 2º Os limites de variação de que trata o inciso II supra referem-se à tensão nominal do sistema.

*Redação dada pela Portaria DNAEE nº 4, de 10,01,89.

Art. 2º O concessionário deve verificar a tensão de fornecimento, por processo direto ou indireto:

I – Sempre que solicitado pelo DNAEE, no ponto do sistema, pelo período e no prazo requeridos;

II – Sempre que solicitado por escrito pelo consumidor, no correspondente ponto de entrega de energia, informando-o até 30 dias após o recebimento da solicitação, de resultado apurado;

III – a seu critério, periodicamente.

§ 1º O DNAEE, ou o consumidor, quando de sua solicitação, pode optar pelo emprego apenas de processo direto de verificação.

§ 2º Por processo direto de verificação de tensão entende-se aquele em que se utilize aparelho indicador ou registrador. O concessionário deve dispor dos aparelhos necessários à verificação direta da tensão.

§ 3º Por processo indireto de verificação de tensão entende-se qualquer dos seguintes:

a) estudos analíticos de redes, utilizando ou não computador digital;

b) controle de redes pela aplicação de sistema computacional baseado no modelo estatístico matemático;

c) cálculo da tensão em função da carga, pelos métodos usuais de determinação de quedas de tensão em sistemas elétricos;

d) outros processos adotados pelo concessionário e considerados adequados pelo DNAEE.

Art. 3º Quando, em procedimento de verificação de tensão, forem constatados valores fora dos limites de variação a que se refere o art. 1º, o concessionário deve adotar as providências que se fizerem necessárias para a correção da tensão, ressalvado o disposto no parágrafo 3º deste artigo.

§ 1º Concluídas as providências, deve ser efetuada nova verificação de tensão, cujo resultado será comunicado:

a) ao DNAEE, quando as verificações forem decorrentes de solicitações sua, no prazo por ele fixado para o caso;

b) ao consumidor, quando as verificações forem decorrentes de solicitação sua, no prazo de 90 dias contados da data em que for prestada a informação a que alude o inciso II do art. 2º, salvo autorização específica do DNAEE para adoção de prazo superior, em razão de justificativa apresentada pelo concessionário.

“§ 2º O prazo de que trata a alínea “b” do parágrafo anterior será dilatado para 360 dias, independentemente de autorização do DNAEE, quando em verificação inicial, realizada após 1º de julho de 1981, forem registradas tensões fora dos limites adequados.”

* Prazo alterado pela Portaria DNAEE nº 87, de 01.08.80.

§ 3º Caso, para a correção da tensão, seja necessário aumentar a geração térmica dependente de combustíveis derivados do petróleo, o concessionário deve submeter o assunto à apreciação do DNAEE, para que este resolva sobre o aumento e, se for o caso, fixe prazo específico para sua efetivação.

Art. 4º Quando, em procedimento de verificação de tensão por solicitação do consumidor, forem constatados valores dentro dos limites adequados a que se refere o art. 1º, o concessionário pode cobrar do solicitante o custo do serviço, de acordo com o que for indicado pelo DNAEE.

Art. 5º O concessionário deve organizar registros que indiquem, quanto as solicitações de verificação de tensão formuladas por consumidores, os seguintes dados:

I – data da solicitação;

II – ocorrências que determinaram a solicitação;

III – resultado da verificação efetuada pelo concessionário;

IV – data da informação do resultado ao consumidor;

V – providências tomadas para correção da tensão, se for o caso;

VI – resultado da verificação efetuada após as providências de que trata o inciso anterior, se for o caso;

VII – data da informação ao consumidor do resultado da verificação de que trata o inciso anterior, se for o caso;

Parágrafo único. Os dados a que se refere este artigo devem ser mantidos nos registros por doze meses a contar da data que alude o inciso IV supra, ou, se for o caso, da data a que alude o inciso VII supra.

Art. 6º As disposições da presente Portaria não se aplicam em casos de:

I – variações momentâneas da tensão, ocasionadas pelos defeitos, manobras, alterações bruscas de carga ou perturbações similares;

II – venda de energia em grosso para fins de revenda.

Art. 7º Os casos omissos e eventuais dúvidas relativas a execução do dispositivo nesta Portaria devem ser submetidos à apreciação da Divisão de Controle de Serviços de Eletricidade do DNAEE.

