

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA**

**FREQÜÊNCIA E DURAÇÃO DE VIOLAÇÕES DE  
LIMITES DE TENSÃO EM SISTEMAS DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação submetida à  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como parte dos requisitos para a  
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica

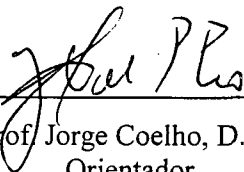
**Ederson Silveira Costa**

Florianópolis, Março de 2001.

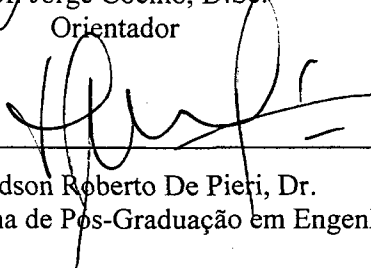
# FREQÜÊNCIA E DURAÇÃO DE VIOLAÇÕES DE LIMITES DE TENSÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Ederson Silveira Costa

‘Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em *Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica*, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.’

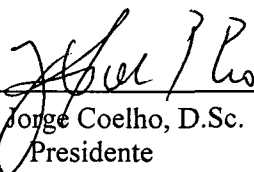


Prof. Jorge Coelho, D.Sc.  
Orientador

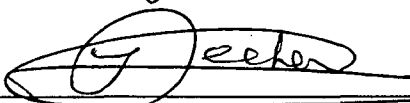


Prof. Edson Roberto De Pieri, Dr.  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

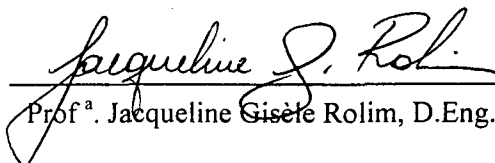
Banca Examinadora:



Prof. Jorge Coelho, D.Sc.  
Presidente



Prof. Ildemar Cassana Decker, D.Sc.



Prof.ª Jacqueline Gisete Rolim, D.Eng.

Aos meus pais, Walter e Lúcia

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Jorge Coelho, pela orientação e dedicação.

Aos professores Ildemar Cassana Decker e Jacqueline Gisèle Rolim pela participação na banca examinadora e pelas contribuições ao trabalho.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, em especial aos professores do LabPlan, Edson Luiz da Silva, C. Celso Brasil Camargo, Geraldo Kindermann e Marciano Morozowski Filho, e ao professor Hans Helmut Zürn, do Labspot, pelos conhecimentos transmitidos ao longo do curso.

À CELESC, em especial ao Ricardo H. Guembarovski, pela atenção e material disponibilizado, indispensáveis para a conclusão deste trabalho.

Ao amigo André Della Rocca Medeiros pela ajuda no desenvolvimento da parte computacional do trabalho e pela disponibilidade do programa SPDIST.

Aos amigos do LabPlan, Keller, Levi, Maurício, Miguel, Adriano, Erlon, João Marco, Agostini, Hugo, Fabíola, Piara, Cinara, Ana Barbara, Fernando, Leandro e Fabiula, e do Labspot, Fábio, Luciano, Antônio e Carlos pelos bons momentos que passamos juntos e pelas amizades que surgiram ao longo do caminho.

Aos amigos Ricardo, Juci, Marcelo, Johanna, Samuel, Fabíola, Andréia, Gelton, Fabiano, Luciana, Raul, Assis, Lidiani, Maria, Daniel, Michelle, Marcelo Maçã e Cristiane, pela eterna amizade.

Aos meus irmãos, Eduardo e Adriano.

Aos funcionários da secretaria do PPGEEL, Wilson e Marcos.

Ao tio Amaro, pela disponibilidade do sítio do Vô Mané Paulo para todas as festas que ocorreram durante o período do mestrado, e por todas as outras que ainda ocorrerão.

À CAPES e ao LabPlan, por viabilizarem materialmente a realização deste trabalho.

A Deus, por tudo.

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

## **FREQÜÊNCIA E DURAÇÃO DE VIOLAÇÕES DE LIMITES DE TENSÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Ederson Silveira Costa**

Março/2001

Orientador: Jorge Coelho.

Área de Concentração: Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica.

Palavras-chave: Distribuição de energia elétrica, Índices de qualidade, Conformidade de tensão, Violações de tensão.

Número de Páginas: 132 (cento e trinta e duas)

Este trabalho aborda o problema da qualidade de serviço nos sistemas de distribuição de energia elétrica. Objetiva o cálculo da frequência e duração das violações de tensão, além da aplicação de uma penalidade às empresas distribuidoras de energia elétrica, quando do não cumprimento dos índices de tensão exigidos pelo órgão regulador. Para tanto utiliza-se um método de conversão consumo – demanda que permite a obtenção das curvas diárias de carga dos transformadores pertencentes ao alimentador sob análise. A partir destas curvas pode-se executar um programa de fluxo de potência para cada hora do dia, obtendo-se assim o perfil da tensão em cada ponto de carga (transformador) do alimentador nas vinte e quatro horas de estudo. De posse destes dados, pode-se verificar a intensidade, frequência e duração das violações de tensão ao longo do dia. Caso sejam verificadas estas violações, aplica-se então uma penalidade baseada no tempo e na intensidade das mesmas. A proposta apresentada mostra-se eficiente, pois apresenta de forma clara às empresas as vantagens de se investir em melhorias em suas redes de distribuição, quando comparado com os recursos despendidos no pagamento das multas referentes às penalizações. Propõe-se que o valor da multa a ser pago pela empresa seja ressarcido aos clientes diretamente afetados pela falta de qualidade, demonstrando-se ser uma proposta socialmente correta.

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

# **FREQUENCY AND DURATION OF VOLTAGE LIMIT VIOLATIONS IN ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEMS**

**Ederson Silveira Costa**

March/2001

Advisor: Jorge Coelho.

Area of Concentration: Electrical Energy Systems Planning.

Keywords: Power distribution, Quality index, Voltage adequacy, Voltage violations.

Number of Pages: 132 (one hundred and thirty two)

This work addresses the problem of service quality in electric power distribution systems. It looks for the calculation of frequency and duration of voltage violations, as well as the imposition of a penalty to the electricity distribution companies, whenever the required levels of voltage defined by the regulator entity are not met. In order to do so, a consumption–demand conversion approach is used, which allows to obtain the daily load curve of the transformers belonging to the feeder being studied. Starting from those curves, a load flow program can be run for every hour over the day and the voltage curve of every load point (transformer), throughout the feeder, can be thus obtained. Having these data, the intensity, frequency and duration of the violations along the day can be assessed. In the case any of those violations takes place, a penalty is imposed, based upon the time and the intensity of such a violation. The proposal presented demonstrates to be efficient, as it presents to utilities in a clear way the advantages of investing in the improvement of the distribution network, when compared to resources spent in payments of fines related to penalties. It is proposed that those customers affected directly from the lack of quality, receive the amount of the fine to be paid by the utility. This proposal appears to be fair to society.

# SUMÁRIO

Resumo .....	v
Abstract .....	vi
Sumário .....	vii
Lista de Tabelas .....	x
Lista de Figuras .....	xi
Lista de Abreviaturas .....	xii
1 – Introdução .....	1
1.1 – Objetivos do Trabalho .....	3
1.2 – Estrutura da Dissertação .....	4
2 – Revisão Bibliográfica .....	6
2.1 – Introdução .....	6
2.2 – Definições .....	6
2.3 – O Setor Elétrico Brasileiro .....	9
2.4 – Índices de Qualidade .....	10
2.4.1 – Índices Atualmente Exigidos pelo Órgão Regulador .....	10
2.4.2 – Índices Propostos na Bibliografia .....	14
2.4.3 – Índices Adotados em Outros Países .....	17
2.5 – Monitoração da Qualidade da Energia .....	19
2.6 – Fenômenos Relacionados com a Onda de Tensão .....	21
2.7 – Investimentos para a Melhoria dos Índices de Qualidade .....	22
2.8 – Estudos Sobre Curvas de Carga .....	23
2.9 – Conclusões .....	24
3 – Modelo Proposto para a Avaliação da Frequência e Duração das Violações de Tensão .....	26

3.1 – Introdução .....	26
3.2 – Passo 1: A Conversão Consumo – Demanda .....	27
3.2.1 – Tipos de Classes de Consumidores .....	28
3.2.2 – Curva de Carga Diária .....	29
3.2.3 – Função Fator de Carga x Número de Consumidores .....	29
3.2.4 – Fator de Potência .....	31
3.2.5 – Programa .....	31
3.3 – Passos 2 e 3: O Fluxo de Potência para Sistemas de Distribuição e os Níveis de Tensão .....	34
3.3.1 – O Programa Utilizado .....	34
3.3.2 – Fator de Multiplicação de Carga .....	35
3.4 – Passo 4: Cálculo dos Índices de Violação de Tensão .....	36
3.4.1 – Índices Globais de Frequência e Duração das Violações de Tensão .....	37
3.4.2 – Índices Individuais de Frequência e Duração das Violações de Tensão .....	39
3.5 – Passo 5: Cálculo da Penalidade .....	41
3.5.1 – Expressão para o Cálculo da Penalidade .....	41
3.5.2 – Divisão dos Recursos Obtidos com a Cobrança da Penalidade .....	44
3.6 – Conclusões .....	45
4 – Aplicação do Modelo e Análise dos Resultados .....	47
4.1 – Introdução .....	47
4.2 – Sistema Teste .....	47
4.3 – O Programa de Conversão Consumo – Demanda .....	48
4.4 – Determinação das Violações de Tensão .....	57
4.5 – Cálculo dos Índices de Qualidade de Tensão .....	61
4.6 – Cálculo da Penalidade .....	67
4.7 – Conclusões .....	73
5 – Conclusões e Sugestões .....	75
5.1 – Contribuições do Trabalho .....	77
5.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros .....	77



Anexo 1 – Curvas Diárias de Carga Típicas .....	79
Anexo 2 – Instruções para Preenchimento do Arquivo de Entrada de Dados do Programa de Conversão Consumo – Demanda .....	86
Anexo 3 – Arquivo de Saída Típico do Programa de Fluxo de Potência Utilizado .....	89
Anexo 4 – Dados Gerais de Consumo e Consumidores dos Transformadores Analisados .....	100
Anexo 5 – Dados de Saída do Programa de Conversão Consumo – Demanda .....	110
Anexo 6 – Queda de Tensão Diária por Ponto para o Caso 1 (FMC = 1,27) .....	114
Anexo 7 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso 2 (FMC = 1,35) .....	121
Referências Bibliográficas .....	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de Variação da Tensão de Fornecimento .....	13
Tabela 2 – Limites de Distorção Harmônica Total e Individual [12] .....	16
Tabela 3 – Níveis de Referência para Distorção Harmônica de Tensão.....	18
Tabela 4 – Parâmetros A e B para Cálculo do Fator de Carga (Curitiba) .....	30
Tabela 5 – Dados Típicos dos Transformadores para a Conversão Consumo – Demanda .....	50
Tabela 6 – Parâmetros A e B Adotados em Joinville e em Curitiba .....	52
Tabela 7 – Dados de Saída do programa de Conversão Consumo – Demanda .....	54
Tabela 8 – Distribuição da Hora de Máxima Demanda nos Transformadores do Alimentador JVQ-03 .....	56
Tabela 9 – Dados Gerais do Alimentador JVQ-03 .....	57
Tabela 10 – Queda de Tensão Percentual por Ponto do Alimentador a Cada Hora para o Caso 1 .....	58
Tabela 11 – Queda de Tensão Percentual por Ponto do Alimentador a Cada Hora para o Caso 2 .....	59
Tabela 12 – Dados Gerais dos Transformadores com Violação de Tensão – Caso 1 .....	61
Tabela 13 – Quadro Resumo dos Índices de Qualidade – Caso 1 .....	64
Tabela 14 – Dados Gerais dos Transformadores com Violação de Tensão – Caso 2 .....	65
Tabela 15 – Quadro Resumo dos Índices de Qualidade – Caso 2 .....	67
Tabela 16 – Penalidade Mensal por Transformador e Penalidade Total do Alimentador .....	71

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma Principal da Metodologia Proposta .....	27
Figura 2 – Fluxograma da Conversão Consumo – Demanda Proposto em [8] .....	32
Figura 3 – Curva $K \times \Delta V$ .....	43
Figura 4 – Diagrama Unifilar Simplificado do Alimentador JVQ-03 com Pontos de Carga .....	49
Figura 5 – Dispersão Percentual dos Valores Obtidos no Programa em Relação aos Valores Fornecidos pela CELESC .....	53
Figura 6 – Curva Diária de carga do Transformador 001 .....	54
Figura 7 – Curva Diária de carga do Transformador 002 .....	55
Figura 8 – Curva Diária de carga do Transformador 003 .....	55
Figura 9 – Detalhe do Ponto de Instalação do Banco de Reguladores .....	68
Figura 10 – Curva para Obtenção do fator $K(\Delta V_{m\acute{a}x})$ .....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica.
DNAEE	- Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (extinto).
GCOI	- Grupo Coordenador para Operação Interligada (extinto).
MAE	- Mercado Atacadista de Energia.
ONS	- Operador Nacional do Sistema Elétrico.
IEC	- International Electrotechnical Commission.
IEEE	- Institute of Electrical and Electronics Engineers.
CIGRE	- Conseil International des Grands Réseaux Électriques.
Escelsa	- Espírito Santo Centrais Elétricas.
CELESC	- Centrais Elétricas de Santa Catarina.
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia.
FMC	- Fator de Multiplicação de Carga.
lim.	- Limite
crit.	- Crítico.
R	- Banco de Reguladores de Tensão.
kWh	- kilowatts hora.
MWh	- Megawatts hora
kVA	- kilovolt-ampère.
MVA	- Megavolt-ampère.
kW	- kilowatts.
kVAr	- kilovolt-ampère reativo.
A	- Ampère.

## **1. INTRODUÇÃO**

A qualidade de serviço nos sistemas elétricos de distribuição, dado às modificações ocorridas no setor elétrico brasileiro e mundial, teve seu grau de importância aumentado nos últimos anos. A qualidade é uma preocupação de todos os agentes do setor, os clientes manifestam sua sensibilidade e demandam melhores níveis de qualidade; fabricantes de equipamentos necessitam de normas que especifiquem os níveis de imunidade dos equipamentos que fabricam; as empresas distribuidoras necessitam de um sinal para investir em operação, manutenção e qualidade, além de precisarem monitorar os clientes cujas cargas provocam perturbações no sistema. Devem existir regras e limites claros que possibilitem um nível adequado de qualidade [1].

Pode-se analisar a qualidade nos sistemas elétricos de distribuição perante três aspectos: Continuidade, Conformidade e Atenção Comercial [2]. A Continuidade está relacionada com o fornecimento sem interrupções da energia elétrica, onde são abordados aspectos relacionados ao tempo e frequência das interrupções. A Conformidade está relacionada com a forma de onda entregue ao consumidor, nível de tensão, desequilíbrio de fases, distorções na forma de onda e interferências nos sistemas de comunicação. A Atenção Comercial engloba todos os aspectos relacionados ao relacionamento da empresa com o cliente; são analisadas reclamações de consumidores, questões de faturamento, atenção ao consumidor, além de outros temas afins.

Quando apareceram as primeiras regulamentações, referentes a qualidade no setor elétrico, dava-se uma especial atenção à continuidade, porém, com a sofisticação do mercado consumidor, tem-se exigido padrões cada vez mais elevados e específicos relacionados a todos os aspectos da qualidade. Os consumidores exigem não só um produto com fornecimento sem interrupções, mas também uma energia com tensão e frequência sem distorções e flutuações, além de, na ocorrência de quaisquer problemas de

ordem técnica ou comercial, um atendimento eficiente por parte da empresa, de modo a sanar eventuais problemas da forma mais rápida e eficiente possível.

No último ano, no Brasil, houve uma evolução na cobrança de índices de qualidade relacionados à continuidade, onde passaram a ser exigidos além de índices gerais para os conjuntos das concessionárias, índices individuais para cada consumidor referente à duração e à frequência das interrupções no fornecimento da energia elétrica. Estas modificações foram introduzidas em janeiro de 2000, quando a ANEEL publicou a Resolução 024/2000 [3], que veio a substituir a Portaria 046 de abril de 1978 do DNAEE.

Por outro lado, deve-se também observar a existência de limites de tensão e limites para a injeção de harmônicas de tensão e corrente no sistema, tanto por parte da concessionária, quanto por parte dos consumidores. Outros aspectos como perturbações de curta duração (*Sag* e *Swell*), flutuações de tensão (cintilação ou *flicker*) e desequilíbrio de tensão [1, 4, 5, 6] também devem ser estudados e propostos índices que garantam o fornecimento de uma onda de tensão senoidal adequada.

Nesta dissertação os estudos estão concentrados na análise da conformidade, analisando aspectos relacionados com os níveis de tensão. Assim, como observou-se uma modernização na legislação referente à continuidade, espera-se que o órgão regulador publique uma resolução em substituição à Portaria 047 de abril de 1978 do DNAEE [7]. Nesta portaria são determinados apenas os níveis máximos e mínimos da tensão de fornecimento; a portaria não prevê a cobrança de índices de qualidade relacionados à frequência e à duração das violações de tensão, tampouco a cobrança de penalidades para estas violações. Deste modo, um campo novo está aberto para pesquisas que venham a contribuir para a regulamentação destes aspectos.

Por exemplo, quando for observado, pelo órgão regulador, o não cumprimento dos índices de qualidade deve-se aplicar uma penalidade à empresa distribuidora. Esta penalização deve ser maior que os custos necessários para a compra de novos equipamentos, de modo que a empresa seja estimulada a realizar obras que proporcionem o retorno do sistema aos patamares adequados de fornecimento.

Para se analisar os aspectos de frequência e duração das violações de tensão, deve-se determinar os intervalos de tempo durante os quais os consumidores estão submetidos a estas violações, utilizando-se, por exemplo, curvas diárias de carga dos transformadores, os quais representam os pontos de carga do alimentador a ser analisado. Esta curva diária de carga pode ser obtida por medição ou por métodos indiretos. Ao se dividir a curva de carga em “n” intervalos de tempo diários, determinando-se a demanda do transformador para cada intervalo, pode-se executar um programa de fluxo de potência “n” vezes e obter os níveis de tensão no ponto de carga ao longo de todo o dia. Analisando-se estes dados obtém-se os intervalos de tempo onde os limites especificados pelo órgão regulador com relação aos níveis de tensão não estão sendo respeitados. Além do tempo de violação, obtém-se também a intensidade da ultrapassagem dos limites legais, dados estes necessários para o cálculo dos índices de qualidade e das penalidades propostas por esta dissertação.

### **1.1. Objetivos do Trabalho**

O objetivo principal da dissertação é a proposta de uma metodologia que possibilite a identificação dos trechos dos alimentadores com maior probabilidade de se verificar violação dos limites de tensão propostos pelo órgão regulador.

Objetivos específicos:

- Estudar métodos de conversão consumo – demanda que possibilitem a determinação das curvas diárias de carga dos transformadores de distribuição (em kVA ou MVA) através dos dados referentes ao consumo médio mensal (em kWh ou MWh) e classes de consumidores, obtidos dos cadastros de faturamento das concessionárias;
- Aplicar programas de fluxo de potência para a identificação dos pontos de carga, para um alimentador em estudo, que apresentem problemas de violação de tensão, bem como o tempo ao qual os consumidores conectados a estes

pontos estão submetidos a esta situação adversa (cálculo da frequência e duração da violação de tensão);

- Estudar os índices de qualidade existentes referentes à conformidade, verificar a aplicação destes índices e propor índices complementares para a determinação da qualidade da forma de onda de tensão entregue pela concessionária a seus clientes.

## **1.2. Estrutura da Dissertação**

O trabalho está organizado em cinco capítulos.

O capítulo dois apresenta uma revisão bibliográfica onde se apresentam os índices de qualidade exigidos no Brasil e em outros países, estuda-se a legislação vigente e vários artigos que apresentam propostas de cobrança de novos índices de qualidade relacionados com a conformidade. Apresentam-se algumas propostas para solucionar os problemas relacionados à queda de tensão em alimentadores, estudos de curvas típicas de carga e métodos para obtê-las.

No capítulo três apresenta-se a metodologia proposta para a aplicação de uma penalização às empresas distribuidoras de energia elétrica, quando houver problemas de violação dos níveis exigidos de qualidade da forma de onda da tensão. Apresenta-se o método de conversão consumo – demanda utilizado, o programa de fluxo de potência adotado para a obtenção dos pontos críticos do sistema, os índices de qualidade estudados e uma proposta de cálculo do valor da penalidade imposta às concessionárias.

No capítulo quatro apresenta-se uma aplicação da metodologia proposta, utilizando-se um alimentador teste, que representa parte da rede de distribuição da cidade de Joinville, conforme os procedimentos descritos no capítulo anterior. Obtém-se as curvas diárias de carga dos transformadores do alimentador, executa-se o programa de fluxo de potência para cada hora do dia, determinam-se os pontos com violação de tensão, bem como o tempo das violações para cada ponto. Calculam-se também os índices de qualidade



e a penalidade imposta à concessionária, em caso de violação dos limites determinados pelo órgão regulador.

No capítulo cinco apresentam-se as conclusões gerais do trabalho, salientam-se as contribuições deste trabalho e propõe-se novas linhas de pesquisa relacionadas aos temas abordados nesta dissertação de mestrado.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Introdução**

Com a finalidade de proporcionar uma melhor compreensão do problema abordado nesta dissertação, apresenta-se neste capítulo uma revisão da literatura existente referente às mudanças ocorridas no setor elétrico brasileiro, índices de qualidade exigidos pelo órgão regulador no Brasil, além de índices exigidos em outros países, enfocando-se sempre o problema da conformidade da tensão. Apresentam-se estudos realizados com relação a medidas corretivas e investimentos que venham proporcionar melhorias na qualidade de energia elétrica fornecida pelas concessionárias a seus consumidores.

Apresentam-se também propostas para a obtenção de curvas típicas diárias para as cargas, além de algumas definições básicas relacionadas aos temas tratados nesta dissertação.

### **2.2. Definições**

A seguir são apresentadas definições que auxiliam na compreensão do tema de qualidade da tensão em sistemas elétricos.

#### **Demanda:**

A demanda de uma instalação ou sistema é a carga nos terminais receptores obtida em valor médio num determinado intervalo de tempo. A carga pode ser medida em termos de potência ou intensidade de corrente e expressa em kW, kVA, kVAr ou A. [8]

#### **Demanda Máxima:**

A demanda máxima de uma instalação ou sistema é a maior de todas as demandas que ocorreram durante um período específico de tempo [8].

**Curva de Carga:**

É a representação gráfica da variação da carga em um sistema elétrico durante um determinado período de tempo, normalmente realizado para um período de vinte e quatro horas [9].

**Fator de Demanda:**

Fator de demanda é a relação entre a demanda máxima de um sistema no intervalo de tempo considerado e a potência total instalada. O fator de demanda é um número adimensional, geralmente menor do que um [8].

**Fator de Carga:**

É a razão entre a demanda média e a demanda máxima em um intervalo de tempo especificado. O fator de carga é maior do que zero, menor ou igual a unidade e adimensional [8, 9].

**Fator de Potência:**

É a razão entre a potência ativa e a potência aparente de qualquer instalação. O fator de potência mostra o grau de eficiência do uso de sistemas elétricos. Valores altos de fator de potência (próximos a 1,0) indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto valores baixos evidenciam ineficiência [9].

**Continuidade no Fornecimento:**

A continuidade no fornecimento de energia elétrica está relacionada com a presença ou não de tensão no ponto de conexão com o consumidor [1].

**Conformidade no Fornecimento:**

A conformidade está relacionada com a capacidade do sistema elétrico de fornecer a seus consumidores energia elétrica com tensão e frequência isentas de distorções e flutuações como harmônicas, cintilação, Sag, Swell, etc.[1].

**Sag:**

O Sag de tensão é uma redução do valor eficaz da tensão de curta duração (0,5 ciclos até 60 segundos). Geralmente é causado por falhas (curto-circuito) nas redes de distribuição ou de transmissão [10].

**Swell:**

O Swell é um acréscimo no valor eficaz da tensão de mais de 10% e menos de 80% com duração entre 0,5 ciclos e 1 minuto. Como no Sag, o Swell está relacionado com a presença de falhas na rede elétrica, porém a presença do Swell é menos freqüente que a do Sag [10].