Art. 8º Esta Portaria entrará em vigor 180 dias após a data de sua publicação.

LUIZ CARLOS MENEZES

Diretor-Geral

DOU 26.04.78

- V. Portaria DNAEE nº 4, de 10.01.89.

LEI Nº 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001

Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA

Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Art. 1º A Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia visa a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente.

Art. 2º O Poder Executivo estabelecerá níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes.

§ 1º Os níveis a que se refere o caput serão estabelecidos com base em valores técnica e economicamente viáveis, considerando a vida útil das máquinas e aparelhos consumidores de energia.

§ 2º Em até 1 (um) ano a partir da publicação destes níveis, será estabelecido um Programa de Metas para sua progressiva evolução.

Art. 3º Os fabricantes e os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, constantes da regulamentação específica estabelecida para cada tipo de máquina e aparelho.

§ 1º Os importadores devem comprovar o atendimento aos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, durante o processo de importação.

§ 2º As máquinas e aparelhos consumidores de energia encontrados no mercado sem as especificações legais, quando da vigência da regulamentação específica, deverão ser recolhidos, no prazo máximo de 30 (trinta) dias, pelos respectivos fabricantes e importadores.

§ 3º Findo o prazo fixado no § 2, os fabricantes e importadores estarão sujeitos às multas por unidade, a serem estabelecidas em regulamento, de até 100% (cem por cento) do preço de venda por eles praticados.

Art. 4º O Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País.

Art. 5º Previamente ao estabelecimento dos indicadores de consumo específico de energia, ou de eficiência energética, de que trata esta Lei, deverão ser ouvidas em audiência pública, com divulgação antecipada das propostas, entidades representativas de fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia, projetistas e construtores de edificações, consumidores, instituições de ensino e pesquisa e demais entidades interessadas.

Art. 6º Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 17 de outubro de 2001; 180º da Independência e 113º da República.

FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

José Jorge

Pedro Parente

APÊNDICE 2 - OS NÍVEIS DE TENSÃO EFETIVAMENTE DISPONÍVEIS À POPULAÇÃO BRASILEIRA

Conforme a própria Associação Brasileira dos Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) admite, no país ainda não existe uma unidade quanto aos padrões de tensão de distribuição estabelecidos pela atual legislação. A tabela abaixo mostra todos os estados da federação, os padrões de tensão legais e as cidades que, dentro de cada estado, ainda continuam a utilizar, em seus sistemas de distribuição de energia elétrica para consumidores residenciais, tensões em níveis inadequados ou tensões fora do padrão adotado pelo estado.

Tabela - 41 Níveis de Tensão Secundária por Estado

Estado	Tensão (V)	Exceções: Municípios - Tensões
Acre	220/127	-
Alagoas	380/220	-
Amapá	220/127	-
Amazonas	220/127	Castanhal; Currallinho; Melgado; Muana e Oeiras do Pará - 120 V
Bahia	380/220	Aiquara; Alagoinhas; Almadina; Antas; Antônio Cardoso; Aratuípe; Aurélio Leal; Barra do Rocha; Governador Lomanto Jr.; Belmonte; Bom Jesus da Lapa; Boquira; Brejões; Buerarema; Cacoahaeira; Camaçari; Canavieiras; Candeias; Castro Alves; Catú; Cipó; Conceição da Feira; Conceição do Almeida; Copnceição do Jacuibe; Coração de Maria; Coronel João Sá; Correntina; Cravolândia; Cruz das Almas; Dário Meira; Firmino Alves; Floresta Azul; Gongogi; Governador Mangabeira; Ibicaraí; Ibicui; Ibirapitanga; Ibirataia; Iguai; Ilheus; Ipecaeta; Ipiau; Irará; Itabuna; Itacaré; Itagiba; Itaju do Colonia; Itajuípe; Itanagra; Itaparica; Itape; Itapitanga; Itaquara; Itiruçú; Itororó; Jaborandi; Jaguaquara; Jeremoabo; Jiquirica; Jitauna; Jussari; Lauro de Freitas; Maracas; Maragogipe; Muniz Ferreira; Muritiba; Nazaré; Nova Canaã; Nova Itarana; Ouricangas; Paulo Afonso; Pedrão; Pedro Alexandre; Pojuca; Rafael Jambeiro; Salvador; Santa Cruz da Vitória; Santa Inês; Santanópolis; Santa Terezeinha; Santa Luzia; Santa Maria da Vitória; Santana; Santo Amaro; Santo Antônio de Jesus; Santo Estevão; São Desidério; São Felix; São Felipe; São Francisco do Conde; São Miguel das Matas; Sapeaçu; Sátiro Dias; Serra Preta; Simões Filho; Teodoro Sampaio; Terranova; Ubaíra; Uruçuca; Vera Cruz; Aracás; Cabeceiras do Paraguaçu; Lagedo do Tabocal; Madre de Deus; Novo Triunfo; São José da Vitória; Saubara; Serra do Ramalho; Sítio do Mato; Sítio do Quino; Varzedo - 220/127 V Apauarema; Itatim; Piraí do Norte; São Felix do Coribe - 380/220/127V
Ceará	380/220	-
Distrito Federal	380/220	-
Espírito Santo	220/127	Alegre; Gaçuí - 380/220 V Colatina; Marilândia; Pancas; Santa Tereza; São Gabirel da Palma; Águia Branca; Alto Rio Novo; São Domingos do Norte - 254/220/127V
Goiás	380/220	-
Maranhão	380/220	Alcântara - 220V
Mato Grosso	220/127	Araguaiana; Barra das Garças; Cocalinho - 380/220 V
Mato Grosso do Sul	220/127	-
Minas Gerais	220/127	Além Paraíba; Antônio Dias; Antônio Prado de Minas; Araponga;