**Desequilíbrio de Tensão:**

Os desequilíbrios de tensão surgem em função das cargas no sistema elétrico serem distribuídas desigualmente entre as fases, provocando o aparecimento de tensões desequilibradas [1].

**Harmônicas:**

São as componentes não fundamentais da freqüência de uma forma de onda distorcida de 60 Hz. Estas componentes são múltiplos da freqüência fundamental. As harmônicas geralmente não são produzidas pelas concessionárias, e sim pelos equipamentos dos clientes. Por exemplo, uma grande carga industrial não-linear pode produzir harmônicas que, se tiverem uma magnitude suficiente, podem trafegar pelo sistema, afetando outros clientes [11].

**Flicker ou Cintilação:**

Também conhecido como oscilação de tensão ou tremulação existente na tensão nominal [5]. É um resultado não desejado da flutuação de tensão. Relaciona-se a uma sensação de incômodo visual que depende da amplitude e da freqüência da flutuação da tensão [1].

### 2.3. O Setor Elétrico Brasileiro

Durante os últimos anos o setor elétrico brasileiro tem passado por um grande e profundo processo de reestruturação [1, 12, 13], começando com um importante programa de privatização. O principal motivo que impulsionou o processo foi a ausência de recursos por parte do governo para investir na expansão do sistema elétrico. As principais mudanças foram a introdução da competição na geração e comercialização e livre acesso às redes de transmissão e distribuição, que constituem monopólios naturais e estão sujeitos à regulação. Grande parte das empresas distribuidoras de energia elétrica, que eram de propriedade do estado, hoje são controladas pela iniciativa privada.

A estrutura legal, que é a base deste novo mercado competitivo, é composta pelo órgão regulador, a ANEEL, criada em dezembro de 1996, pelo Mercado Atacadista de Energia, o MAE, e pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico, o ONS, estes dois últimos criados em 1998.

A criação do Mercado Atacadista de Energia (MAE) foi uma das principais novidades do modelo. Nesse mercado realizam-se todas as transações de energia entre produtores e grandes consumidores. Os objetivos do MAE são: estabelecer um preço que reflita, a qualquer instante, o custo marginal da energia do sistema; estabelecer um preço que possa ser usado para balizar os contratos bilaterais de longo prazo; prover um mercado onde geradores e distribuidores possam comercializar sua energia não contratada, além da criação de um ambiente multilateral, onde os distribuidores possam comprar energia de qualquer produtor e os geradores possam vender a qualquer comprador.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é patrocinado por todos os agentes do sistema elétrico, sob a supervisão do Ministério das Minas e Energia e regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O ONS é uma entidade sem fins lucrativos, responsabilizando-se pelas seguintes funções: planejamento operacional de geração e transmissão em horizontes de tempo de até cinco anos; programação e despacho da geração; cobrança de encargos pelo uso da rede de transmissão e remuneração dos prestadores de serviço de transmissão; planejamento dos investimentos

em transmissão em horizontes de tempo de até cinco anos; além da contratação de novos investimentos em transmissão das concessionárias atuais e futuras.

A ANEEL exerce um papel primordial no atual modelo implementado no setor elétrico brasileiro, sendo responsável pela regulamentação e fiscalização do mercado nos seguimentos de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Entre outras atividades, a ANEEL deve visar a melhoria constante da qualidade dos serviços de energia elétrica e, para alcançar este objetivo são exigidos das empresas vários índices de qualidade, apresentados no próximo item.

## **2.4. Índices de Qualidade**

Apresentam-se neste item os índices de qualidade exigidos pela legislação brasileira [3, 7, 16, 17], bem como índices propostos na bibliografia [12, 13, 14, 15] e que ainda não estão sendo aplicados. Apresenta-se também uma análise da cobrança de alguns índices de qualidade exigidos na legislação de outros países e ainda não adotados no Brasil [1, 4, 18].

### **2.4.1. Índices Atualmente Exigidos pelo Órgão Regulador**

Hoje, de uma forma geral, são cobrados das empresas distribuidoras de energia elétrica índices relacionados à continuidade, conformidade e atenção comercial. Estes índices encontram-se nas resoluções e portarias da ANEEL e DNAEE, além dos índices previstos nos contratos de concessão assinados entre a ANEEL e estas empresas.

#### **a) Índices de Continuidade:**

Segundo a Resolução 024 de janeiro de 2000, [3], as empresas concessionárias de energia elétrica devem informar ao regulador os dados das interrupções de longa duração (maior ou igual a um minuto) e os indicadores deles provenientes.

Assim, as concessionárias devem apurar para todos os seus conjuntos, que são agrupamento de unidades consumidoras de uma mesma área de concessão, os seguintes índices globais e individuais de continuidade:

Índices Globais de Continuidade:**DEC** – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i) * t(i)}{Cc} \quad (01)$$

**FEC** – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i)}{Cc} \quad (02)$$

Onde:

<i>DEC</i>	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora, expressa em horas e centésimos de hora;
<i>FEC</i>	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora, expressa em número de interrupções e centésimos do número de interrupções;
<i>Ca(i)</i>	Número de unidades consumidoras interrompidas em um evento ( <i>i</i> ), no período de apuração;
<i>t(i)</i>	Duração de cada evento ( <i>i</i> ), no período de apuração;
<i>i</i>	Índice de eventos ocorridos no sistema que provocam interrupções em uma ou mais unidades consumidoras;
<i>k</i>	Número máximo de eventos no período considerado;
<i>Cc</i>	Número total de unidades consumidoras no conjunto considerado, no final do período de apuração.

Índices Individuais de Continuidade:**DIC** – Duração de Interrupção por Unidade Consumidora:

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (03)$$

**FIC** – Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora:

$$FIC = n \quad (04)$$

**DMIC** – Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora, em (horas).

Onde:

<i>DIC</i>	Duração das interrupções por Unidade Consumidora considerada, expressa em horas e centésimos de hora;
<i>FIC</i>	Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora considerada, expressa em número de interrupções;
<i>i</i>	Índice de interrupções da unidade consumidora, no período de apuração, variando de 1 a n;
<i>n</i>	Número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração;
<i>t(i)</i>	Tempo de duração da interrupção ( <i>i</i> ) da unidade consumidora considerada, no período de apuração.

## b) Índices de Conformidade:

O órgão regulador brasileiro não exige, atualmente, nenhum índice específico de conformidade da tensão das empresas distribuidoras de energia elétrica. Porém, a Portaria 047 de abril de 1978 do DNAEE [7] indica as variações máximas permitidas nos níveis de



tensão entregues aos consumidores. Os limites de variação de tensão primária permitidos são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Limites de Variação da Tensão de Fornecimento**

Limite de Sobretensão	Limite de Queda de Tensão
5 %	7,5 %

c) Índices de Atenção Comercial:

No que se refere a índices de atenção comercial, a ANEEL vem exigindo das empresas distribuidoras de energia elétrica o Tempo Médio de Atendimento ao consumidor – TMA, o qual considera o tempo compreendido entre a hora de recebimento da reclamação e a hora em que a equipe de manutenção informa à central que o problema foi efetivamente sanado. O TMA difere do DEC, pois este último considera o tempo efetivo da interrupção no fornecimento de energia elétrica. O órgão regulador também exige das distribuidoras a realização de uma pesquisa de opinião pública com periodicidade mínima anual.

**TMA – Tempo Médio de Atendimento:**

$$TMA = \frac{\sum_{i=1}^n ta(i)}{n} \quad (05)$$

Onde:

<i>TMA</i>	Tempo médio de atendimento, em minutos e centésimos de minuto;
<i>ta(i)</i>	Tempo de atendimento em cada ocorrência em minutos;
<i>n</i>	Número de ocorrências em cada conjunto de consumidores ou agrupamento de concessão, quando for o caso, ou da concessionária como um todo, no período de observação.

### 2.4.2. Índices Propostos na Bibliografia

Neste item procura-se apresentar novos índices propostos na literatura, no que se refere à conformidade de tensão. Estes índices ainda não são oficialmente exigidos pela atual legislação, porém são importantes para a monitoração da qualidade da energia elétrica. Em [14, 15] apresentam-se os índices de qualidade abaixo descritos.

**FEV** – Frequência Equivalente da Violação de Tensão:

Representa a proporção de consumidores que receberam energia com tensão fora dos limites legais.

$$FEV = \frac{C_v}{C_a} \quad (06)$$

**NEV** – Nível Equivalente de Violação de Tensão:

Este índice determina a média dos níveis de tensão fora dos limites legais, referenciada ao valor da tensão de fornecimento dos consumidores considerados no FEV.

$$NEV = \frac{\sum_{g=1}^z \frac{|T_g - T_l|}{T_f}}{z} \quad (07)$$

**VEV** – Dispersão ou Variação Equivalente de Violação de Tensão:

Representa a variação relativa do NEV, significando o grau de dispersão de cada medida em torno da média NEV. Exprime o desvio padrão relativo à média NEV.

$$VEV = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^z \left( \frac{|T_s - T_l|}{T_f} - NEV \right)^2}}{z - 1} \quad (08)$$

**DEV – Duração Equivalente de Violação de Tensão:**

Ou seja, é a média dos espaços de tempo de ultrapassagem dos limites legais de tensão de cada consumidor, no período de observação considerado.

$$DEV = \frac{\sum_{v=1}^{C_v} \sum_{u=1}^x d_{vu}}{C_v} \quad (09)$$

Onde além das variáveis já definidas, têm-se:

$C_v$	Consumidores com violação nos limites de tensão no período considerado;
$C_a$	Número de consumidores da amostra;
$v$	Contador do número de consumidores com violação de tensão, superior e/ou inferior aos níveis estabelecidos;
$T_l$	Nível de tensão limite;
$T_f$	Nível de tensão de fornecimento;
$z$	Número de violações, superior ou inferior;
$g$	Contador do número de violações, variando de 1 a $z$ ;
$d_{vu}$	Tempo de permanência da tensão de fornecimento fora dos limites estabelecidos, referente a cada consumidor $v$ ;
$x$	Número de situações seqüenciais do consumidor $v$ , que violaram os limites estabelecidos da tensão de fornecimento;

"	Contador do número de situações seqüenciais do consumidor v, que violaram os limites estabelecidos da tensão de fornecimento, variando de 1 a x.
---	--

Em [2, 12, 13] são propostos limites máximos de distorção harmônica total e individual. Na Tabela 2 apresentam-se os limites propostos por [12].

Observa-se em vários países a existência de normas referentes às injeções de harmônicas, provenientes das instalações dos consumidores, nos sistemas de energia elétrica. Deste modo, no Brasil e demais países que exportam equipamentos para estas nações onde as regras já estão bem definidas, pode-se observar a preocupação dos fabricantes na limitação das harmônicas injetadas no sistema pelos componentes por eles produzidos.

No Brasil, embora a ANEEL ainda não tenha incorporado à legislação estes aspectos relacionados às injeções de harmônicas no sistema, pode-se verificar que em 1993 o GCOI já apresentava recomendações relacionadas a estes aspectos [2].

Outros índices relacionados com a qualidade da energia elétrica, tais como: limites de Sag e Swell, desequilíbrio de fases, e outros, estão sendo estudados pela ANEEL para serem incorporados a legislação específica futura [12].

**Tabela 2 - Limites de Distorção Harmônica Total e Individual [12]**

Ordem da Harmônica	Valor da Distorção [%]	
	V < 69 kV	V ≥ 69 kV
2, 4, 6	2,0	1,0
3, 5, 7	5,0	2,0
Par ≥ 8	1,0	0,5
9, 11, 13	3,0	1,5
15 a 25	2,0	1,0

Ímpar $\geq 27$	1,0	0,5
THD	6,0	3,0

Onde:

THD	Distorção harmônica total.
-----	----------------------------

### 2.4.3. Índices Adotados em Outros Países

Em [1, 4] são apresentados os índices de qualidade adotados na Argentina e no Chile, referentes à conformidade. Observa-se que nestes países já são estipulados limites máximos de injeção harmônica no sistema, além de exigências com relação a flutuações de tensão. No Chile também existem regulamentações referentes ao desequilíbrio de tensão entre as fases.

No caso argentino, Níveis de Referência (NR) são definidos de modo que qualquer usuário conectado a rede pública possa estar assegurado de que durante 95% do período de observação a qualidade da energia elétrica fornecida estará dentro de patamares adequados.

Níveis de Referência para Flutuações de Tensão: NR para flutuações de tensão são estabelecidos baseados no índice de severidade Flicker de curta duração. Este índice é definido para intervalos de observação de dez minutos ( $P_{st}$ ). O  $P_{st}$  é uma função da magnitude, frequência e forma da onda de flutuação de tensão. O índice de severidade Flicker de longa duração ( $P_{lt}$ ) é definido para longos intervalos de observação, normalmente de duas horas, e é obtido de leituras sucessivas de índices de severidade de curto prazo.

Níveis de Referência para redes de baixa tensão ( $V \leq 1kV$ ), média tensão ( $1kV < V < 66kV$ ) e alta tensão ( $V \geq 66kV$ ) são dados para  $P_{st} = 1$  com 95% de probabilidade de não ser excedido, para um período de medição de duração mínima de uma semana. Como este controle é efetuado durante pelo menos uma semana, o controle simultâneo do índice  $P_{lt}$  não é considerado necessário. Este valor do NR tem sido proposto como nível de

compatibilidade eletromagnética por organizações internacionais como o IEC, e coincide com o limite de perturbação associado ao Flicker.

**Níveis de Referência para Harmônicas:** Harmônicas de tensão são definidas como os valores eficazes das harmônicas individuais e da distorção total medidas em intervalos de dez minutos. Devem estar abaixo dos Níveis de Referência apresentados na Tabela 3 com a probabilidade de menos de 5% de serem excedidos, para um período mínimo de medição de uma semana. Estes níveis são definidos para baixa tensão, média tensão e alta tensão respectivamente.

Para redes de extra alta tensão ( $V \geq 220\text{kV}$ ), os Níveis de Referência a serem considerados são os NR para alta tensão na Tabela 3 divididos por dois.

Os Níveis de Referência para média e alta tensão são os níveis de compatibilidade eletromagnética definidos pelo CIGRE. Os valores dados para baixa tensão são definidos pela norma IEC 1000-2-2 para redes de baixa tensão.

Estes Níveis de Referência garantem compatibilidade entre redes e dispositivos com relação aos efeitos térmicos causados pelas harmônicas de longa duração com lenta variação.

**Tabela 3 - Níveis de Referência para Distorção Harmônica de Tensão**

Ordem da Harmônica (n)	Nível de Referência – NR (%)	
	Baixa e Média Tensão	Alta Tensão
5	6,0	2,0
7	5,0	2,0
11	3,5	1,5
13	3,0	1,5
17	2,0	1,0
19	1,5	1,0
23	1,5	0,7
25	1,5	0,7
> 25	$0,2 + 12,5/n$	$0,1 + 2,5/n$

<b>Ímpares Múltiplos de 3</b>	<b>Baixa e Média Tensão</b>	<b>Alta Tensão</b>
3	5,0	1,5
9	1,5	1,0
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
> 21	0,2	0,2
<b>Pares</b>	<b>Baixa e Média Tensão</b>	<b>Alta Tensão</b>
2	2,0	1,5
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,5	0,2
10	0,5	0,2
12	0,2	0,2
> 12	0,2	0,2
<b>Distorção Harmônica Total THD (%)</b>	<b>8</b>	<b>3</b>

Nos Estados Unidos [18], a principal norma que trata das injeções de harmônicas no sistema é a IEEE 519. Nesta norma especifica-se que a distorção harmônica total da onda de tensão deve ser de no máximo 5%, e para cada harmônica, de qualquer ordem, o limite máximo é de 3%.

Pode-se esperar que no futuro, índices semelhantes venham a ser adotados no Brasil, uma vez que a legislação brasileira tem apresentado uma série de modernizações nos últimos anos, e experiências internacionais bem sucedidas tendem a ser adotadas também aqui no Brasil.

## **2.5. Monitoração da Qualidade da Energia**

Em [6, 19] apresentam-se procedimentos para a avaliação e monitoração da qualidade da energia elétrica no Brasil. A preocupação com a qualidade da energia está

crescendo em importância tanto para as concessionárias, quanto para os consumidores e em [19] indicam-se três razões principais para este fato:

- Os dispositivos e equipamentos utilizados estão mais sensíveis às variações da qualidade da energia do que no passado. Eventos que ocorreram durante décadas no sistema, e que não causavam efeitos adversos, hoje resultam em desligamento dos equipamentos;
- O incremento no emprego de equipamentos com eletrônica de potência está criando uma crescente preocupação com os níveis de distorções harmônicas geradas por estes componentes;
- A crescente ênfase na eficiência do sistema de potência como um todo está causando um aumento contínuo na aplicação de capacitores de derivação para a correção do fator de potência. Os capacitores modificam a impedância do sistema em relação às características de frequência, resultando em ressonâncias que podem aumentar os distúrbios transitórios e os níveis de distorções harmônicas.

Em [6] é apresentado um projeto de monitoração da qualidade de energia para uma concessionária de distribuição de energia elétrica. Avalia-se a qualidade da energia fornecida a consumidores industriais, para depois proporem-se medidas para solucionar os problemas detectados. São obtidos sinais de tensão e corrente dos consumidores sob teste, onde monitora-se variações momentâneas de tensão, formas de onda e transitórios. Além disso são monitorados os valores eficazes da tensão e corrente, potência ativa, potência reativa, potência aparente, fator de potência e harmônicos de tensão e corrente. Com isso pode-se verificar os índices de continuidade e conformidade, identificando os pontos críticos do sistema, e propor-se ações para a solução dos problemas encontrados.

Além da monitoração através de medidas contínuas (ou aleatórias) dos sinais elétricos de rede, pode-se também utilizar métodos indiretos (simulações) como por exemplo, programas de fluxo de potência.



## 2.6. Fenômenos Relacionados com a Onda de Tensão

Em [20, 21, 22] encontram-se trabalhos relacionados às variações na forma de onda da tensão. Em [20] propõe-se índices de qualidade relacionados com os fenômenos da variação de tensão de curta duração (Sags, Swells) ou interrupções menores que um minuto, harmônicas e transitórios (causados, por exemplo por raios e chaveamento de capacitores).

Em [21] é apresentado um trabalho sobre a dispersão dos valores de tensão para consumidores residenciais. Verifica-se que ocorre uma grande variação em torno da tensão nominal ao longo do dia, sendo que em muitos casos estes valores ultrapassaram os exigidos pela legislação. As maiores variações ocorrem no período entre às 18:00 e às 22:00 horas. Estas variações devem ser minimizadas, pois verifica-se que o desempenho de aparelhos eletroeletrônicos é prejudicado, pois apresentam desempenho ótimo apenas sob tensão nominal.

Constata-se assim uma necessidade de monitoramento da tensão por métodos diretos (medição) ou indiretos (simulações) durante todo o dia, determinando-se, por exemplo, curvas de demanda diárias.

Em [22] analisa-se o fenômeno dos afundamentos de tensão de curta duração. Este fenômeno é causado, por exemplo, por curtos-circuitos na rede elétrica, apresentam-se como subtensões cuja duração depende do tempo de atuação dos equipamentos de proteção que são responsáveis pelo isolamento do trecho da rede elétrica em falha. Os principais parâmetros do sistema de distribuição que afetam os afundamentos de tensão são o número de alimentadores em paralelo em um barramento de média tensão, a bitola do condutor do alimentador, a presença de religador e o tipo e a densidade da carga. Os afundamentos de tensão são bastante prejudiciais a consumidores industriais e comerciais, portanto, deve ser de interesse das empresas distribuidoras a diminuição dos riscos de expor seus clientes a este fenômeno.

## 2.7. Investimentos Para a Melhoria dos Índices de Qualidade

Neste item apresentam-se alguns trabalhos onde propõe-se a instalação de equipamentos que venham a proporcionar uma melhoria nos índices de qualidade no sistema [23, 24, 25]. Para cada problema detectado, por exemplo uma violação nos limites de tensão, pode-se empregar equipamentos como reguladores de tensão e bancos de capacitores, realizar o recondutoramento de trecho onde se verificou o problema, etc.

Em [23] é analisada a implementação do Sistema Fone-Luz na cidade de Cascavel, no Paraná. O Sistema Fone-Luz tem por objetivo principal contribuir na redução do tempo de interrupção a que estão submetidos os consumidores numa ocorrência acidental e, como consequência diminuir o DEC, aumentando o grau de satisfação dos clientes. O sistema consiste de um aparelho, capaz de detectar a ausência de tensão em pontos estratégicos de alimentador, que é ligado ao telefone de um cliente próximo. Assim que for detectada a ocorrência o aparelho liga automaticamente para a central que identifica o ponto da falha, devido a alocação estratégica dos sensores. Desta maneira uma equipe de manutenção é deslocada imediatamente ao provável local do problema, diminuindo-se o tempo da interrupção. Quando o primeiro cliente ligar para a empresa reclamando da falha, o sistema já terá uma mensagem gravada comunicando que medidas já foram tomadas para o restabelecimento da energia no trecho onde ocorreu a interrupção.

Este sistema pode ser aprimorado para indicar automaticamente as violações dos limites de tensão, fornecendo informações à concessionária sobre os locais e a duração das violações.

Em [24, 25] são apresentados os resultados práticos da implantação de bancos de capacitores no sistema para melhorar os níveis de tensão. Em [24] utilizam-se bancos de capacitores de 15 kV, apresenta-se uma comparação entre a instalação destes equipamentos nas subestações ou diretamente nos alimentadores, na rede primária de distribuição. Após um estudo de custos envolvidos, redução das perdas e melhorias nos níveis de tensão foi concluído que a instalação dos bancos de capacitores deveria ser efetuada diretamente nos

alimentadores. Os resultados obtidos pela Escelsa – Espírito Santo Centrais Elétricas foi considerado muito satisfatório.

Por outro lado, em [25] sugere-se a instalação de capacitores no secundário do alimentador, ou seja, no circuito de baixa tensão. Os estudos foram realizados pela CELESC onde também foram obtidos resultados satisfatórios, sob a ótica da redução das perdas, melhoria nos níveis de tensão e do fator de potência.

Além dos exemplos mencionados acima, existe uma série de outros investimentos que podem ser feitos para a melhoria dos índices de qualidade. Assim, para obtermos melhores níveis de tensão pode-se instalar, além de bancos de capacitores, reguladores de tensão no alimentador ou promover o recondutoramento do trecho que apresenta níveis inadequados de tensão. Para redução do DEC e do FEC pode-se instalar chaves fusíveis ou seccionadoras, religadores, pára-raios, etc.

## **2.8. Estudos Sobre Curvas de Carga**

Em [8, 27] são apresentadas propostas para a obtenção de curvas diárias de carga típicas. Estas curvas são muito úteis para os estudos realizados nos sistemas de distribuição, de modo a representar com mais rigor a variação da carga e da tensão durante o dia.

Em [8] propõe-se que os consumidores sejam divididos nas classes residencial, comercial e industrial. Ainda em cada classe faz-se uma subdivisão em subclasses de acordo com a faixa de consumo mensal, assim, a classe residencial é dividida em quatro subclasses e as classes comercial e industrial em três subclasses cada uma. No capítulo 3 será apresentado este estudo com maiores detalhes, uma vez que são utilizadas estas curvas na metodologia proposta nesta dissertação.

Em [27] são apresentadas curvas típicas diárias para consumidores comerciais e industriais. Diferente da metodologia anterior, neste trabalho divide-se os consumidores por atividade, por exemplo construção civil, serviços gráficos, confecção de roupas, padarias, hotéis, etc. Faz-se uma classificação das atividades por número de consumidores e por consumo médio. Analisou-se as atividades que apresentavam curva de carga

semelhantes e fez-se um agrupamento das mesmas, assim, foram propostos quatro tipos de curvas típicas para consumidores comerciais. Para os consumidores industriais apresentam-se vinte e quatro curvas diárias típicas para diversas atividades e, para aquelas que não estiverem representadas neste grupo, deve-se adotar a curva de uma atividade similar.

Observa-se que uma representação mais detalhada da curva diária de carga dos consumidores possibilita a obtenção de resultados mais precisos, quando utilizados programas de fluxo de potência, com a finalidade de se determinar o desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Para o cálculo das tensões de sistemas radiais de distribuição, propõem-se em [28, 29] o uso de um modelo de fluxo de potência baseado no método da somatória de potências. Este modelo apresenta resultados excelentes para este tipo de sistema, além de se verificar uma convergência muito boa.