		Argirita; Astolfo Dutra; Barão de Monte Alto; Cajuri; Canaã; Catupira; Cataguases; Coimbra; Curvelo; Descoberto; Divinesia; Dom Joaquim; Dona Euzebia; Ervalia; Eugenópolis; Gouvea; Guarani; Guidoal; Guipicema; Itamarati de Minas; Ladainha; Manhumirim; Matipó; Mercês; Mirai; Monte Sião; Muriaé; Palma; Patrocínio de Muriaé; Paula Cândido; Pedra do Anta; Pedra Dourada; Pirapetinga; Piraúba; Presidente Kubitschek; Presidente Soares; Recreio; Rio Novo; Rio Pomba; Rochedo de Minas; Rodeiro; Santa Margarida; Santana de Manhaçú; Santo Antônio do Aventureiro; São Geraldo; São João de Nepomuceno São Miguel da Anta; Senador Firmino; Sericita; Serra Azul de Minas; Silveirania; Simonesia; Tabuleiro; Tocantins; Ubá; Visconde do Rio Branco - 240/220/127/120 V
Pará	220/127	-
Paraíba	380/220	-
Paraná	220/127	Coronel Vívida - 380/254/220/127 V Rio Negro - 380/220 V
Pernambuco	380/220	Fernando de Noronha – 220V
Piauí	380/220	-
Rio de Janeiro	220/127	Barra do Pirai; Barra Mansa; Carmo; Engenheiro Paulo de Frontin; Itaguaí; Mendes; Miguel Pereira; Paracambi; Paraíba do Sul; Pirai, Rio Claro, Rio das Flores, Sapucaia; Trajano de Moraes, Três Rios; Valência; Vassouras; Volta Redonda; Paty do Alferes - 230/220/127/115 V Nova Friburgo - 380/220 V Rio de Janeiro - 380/220/127 V
Rio Grande do Norte	380/220	-
Rio Grande do Sul	380/220	Canoas; Capão da Canoa; Porto Alegre; Rio Grande; Torres; Tramandaí; Arroio do Sal; Imbê; Três Cachoeiras; Três Palmeiras - 220/127 V General Camara; São Leopoldo; Capela de Santana - 380/220/127V
Rondônia	220/127	-
Santa Catarina	380/220	Forquilha – 220 V
São Paulo	220/127	Assis; Bastos; Biritiba-Mirim; Boituva; Bora; Caçapava; Campo Limpo Paulista; Cândido Mota; Caraguatatuba; Cruzália; Echaporá; Florinea; Guarujá; Iacri; Ibirarema; Iepe; Indaiatuba; Iperó; Itupeva; Jambuí; João Ramalho; Jundiá; Louveira; Lutécia; Maracá; Mogi das Cruzes; Oscar Bressane; Palmital; Paraguaçu Paulista; Platina; Porto Feliz; Quatá; Rancharia; Ribeirão do Sul; Rinópolis; Salesópolis; Salto Grande; Santa Branca; São José dos Campos; São Sebastião; Tupã; Varzea Paulista; Vinhedo - 220 V Baurueri; Cajamar; Carapicuíba; Diadema; Embú; Embú-Guaçú; Guarulhos; Itapeirica da Serra; Itapeví; Jandira; Mauá; Osasco; Pirapora do Bom Jesus; Ribeirão Pires; Rio Grande da Serra; Santana de Parnaíba; Santo André; São Bernardo do Campo; São Caetano do Sul; Taboão da Serra - 230/115 V Ilha Bela - 240/120 V Lins; Piratininga; São João da Boa Vista - 380/220/127 V Praia Grande; São Paulo; São Vicente - 230/220/127/115 V
Sergipe	380/220	Itabaiana; Moita Bonita; Neópolis; Pacatuba; Própria; Telha - 380/220/127 V
Tocantins	380/220	Dianópolis – 120 V

Fonte: ABRADÉE, 2001.

APÊNDICE 3 - COMO COMPRAR UM REFRIGERADOR DOMÉSTICO

Levando-se em conta os esforços promovidos no sentido de incrementar o uso eficiente de energia elétrica nas aplicações domésticas, apresenta-se aqui um pequeno conjunto de instruções úteis na aquisição e uso de refrigeradores.

- 1) **Volume do Aparelho** → Duas pessoas equivalem a um refrigerador com volume médio de 250 litros. Para cada pessoa adicional deve-se somar 25 litros na capacidade total desse aparelho. Se a opção de compra recair sobre um refrigerador com freezer, deve-se aumentar o volume do equipamento em questão de 30%. Por exemplo: para uma família com quatro componentes possuir um refrigerador adequado às suas necessidades, deve-se fazer o seguinte cálculo: 250L (duas pessoas) + 50L (duas pessoas adicionais) = aparelho de 300 litros. Se o refrigerador a ser comprado for dotado de freezer, o volume deverá ficar em 390 litros.
- 2) **Modelo** → Refrigeradores com portas paralelas (side-by-side) são piores que os refrigeradores com freezer superior, pois, devido à sua configuração, prejudicam as correntes de convecção e conseqüentemente demandam por mais energia.
- 3) **Acessórios** → Equipamentos instalados na porta do refrigerador, tais como: dispositivos para água gelada, cubos de gelo e gelo picado são supérfluos e podem representar um acréscimo de 20% no consumo de energia em comparação aos modelos sem essas excentricidades.
- 4) **Descongelamento** → Refrigeradores com descongelamento manual gastam aproximadamente 30% menos energia do que refrigeradores com descongelamento automático, os famosos “Frost Free”.
- 5) **Quantidade** → Não é interessante possuir refrigerador e freezer em uma residência. Um refrigerador de grande porte (com freezer) é muito mais eficiente e gasta menos energia do que um refrigerador e um freezer funcionando simultaneamente.
- 6) **Manutenção** → Se o refrigerador precisa de serviços caros de manutenção é mais lucrativo substituí-lo, pois, os modelos mais modernos chegam a ser até 30% mais eficientes do que modelos com idade superior à 5 anos.
- 7) **Selo** → O selo de eficiência do Procel é um ótimo parâmetro para execução de uma boa compra. Refrigeradores com avaliações A e B serão uma excelente aquisição.

A tabela a seguir mostra algumas das opções de compra disponíveis no mercado nacional em dezembro de 2001.