## **2.9. Conclusões**

Pode-se concluir ao final deste capítulo que a preocupação com a qualidade da energia elétrica fornecida aos clientes de uma concessionária, tem sido cada vez maior nos últimos anos. Os novos equipamentos eletroeletrônicos exigem uma energia livre de distorções, e os órgãos reguladores têm sido cada vez mais rigorosos com relação aos índices de qualidade exigidos.

No Brasil, a legislação ainda não prevê índices relacionados à duração e frequência das violações de tensão, tema que será abordado nesta dissertação. Índices de qualidade adotados em outros países, por exemplo, na Argentina e no Chile, como limites para a injeção de harmônicas no sistema, flutuações de tensão e desequilíbrio de tensão entre fases também tendem a ser incorporados à legislação brasileira.

Para o estudo dos sistemas de distribuição de energia elétrica é de fundamental importância o conhecimento das curvas típicas diárias de carga dos consumidores conectados aos alimentadores destas empresas. Através da utilização de curvas mais detalhadas pode-se monitorar a qualidade da tensão fornecida pela distribuidora, verificando-se o perfil da tensão ao longo dos circuitos. Estudos estão sendo feitos nesta

área de modo a proporcionar uma modelagem o mais próximo possível da situação real do sistema.

Finalmente, após se relacionar vários índices relativos à qualidade de tensão, surge a proposição de, através de um programa de fluxo de potência típico para sistemas de distribuição radiais, determinar o perfil de tensão nos pontos de carga, caracterizando a qualidade (ou ausência da mesma) da tensão fornecida através da frequência e duração das violações de tensão, como será apresentado no próximo capítulo.

## **3. MODELO PROPOSTO PARA A AVALIAÇÃO DA FREQUÊNCIA E DURAÇÃO DAS VIOLAÇÕES DE TENSÃO**

### **3.1. Introdução**

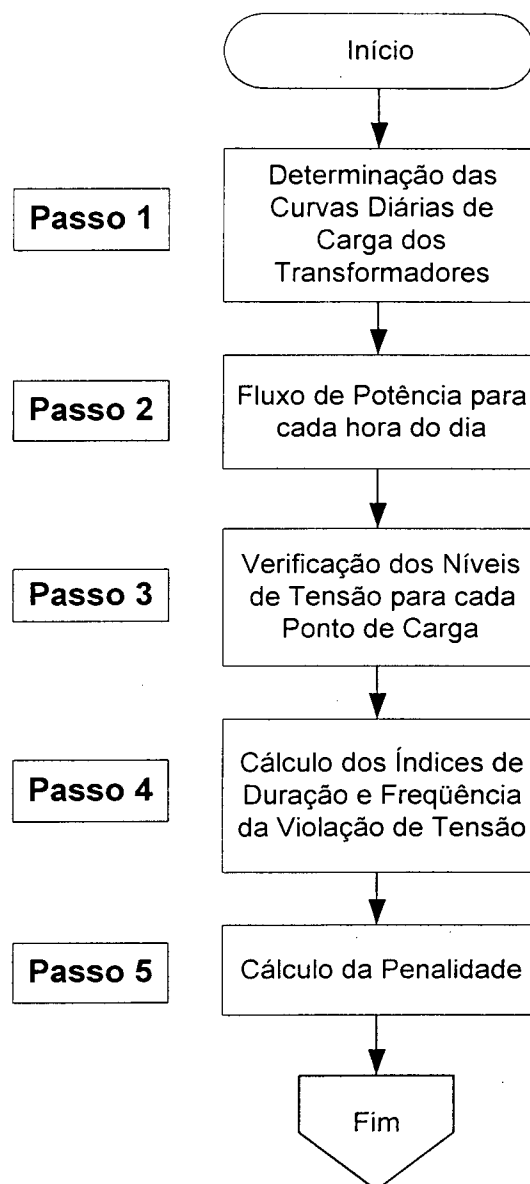
Neste capítulo apresenta-se um modelo teórico que permite a identificação dos pontos críticos do sistema, em relação aos níveis de tensão, verificando se os índices de qualidade referentes à forma de onda da tensão estão de acordo com os limites exigidos pela legislação.

Os dados iniciais, necessários para a implementação da metodologia proposta, referem-se ao consumo médio mensal dos consumidores ligados aos transformadores de um dado alimentador, bem como a classe à qual estes consumidores pertencem (residencial, comercial ou industrial). Com base nestes dados utiliza-se um programa de conversão consumo – demanda, o qual permite a obtenção das curvas diárias de carga de cada transformador do alimentador, transformando, deste modo, kWh em kVA.

Com as curvas diárias de carga, utiliza-se um programa para o cálculo do fluxo de potência específico para sistemas radiais de distribuição. Deste programa obtém-se o número de vezes que os pontos do sistema apresentam valores inadequados de tensão de fornecimento (frequência), o quanto (intensidade) estes valores estão ultrapassando os limites especificados pelo órgão regulador, bem como o período (duração) durante o qual os consumidores estão submetidos a estes patamares inadequados.

Calculam-se, então, os índices de qualidade relacionados à duração e frequência da violação de tensão referentes aos pontos críticos do alimentador e, para finalizar, apresenta-se uma proposta de penalidade baseada na duração e intensidade da ultrapassagem dos limites estabelecidos pela legislação.

Nos próximos itens apresenta-se detalhadamente cada um dos passos acima citados. Abaixo é apresentado um fluxograma da metodologia proposta neste capítulo.



**Figura 1 - Fluxograma Principal da Metodologia Proposta**

### **3.2. Passo 1: A Conversão Consumo – Demanda**

O conhecimento da curva de demanda diária de um transformador para os dias úteis, sábados e domingos é de fundamental importância para a determinação dos horários

em que os limites de tensão, estabelecidos pelo órgão regulador [7], estão sendo ultrapassados. É necessário que se determine quando estes intervalos de tempo acontecem, assim como o quanto estes limites foram ultrapassados, para um posterior cálculo dos índices de qualidade associados à violação de tensão, e para a aplicação de uma penalização pelo não cumprimento destes limites.

As concessionárias possuem em seus bancos de dados o consumo mensal de energia de todos os seus consumidores, bem como a classe de consumo a qual estes pertencem (residencial, comercial ou industrial). A metodologia de conversão consumo – demanda utilizada neste trabalho foi proposta no trabalho de Dautro Silva [8, 26] e é capaz de determinar a demanda de um transformador de distribuição utilizando dados de consumo, curvas diárias de carga típicas, fatores de carga e fatores de demanda.

### **3.2.1. Tipos de Classes de Consumidores**

De acordo com esta metodologia, os consumidores são divididos em classes e subclasses de acordo com sua atividade e consumo mensal de energia elétrica. Os consumidores residenciais são divididos em quatro subclasses, os consumidores comerciais e industriais são divididos em três subclasses cada. Os consumidores que não se enquadram nestas três classes (poder público, serviço público, próprio, etc.) são considerados como consumidores comerciais. Abaixo apresentam-se as subdivisões destas classes, assim como a faixa de consumo dos consumidores pertencentes a cada uma [8, 26].

Classe Residencial:

Tipo 1 – Consumo até 70 kWh/mês;

Tipo 2 – Consumo de 71 a 125 kWh/mês;

Tipo 3 – Consumo de 126 a 318 kWh/mês;

Tipo 4 – Consumo acima de 318 kWh/mês.

Classes Comercial e Industrial:

Tipo 1 – Consumo até 350 kWh/mês;



Tipo 2 – Consumo de 351 até 700 kWh/mês;

Tipo 3 – Consumo acima de 700 kWh/mês.

Considera-se ainda, de acordo com a metodologia proposta, mais uma classe referente a iluminação pública, totalizando onze subclasses de consumidores.

### **3.2.2. Curva de Carga Diária**

As curvas típicas diárias de carga para cada um dos onze tipos de consumidores mencionados no item anterior devem ser obtidas através de medições gráficas. No trabalho de Dautro Silva [8, 26] estas medições foram realizadas pela COPEL, na cidade de Curitiba. Estas curvas são compostas por vinte e quatro pontos, sendo que cada ponto representa uma hora de um dia útil. No anexo 1 apresentam-se as curvas típicas para os onze tipos de consumidores em estudo, as quais também são aplicadas nesta dissertação.

### **3.2.3. Função Fator de Carga x Número de Consumidores**

Segundo Dautro Silva [8, 26], geralmente o fator de carga de um transformador melhora à medida que cresce o número de consumidores atendidos pelo mesmo. Para a obtenção da função de relacionamento entre o fator de carga e o número de consumidores, para cada um dos dez tipos pertencentes as classes residencial, comercial e industrial, devem ser pesquisados uma quantidade significativa de transformadores na região em que se encontram os alimentadores a serem estudados. No trabalho citado foram pesquisados cem transformadores, sendo dez transformadores para cada subclasse. A escolha dos transformadores para análise deve ser baseada no percentual de consumidores de cada subclasse atendidos pelo transformador. Assim, para consumidores residenciais do tipo 1, por exemplo, foram selecionados dez transformadores em que pelo menos 80% da energia média mensal fornecida por estes transformadores é destinada a estes consumidores. O mesmo procedimento foi adotado para os demais nove tipos de consumidores estudados.

No trabalho de Dautro Silva foram executadas medições gráficas, em dias úteis, por um período médio de setenta e duas horas. Através destas medições determinou-se o fator de carga resultante para cada um dos transformadores. Pelo método dos mínimos

quadrados determinou-se a função de ajuste mais apropriada. A função de ajuste adotada naquele trabalho foi a geométrica, cuja equação é dada abaixo.

$$FC = A * N^B \quad (10)$$

Onde:

$FC$	Fator de carga;
$N$	Número de consumidores;
$A$	Parâmetro da função geométrica;
$B$	Parâmetro da função geométrica.

Cada um dos dez tipos de consumidores, pertencentes às classes residencial, comercial e industrial, possui a sua própria função de relação fator de carga x número de consumidores. Os valores encontrados para a cidade de Curitiba no trabalho estudado são apresentados na Tabela 4 abaixo.

**Tabela 4 - Parâmetros A e B para Cálculo do Fator de Carga (Curitiba)**

Consumidor		Parâmetros (95% de confiança)	
Classe	Tipo	A + ΔA	B + ΔB
Residencial	1	0,135 ± 0,0054	0,1812 ± 0,0410
	2	0,153 ± 0,0043	0,1924 ± 0,0345
	3	0,180 ± 0,0049	0,1723 ± 0,0320
	4	0,198 ± 0,0052	0,1635 ± 0,0397
Comercial	1	0,207 ± 0,0062	0,1994 ± 0,0466
	2	0,225 ± 0,0056	0,1991 ± 0,0482
	3	0,243 ± 0,0061	0,2136 ± 0,0380

Industrial	1	$0,216 \pm 0,0063$	$0,2122 \pm 0,0399$
	2	$0,243 \pm 0,0069$	$0,2095 \pm 0,0504$
	3	$0,261 \pm 0,0067$	$0,2149 \pm 0,0403$

Quando o modelo for aplicado em outra cidade, devem ser executadas novas medições gráficas, conforme descrito acima, obtendo-se então os parâmetros A e B para a nova região, onde se encontram os alimentadores a serem analisados. Nesta dissertação utiliza-se como exemplo um alimentador da cidade de Joinville e, como não se dispunha destes parâmetros, uma vez que as medições gráficas não foram realizadas nesta região, foram efetuados alguns ajustes de curva (smoothing), conforme será apresentado no capítulo 4.

### 3.2.4. Fator de Potência

No trabalho de Dautro Silva [8, 26] utilizou-se fator de potência unitário para os consumidores residenciais, 0,9 para consumidores comerciais e 0,85 para consumidores industriais. Nas análises realizadas nesta dissertação adotou-se fator de potência unitário para consumidores residenciais e 0,92 para consumidores comerciais e industriais, satisfazendo as novas exigências legais, referente ao fator de potência, para estes tipos de consumidores.

### 3.2.5. Programa

No trabalho de Dautro Silva [8, 26] apresenta-se um fluxograma do programa para a conversão consumo – demanda, sendo que o programa foi desenvolvido em linguagem APL (*A programming Language*). O fluxograma utilizado é apresentado na Figura 2 a seguir.

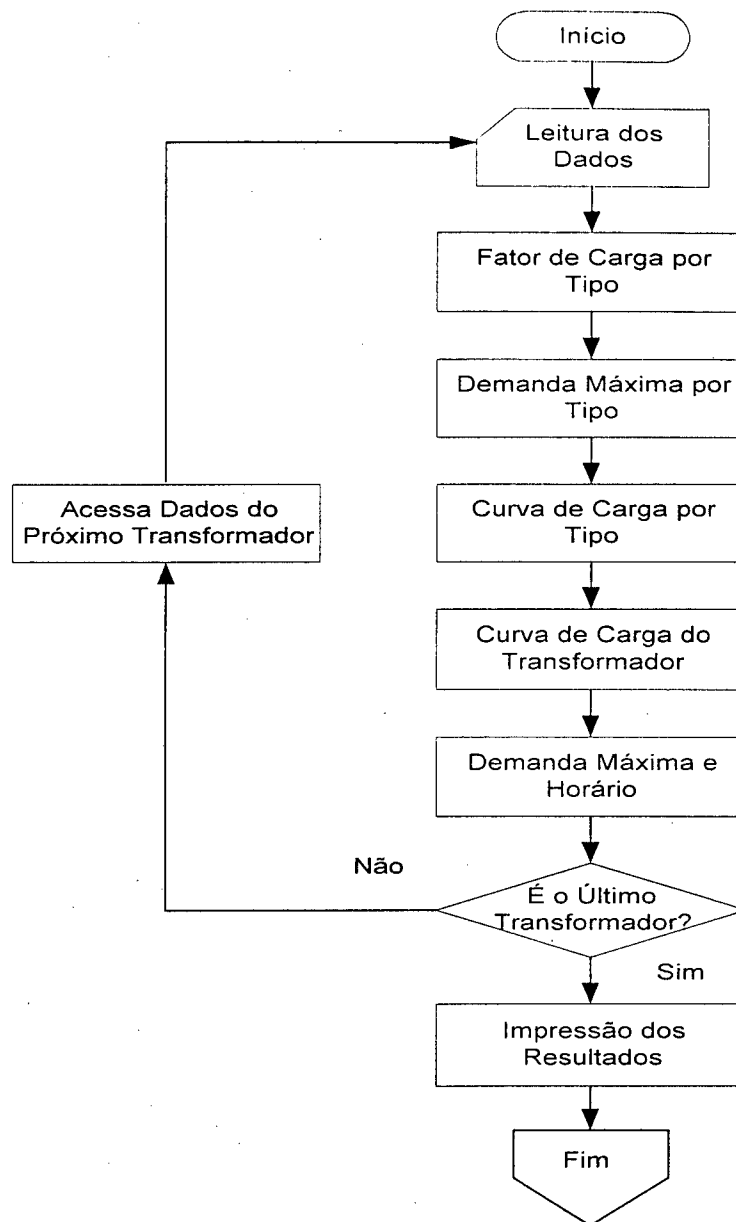


Figura 2 - Fluxograma da Conversão Consumo - Demanda Proposto em [8]

A demanda máxima para cada tipo de consumidor é obtida através da expressão abaixo:

$$DM = \frac{C}{FC * FP * 720} \quad (11)$$

Onde:

<i>DM</i>	Demanda máxima em kVA;
<i>C</i>	Consumo mensal em kWh;
<i>FC</i>	Fator de carga;
<i>FP</i>	Fator de potência.

A demanda máxima para os onze tipos de consumidores residenciais, comerciais, industriais e iluminação pública acontece, normalmente, em horários não coincidentes, logo, a demanda máxima do transformador, que é obtida pela soma de todas as curvas de carga por tipo, ocorrerá em um horário definido pela composição destas curvas.

Como o programa para a conversão consumo – demanda não estava disponível em [8, 26], desenvolveu-se um programa em linguagem *Fortran* segundo o fluxograma proposto na Figura 2, com a finalidade de se determinar a curva diária de carga para cada transformador do alimentador sob análise.

Para a execução do programa é necessário um arquivo de entrada de dados contendo o número e a soma do consumo médio mensal, em kWh, dos consumidores de cada tipo atendidos em cada transformador, a carga de iluminação pública do transformador em kVA e os fatores de potência referentes às classes residencial, comercial e industrial. No anexo 2 apresentam-se, passo a passo, as instruções para o preenchimento do arquivo de entrada de dados.

O arquivo de saída de dados apresenta como respostas a demanda máxima do transformador, a hora em que ela ocorre, a demanda do transformador hora a hora e o número total de consumidores do transformador. Este último dado será posteriormente utilizado para o cálculo dos índices de qualidade no ponto de carga.

### **3.3. Passos 2 e 3: O Fluxo de Potência para Sistemas de Distribuição e os Níveis de Tensão**

Com a disponibilidade da curva de demanda diária de todos os transformadores do alimentador, a metodologia proposta neste trabalho de dissertação de mestrado consiste em considerar cada transformador como um ponto de carga na execução do programa de fluxo de potência. São executados vinte e quatro fluxos de potência, sendo que cada execução refere-se a uma hora do dia. Deste modo, pode-se obter os níveis de tensão em cada transformador do alimentador para um período de vinte e quatro horas referente a um dia útil e, de forma análoga, para os sábados e os domingos.

Pode-se então identificar os pontos onde a tensão fornecida pela concessionária ultrapassa os limites previstos na legislação, bem como o tempo em que os consumidores conectados a este transformador estão submetidos a esta situação irregular de fornecimento de energia elétrica (Passo 3).

#### **3.3.1. O Programa Utilizado**

Neste trabalho utiliza-se o programa SPDIST [28] para o cálculo de fluxo de potência em alimentadores radiais. Esta ferramenta computacional foi desenvolvida pelo Laboratório de Sistemas de Potência (LABSPOT) da UFSC através de um convênio com os Departamentos de Operação e Manutenção (DPOM) e de Desenvolvimento de Sistemas de Distribuição (DPSD) da Diretoria de Distribuição da CELESC.

Este programa calcula tensões, correntes, queda de tensão, carregamento dos condutores etc., em pontos e trechos dos alimentadores com características radiais. Para tanto, utiliza o método iterativo de Soma das Potências [28, 29] que explora a radialidade dos sistemas de distribuição tornando o processo de cálculo bastante rápido e eficiente [28]. O programa leva em consideração:

- Reguladores de tensão e transformadores com “tap” fixo e diferente do valor nominal;

- Reguladores do tipo LDC (*Line Drop Compensators*);
- Variação automática de “taps” de reguladores e transformadores;
- Cargas variáveis com a tensão;
- Geradores sem controle próprio de tensão e
- Pontos de medição para compatibilização da demanda.

Outro aspecto importante a ser mencionado é a capacidade desta ferramenta computacional no que se refere a número de trechos (300), número de reguladores de tensão (30), número de LDC's (40) e número de banco de capacitores (10). Como cada transformador é considerado com um ponto de carga, caso se deseje analisar alimentadores com mais de trezentos transformadores, deve-se representar transformadores espacialmente próximos como se fossem um único ponto de carga concentrada.

### **3.3.2. Fator de Multiplicação de Carga**

Ao programa original foi acrescentado um Fator de Multiplicação de Carga (FMC), o qual possibilita que a carga em todos os pontos do alimentador seja multiplicada por um valor constante. A finalidade deste multiplicador é simular um crescimento da carga, possibilitando a verificação de valores futuros de demanda, de modo que os planejadores do sistema tomem as ações necessárias para que os níveis de tensão no alimentador continuem respeitando os limites exigidos pelo órgão regulador.

Após a execução dos vinte e quatro fluxos de potência, tem-se disponibilizados para cada transformador do alimentador os níveis de tensão durante o período de um dia, podendo-se verificar a duração, a frequência e a intensidade das violações de tensão, quando as mesmas acontecerem.

Cabe acrescentar que, uma vez obtidos os pontos de carga com violação de limites de tensão, o procedimento mais correto seria a implantação de medidores de tensão nestes

pontos, de modo que se verifique o valor exato da queda de tensão, partindo-se em seguida para o cálculo dos índices de violação de tensão e da conseqüente penalidade envolvida. No entanto, considera-se neste trabalho que os valores de tensão, obtidos do programa de fluxo de potência sejam uma boa indicação dos valores que seriam obtidos através da medição e estes são utilizados na seqüência da aplicação da metodologia.

### **3.4. Passo 4: Cálculo dos Índices de Violação de Tensão**

Os índices de qualidade analisados neste trabalho referem-se à duração e à frequência das violações de tensão de forma global ou individual. Como a atual legislação não prevê a utilização destes índices, fez-se necessário uma pesquisa em artigos apresentados em seminários e congressos onde existem propostas para a definição de índices referentes a violações de tensão.

Observa-se ainda que novos índices são propostos nesta dissertação, por analogia aos índices existentes relacionados com a continuidade (DEC e FEC). Assim como existem índices individuais para a duração (DIC) e frequência (FIC) das faltas [3], são propostos índices individuais referentes à duração e à frequência das violações de tensão. Também propõe-se fazer uma analogia aos índices de continuidade relacionados à potência, através de um índice de frequência das violações relativo à potência afetada com a violação.

Os índices de violação de tensão aqui apresentados consideram apenas as violações na rede primária de distribuição, não levando em conta as quedas de tensão a partir do transformador de distribuição até o ponto de conexão do consumidor.

Apresentam-se nos próximos itens os índices globais e individuais utilizados neste trabalho. Deve-se destacar que os índices globais considerados referem-se a todos os clientes conectados e à potência fornecida no alimentador. Os índices individuais referem-se aos clientes conectados a um único transformador do alimentador.



### 3.4.1. Índices Globais de Frequência e Duração das Violações de Tensão

a) Índices Referentes à Frequência das Violações de Tensão:

Abaixo apresentam-se os índices utilizados neste trabalho relacionados com a frequência das violações de tensão. Estes índices consideram o número de consumidores e a potência afetados pelas violações de tensão.

FEV – Frequência Equivalente da Violação de Tensão por Consumidores:

Conforme já descrito no capítulo 2, este índice representa o número de violações de tensão que, em média, cada cliente do sistema sofreu no período considerado [14, 15]. Neste trabalho considera-se o período de um mês, assim o índice FEV é expresso em (violações por cliente – mês).

$$FEV = \frac{\sum C_v}{C_s} \quad (12)$$

FEVP – Frequência Equivalente da Violação de Tensão por Potência:

Este índice é análogo ao FEV, porém baseado na potência. Representa o número equivalente de violações a qual a potência instalada do sistema esteve submetida no período considerado. Pode ser calculado relacionando-se a demanda atingida em cada violação e a demanda total do alimentador. Este índice está sendo proposto neste trabalho como uma analogia aos índices de continuidade relacionados com a potência. Assim como para o índice FEC (Frequência Equivalente da Interrupção por Cliente) existe o FEP (Frequência Equivalente da Interrupção por Potência) [16], propõe-se o FEVP (Frequência Equivalente da Violação de Tensão por Potência) para o FEV (Frequência Equivalente da Violação de Tensão por Consumidores). O índice FEVP é expresso em (violações por unidade de kVA - mês).

$$FEVP = \frac{\sum kVA_v}{kVA_s} \quad (13)$$

Onde:

$FEV$	Frequência equivalente da violação de tensão por consumidores, em (violações por cliente – mês);
$FEVP$	Frequência equivalente da violação de tensão por potência, em (violações por unidade de kVA – mês);
$C_v$	Consumidores com violação nos limites de tensão no período considerado;
$C_s$	Consumidores do alimentador no período considerado;
$kVA_v$	Potência atingida pelas violações de tensão no período considerado;
$kVA_s$	Potência do alimentador no período considerado.

b) Índice Referente a Duração das Violações de Tensão:

Abaixo apresenta-se o índice utilizado neste trabalho referentes à duração das violações de tensão. Este índice considera o tempo em que consumidores estiveram submetidos às violações de tensão.

DEV – Duração Equivalente da Violação de Tensão:

Este índice representa, para um dado alimentador, a duração média do tempo de ultrapassagem dos limites legais de tensão para os consumidores que sofreram violações, no período de observação considerado. O DEV pode ser expresso em (horas ou minutos).

$$DEV = \frac{\sum_{v=1}^{C_v} \sum_{u=1}^x d_{vu}}{C_v} \quad (14)$$

Onde:

$DEV$	Duração equivalente da violação de tensão;
$C_v$	Consumidores com violação dos limites de tensão no período considerado;

$u$	Contador do número de situações sequenciais do consumidor $v$ , que violaram os limites estabelecidos de tensão de fornecimento, variando de 1 a $x$ ;
$v$	Contador do número de consumidores com violação de tensão, superior e/ou inferior aos níveis estabelecidos;
$x$	Número de situações sequenciais do consumidor $v$ , que violaram os limites estabelecidos da tensão de fornecimento;
$d_{vu}$	Tempo de permanência da tensão de fornecimento fora dos limites estabelecidos, referente a cada consumidor $v$ .

### 3.4.2. Índices Individuais de Frequência e Duração das Violações de Tensão

a) Índice Referente a Frequência das Violações de Tensão:

Este índice refere-se à frequência com que cada transformador ligado ao alimentador em estudo sofre violação dos limites de tensão.

FIVT – Frequência Individual de Violação de Tensão:

Este novo índice é proposto neste presente trabalho, de maneira análoga ao índice de continuidade FIC (Frequência da Interrupção por Unidade Consumidora) [3]. Assim, como esta metodologia determina os valores dos níveis de tensão em cada ponto de carga ou cada transformador, pode-se obter facilmente os índices individuais para cada consumidor do alimentador em análise. O FIVT é expresso em (número de interrupções).

$$FIVT = n \quad (15)$$

Onde:

$n$	Número de violações de tensão no período considerado em cada ponto de carga.
-----	--

b) Índices Individuais Referentes à Duração das Violações de Tensão:

Estes índices referem-se ao tempo durante o qual cada consumidor, ligado ao alimentador em estudo, está submetido a níveis de tensão fora dos limites estabelecidos pelo órgão regulador.

DIVT – Duração Individual de Violação de Tensão:

Este novo índice é proposto de maneira análoga ao índice de continuidade DIC (Duração da Interrupção por Unidade Consumidora). Indica o somatório dos tempos ao qual o consumidor está submetido a valores irregulares de tensão de fornecimento no período considerado. Assim como no caso do índice individual de frequência FIVT, pode-se obter facilmente este índice através dos dados obtidos dos fluxos de potência executados no passo 3. O DIVT é expresso em (horas ou minutos).

$$DIVT = \sum t_v \quad (16)$$

DRVT – Duração Relativa da Violação de Tensão:

Este índice representa o percentual do tempo de observação durante o qual o consumidor encontrou-se submetido a níveis de tensão fora dos patamares legais exigidos pelo órgão regulador. O índice DRVT é uma aplicação do DIVT, sendo expresso em (%).

$$DRVT = \frac{t_v}{t_o} * 100 \quad (17)$$

Onde:

<i>DIVT</i>	Duração individual de violação de tensão;
<i>DRVT</i>	Duração relativa da violação de tensão;
<i>t<sub>v</sub></i>	Tempo ao qual o consumidor está submetido a violação de tensão;
<i>t<sub>o</sub></i>	Tempo de observação.

### **3.5. Passo 5: Cálculo da Penalidade**

Neste item apresenta-se uma proposta para penalizar as concessionárias que não fornecerem aos seus consumidores tensão dentro dos limites legais estabelecidos pelo órgão regulador. Esta proposta leva em consideração:

- a) O tempo em que o consumidor esteve submetido a níveis irregulares de tensão;
- b) A intensidade da ultrapassagem dos limites estabelecidos;
- c) o consumo médio mensal dos consumidores.

Ao se determinar o valor de uma penalidade a determinada distribuidora, tem-se como objetivo que a mesma seja incentivada a realizar obras ou ações, de modo a se prevenir contra futuras irregularidades. Assim, o valor da multa estabelecida à empresa deve sempre ser maior que o custo de investir em melhorias. Por outro lado, esta multa não deve ter um valor demasiado elevado, de modo que inviabilize a capacidade de aplicação de recursos nas demais áreas da distribuidora.

Apresenta-se nos próximos itens uma proposta teórica para a penalização quanto à duração das violações de tensão. Neste trabalho não será apresentada uma proposta para a penalização quanto à frequência destas violações. Sabe-se da importância da indicação de limites relacionados aos índices globais e individuais relacionados à frequência com que estas violações ocorrem, e estudos devem ser realizados de modo a definir patamares a serem respeitados pelas empresas, assim como um modo de penalizar as mesmas quando do não cumprimento destes limites.

#### **3.5.1. Expressão para o Cálculo da Penalidade**

Apresenta-se, a seguir, uma expressão para o cálculo da penalidade, devido ao não cumprimento dos índices de duração das violações de tensão. Esta fórmula considera o tempo durante o qual os consumidores estiveram submetidos a esta situação adversa, a

intensidade da ultrapassagem dos limites adequados e o consumo médio mensal dos consumidores que sofreram a violação de tensão.

$$PEN = t_v * K(\Delta V_{m\acute{a}x}) * CMM \quad (18)$$

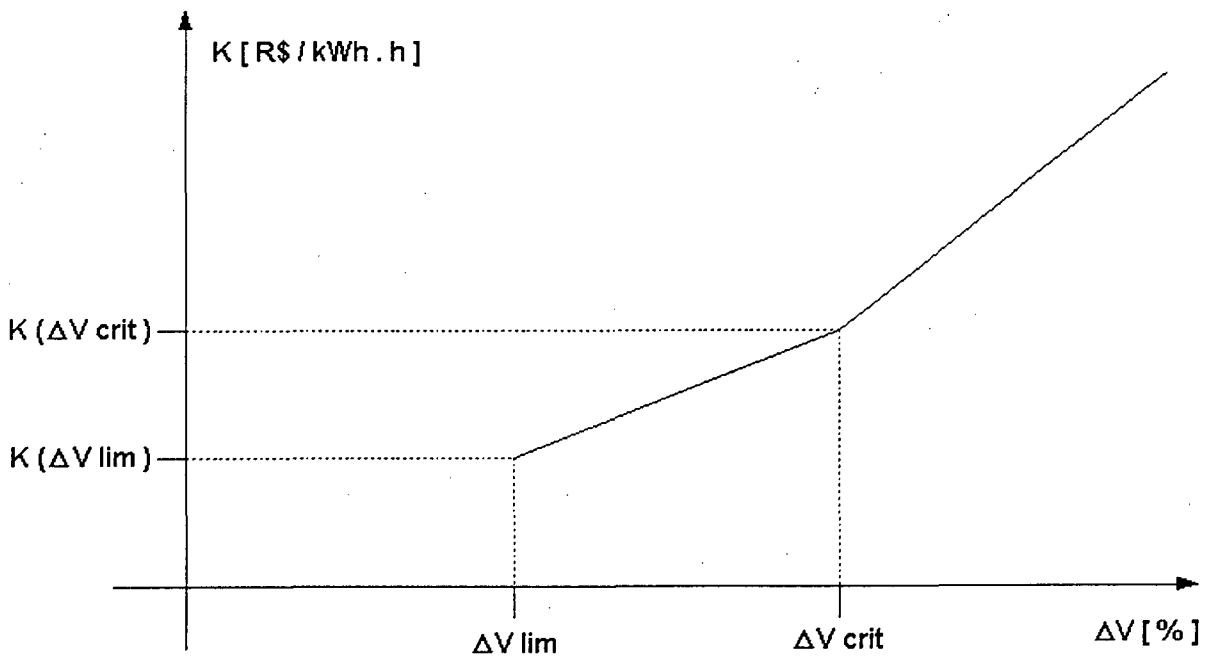
Onde:

$PEN$	Penalidade imposta à distribuidora, dada em (R\$);
$t_v$	Tempo médio (DEV), durante o qual os consumidores com violação de tensão estiveram submetidos a esta situação, em (horas). Quando a penalidade for calculada para o ponto de carga (transformador), esta variável pode ser substituída pela Duração Individual de Violação de Tensão - DIVT;
$K(\Delta V_{m\acute{a}x})$	Fator dado em (R\$ / kWh . h), possibilita considerar-se a intensidade da ultrapassagem dos limites legais de violação de tensão, obtido da curva $K \times \Delta V$ ;
$\Delta V_{m\acute{a}x}$	Queda de tensão (ou sobretensão) máxima no intervalo de tempo em que ocorre a violação de tensão, ou sobretensão, dada em (%);
$CMM$	Consumo médio mensal, durante os três últimos meses, dos consumidores afetados pelas violações de tensão, dado em (kWh).

Curva  $K \times \Delta V$ : Esta curva possibilita que, no cálculo da penalidade, seja levado em consideração o quanto os limites estabelecidos foram violados, Figura 3. Os pontos notáveis da curva são apresentados a seguir:

- $\Delta V$  lim: É a tensão limite, acima da qual será cobrado uma penalidade da distribuidora. Este limite é estipulado pelo órgão regulador. Para tensão de distribuição primária, por exemplo 13,8 kV, a máxima queda de tensão permitida é de 7,5 % e a máxima sobretensão permitida é de 5%. Logo, estes devem ser os valores adotados para  $\Delta V$  lim de subtensão e  $\Delta V$  lim de sobretensão respectivamente.

- $\Delta V$  crit: É a tensão crítica, acima da qual a penalidade sobre a distribuidora deve ser mais elevada. A partir destes níveis de subtensão e sobretensão, a energia entregue aos consumidores apresenta uma qualidade muito baixa e a distribuidora deve ser penalizada com rigor. Neste trabalho adotam-se como valores críticos o dobro dos valores limite, assim, o  $\Delta V$  crit de subtensão e  $\Delta V$  crit de sobretensão são 15 % e 10 % respectivamente.
- $K (\Delta V$  lim) e  $K (\Delta V$  crit): Estes valores devem ser determinados de modo que a inclinação da curva possa estimular a empresa a investir na melhoria do sistema. Assim, por exemplo, no ponto  $\Delta V$  lim, a distribuidora pagaria uma multa que em 12 (doze) meses representaria o custo do investimento para a eliminação da violação de tensão. Por outro lado, no ponto  $\Delta V$  crit, a empresa pagaria uma multa que em 6 (seis) meses seria equivalente ao custo do investimento em melhorias. Propõe-se neste trabalho que a inclinação da reta após  $\Delta V$  crit tenha o dobro da inclinação do trecho compreendido entre  $\Delta V$  lim e  $\Delta V$  crit como pode-se observar na Figura 3.

Figura 3 - Curva  $K$  x  $\Delta V$

O problema consiste em determinar a quantidade de recursos necessária para eliminar o problema da violação de tensão, uma vez que a solução do problema em cada alimentador envolve custos diferenciados. Portanto, devem ser feitos estudos que indiquem um valor médio despendido na melhoria dos níveis de tensão. No capítulo 4 apresenta-se um exemplo onde se calculam estes valores e conseqüentemente a inclinação da reta entre  $\Delta V_{lim}$  e  $\Delta V_{crit}$ .

Obtidas as equações das duas retas, pode-se obter o valor de  $K(\Delta V_{m\acute{a}x})$  e calcular o valor da penalidade imposta à distribuidora. Observa-se que quanto maior for a inclinação desta reta, mais a empresa estará incentivada a investir em sua rede, de modo a evitar a penalização.

### **3.5.2. Divisão dos Recursos Obtidos com a Cobrança da Penalidade**

Sugere-se neste trabalho que o valor da penalidade devida pela empresa seja ressarcido aos clientes diretamente afetados pelas violações de tensão. Assim, cabe à distribuidora apresentar na fatura de energia elétrica do mês subseqüente à penalização o valor restituído, referente ao não cumprimento dos padrões estabelecidos pelo órgão regulador.

O valor ao qual cada consumidor que esteve sujeito às violações de tensão tem direito, deve ser calculado de acordo com seu consumo médio mensal nos últimos três meses. Assim, conhecendo-se o consumo médio mensal dos últimos três meses do transformador que sofreu a violação, que é o somatório dos consumos médios mensais dos consumidores a ele conectados, pode-se calcular o valor a ser restituído ao consumidor através da expressão abaixo.

$$RES_i = PEN * \frac{CMM_i}{CMM} \quad (19)$$



Onde:

$RES_i$	Restituição devida ao consumidor $i$ conectado ao transformador que sofreu violação dos limites de tensão, em (R\$);
$PEN$	Penalidade imposta à concessionária, para o ponto de carga, dada em (R\$);
$CMM_i$	Consumo médio mensal, dos três últimos meses, do consumidor $i$ conectado ao transformador que sofreu violação dos limites de tensão, em (kWh);
$CMM$	Consumo médio mensal, dos três últimos meses, de todos os consumidores conectados ao transformador que sofreu violação dos limites de tensão, em (kWh).

### 3.6. Conclusões

A metodologia apresentada neste capítulo permite o cálculo da penalidade às distribuidoras de energia elétrica, quando do não cumprimento dos níveis de tensão exigidos na legislação.

O método de conversão consumo – demanda apresentado possibilita o cálculo da curva diária de carga de cada transformador do alimentador, tendo como entrada de dados as informações de consumo mensal contidas nos bancos de dados das empresas.

O programa de fluxo de potência utilizado é capaz de indicar os níveis de tensão em cada transformador do alimentador para cada hora do dia, o que possibilita o cálculo dos índices de qualidade de tensão e aplicação da penalidade quando houver violação dos limites previstos pelo órgão regulador.

Os índices de qualidade de tensão apresentados neste capítulo são capazes de indicar claramente a frequência e a duração das violações de tensão, tanto para os consumidores conectados a um transformador específico, quanto para o alimentador como um todo.

A proposta para o cálculo da penalidade apresentada, para a duração das violações de tensão, permite levar em consideração, através da curva  $K \times \Delta V$ , a intensidade das violações. Esta consideração permite um tratamento diferenciado de acordo com o grau de violação dos limites especificados na legislação. Deve-se observar que quanto maior for a inclinação da curva, mais a empresa estará incentivada a investir em sua rede, de modo a evitar multas aplicadas pelo órgão regulador.

No próximo capítulo apresentam-se exemplos, onde pode-se verificar a execução de todos os passos da metodologia proposta neste capítulo.

## **4. APLICAÇÃO DO MODELO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **4.1. Introdução**

No capítulo anterior apresentou-se a metodologia para o cálculo das penalidades, quando do não cumprimento dos índices de qualidade propostos, assim como foram definidas passo a passo, as etapas inerentes ao modelo proposto.

Neste capítulo apresenta-se um exemplo da aplicação deste modelo, assim como a análise dos resultados encontrados. O sistema teste utilizado neste trabalho é um alimentador da cidade de Joinville, JVQ-03, pertencente à subestação JVQ 203, de propriedade da CELESC. Foram obtidos dados da empresa referentes ao consumo mensal dos consumidores conectados aos transformadores deste alimentador, bem como a classe à qual estes consumidores pertencem (residencial, comercial ou industrial). Também foram fornecidos o diagrama unifilar do alimentador teste, assim como os demais dados necessários para a execução do programa de fluxo de potência.

Durante a execução da análise foram necessárias informações complementares, fornecidas pela CELESC, referentes a demanda máxima dos transformadores do alimentador, para uma comparação com os resultados obtidos através do programa de conversão consumo - demanda. Cabe acrescentar que alguns ajustes e simplificações foram necessários, sendo que todas estas modificações são devidamente apresentadas e justificadas nos próximos itens deste capítulo.

### **4.2. Sistema teste**

Como já foi mencionado, o sistema teste utilizado neste trabalho foi o alimentador JVQ-03 conectado à subestação JVQ 203 na cidade de Joinville. Este alimentador possui cento e vinte e quatro transformadores, sendo que deste total, nove pertencem a

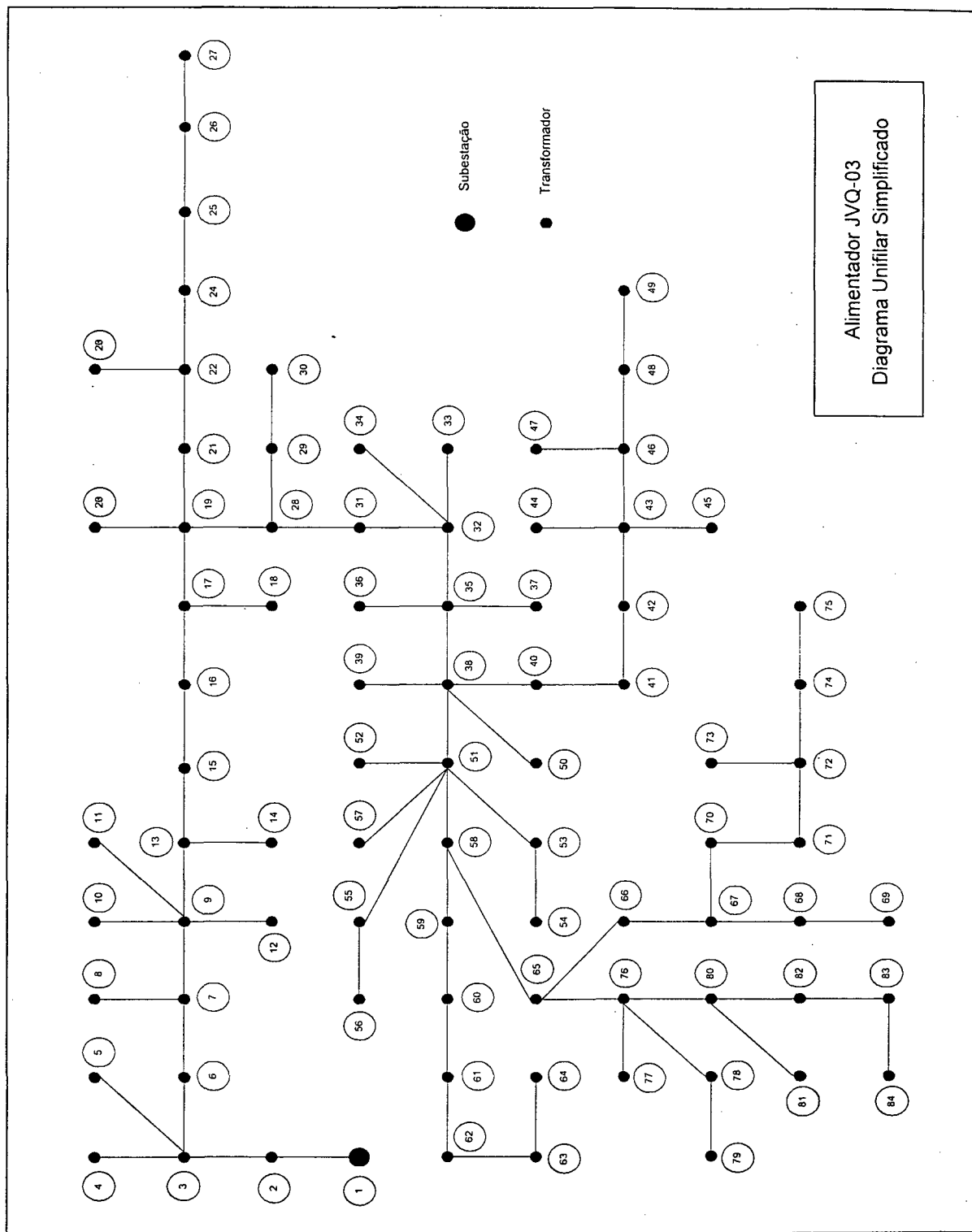
consumidores particulares e os demais são transformadores de distribuição de propriedade da concessionária.

O arquivo referente aos consumos mensais dos consumidores, fornecido pela CELESC, apresenta os dados dos consumidores conectados aos cento e quinze transformadores de propriedade da empresa. Para estes transformadores executou-se o programa de conversão consumo – demanda. Já o diagrama unifilar apresentado contém apenas oitenta e três transformadores, sendo que destes, setenta e quatro são de propriedade da concessionária e nove pertencem a particulares. Para a execução do programa de fluxo de potência faz-se necessário o conhecimento da localização exata de todos os transformadores do alimentador, devido a este motivo, considerou-se apenas os transformadores indicados no diagrama unifilar na execução do programa (83 transformadores).

Na Figura 4 apresenta-se o diagrama unifilar simplificado do alimentador em estudo. As distâncias entre os trechos e as bitolas dos condutores podem ser observados no anexo 3, onde é apresentado um arquivo de saída típico do programa de fluxo de potência utilizado.

### **4.3. O Programa de Conversão Consumo – Demanda**

Os dados referentes à classe e ao consumo médio mensal dos consumidores, pertencentes ao alimentador JVQ-03 foram fornecidos pela CELESC em uma planilha Excel. Fez-se necessário uma organização desta planilha, ordenando-se em primeiro lugar os consumidores, de acordo com o transformador ao qual estão conectados. Em seguida, para cada transformador, ordenou-se os consumidores segundo sua classe (residencial, comercial ou industrial). Para cada classe, os consumidores foram ainda classificados em relação a suas subclasses [8, 26], relacionadas com seu consumo mensal.



**Figura 4 - Diagrama Unifilar Simplificado do Alimentador JVQ-03 com Pontos de Carga**

Construiu-se uma tabela resumo com os dados dos cento e quinze transformadores onde são apresentados o número de consumidores, bem como o somatório do consumo médio mensal dos consumidores pertencentes a cada uma das subclasses propostas. Apresenta-se também a carga de iluminação pública do transformador. A Tabela 5 apresenta uma parte destes dados. A tabela completa que pode ser encontrada no anexo 4.

**Tabela 5 - Dados Típicos dos Transformadores para a Conversão Consumo - Demanda**

Transformador	Nº. de Consumidores Residenciais				Consumo Médio Residencial (kWh)			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
001	18	11	57	14	787	1.047	12.608	5.103
002	7	9	59	25	352	904	13.024	10.461
003	18	17	57	35	537	1.733	12.845	15.908
Transformador	Nº. de Consumidores Comerciais			Consumo Médio Comercial (kWh)				
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3		
001	12	3	0	2.356	1.591	0		
002	12	2	1	1.855	830	1.603		
003	7	0	0	1.033	0	0		
Transformador	Nº. de Consumidores Industriais			Consumo Médio Industrial (kWh)				
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3		
001	3	0	3	15	0	4.359		
002	0	0	1	0	0	965		
003	4	0	0	806	0	0		

<b>Transformador</b>	<b>Carga de Iluminação Pública (kVA)</b>
001	5
002	7,2
003	10,4

Com os dados da Tabela 5, e os fatores de potência para as classes indicados no capítulo anterior, pode-se executar o programa de conversão consumo – demanda.

Pode-se observar que nestes três transformadores a carga predominante é proveniente de consumidores residenciais dos tipos 3 e 4. Nos próximos itens serão feitas observações sobre a influência da predominância deste tipo de carga na determinação da hora em que ocorre a máxima demanda no transformador.

O problema seguinte consiste na determinação dos parâmetros A e B das curvas que relacionam os fator de carga com o número de consumidores, para cada subclasse, para a cidade de Joinville. Foram realizados alguns testes, utilizando-se os valores de A e B propostos em [8, 26] para a cidade de Curitiba e observou-se diferenças na ordem de 60 % quando feitas comparações diretas com os valores fornecidos pela CELESC. Observa-se que o procedimento correto é a realização de medições gráficas nos transformadores de Joinville para a obtenção dos parâmetros exatos, o que viabilizaria a metodologia.

Como a CELESC não dispõe atualmente destas medições, fez-se necessário a determinação indireta dos parâmetros A e B, tornando-se possível a aplicação da metodologia no alimentador teste de Joinville. Para tanto, foram tomados como referência os dados fornecidos pela CELESC, referentes à potência máxima observada nos transformadores do alimentador. Ajustou-se então os parâmetros A e B de modo que os resultados obtidos encontravam-se próximos dos valores indicados pela concessionária. Sabe-se que os parâmetros adotados neste trabalho são típicos, porém não reais, uma vez que apenas através da medição gráfica das curvas de carga dos transformadores pode-se obter os valores corretos dos parâmetros A e B da curva que relaciona o fator de carga com

o número de consumidores. A Tabela 6 apresenta uma comparação dos valores apresentados pela referência para a cidade de Curitiba e os adotados neste trabalho para a cidade de Joinville.