Tabela - 42 Características de alguns dos refrigeradores existentes no mercado

Refrigeradores de 1 porta (127V)					
Marca	Modelo	Volume (L)	Consumo (kWh/mês)	Preço Médio (R\$)	Eficiência (kWh/L/ano)
Bosch	RB-38	367	27,0	779,00	0,88
	RB-31	297	24,5	659,00	0,99
Brastemp	Frost-Free BRO-31	292	46,0	719,00	1,89
CCE	R-31SL	298	30,0	529,00	1,21
Consul	CRA-32	302	26,6	639,00	1,06
	CRA-36	342	31,5	729,00	1,10
	CRC-32A	303	28,8	579,00	1,14
	CRC-24B	213	29,1	469,00	1,64
	CRT-12B Frigobar	115	25,0	449,00	2,61
Continental	RC-27	252	23,7	499,00	1,13
Eletrolux	R-280	263	25,0	565,00	1,14
	R-250	240	24,6	499,00	1,23
Refrigeradores de 2 portas (127V)					
Marca	Modelo	Volume (L)	Consumo (kWh/mês)	Preço (R\$)	Eficiência (kWh/L/ano)
Bosch	RB-46	445	72,6	1168,00	1,96
Brastemp	Duplex BRD-46A	432	56,8	1149,00	1,58
	Frost Free BRM43ABBNA	417	61,6	1749,00	1,77
	Zyrium Frost Free BRG-43	417	62,4	1749,00	1,80
	Frost Free BRM-37	358	63,5	1399,00	2,13
	Triplex Frost Free BRK-42A/BBNA	400	84,0	1799,00	2,52
CCE	Frost Free C-35SL	337	52,5	799,00	1,87
Consul	CRD-39A	362	51,3	999,00	1,70
	Biplex CRD-33	321	46,0	799,00	1,72
Continental	RC-46	446	66,0	979,00	1,78
Eletrolux	Frost Free DFF-44	414	61,8	1699,00	1,79
	Frost Free DFF-40	383	58,1	1490,00	1,82
	Frost Free DFF-37	352	54,5	1499,00	1,86
	DC-440	427	67,4	899,00	1,89
	Side by Side Frost Free SS-680	670	112,0	5690,00	2,01

Fonte: Autoria própria.

- Preço em 6/12/2001
- Cotação do Dólar em 7/12/2001 ⇒ US\$1,00 = R\$2,395

Os modelos anotados em negrito tem avaliação A do Procel.

APÊNDICE 4 - O SOFTWARE PARA SIMULAÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO MONOFÁSICO

O software é material incluso no livro de simulação de máquinas elétricas (ONG, 1998 – pág 214 -258). Este pacote didático vem com um CD contendo os programas necessários às simulações sugeridas pelo texto. Deste CD foi tirado o arquivo S6, utilizado nos ensaios deste trabalho.

Da pasta S6, obtém-se o arquivo Simulink S6.mdl que é o diagrama de blocos do circuito, obtém-se também o arquivo Matlab S6.m que é a descrição dos blocos usados pelo Simulink, obtém-se ainda arquivo M6.M que ajusta os parâmetros da máquina e plota os resultados da simulação (aplicação do modelamento matemático das características de funcionamento do motor de indução) e, finalmente obtém-se o arquivo PSPH.M, que proporciona o ajuste das condições de operação do motor de indução monofásico.

Os programas M6.M e PSPH.M foram sutilmente adaptados para preencher às necessidades do autor, ou seja, as características de conjugado versus velocidade para os motores de indução monofásicos funcionando com tensões desde 104V (limite crítico de partida para um refrigerador elétrico) até 127V (operação normal) passaram a ser plotadas dentro de um mesmo gráfico.

O software, já com as devidas mudanças, deve ser rodado no Matlab da seguinte maneira:

- 1 –Passo 1 (rodar primeiro o M6.M)
- 2 – Passo 2 (rodar o PSPH.M) ⇒ aqui seleciona-se o nível de tensão desejado
- 3 – Passo 3 (plotar os resultados) ⇒ será feito automaticamente ao término do PSPH.M

As alterações efetuadas nos softwares estão anotadas a seguir (em vermelho):

- **M6.M**

Neste software a adaptação foi feita para a apresentação dos gráficos em uma mesma área, usando somente cores distintas para cada nível de tensão aplicado no motor.

```
N=size(wr);  
plot(wr,Tavg,'g-.') => aqui o gráfico será feito na cor verde.  
axis([0 330 0 1.2])  
xlabel('Velocidade do Rotor em rad/seg')  
ylabel('Conjugado em Nm')  
hold on
```