**Tabela 6 - Parâmetros A e B Adotados em Joinville e em Curitiba**

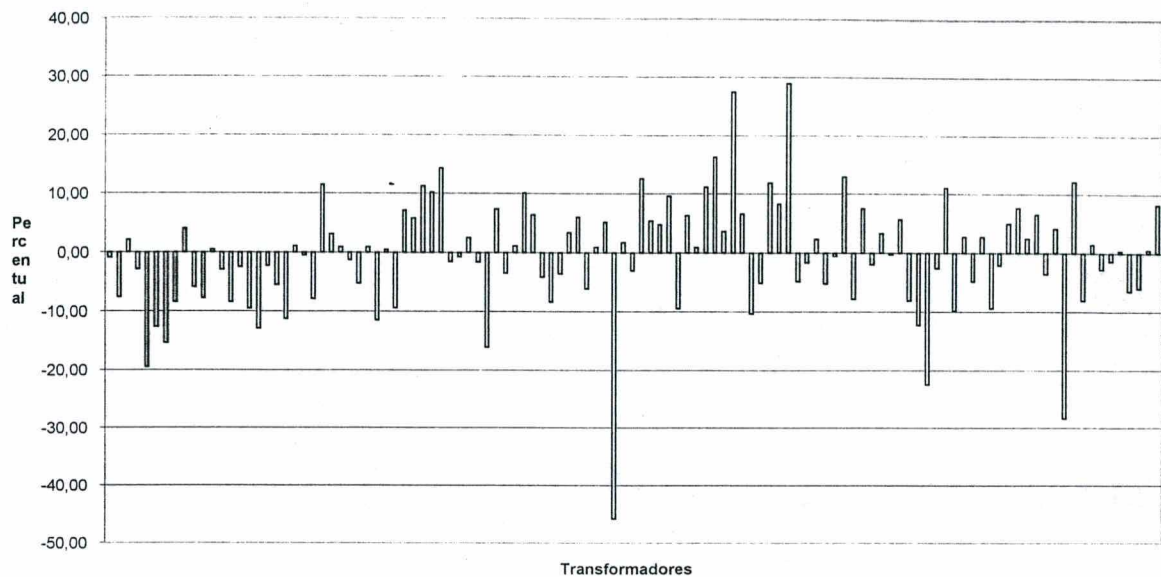
Classe	Tipo	Parâmetro A		Parâmetro B	
		Curitiba	Joinville	Curitiba	Joinville
Residencial	1	0,135	0,215	0,1812	0,2612
	2	0,153	0,213	0,1924	0,2724
	3	0,180	0,240	0,1723	0,2523
	4	0,198	0,258	0,1635	0,2435
Comercial	1	0,207	0,267	0,1994	0,2794
	2	0,225	0,285	0,1991	0,2791
	3	0,243	0,303	0,2136	0,2936
Industrial	1	0,216	0,276	0,2122	0,2922
	2	0,243	0,303	0,2095	0,2895
	3	0,261	0,321	0,2149	0,2949

No trabalho de Daltro Silva [8, 26] verificou-se, na cidade de Curitiba, que para 84,5% dos transformadores da amostra o erro, quando comparados os resultados do programa com os valores de demanda medidos, situava-se na faixa de [-20% , 20%].

Neste trabalho, comparou-se os valores das demandas máximas obtidas com os valores fornecidos pela CELESC, verificando-se que em 95,6% dos casos o erro situa-se na faixa de [-20% , 20%] e em 77,4% dos casos este erro encontra-se na faixa de [-10% , 10%], resultados portanto aceitáveis e que podem ser utilizados nas próximas etapas da metodologia apresentada nesta dissertação. Na Figura 5 pode-se observar a dispersão



percentual dos valores de demanda máxima obtidos no programa de conversão consumo – demanda em relação aos valores fornecidos pela CELESC.



**Figura 5 - Dispersão Percentual dos Valores de Demanda Máxima Obtidos no Programa em Relação aos Valores Fornecidos pela CELESC**

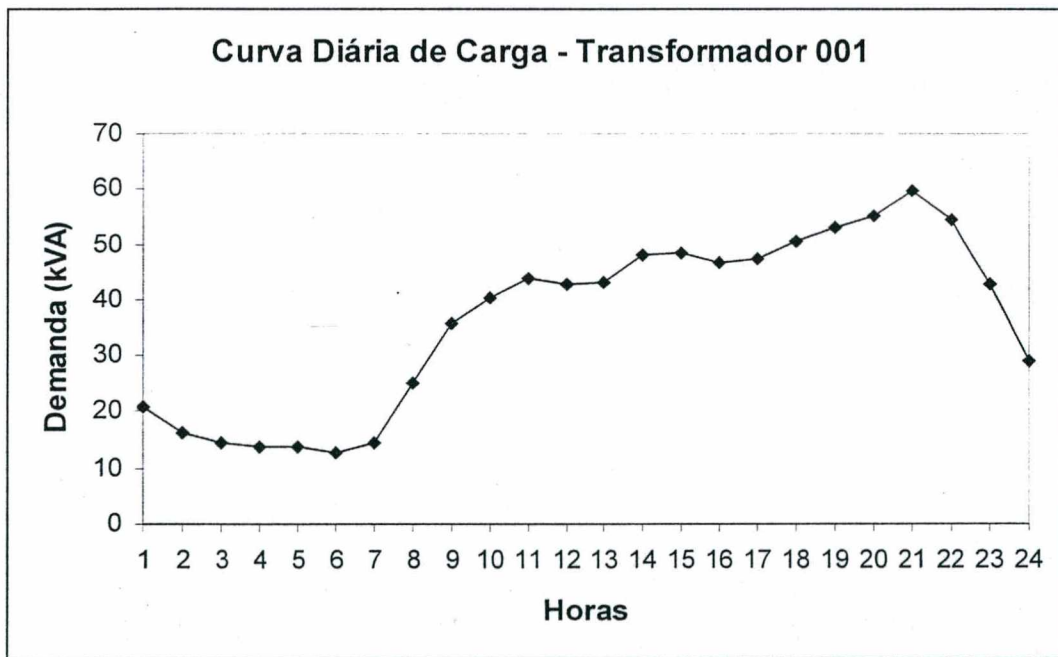
Os maiores erros percentuais foram verificados em transformadores com pouca carga instalada, deste modo estes erros não comprometem os resultados do fluxo de carga.

Para os três transformadores tomados como exemplo, na Tabela 5, pode-se observar, na Tabela 7, os valores da demanda máxima e a hora que estas ocorrem. Nas figuras 6, 7 e 8 são apresentadas as curvas diárias completas referentes aos transformadores 001, 002 e 003 respectivamente. Estas curvas são o resultado da soma das curvas de carga das onze subclasses de consumidores conectados a estes transformadores.

**Tabela 7 - Dados de Saída do Programa de Conversão Consumo - Demanda**

<b>Transformador</b>	<b>Hora da Máxima Demanda</b>	<b>Demanda Máxima (kVA)</b>	<b>Número de Consumidores</b>
001	21	59,76	121
002	21	68,61	116
003	21	77,29	138

No anexo 5 apresenta-se a tabela completa, com os dados dos cento e quinze transformadores do alimentador em análise.



**Figura 6 - Curva Diária de Carga do Transformador 001**

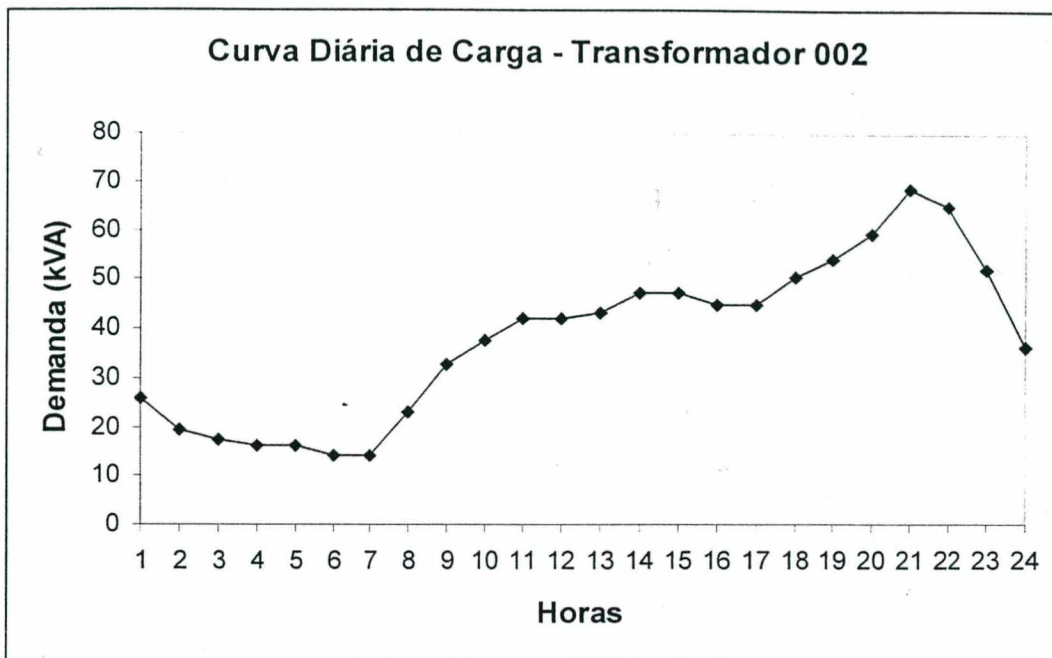


Figura 7 - Curva Diária de Carga do Transformador 002

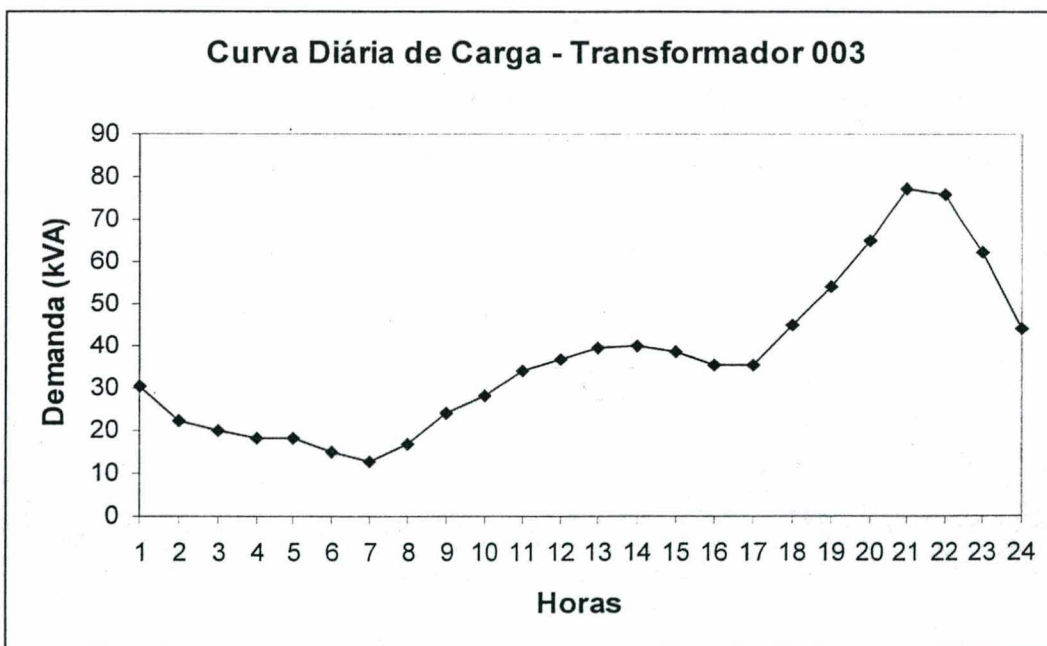


Figura 8 - Curva Diária de Carga do Transformador 003

A hora da máxima demanda, como mencionado anteriormente, é função da soma das curvas de demanda diárias de todos os tipos de classes de consumidores consideradas. Pode-se observar na Tabela 5 que nos três transformadores o predomínio do consumo é

residencial dos tipos 3 e 4, e que nestes tipos de consumidores a demanda máxima ocorre as vinte e uma e vinte e duas horas respectivamente [Anexo 1]. O transformador 001 é o que apresenta maior consumo comercial e industrial, fazendo com que a curva de carga seja mais plana durante o dia. O inverso ocorre com o transformador 003, onde se observa pouco consumo não residencial, apresentando um elevado pico na demanda no período noturno.

Na Tabela 8 apresenta-se um quadro resumo da distribuição horária da demanda máxima nos transformadores do alimentador teste. Pode-se observar nesta tabela que a grande maioria (91,3 %) dos transformadores apresenta predomínio de carga residencial, sendo que em poucos casos (8,7 %) fica evidente a existência de maior carga comercial e industrial, apresentando valores de pico fora do período noturno.

**Tabela 8 - Distribuição da Hora de Máxima Demanda nos Transformadores do Alimentador JVQ-03**

<b>Hora da Máxima Demanda</b>	<b>Número de Transformadores</b>	<b>Percentual</b>
15	3	2,61
16	1	0,87
17	1	0,87
18	5	4,35
21	101	87,82
22	4	3,48

Após a determinação da demanda em cada transformador a cada hora do dia, pode-se passar para a segunda etapa da metodologia, ou seja, o cálculo da queda de tensão no alimentador.

#### 4.4. Determinação das Violações de Tensão

A segunda etapa da metodologia proposta refere-se à execução de um programa de fluxo de potência para cada hora do dia, com a finalidade de determinar a frequência e a duração das violações de tensão. Da etapa anterior obtém-se os dados referentes à demanda dos transformadores do alimentador, hora a hora, para um dia de semana típico.

Faz-se necessário ainda a obtenção de dados relacionados com o alimentador, ou seja, tipo de cabo utilizado em cada trecho, distância entre transformadores, tensões de operação e nominal do alimentador, fatores de demanda e de potência, e dados dos equipamentos instalados ao longo do alimentador (bancos de capacitores, reguladores de tensão, etc.).

Como descrito no início deste capítulo, o diagrama unifilar fornecido pela CELESC apresenta apenas oitenta e três dos cento e vinte e quatro transformadores do alimentador. Logo, pelas justificativas já apresentadas, o programa de fluxo de potência foi executado para este número reduzido de transformadores.

Os dados referentes ao alimentador foram fornecidos pela concessionária e estão apresentados na Tabela 9. No anexo 3 apresentam-se os demais dados referentes aos trechos do alimentador, ou seja, condutor utilizado e a distância entre transformadores.

**Tabela 9 - Dados Gerais do Alimentador JVQ-03**

<b>Tensão Nominal (kV)</b>	<b>Tensão de Operação (kV)</b>	<b>Fator de Potência</b>	<b>Fator de Demanda</b>
13,80	13,80	0,94	0,68

Na primeira execução do programa, com os valores originais de demanda nos pontos de carga, não se verificou violação de limites de tensão ao longo dos oitenta e três transformadores do alimentador. Então, com a finalidade de se verificar a aplicação da metodologia adotou-se um fator de multiplicação de carga para simular uma situação de

violações dos limites de tensão. Foram efetuadas análises para duas situações,  $FMC = 1,27$  e  $FMC = 1,35$ , conforme descrito a seguir.

Caso 1 – No primeiro caso utilizou-se o Fator de Multiplicação de Carga igual a 1,27 ( $FMC = 1,27$ ). Para este caso observou-se violação de tensão em quatro pontos (transformadores) do alimentador, conforme apresentado na Tabela 10. No anexo 6 apresenta-se a tabela completa, com os níveis de tensão para todos os pontos do alimentador, para as vinte e quatro horas do dia.

**Tabela 10 - Queda de Tensão Percentual por Ponto do Alimentador a Cada Hora para o Caso 1**

<b>Queda de Tensão Percentual</b>				
<b>Hora</b>	<b>19:00</b>	<b>20:00</b>	<b>21:00</b>	<b>22:00</b>
<b>Ponto de Carga</b>				
72	6,3	6,8	7,6	7,1
73	6,3	6,8	7,6	7,2
74	6,3	6,8	7,6	7,2
75	6,3	6,8	7,6	7,2

Obs: Os pontos em negrito correspondem às violações dos limites de tensão especificados pela Portaria N<sup>o</sup>. 047/78 [7].

Observa-se que a duração da violação para os quatro pontos com queda de tensão acima dos valores permitidos pelo órgão regulador é de uma hora, ocorrendo uma vez por dia. Estes valores serão utilizados no próximo item para o cálculo dos índices de qualidade.

Caso 2 – Neste caso utilizou-se  $FMC = 1,35$  ( $FMC = 1,35$ ) e observou-se violação de tensão em vinte e sete pontos (transformadores) do alimentador. Na Tabela 11 pode-se observar os pontos com queda de tensão acima dos valores permitidos pela ANEEL. No anexo 7 apresenta-se a tabela completa com todos os pontos e horários.

**Tabela 11 - Queda de Tensão Percentual por Ponto do Alimentador a Cada Hora  
para o Caso 2**

<b>Queda de Tensão Percentual</b>				
<b>Hora</b>	<b>20:00</b>	<b>21:00</b>	<b>22:00</b>	<b>23:00</b>
<b>Ponto de Carga</b>				
58	6,9	7,7	7,3	6,1
59	7,0	7,8	7,3	6,2
60	7,1	7,9	7,5	6,3
61	7,1	7,9	7,5	6,3
62	7,1	7,9	7,5	6,3
63	7,1	7,9	7,5	6,3
64	7,1	7,9	7,5	6,3
65	7,0	7,8	7,3	6,2
66	7,1	7,8	7,4	6,2
67	7,1	7,9	7,4	6,3
68	7,1	7,9	7,5	6,3
69	7,1	7,9	7,5	6,3
70	7,1	7,9	7,5	6,3
71	7,2	7,9	7,5	6,3
72	7,2	8,0	7,6	6,3
73	7,2	8,0	7,6	6,4
74	7,2	8,0	7,6	6,4
75	7,2	8,0	7,6	6,4

76	7,0	<b>7,8</b>	7,4	6,2
77	7,0	<b>7,8</b>	7,4	6,2
78	7,0	<b>7,8</b>	7,4	6,2
79	7,0	<b>7,8</b>	7,4	6,2
80	7,0	<b>7,8</b>	7,4	6,2
81	7,0	<b>7,8</b>	7,4	6,2
82	7,1	<b>7,8</b>	7,4	6,2
83	7,1	<b>7,8</b>	7,4	6,2
84	7,1	<b>7,9</b>	7,4	6,2

Obs: Os pontos em negrito correspondem às violações dos limites de tensão especificados pela Portaria N<sup>o</sup>. 047/78 [7].

Dos pontos de carga 72 (setenta e dois) a 75 (setenta e cinco) observa-se um período de violação de duas horas de duração. Nos demais pontos de carga com violação de tensão, o período é de uma hora. Em nenhum momento verificou-se uma frequência de violação de tensão superior a uma ocorrência ao dia.

Ao se aplicar um fator de multiplicação de carga na execução do programa de fluxo de potência, o que possibilitou a verificação de transformadores com violação de tensão, não houve uma preocupação com o carregamento individual em cada transformador. A única grandeza verificada foi o limite de carregamento nos condutores dos trechos. Assim, quando da aplicação do FMC = 1,35 (um vírgula trinta e cinco) observou-se um carregamento máximo de 99,9% correspondente ao condutor do trecho 6 – 3, próxima à subestação.

As curvas de carga diárias dos transformadores, utilizadas como dado de entrada para o programa de fluxo de potência correspondem aos dias úteis. Neste trabalho não se utilizou curvas típicas para sábados e domingos. Para que estas curvas fossem consideradas seriam necessários medidas referentes às curvas típicas diárias para os sábados e domingos, para cada tipo de consumidor estudado na conversão consumo – demanda.



Assim, neste trabalho considera-se que ocorrem problemas de violações de tensão apenas nos dias úteis. Normalmente pode-se verificar sobretensões nos finais de semana, por exemplo, para consumidores conectados a pontos do alimentador próximos a bancos de capacitores fixos. Problemas relacionados a subtensões elevadas são raros em dias não úteis.

#### 4.5. Cálculo dos Índices de Qualidade de Tensão

Para o cálculo dos índices de qualidade considerados neste trabalho adota-se a base mensal. Um mês típico de trinta dias apresenta vinte e dois dias úteis e oito dias referentes aos sábados e domingos. Como os resultados obtidos do programa de fluxo de potência correspondem a um dia útil, é necessário uma conversão para a base mensal.

Apresenta-se a seguir o cálculo dos índices de qualidade de tensão para os dois casos exemplo, apresentados no item anterior.

Caso 1 – Neste caso, verificou-se quatro pontos do alimentador com violações de tensão. A Tabela 12 apresenta os dados necessários para o cálculo dos índices de qualidade referentes a estes pontos de carga.

**Tabela 12 - Dados Gerais dos Transformadores com Violação de Tensão - Caso 1**

<b>Transformador</b>	<b>Número de Consumidores Atingidos</b>	<b>Tempo Mensal de Violação (horas)</b>	<b>Máxima Queda de Tensão (%)</b>	<b>Consumo Médio Mensal (kWh)</b>
72	147	22	7,6	31.788
73	1	22	7,6	37.400
74	93	22	7,6	24.193
75	146	22	7,6	32.632
<b>Total</b>	<b>387</b>			

Abaixo apresentam-se os demais dados necessários para o cálculo dos índices de qualidade propostos neste trabalho.

Potência aparente dos transformadores com violação de tensão em um dia útil:	526,75 kVA
Potência aparente total do alimentador:	7.695,11 kVA
Número de Consumidores com violação de tensão em um dia útil:	387
Número total de Consumidores do alimentador:	8.153

a) Índices Globais de Frequência e Duração das Violações de Tensão:

FEV – Frequência Equivalente da Violação de Tensão por Consumidores:

$$FEV = \frac{\sum C_v}{C_s}$$

$$FEV = \frac{22 * 387}{8.153}$$

$$FEV = 1,0443 \text{ _violações _por _cliente - mês}$$

o FEV indica que em média, cada cliente do sistema sofreu 1,044 violações em um mês.

FEVP – Frequência Equivalente da Violação de Tensão por Potência:

$$FEVP = \frac{\sum kVA_v}{kVA_s}$$

$$FEVP = \frac{22 * 526,75}{7.695,11}$$

$$FEVP = 1,5059 \text{ _violações _por _unidade _de _kVA - mês}$$

Este índice de frequência difere-se do FEV, pois está relacionado com a carga instalada (proporcional ao consumo), enquanto o FEV está relacionado com o número de consumidores.

DEV – Duração Equivalente da Violação de Tensão:

$$DEV = \frac{\sum_{v=1}^{C_v} \sum_{u=1}^x d_{vu}}{C_v}$$

$$DEV = \frac{(147 + 1 + 93 + 146) * 22}{387}$$

$$DEV = 22,0 \text{ _horas}$$

O DEV indica que em média, cada cliente que esteve submetido as violações de tensão, no período de um mês, permaneceu 22 horas nesta situação.

b) Índices Individuais de Frequência e Duração das Violações de Tensão:

FIVT – Frequência Individual de Violação de Tensão:

$$FIVT = n$$

$$FIVT = 22 \text{ _vezes}$$

Para todos os consumidores, conectados aos quatro transformadores que sofreram violação de tensão, a Frequência Individual de Violação de Tensão é de 22 (vinte e duas) violações mensais. Para os demais clientes conectados ao alimentador, o índice FIVT é zero.

DIVT – Duração Individual de Violação de Tensão:

$$DIVT = \sum t_v$$

$$DIVT = 22 \text{ _horas}$$

Para todos os consumidores pertencentes aos quatro transformadores com violação de tensão a Duração Individual de Violação de Tensão é de 22 (vinte e duas) horas mensais. Este índice representa o tempo mensal de violação de tensão para o ponto de carga (transformador),

DRVT – Duração Relativa da Violação de Tensão:

$$DRVT = \frac{t_v}{t_o} * 100$$

$$DRVT = \frac{22}{720} * 100$$

$$DRVT = 3,06 \%$$

Assim, durante 3,06% do mês, os consumidores conectados aos transformadores indicados na Tabela 12, estão submetidos a violações de tensão.

Na Tabela 13 pode-se observar um quadro resumo dos índices de qualidade propostos neste trabalho para o caso 1.

**Tabela 13 – Quadro Resumo dos Índices de Qualidade - Caso 1**

<b>Índices Globais de Qualidade</b>		
<b>FEV</b>	1,044 (violações por cliente por mês)	
<b>FEVP</b>	1,506 (violações por unidade de kVA por mês)	
<b>DEV</b>	22,0 (horas por mês)	
<b>Índices Individuais de Qualidade</b>		
	<b>Índice</b>	<b>Transformadores</b>
<b>FIVT</b>	22 (violações)	72, ..., 75
	0	Demais transformadores
<b>DIVT</b>	22 (horas)	72, ..., 75
	0	Demais transformadores
<b>DRVT</b>	3,06 (%)	72, ..., 75
	0	Demais transformadores

Caso 2 – Neste caso, foi simulado um carregamento maior do alimentador, aumentando o Fator de Multiplicação de carga para 1,35, quando se verificou vinte e sete pontos do alimentador com violações de tensão. A Tabela 14 apresenta os dados necessários para o cálculo dos índices de qualidade referentes a estes pontos.

**Tabela 14 - Dados Gerais dos Transformadores com Violação de Tensão - Caso 2**

<b>Transformador</b>	<b>Número de Consumidores Atingidos</b>	<b>Tempo Mensal de Violação (horas)</b>	<b>Máxima Queda de Tensão (%)</b>	<b>Consumo Médio Mensal (kWh)</b>
58	217	22	7,7	62.940
59	84	22	7,8	17.020
60	125	22	7,9	25.951
61	103	22	7,9	20.187
62	1	22	7,9	8.380
63	80	22	7,9	16.572
64	14	22	7,9	1.989
65	148	22	7,8	45.607
66	128	22	7,8	25.742
67	142	22	7,9	30.104
68	78	22	7,9	14.719
69	78	22	7,9	19.364
70	136	22	7,9	27.869
71	123	22	7,9	28.863
72	147	44	8,0	31.788
73	1	44	8,0	37.400

74	93	44	8,0	24.193
75	146	44	8,0	32.632
76	21	22	7,8	13.648
77	175	22	7,8	40.419
78	61	22	7,8	15.742
79	116	22	7,8	22.510
80	94	22	7,8	25.949
81	127	22	7,8	25.911
82	1	22	7,8	17.319
83	119	22	7,8	26.948
84	104	22	7,9	20.291
<b>Total</b>	2.662			

Abaixo apresenta-se os demais dados necessários para o cálculo dos índices de qualidade propostos neste trabalho.

Potência aparente dos transformadores com violação de tensão em um dia útil:	2.431,43 kVA
Potência aparente total do alimentador:	8.179,84 kVA
Consumidores com violação de tensão em um dia útil:	2.662
Consumidores do alimentador:	8.153

Na Tabela 15 apresenta-se um quadro resumo dos índices de qualidade (caso 2).

Tabela 15 – Quadro Resumo dos Índices de Qualidade - Caso 2

<b>Índices Globais de Qualidade</b>		
<b>FEV</b>	7,183 (violações por cliente por mês)	
<b>FEVP</b>	6,539 (violações por unidade de kVA por mês)	
<b>DEV</b>	25,198 (horas por mês)	
<b>Índices Individuais de Qualidade</b>		
	<b>Índice</b>	<b>Transformadores</b>
<b>FIVT</b>	22 (violações)	58, ..., 84
	0	Demais transformadores
<b>DIVT</b>	22 (horas)	58, ..., 71 e 76, ..., 84
	44 (horas)	72, ..., 75
	0	Demais transformadores
<b>DRVT</b>	3,06 (%)	58, ..., 71 e 76, ..., 84
	6,11 (%)	72, ..., 75
	0	Demais transformadores

A diferença entre os casos 1 e 2 consiste na maior severidade das violações de tensão, tanto em intensidade, quanto na frequência (FEV). Observa-se também que a duração individual das violações de tensão (DIVT) no caso 2 apresenta o dobro dos valores observados para alguns transformadores, quando comparado com o primeiro caso.

#### 4.6. Cálculo da Penalidade

Neste item apresenta-se um exemplo da aplicação da fórmula proposta para a penalização das concessionárias, quando do não cumprimento dos limites dos níveis de tensão previstos pelo órgão regulador.





Assumindo um custo total de investimento de 75 mil reais, pode-se determinar todos os pontos de interesse da curva proposta na Figura 3. Assim, temos:

Da equação (20), isolando-se o termo  $K(\Delta V_{m\acute{a}x})$ , temos:

$$K(\Delta V_{m\acute{a}x}) = \frac{PEN}{t_v * CMM} \quad (21)$$

Considerando-se  $PEN$  o custo do investimento em melhorias,  $CMM$  o consumo médio total dos pontos com violação de tensão,  $t_v$  a duração equivalente de violação de tensão por consumidor ( $DEV$ ) e considerando-se nos pontos  $\Delta V_{lim}$  e  $\Delta V_{crit}$  um amortecimento de 12 e 6 meses, respectivamente, do custo de investimento em melhorias, temos:

$$K(\Delta V_{lim}) = \frac{Investimento/12}{DEV * CMM_{total}} \quad (22)$$

$$K(\Delta V_{crit}) = \frac{Investimento/6}{DEV * CMM_{total}} \quad (23)$$

Deve-se observar que quanto menor o prazo de amortecimento no ponto  $\Delta V_{crit}$ , maior será a inclinação da reta, sendo esta uma indicação das vantagens de se investir nas melhorias do sistema, quando os valores das quedas de tensão percentuais nos pontos de carga do alimentador estiverem próximos de  $\Delta V_{crit}$ . Os valores obtidos são apresentados abaixo:

Custo do investimento em melhorias:	R\$ 75.000,00
Consumo médio total dos pontos com violação de tensão:	680.057 kWh
DEV:	25,198 horas
$\Delta V_{lim}$ :	7,5 %

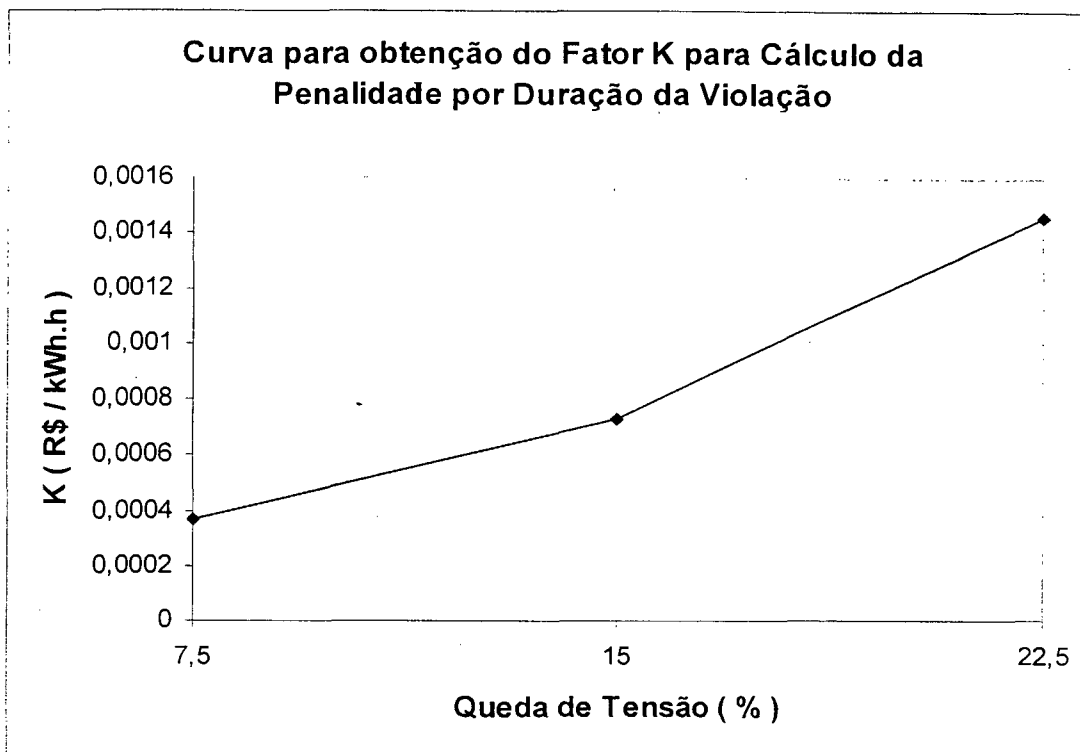
$\Delta V$ crit:	15 %
Amortecimento de investimento em $\Delta V$ lim:	12 meses
Amortecimento do investimento em $\Delta V$ crit:	6 meses
$K(\Delta V$ lim):	0,000365
$K(\Delta V$ crit):	0,000729
Equação da reta – primeiro trecho:	$y = 4,86 * 10^{-5} * x$
Equação da reta – segundo trecho:	$y = 9,73 * 10^{-5} * x - 0,00073$

Na Figura 10 apresenta-se o gráfico da função  $K(\Delta V_{m\acute{a}x})$  para o auxílio na determinação da penalidade prevista para cada alimentador. Deve-se observar que não se propõe o cálculo dos valores de  $K(\Delta V$  lim) e  $K(\Delta V$  crit) ou seja, a inclinação da reta, para cada alimentador. O que se apresenta é um valor de referência típico, o qual deverá ser reavaliado a cada revisão do contrato de concessão da empresa.

Como em todos os pontos onde houve violação de tensão, a queda de tensão percentual está abaixo do valor de  $\Delta V$  crit, a equação geral da penalidade para cada ponto pode ser escrita da seguinte forma:

$$PEN = DIVT * 4,86 * 10^{-5} * \Delta V_{m\acute{a}x} * CMM_{Ponto} \quad (24)$$

Uma alternativa seria a utilização da equação (20), obtendo o valor de  $K(\Delta V_{m\acute{a}x})$  diretamente do gráfico da Figura 10.



**Figura 10 - Curva para obtenção do fator  $K(\Delta V_{m\acute{a}x})$**

Na Tabela 14 estão os dados referentes à máxima queda de tensão percentual ( $\Delta V_{m\acute{a}x}$ ), consumo médio mensal (CMM *ponto*) e tempo mensal de violação ( $t_v$ ), que como mencionado anteriormente é equivalente ao DIVT, para todos os pontos com violação de tensão, o que possibilita o cálculo da penalidade para cada ponto de carga. A penalidade total é obtida através da soma das penalidades nos pontos. A Tabela 16 apresenta as penalidades calculadas para cada ponto e a penalidade total devido às violações de tensão em todo o alimentador.

**Tabela 16 – Penalidade Mensal por Transformador e Penalidade Total do Alimentador**

Transformador	Penalidade (R\$)
58	518,49
59	142,03

60	219,33
61	170,62
62	70,83
63	140,06
64	16,81
65	380,58
66	214,81
67	254,43
68	124,40
69	163,66
70	235,54
71	243,95
72	544,14
73	640,20
74	414,13
75	558,58
76	113,89
77	337,29
78	131,36
79	187,84
80	216,54
81	216,22
82	144,52

83	224,88
84	171,50
<b>Total Mensal</b>	<b>6.796,65</b>

Deste modo, como as quedas de tensão percentual estão em todos os transformadores próximas do  $\Delta V$  lim, em 11,03 meses de pagamento da multa a empresa terá gasto o valor equivalente aquele necessário para a solução dos problemas do alimentador, ou seja:  $(11,03 \times R\$ 6.796,65 = R\$ 75.000,00)$ . Deve-se ressaltar que o modelo proposto pressupõe o pagamento da multa mensal até que o problema de violação de tensão seja eliminado.

Com o valor da penalidade por transformador pode-se calcular facilmente a quantia a qual cada consumidor, atendido por este transformador, teria a receber por estar submetido a esta situação adversa, de acordo com a equação (19). Tomando como exemplo um consumidor residencial do tipo 4, conectado ao ponto 84 (na Tabela 14 pode-se obter o valor do CMM) e com consumo médio mensal de 469 kWh, ter-se-ia:

$$RES_i = PEN * \frac{CMM_i}{CMM}$$

$$RES_i = 171,50 * \frac{469}{20.291}$$

$$RES_i = R\$ \_3,96$$

O procedimento é o mesmo para cada consumidor que receberá uma restituição de acordo com o seu consumo médio mensal nos últimos três meses.

## 4.7. Conclusões

Neste capítulo apresentou-se um exemplo da aplicação da metodologia proposta. Abaixo apresentam-se algumas observações relevantes em relação à proposta para o cálculo de índices de frequência e duração de violações de limites de tensão e da penalidade em caso da ocorrência destas violações.

Para a utilização correta do programa de conversão consumo – demanda, é necessário que se façam medições gráficas das curvas de carga dos transformadores, para obtenção dos parâmetros A e B da função que relaciona o fator de carga com o número de consumidores, na região onde se encontram os alimentadores em teste.

Observa-se que a curva de carga do transformador é uma composição das curvas de carga dos tipos de consumidores considerados, assim, o tipo predominante de consumidores tende a indicar o horário da demanda máxima dos transformadores.

Os índices de qualidade adotados permitem identificar a intensidade das violações de tensão, mensurando a frequência e duração das mesmas.

A inclinação da curva  $K(\Delta V_{m\acute{a}x})$  indica o tempo de amortecimento no qual a empresa pagaria em multas o equivalente ao investimento em melhorias no sistema. Assim, quanto maior a inclinação da reta, mais vantajoso será para a distribuidora investir na melhoria da qualidade da energia elétrica fornecida a seus clientes, pois as multas serão maiores.

Através do emprego da equação (19) pode-se determinar o pagamento ao qual cada consumidor, submetido a violações de tensão, tem direito a receber no mês subsequente da verificação da irregularidade.

## **5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

O objetivo principal deste trabalho foi a obtenção de uma metodologia que permite o cálculo da frequência e duração das violações de tensão, além da aplicação de uma penalidade às empresas distribuidoras de energia elétrica, quando do não cumprimento dos níveis de tensão indicados na legislação. Após a apresentação da metodologia proposta e dos resultados obtidos a partir do problema exemplo apresentado, pode-se chegar a algumas conclusões.

O método de conversão consumo – demanda adotado neste trabalho mostrou-se eficiente, possibilitando a obtenção da curva diária de carga dos transformadores em estudo, que era o objetivo principal de sua utilização. Como mencionado anteriormente, para que a ferramenta apresente resultados o mais próximo possível da realidade, é necessário a determinação dos parâmetros A e B da curva que relaciona o fator de carga com o número de consumidores. Isso é possível através de medições realizadas em transformadores na região onde se deseja fazer o levantamento dos níveis de tensão na rede de distribuição de energia elétrica.

O programa de fluxo de potência adotado neste trabalho foi capaz de indicar claramente os níveis de tensão em cada transformador do alimentador sob análise. Através das curvas de demanda diária de cada ponto de carga, pode-se determinar a queda de tensão percentual naquele ponto durante as vinte e quatro horas de um dia útil, o que permite obter o período ao qual cada transformador está submetido a quedas de tensão maiores do que as permitidas pela legislação.

Os índices relacionados à frequência e à duração das violações de tensão adotados nesta dissertação permitem uma visão clara e objetiva dos problemas apresentados no alimentador analisado, bem como para cada ponto de carga individual. Na revisão da

literatura pode-se observar que em muitos países, além destes índices de frequência e duração das violações, já são feitas exigências com relação aos limites máximos de injeção de harmônicas no sistema, flutuações de tensão, Sag, Swell, etc. Estes índices e limites devem ser estudados pelo órgão regulador e incorporados à legislação brasileira no futuro, pois observa-se cada vez mais a presença de cargas não-lineares no sistema brasileiro. Caso estes aspectos referentes à conformidade da tensão não sejam observados com rigor, teremos uma energia elétrica com formas de onda de tensão e corrente com distorções cada vez maiores de amplitude e frequência.

A proposta de penalidade apresentada demonstrou-se eficiente, pois leva em consideração tanto o tempo quanto a intensidade das violações de tensão. Apresenta de forma clara às empresas distribuidoras de energia elétrica as vantagens de se investir em melhorias nas redes de distribuição, quando comparado com os recursos despendidos no pagamento das multas. A proposta de divisão valor devido pela empresa entre os clientes diretamente afetados pela falta de qualidade, de acordo com o consumo médio mensal dos últimos três meses, demonstra-se socialmente correta. Como já mencionado nos capítulos 3 e 4, o grande problema encontra-se na determinação do fator  $K(\Delta V_{máx})$ , utilizado no cálculo do valor da penalidade, uma vez que este valor deve ser sempre maior que o custo de investimentos na eliminação dos problemas verificados no sistema, e para cada caso tem-se custos distintos envolvidos. Assim, como alternativa, pode-se determinar um valor fixo típico para cada empresa. Este valor seria reavaliado em cada revisão do contrato de concessão da distribuidora.

O objetivo geral deste trabalho foi alcançado, pois através da elaboração de um procedimento que permite determinar e penalizar, se for o caso, as violações de tensão em sistemas de distribuição, tendo como dados de entrada o consumo médio mensal e classe dos consumidores, dados estes presentes nos cadastros de faturamento das empresas, e dados da rede elétrica. Sabe-se que a metodologia pode e deve ser aprimorada, assim, nos próximos itens apresentam-se as contribuições do trabalho e algumas sugestões para trabalhos futuros.



## 5.1. Contribuições do Trabalho:

As principais contribuições desta dissertação foram:

- Revisão dos índices de qualidade de tensão abordados na atual legislação brasileira, além da apresentação de índices propostos na literatura para aspectos relacionados à conformidade da tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica;
- Proposta de novos índices de frequência e duração das violações de tensão;
- Utilização de um método de conversão consumo – demanda acoplado a um programa de fluxo de potência para a determinação dos níveis de tensão em cada transformador do alimentador durante as vinte e quatro horas do dia;
- Proposta de um sistema de penalização que sinaliza às empresas a vantagem de investimento em obras que eliminem as violações observadas. Esta proposta é baseada na duração e na intensidade das violações de tensão, e na divisão proporcional do valor devido pela empresa entre os consumidores que sofreram a violação, de acordo com seu consumo médio mensal.

## 5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros:

Como comentado anteriormente, esta dissertação deve ser considerada como uma base para desenvolvimentos futuros. Entre os possíveis trabalhos futuros relacionados ao que foi abordado nesta dissertação destacam-se:

- Aprimoramento do método de conversão consumo – demanda, considerando-se curvas de correlação função de carga e número de consumidores para os sábados e domingos, além de abordar aspectos relacionados à sazonalidade devido as estações do ano. Outro aspecto importante é a utilização de curvas

de demanda diárias com intervalos de tempo menores, quinze ou dez minutos por exemplo;

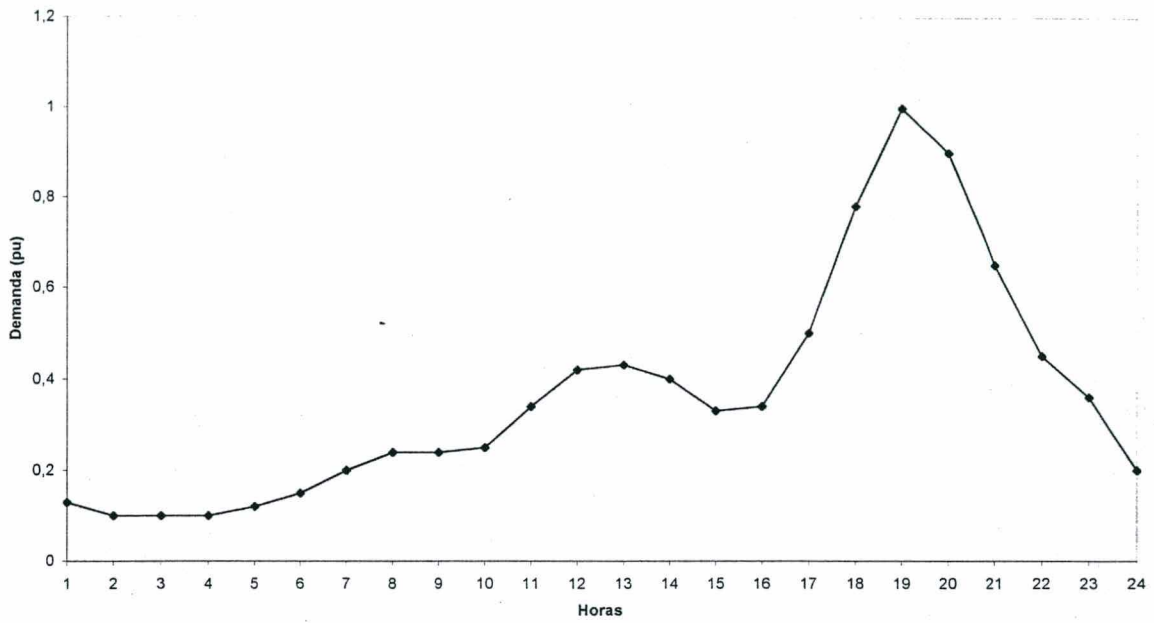
- Incorporação da rede de distribuição secundária ao modelo, avaliando a queda de tensão produzida neste trecho do alimentador;
- Proposta para a penalização devido à frequência das violações de tensão e limites para os índices de frequência e duração individuais;
- Aplicação dos índices relacionados com distorções harmônicas, Sag, Swell, flutuações de tensão, e demais aspectos relacionados à conformidade da onda de tensão;

## **Anexo 1:**

### **Curvas Diárias de Carga Típicas.**

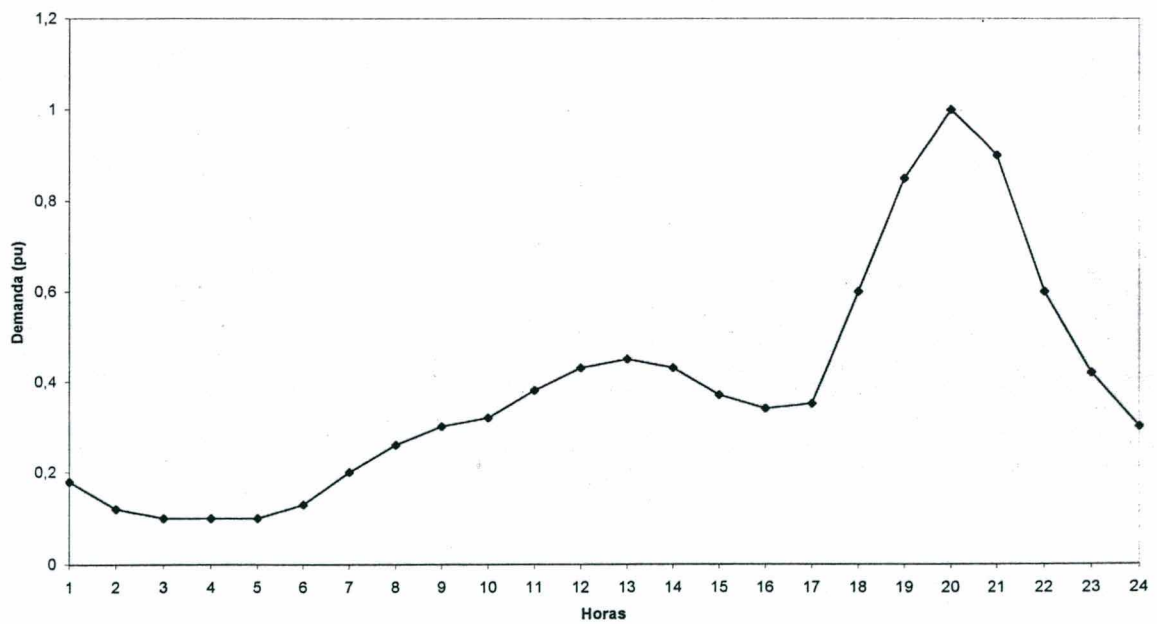
Apresenta-se neste anexo as curvas diárias de carga típicas para cada uma das subclasses de consumidores abordadas no método de conversão consumo – demanda. Estas curvas são apresentadas em valores por unidade e indicam o horário em que se verifica a máxima demanda, além da distribuição da demanda ao longo das vinte e quatro horas de um dia útil típico.