- **PSPH.M**

```
% Parametros do motor de indução monofásico para o Projeto 6 - capítulo 6
```

```
Sb = 170; % Potência Média das Geladeiras  
Prated = 170; % Potência de entrada W  
Vrated = 104; % tensão rms padronizada da rede V  
P = 2; % numero de polos  
frated = 60; % frequencia da rede em Hz  
wb = 2*pi*frated;% frequencia elétrica de base  
we = wb;  
wbm = 2*wb/P; % frequencia mecânica de base  
Tb = Sb/wbm; % torque base  
Zb = Vrated*Vrated/Sb; %impedância base em ohms  
Vm = Vrated*sqrt(2); % magnitude da tensão de fase  
Vb = Vm; % tensão de base  
Tfactor = P/(2*wb); % coeficiente da expressão de torque
```

Os equipamentos Time of Use Smart Loggers são ferramentas de monitoramento projetadas para detectar e gravar os ciclos de LIGA/DESLIGA dos aparelhos testados. Eles podem ser empregados para avaliar retorno de investimento, verificar economia, esclarecer dúvidas sobre o impacto na ponta de consumo, calcular o consumo de energia, avaliar o uso final e verificar a propriedade do gerenciamento dos sistemas de energia. Os dados coletados podem ser enviados para um computador pessoal através da interface serial RS232 para serem analisados através do software Smart Ware. Existem cinco tipos de loggers:

- **Lighting Logger** → dotado de fotocélulas que o possibilita gravar o uso da iluminação;
- **Motor Logger** → possui um sensor magnético para monitorar os campos gerados pelo motor;
- **CT Logger** → funciona como um alicate amperímetro, medindo e gravando toda a corrente drenada pela carga;
- **Occupancy Logger** → constituído por um sensor térmico de deslocamento que o torna capaz de gravar o tempo em que um determinado equipamento foi deixado ligado sem ninguém utilizá-lo (muito empregado para calcular o potencial de conservação de energia em instalações de iluminação);
- **Plug Logger** → monitora o comportamento de cargas simplesmente ao ser inserido em série ao circuito dessas.

Os Plug Loggers são parte fundamental desse estudo e por isso merecem destaque: **PLUG LOGGER**: aparelho utilizados para avaliar o consumo de energia elétrica de qualquer equipamento que utilize a mesma como fonte de energia (é sensibilizado pela passagem de corrente por seu circuito).

No desenvolvimento deste trabalho utilizou-se dois tipos de loggers. São eles:

⇒ **Plug Logger RTC**

É o logger mais simples, registrando apenas o tempo de uso do equipamento avaliado. O tempo de uso aparece em um visor e é dado em fração de horas (com precisão de 6 minutos). A partir do conhecimento do equipamento avaliado, pode se saber o consumo de energia do mesmo multiplicando o tempo de uso pela potência do equipamento. O aparelho apresenta um botão “Reset” para que se possa calibrar (“zerar”) as medições, além de um sensor com o qual pode-se regular a sensibilidade do aparelho.

Nestes testes, os loggers foram ajustados para computar somente a corrente de funcionamento do motor, excluindo a corrente drenada pelas resistências das guarnições e a eventual corrente de funcionamento da lâmpada. Portanto, o registro especifica somente o tempo de funcionamento do compressor hermético.

⇒ - **Plug Logger TOU**

Este tipo de logger registra o tempo de uso de um equipamento e o horário em que se deu a sua utilização, ou seja, quando o aparelho estava ligado ou desligado. Servindo inclusive para uma avaliação do consumo no horário de ponta do sistema elétrico. Os dados armazenados por este logger são transferidos através de um cabo de interface RS232 para o microcomputador, que utiliza um software específico (Smart Ware Software) para apresentar os dados obtidos, permitindo uma análise do consumo, número de horas utilizadas, tempo médio de funcionamento, bem como proporciona a confecção de gráficos e a exportação dos dados para programas específicos de análises estatísticas. O aparelho também apresenta um botão “Reset” para que se possa zerar as medições, além de um sensor com o qual pode-se regular a sensibilidade do aparelho.

⇒ - **O Software Smart Ware**

O Software Smart Ware retira os dados do logger usando a interface serial RS232. Esse software faz uma série de análises e gráficos, muda informações na memória do logger, além de exportar os dados para outros aplicativos. O software apresenta as seguintes características:

- Gráficos de tempo de ligação do equipamento analisado;
- Resumo e gráfico da operação do equipamento analisado;
- Cálculo do consumo em kWh;
- Gráfico com perfil de carga por dia;
- Resumo estatístico;
- Análise em séries de tempo.