Consumidores R-1



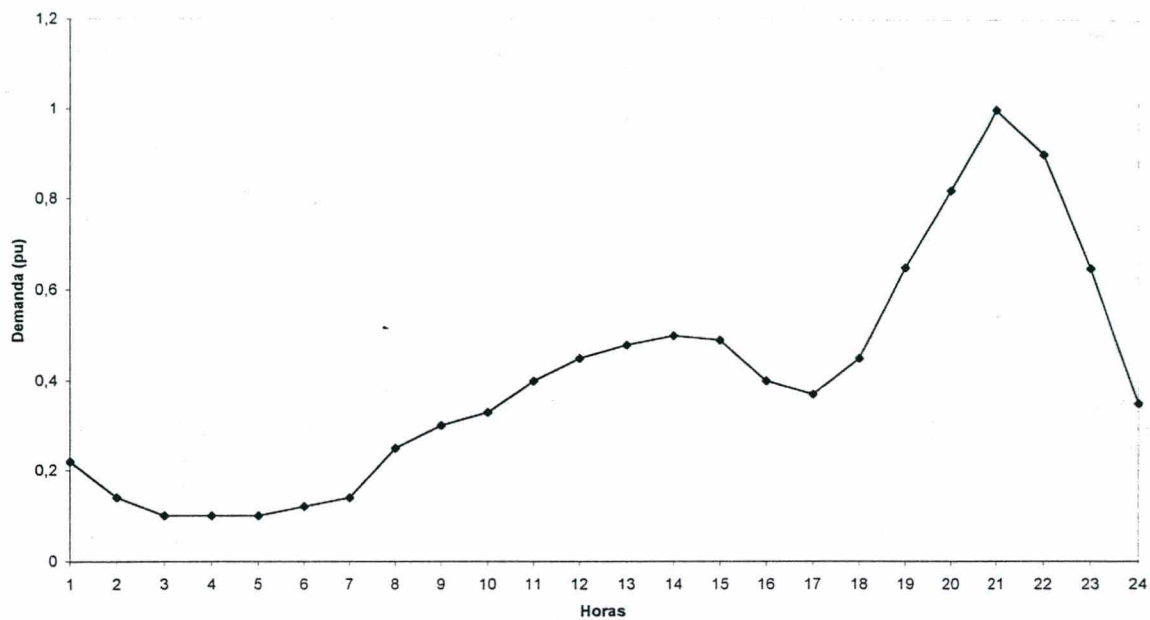
Consumidores Residenciais do Tipo 1

Consumidores R-2



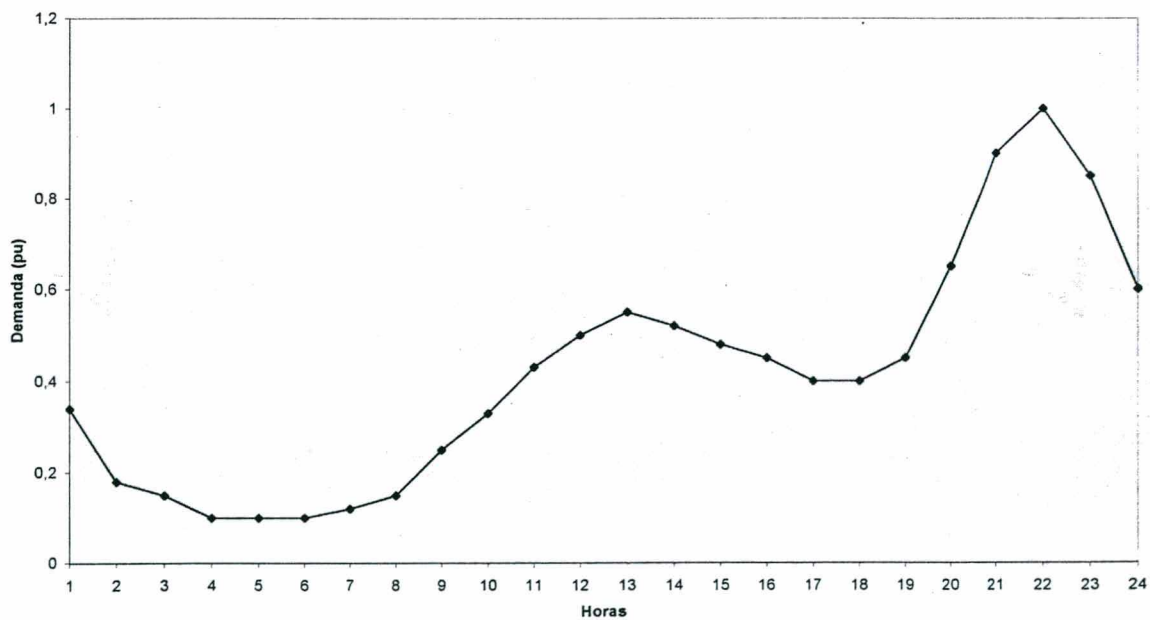
Consumidores Residenciais do Tipo 2

Consumidores R-3



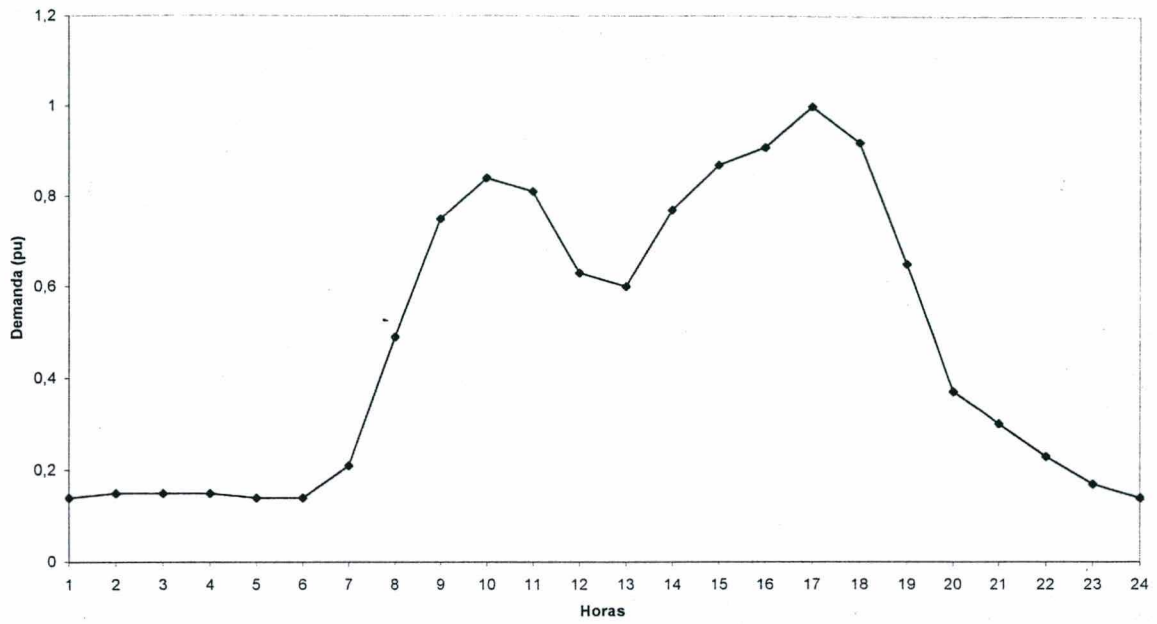
Consumidores Residenciais do Tipo 3

Consumidores R-4



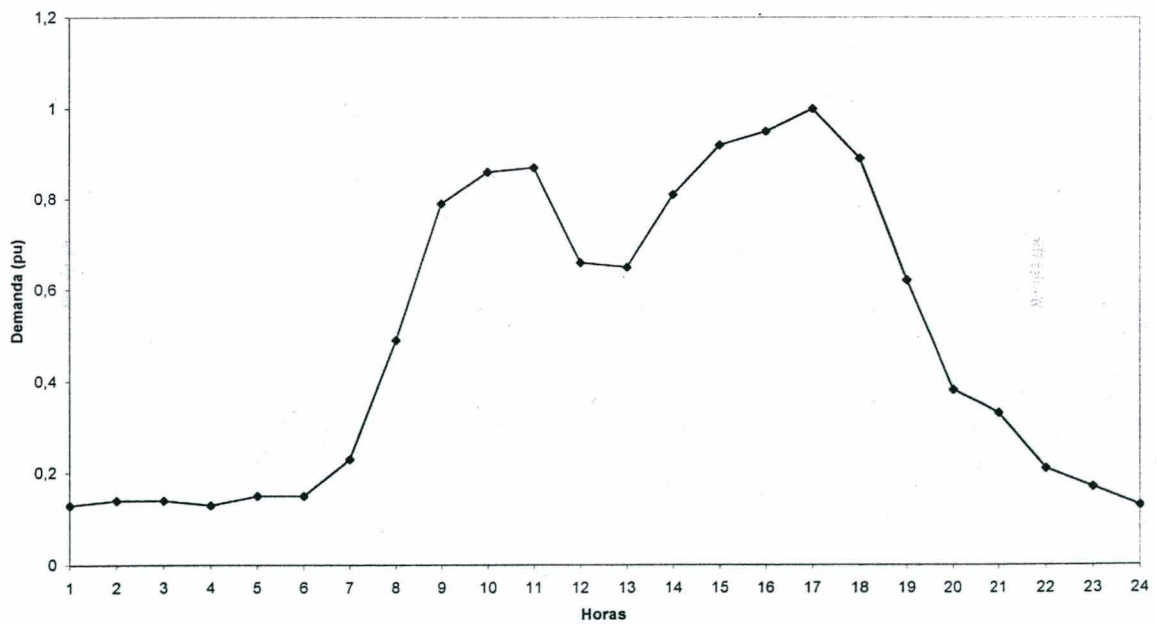
Consumidores Residenciais do Tipo 4

Consumidores C-1



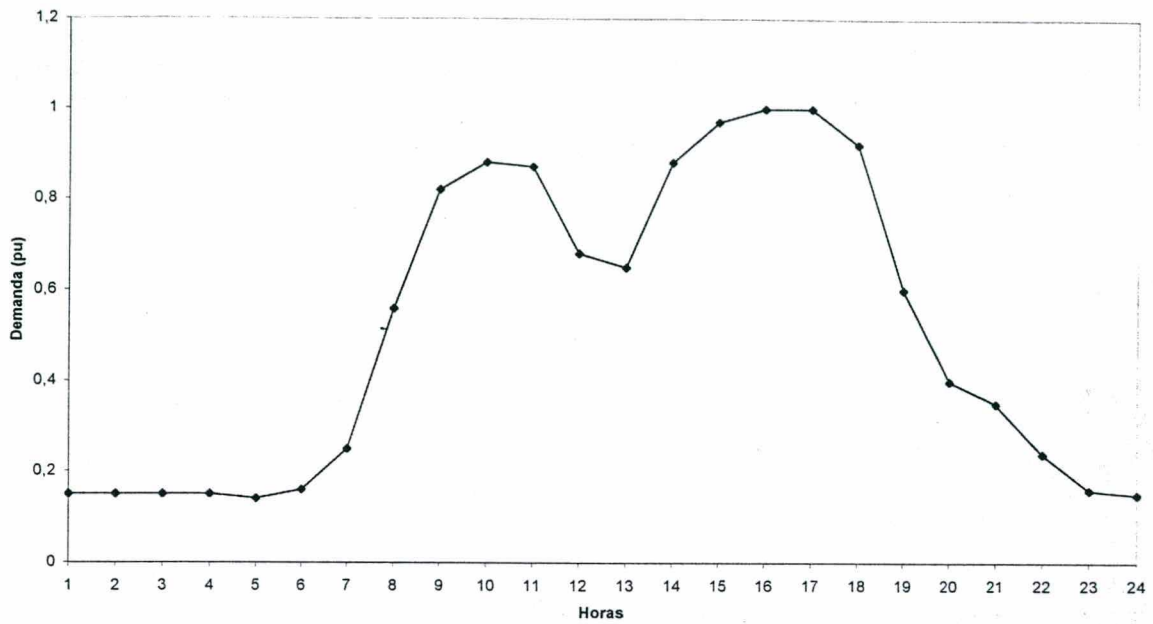
Consumidores Comerciais do Tipo 1

Consumidores C-2



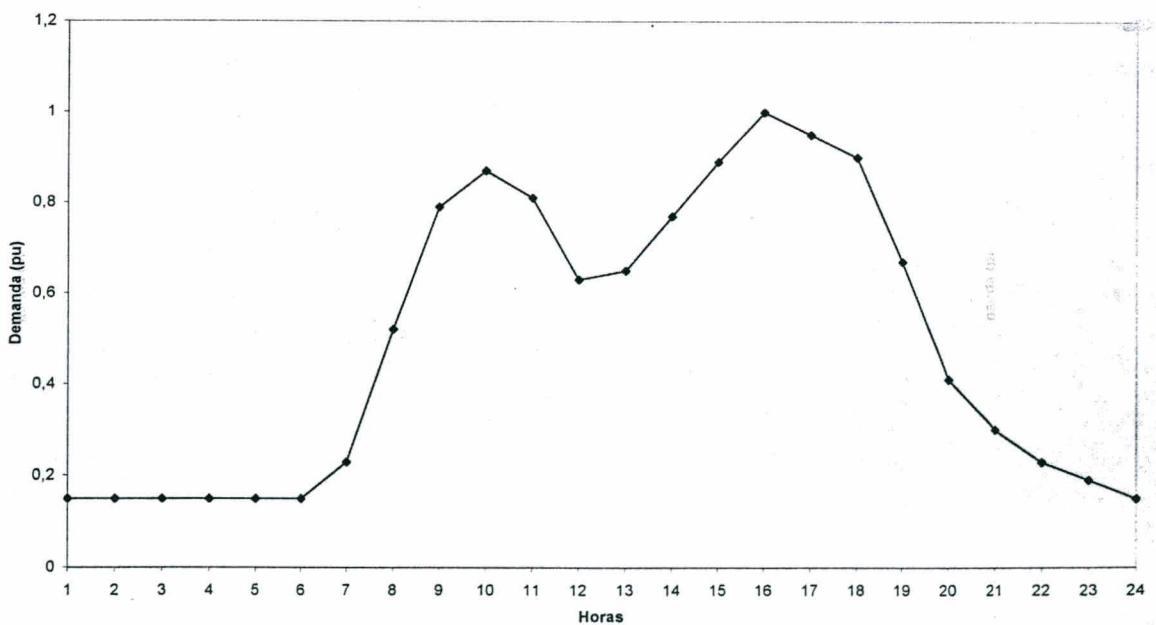
Consumidores Comerciais do Tipo 2

Consumidores C-3



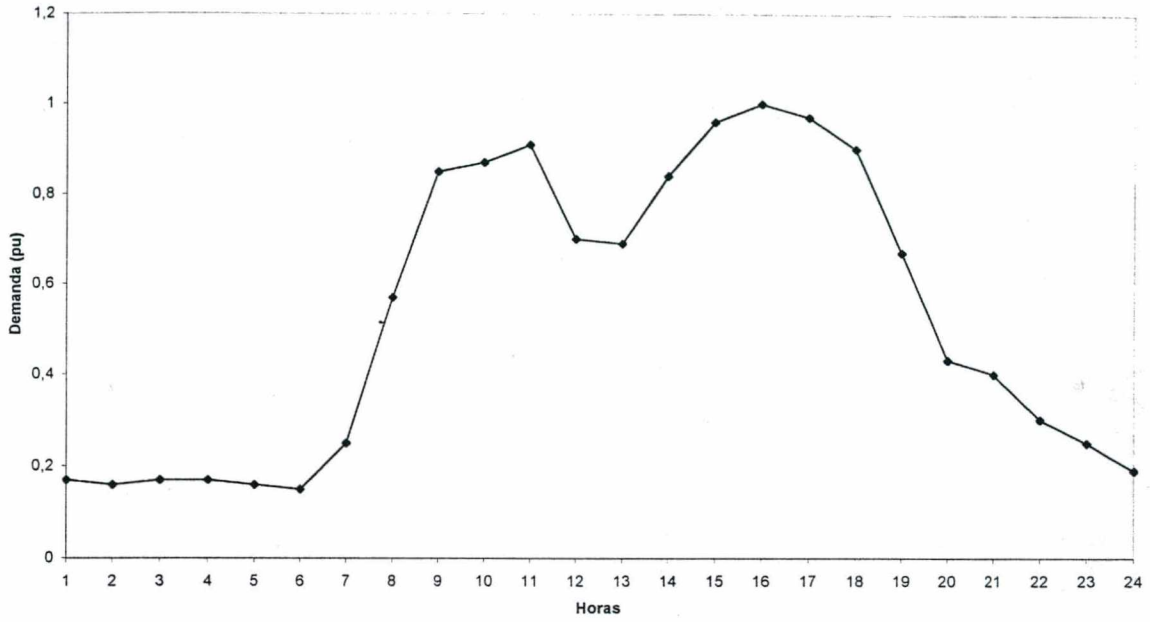
Consumidores Comerciais do Tipo 3

Consumidores I-1



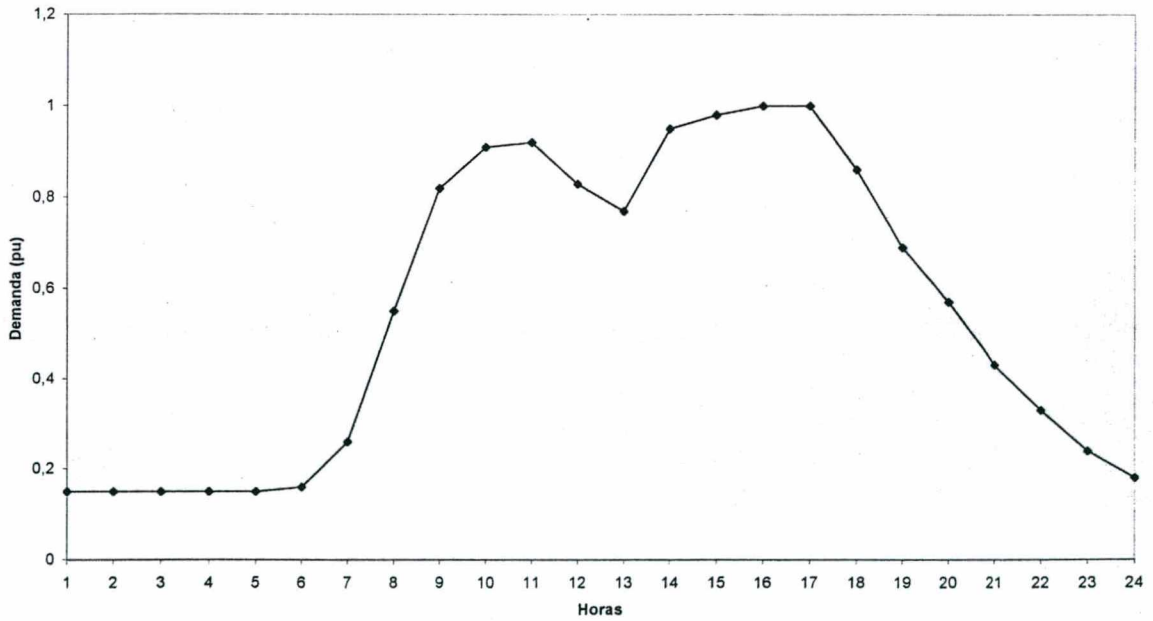
Consumidores Industriais do Tipo 1

Consumidores I-2



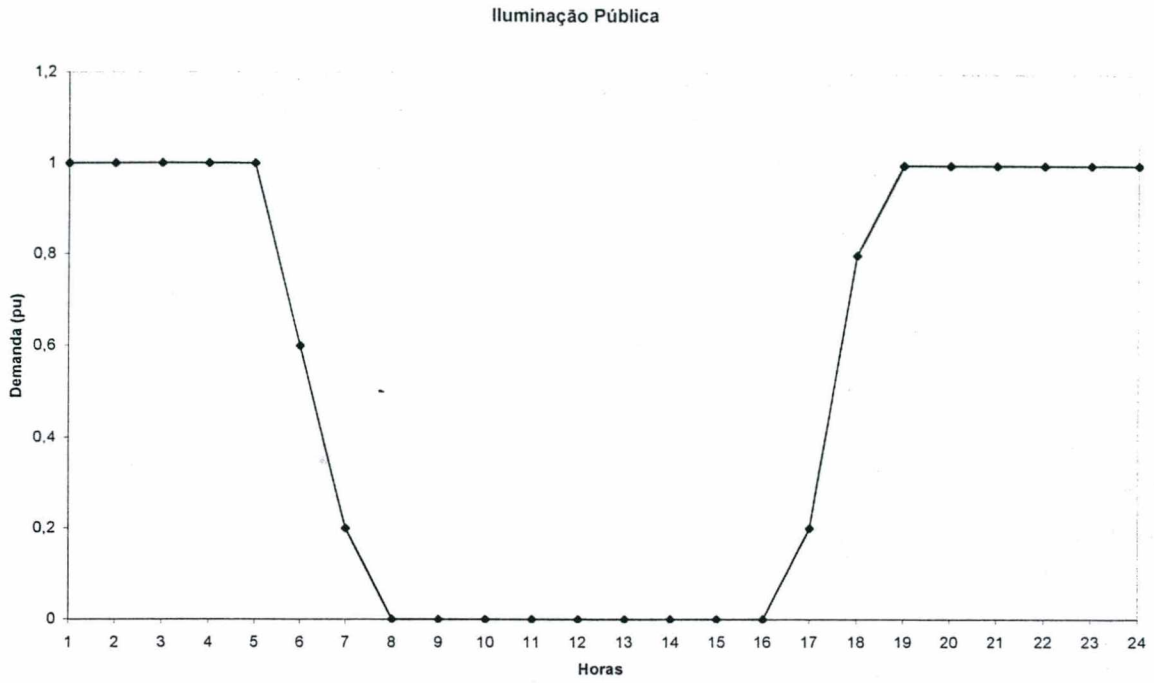
Consumidores Industriais do Tipo 2

Consumidores I-3



Consumidores Industriais do Tipo 3





**Iluminação Pública**

## **Anexo 2:**

### **Instruções para Preenchimento do Arquivo de Entrada de Dados do Programa de Conversão Consumo – Demanda.**

Neste anexo apresenta-se, passo a passo, as instruções para o preenchimento do arquivo de entrada de dados do programa de conversão consumo – demanda. Ao final apresenta-se também um exemplo de um arquivo de entrada de dados típico.

### Preenchimento do Cartão de Entrada de Dados:

linha 1: Código para impressão dos dados de entrada no arquivo de saída de dados

1 para imprimir e qualquer outro valor para não imprimir.

Formato: I6 (número inteiro de seis caracteres)

Exemplo: Para imprimir os dados de entrada no arquivo de saída.

					1
--	--	--	--	--	---

Linhas de 2 a 11: Nestas linhas devem ser informados o número de consumidores da categoria e ao lado o consumo médio mensal destes consumidores em kWh.

Formato: 2I6 (números inteiros, os seis primeiros caracteres para o número de consumidores e os seis caracteres seguintes para o consumo médio mensal)

Exemplo: Para 43 consumidores com consumo média mensal de 18.153 kWh.

				4	3			1	8	1	5	3
--	--	--	--	---	---	--	--	---	---	---	---	---

Linha 12: Nesta linha devem ser informados os valores dos fatores de potência residencial, comercial e industrial adotados.

Formato: 3F5.2 (números reais com cinco caracteres sendo dois caracteres após o ponto)

Exemplo: Para um fator de potência residencial unitário e fatores de potência comercial e industrial de 0,92.

	1	.	0	0		0	.	9	2		0	.	9	2
--	---	---	---	---	--	---	---	---	---	--	---	---	---	---

Linha 13: Nesta linha deve ser informado a carga de iluminação pública de transformador em kVA.

Formato: F.5.2 (número real de cinco caracteres sendo dois caracteres após o ponto)

Exemplo: Para uma carga de iluminação pública de 1,8 kVA.

	1	.	8	0
--	---	---	---	---

Exemplo geral de preenchimento do arquivo de entrada de dados:

```
0
10 384
27 2773
68 14080
10 4082
2 82
0 0
0 0
2 624
4 1692
2 2234
1.00 0.92 0.92
1.30
```

## **Anexo 3:**

### **Arquivo de Saída Típico do Programa de Fluxo de Potência Utilizado.**

Neste anexo apresenta-se um arquivo de saída de dados típico do programa de fluxo de potência utilizado – SPDIST. Pode-se observar os dados dos trechos entre cada transformados (comprimento do trecho, queda de tensão percentual, tipo de cabo, corrente, perdas, etc.), além de relatórios indicando os trechos com carregamento acima de 85% e trechos com sobretensão ou queda de tensão acima dos valores permitidos pela legislação.

## DADOS DA SUBESTACAO :

Nome do Alimentador	Num.	Tens. SE	Angl SE	Tens. Oper.	Poten Base	f.d.	f.p.	Es	fmcarr
JVQ-03	1	13.80	0.	13.80	1000.	0.68	0.94	1	1.350

## DADOS DE TRECHO :

Pto ini	Pto ant	Comprim	ca	es	Carga distr	Carga conce	f.d.	f.p.	Nome	Ponto
2	1	30.0	46	0	0.	59.	0.00	0.00		
3	2	30.0	46	0	0.	52.	0.00	0.00		
4	3	260.0	46	0	0.	112.	0.00	0.00		
5	3	330.0	41	0	0.	76.	0.00	0.00		
6	3	30.0	41	0	0.	150.	0.00	0.00		
7	6	30.0	41	0	0.	112.	0.00	0.00		
8	7	240.0	41	0	0.	65.	0.00	0.00		
9	7	140.0	41	0	0.	60.	0.00	0.00		
10	9	240.0	41	0	0.	55.	0.00	0.00		
11	9	500.0	41	0	0.	72.	0.00	0.00		
12	9	250.0	41	0	0.	90.	0.00	0.00		
13	9	270.0	41	0	0.	77.	0.00	0.00		
14	13	220.0	41	0	0.	40.	0.00	0.00		
15	13	880.0	41	0	0.	28.	0.00	0.00		
16	15	50.0	41	0	0.	39.	0.00	0.00		
17	16	50.0	41	0	0.	43.	0.00	0.00		
18	17	150.0	41	0	0.	54.	0.00	0.00		
19	17	200.0	41	0	0.	74.	0.00	0.00		
20	19	1080.0	41	0	0.	56.	0.00	0.00		
21	19	1450.0	26	0	0.	78.	0.00	0.00		
22	21	30.0	26	0	0.	56.	0.00	0.00		
23	22	50.0	26	0	0.	35.	0.00	0.00		
24	22	800.0	26	0	0.	56.	0.00	0.00		
25	24	30.0	26	0	0.	65.	0.00	0.00		
26	25	120.0	26	0	0.	150.	0.00	0.00		



## Anexo 3 – Arquivo de Saída Típico do Programa de Fluxo de Potência

65	58	140.0	26	0	0.	82.	0.00	0.00
66	65	400.0	26	0	0.	58.	0.00	0.00
67	66	100.0	26	0	0.	63.	0.00	0.00
68	67	200.0	26	0	0.	38.	0.00	0.00
69	68	50.0	26	0	0.	45.	0.00	0.00
70	67	200.0	26	0	0.	58.	0.00	0.00
71	70	200.0	26	0	0.	61.	0.00	0.00
72	71	300.0	26	0	0.	65.	0.00	0.00
73	72	530.0	26	0	0.	225.	0.00	0.00
74	72	430.0	26	0	0.	57.	0.00	0.00
75	74	50.0	26	0	0.	68.	0.00	0.00
76	65	200.0	26	0	0.	23.	0.00	0.00
77	76	480.0	26	0	0.	78.	0.00	0.00
78	76	220.0	26	0	0.	38.	0.00	0.00
79	78	460.0	26	0	0.	48.	0.00	0.00
80	76	160.0	26	0	0.	54.	0.00	0.00
81	80	510.0	26	0	0.	57.	0.00	0.00
82	80	300.0	26	0	0.	150.	0.00	0.00
83	82	340.0	26	0	0.	60.	0.00	0.00
84	83	70.0	26	0	0.	47.	0.00	0.00

Carga Instalada Total = 5980.0 kVA

Demanda na Subestacao = 4066.4 kVA ( 3822.4 kW - 1387.4 kvar )



pag. 0

CELESC/UFSC (LABSPOT)  
 SPDST - Fluxo de Potencia - Soma de Potencias

\*\*\* Alimentador JVQ - 03 \*\*\*

Tensao Nominal (kV) = 13.80 F. Potencia = 0.94  
 Tensao de Operacao (kV) = 13.80 F. Demanda = 0.68  
 Iteracoes p/ convergencia = 8

COND OPERACAO:

C A L C U L O																
TRECHO	TENSÃO	QUEDA (%)	CORRENTE (A)	DEM.	PERDAS	REGULACAO	COMP	CONDUT.	POT. (kVA)	FD	D A D O S					
PT	PA	OP.	NOM.	I	I/IN (%)	(kVA)	(KW)	Eq kV/kvar (%)	(KM)	TIPO	DISTR.	CONC.				
2	1	113.80	0.0	0.0	225.3	44.	5097.9	0.9	0	0.00	0.01	0.03	336,4 CA	0.0	79.7	0.001
3	2	113.79	-0.1	-0.1	223.2	44.	5047.6	0.8	0	0.00	0.01	0.03	336,4 CA	0.0	70.2	0.001
4	3	113.79	-0.1	-0.1	4.0	1.	95.5	0.0	0	0.00	0.01	0.26	336,4 CA	0.0	151.2	0.001
5	3	113.79	-0.1	-0.1	2.7	1.	64.8	0.0	0	0.00	0.01	0.33	1/0 CA	0.0	102.6	0.001
6	3	113.78	-0.1	-0.1	214.7	100.	4843.0	2.5	0	0.00	0.01	0.03	1/0 CA	0.0	202.5	0.001
7	6	113.78	-0.2	-0.2	209.3	97.	4715.1	2.3	0	0.00	0.01	0.03	1/0 CA	0.0	151.2	0.001

## Anexo 3 – Arquivo de Saída Típico do Programa de Fluxo de Potência

8	7	13.78	-0.2	-0.2	2.3	1.	55.4	0.0	0	0.00	0.0	0.24	1/0	CA	0.0	87.8	0.00
9	7	13.74	-0.4	-0.4	203.0	94.	4564.2	10.3	0	0.00	0.0	0.14	1/0	CA	0.0	81.0	0.00
10	9	13.74	-0.4	-0.4	2.0	1.	46.9	0.0	0	0.00	0.0	0.24	1/0	CA	0.0	74.3	0.00
11	9	13.74	-0.4	-0.4	2.6	1.	61.4	0.0	0	0.00	0.0	0.50	1/0	CA	0.0	97.2	0.00
12	9	13.74	-0.4	-0.4	3.2	1.	76.7	0.0	0	0.00	0.0	0.25	1/0	CA	0.0	121.5	0.00
13	9	13.68	-0.9	-0.9	193.1	90.	4328.1	18.0	0	0.00	0.0	0.27	1/0	CA	0.0	104.0	0.00
14	13	13.68	-0.9	-0.9	1.4	1.	34.1	0.0	0	0.00	0.0	0.22	1/0	CA	0.0	54.0	0.00
15	13	13.47	-2.4	-2.4	188.9	88.	4228.3	56.1	0	0.00	0.0	0.88	1/0	CA	0.0	37.8	0.00
16	15	13.46	-2.5	-2.5	187.9	87.	4204.5	3.2	0	0.00	0.0	0.05	1/0	CA	0.0	52.7	0.00
17	16	13.45	-2.5	-2.5	186.5	87.	4171.2	3.1	0	0.00	0.0	0.05	1/0	CA	0.0	58.1	0.00
18	17	13.45	-2.5	-2.5	2.0	1.	46.0	0.0	0	0.00	0.0	0.15	1/0	CA	0.0	72.9	0.00
19	17	13.41	-2.9	-2.9	182.9	85.	4088.5	11.9	0	0.00	0.0	0.20	1/0	CA	0.0	99.9	0.00
20	19	13.40	-2.9	-2.9	2.1	1.	47.7	0.0	0	0.00	0.0	1.08	1/0	CA	0.0	75.6	0.00
21	19	13.37	-3.1	-3.1	17.9	7.	415.2	0.8	0	0.00	0.0	1.45	2/0	CAA	0.0	105.3	0.00
22	21	13.37	-3.1	-3.1	15.0	6.	348.7	0.0	0	0.00	0.0	0.03	2/0	CAA	0.0	75.6	0.00
23	22	13.37	-3.1	-3.1	1.3	0.	29.8	0.0	0	0.00	0.0	0.05	2/0	CAA	0.0	47.3	0.00
24	22	13.36	-3.2	-3.2	11.7	4.	271.1	0.2	0	0.00	0.0	0.80	2/0	CAA	0.0	75.6	0.00
25	24	13.36	-3.2	-3.2	9.6	4.	223.4	0.0	0	0.00	0.0	0.03	2/0	CAA	0.0	87.8	0.00
26	25	13.36	-3.2	-3.2	7.3	3.	167.9	0.0	0	0.00	0.0	0.12	2/0	CAA	0.0	202.5	0.00

## Anexo 3 – Arquivo de Saída Típico do Programa de Fluxo de Potência

27	26	113.36	-3.2	-3.2	1.7	1.	40.1	0.0	0	0.00	0.01	0.04	2/0	CAA	0.0	63.5	0.00
28	19	113.13	-4.9	-4.9	160.3	59.	3562.5	62.1	0	0.00	0.01	1.45	2/0	CAA	0.0	64.8	0.00
29	28	113.12	-4.9	-4.9	20.7	8.	470.6	0.1	0	0.00	0.01	0.10	2/0	CAA	0.0	70.2	0.00
30	29	113.12	-4.9	-4.9	18.7	7.	426.2	0.0	0	0.00	0.01	0.03	2/0	CAA	0.0	675.0	0.00
31	28	112.96	-6.1	-6.1	137.8	51.	3051.1	31.7	0	0.00	0.01	1.00	2/0	CAA	0.0	135.0	0.00
32	31	112.95	-6.1	-6.1	134.0	50.	2965.8	1.5	0	0.00	0.01	0.05	2/0	CAA	0.0	93.2	0.00
33	32	112.95	-6.2	-6.2	4.0	3.	89.5	0.0	0	0.00	0.01	0.22	4	CAA	0.0	141.8	0.00
34	32	112.95	-6.1	-6.1	1.6	1.	35.8	0.0	0	0.00	0.01	0.09	4	CAA	0.0	56.7	0.00
35	32	112.94	-6.2	-6.2	125.8	47.	2781.7	2.6	0	0.00	0.01	0.10	2/0	CAA	0.0	117.5	0.00
36	35	112.94	-6.3	-6.3	1.7	1.	38.4	0.0	0	0.00	0.01	1.10	2/0	CAA	0.0	60.8	0.00
37	35	112.94	-6.3	-6.3	1.0	0.	21.3	0.0	0	0.00	0.01	1.10	2/0	CAA	0.0	33.8	0.00
38	35	112.80	-7.2	-7.2	119.8	44.	2647.8	23.2	0	0.00	0.01	0.97	2/0	CAA	0.0	151.2	0.00
39	38	112.80	-7.3	-7.3	1.9	1.	42.6	0.0	0	0.00	0.01	0.24	2/0	CAA	0.0	67.5	0.00
40	38	112.79	-7.3	-7.3	31.2	12.	690.5	0.6	0	0.00	0.01	0.37	2/0	CAA	0.0	202.5	0.00
41	40	112.78	-7.4	-7.4	25.4	9.	562.6	0.2	0	0.00	0.01	0.18	2/0	CAA	0.0	135.0	0.00
42	41	112.78	-7.4	-7.4	21.6	8.	477.4	0.0	0	0.00	0.01	0.05	2/0	CAA	0.0	99.9	0.00
43	42	112.78	-7.4	-7.4	18.7	7.	414.3	0.1	0	0.00	0.01	0.15	2/0	CAA	0.0	91.8	0.00
44	43	112.77	-7.4	-7.4	3.5	1.	78.4	0.0	0	0.00	0.01	0.29	2/0	CAA	0.0	124.2	0.00
45	43	112.77	-7.4	-7.4	2.9	1.	63.9	0.0	0	0.00	0.01	0.41	2/0	CAA	0.0	101.3	0.00

## Anexo 3 – Arquivo de Saída Típico do Programa de Fluxo de Potência

46	43	12.77	-7.4	-7.4	9.7	4.	214.0	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.30	2/0	CAA	0.0	118.8	0.00
47	46	12.77	-7.5	-7.5	2.4	1.	52.9	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.25	2/0	CAA	0.0	83.7	0.00
48	46	12.77	-7.5	-7.5	3.9	1.	86.1	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.20	2/0	CAA	0.0	67.5	0.00
49	48	12.77	-7.5	-7.5	2.0	1.	43.5	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.15	2/0	CAA	0.0	68.9	0.00
50	38	12.80	-7.2	-7.2	1.3	0.	29.8	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.10	2/0	CAA	0.0	47.3	0.00
51	38	12.78	-7.4	-7.4	81.1	30.	1789.4	2.2	0	0.00	0.0	0.0	0.20	2/0	CAA	0.0	85.1	0.00
52	51	12.78	-7.4	-7.4	1.5	1.	34.1	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.10	2/0	CAA	0.0	54.0	0.00
53	51	12.78	-7.4	-7.4	2.2	1.	48.6	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.45	2/0	CAA	0.0	37.8	0.00
54	53	12.78	-7.4	-7.4	1.1	0.	24.7	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.13	2/0	CAA	0.0	39.2	0.00
55	51	12.78	-7.4	-7.4	2.6	1.	57.1	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.31	2/0	CAA	0.0	64.8	0.00
56	55	12.78	-7.4	-7.4	0.7	0.	16.2	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.40	2/0	CAA	0.0	25.7	0.00
57	51	12.78	-7.4	-7.4	3.6	1.	79.3	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.50	2/0	CAA	0.0	125.6	0.00
58	51	12.74	-7.7	-7.7	68.8	25.	1516.6	4.0	0	0.00	0.0	0.0	0.51	2/0	CAA	0.0	137.7	0.00
59	58	12.73	-7.8	-7.8	11.7	11.	257.5	0.2	0	0.00	0.0	0.0	0.24	6	CA	0.0	55.4	0.00
60	59	12.71	-7.9	-7.9	10.1	9.	222.5	0.3	0	0.00	0.0	0.0	0.41	6	CA	0.0	74.3	0.00
61	60	12.71	-7.9	-7.9	8.0	4.	175.6	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.30	1	CAA	0.0	63.5	0.00
62	61	12.71	-7.9	-7.9	6.2	3.	135.5	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.20	1	CAA	0.0	151.2	0.00
63	62	12.71	-7.9	-7.9	1.8	1.	40.1	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.20	1	CAA	0.0	54.0	0.00
64	63	12.71	-7.9	-7.9	0.3	0.	6.0	0.0	0	0.00	0.0	0.0	0.10	1	CAA	0.0	9.5	0.00

## Anexo 3 – Arquivo de Saída Típico do Programa de Fluxo de Potência

65	58	12.73	-7.8	-7.8	53.2	20.	1172.2	0.7	0	0.00	0.0	0.14	2/0	CAA	0.0	110.7	0.00
66	65	12.72	-7.9	-7.9	28.6	11.	629.1	0.5	0	0.00	0.0	0.40	2/0	CAA	0.0	78.3	0.00
67	66	12.71	-7.9	-7.9	26.3	10.	579.7	0.1	0	0.00	0.0	0.10	2/0	CAA	0.0	85.1	0.00
68	67	12.71	-7.9	-7.9	3.2	1.	70.8	0.0	0	0.00	0.0	0.20	2/0	CAA	0.0	51.3	0.00
69	68	12.71	-7.9	-7.9	1.7	1.	38.4	0.0	0	0.00	0.0	0.05	2/0	CAA	0.0	60.8	0.00
70	67	12.71	-7.9	-7.9	20.7	8.	455.2	0.1	0	0.00	0.0	0.20	2/0	CAA	0.0	78.3	0.00
71	70	12.70	-7.9	-7.9	18.4	7.	405.8	0.1	0	0.00	0.0	0.20	2/0	CAA	0.0	82.4	0.00
72	71	12.70	-8.0	-8.0	16.1	6.	353.8	0.1	0	0.00	0.0	0.30	2/0	CAA	0.0	87.8	0.00
73	72	12.69	-8.0	-8.0	8.7	3.	191.8	0.1	0	0.00	0.0	0.53	2/0	CAA	0.0	303.8	0.00
74	72	12.70	-8.0	-8.0	4.8	2.	106.6	0.0	0	0.00	0.0	0.43	2/0	CAA	0.0	77.0	0.00
75	74	12.70	-8.0	-8.0	2.6	1.	58.0	0.0	0	0.00	0.0	0.05	2/0	CAA	0.0	91.8	0.00
76	65	12.72	-7.8	-7.8	21.4	8.	473.1	0.2	0	0.00	0.0	0.20	2/0	CAA	0.0	31.1	0.00
77	76	12.72	-7.8	-7.8	3.0	1.	66.5	0.0	0	0.00	0.0	0.48	2/0	CAA	0.0	105.3	0.00
78	76	12.72	-7.8	-7.8	3.3	1.	73.3	0.0	0	0.00	0.0	0.22	2/0	CAA	0.0	51.3	0.00
79	78	12.72	-7.8	-7.8	1.9	1.	40.9	0.0	0	0.00	0.0	0.46	2/0	CAA	0.0	64.8	0.00
80	76	12.72	-7.8	-7.8	14.2	5.	313.7	0.1	0	0.00	0.0	0.16	2/0	CAA	0.0	72.9	0.00
81	80	12.72	-7.8	-7.8	2.2	1.	48.6	0.0	0	0.00	0.0	0.51	2/0	CAA	0.0	77.0	0.00
82	80	12.72	-7.8	-7.8	9.9	4.	219.1	0.0	0	0.00	0.0	0.30	2/0	CAA	0.0	202.5	0.00
83	82	12.72	-7.8	-7.8	4.1	2.	91.2	0.0	0	0.00	0.0	0.34	2/0	CAA	0.0	81.0	0.00

| 84 83 |12.72 -7.9 -7.9 1.8 1. 40.1 0.0 0 0.00 0.01 0.07 2/0 CAA 0.0 63.5 0.00|

Potencia acumulada na Subestacao = 5075.5 kW - 1806.6 kvar ( 5387.4 VA )  
 Perdas Totais no Alimentador = 241.2 kW - 188.6 kvar ( 306.2 VA )  
 Fator de Demanda Ativo Corrigido = 0.599  
 Fator de Demanda Reativo Corrigido = 0.200

\*----- Trechos com Carregamento Acima de : 85% -----\*

Pto	PtoA	Nome	Inom. ( A )	Imax. ( A )	I ( % )	Condutor	Perdas ( kW )
6	3		214.7	215.0	99.9	1/0 CA	2.5
7	6		209.3	215.0	97.4	1/0 CA	2.3
9	7		203.0	215.0	94.4	1/0 CA	10.3
13	9		193.1	215.0	89.8	1/0 CA	18.0
15	13		188.9	215.0	87.9	1/0 CA	56.1
16	15		187.9	215.0	87.4	1/0 CA	3.2
17	16		186.5	215.0	86.7	1/0 CA	3.1
19	17		182.9	215.0	85.1	1/0 CA	11.9

\*--- Tensoes Abaixo de : 12.77 kV ---\*

Pto	Nome	Tensao ( kV )	Queda Oper.	Queda Nomin
58		12.74	-7.7	-7.7
59		12.73	-7.8	-7.8
60		12.71	-7.9	-7.9
61		12.71	-7.9	-7.9

62	12.71	-7.9	-7.9
63	12.71	-7.9	-7.9
64	12.71	-7.9	-7.9
65	12.73	-7.8	-7.8
66	12.72	-7.9	-7.9
67	12.71	-7.9	-7.9
68	12.71	-7.9	-7.9
69	12.71	-7.9	-7.9
70	12.71	-7.9	-7.9
71	12.70	-7.9	-7.9
72	12.70	-8.0	-8.0
73	12.69	-8.0	-8.0
74	12.70	-8.0	-8.0
75	12.70	-8.0	-8.0
76	12.72	-7.8	-7.8
77	12.72	-7.8	-7.8
78	12.72	-7.8	-7.8
79	12.72	-7.8	-7.8
80	12.72	-7.8	-7.8
81	12.72	-7.8	-7.8
82	12.72	-7.8	-7.8
83	12.72	-7.8	-7.8
84	12.72	-7.9	-7.9

\*\*\* Tensoes Acima de : 14.49 kV \*\*\*  
 Pto Nome Tensao Queda Queda  
 ( kV ) Oper. Nomin  
 -----  
 -----

Numero de Iteracoes para a Convergencia : 8  
 Erro Maximo de Tensao ( Tolerancia ) : 0.0001

## **Anexo 4:**

### **Dados Gerais de Consumo e Consumidores dos Transformadores Analisados.**

Neste anexo apresenta-se uma tabela com os dados referentes ao consumo (kWh) e ao número de consumidores de cada subclasse abordada no método de conversão consumo – demanda empregado. Apresenta-se também a demanda (kVA) de iluminação pública de cada transformador.



Transformador	Consumidores Residenciais do Tipo 1		Consumidores Residenciais do Tipo 2		Consumidores Residenciais do Tipo 3		Consumidores Residenciais do Tipo 4	
	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)
1	18	787	11	1047	57	12608	14	5103
2	7	352	9	904	59	13024	25	10461
3	18	537	17	1733	57	12845	35	15908
4	6	210	6	492	67	14840	22	8434
5	12	462	19	1911	116	23953	26	10914
6	8	440	12	1338	56	12049	35	17080
7	11	521	18	1769	134	30051	26	13640
8	0	0	8	856	54	11051	8	3996
9	4	81	2	168	53	12754	27	11594
10	12	540	14	1444	137	31437	23	9395
11	15	438	21	2151	56	10633	41	18856
12	10	438	8	802	66	14279	12	5286
13	6	192	8	770	68	13920	32	12434
14	4	216	8	880	122	26553	30	12716
15	0	0	12	1220	89	20315	34	14253
16	3	74	7	740	86	18092	11	3952
17	13	530	21	2144	81	16435	12	4284
18	6	273	18	1786	77	16865	16	7386
19	3	135	21	2167	93	19581	14	5502
20	12	640	10	1093	86	17329	3	2609
21	8	394	12	1256	86	17513	6	2295
22	8	370	32	3216	106	21895	15	5604
23	8	422	25	2554	78	15814	28	11866
24	6	288	11	1283	66	14243	12	7513
25	6	312	32	3392	120	27217	18	12599
26	5	198	19	1881	104	21926	17	8272
27	2	52	2	194	59	11988	5	2012
28	1	12	10	968	58	12277	18	9969
29	0	0	6	604	63	13023	12	4702
30	18	439	14	1348	76	16903	24	11531
31	10	492	16	1572	66	13804	19	6836
32	13	457	20	1910	118	24816	38	14536
33	0	0	20	2066	98	20264	14	6824
34	3	50	3	275	71	16861	11	4943
35	5	101	15	1663	27	5433	10	4777
36	8	272	28	2792	51	9919	8	2808
37	3	67	19	1957	42	9196	20	8059
38	0	0	12	1216	60	12682	1	449
39	2	102	2	224	65	15168	31	13119
40	0	0	3	288	62	14418	18	7272
41	1	38	6	602	62	13078	13	5189
42	4	16	0	0	11	2471	17	7701
43	2	108	8	852	44	8587	2	734
44	1	69	12	1138	94	18664	15	6705
45	6	266	20	2068	61	12407	38	17972
46	2	134	2	198	40	8828	17	6733
47	2	4	1	104	41	8803	13	4801
48	7	262	16	1643	85	17642	9	4698
49	6	234	17	1861	100	20665	6	2266
50	18	644	19	1965	87	18211	13	5512

## Anexo 4 – Dados Gerais de Consumo e Consumidores dos Transformadores Analisados

Transformador	Consumidores Residenciais do Tipo 1		Consumidores Residenciais do Tipo 2		Consumidores Residenciais do Tipo 3		Consumidores Residenciais do Tipo 4	
	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)
51	7	314	9	949	76	17151	18	6668
52	4	192	3	361	26	4473	2	1640
53	3	133	7	667	38	8039	1	358
54	3	55	21	2113	45	9383	7	4535
55	5	275	6	652	43	9083	24	10409
56	4	138	0	0	10	1851	0	0
57	13	644	16	1576	56	11072	9	4410
58	3	173	36	3724	71	12899	4	2036
59	0	0	0	0	5	1273	1	417
60	8	384	5	603	41	8667	4	1542
61	2	76	7	688	38	7902	9	3880
62	4	108	8	908	51	10241	13	5221
63	4	198	4	374	47	9682	5	2561
64	11	632	9	1015	78	14808	16	6290
65	2	32	6	534	42	8097	2	694
66	7	295	10	1128	43	8285	14	5446
67	8	380	9	950	40	8004	6	2450
68	4	96	8	834	41	8119	5	1945
69	5	54	0	0	9	1657	3	1776
70	1	1	15	1648	54	11041	17	8397
71	6	144	15	1526	49	10260	9	3332
72	9	293	29	2753	65	14029	18	8124
73	16	708	19	1955	58	12102	16	8480
74	10	234	14	1480	55	11077	18	7018
75	1	36	18	1604	17	3229	8	3952
76	6	196	12	1243	126	26739	24	10216
77	10	488	24	2492	86	18116	18	7812
78	4	218	14	1314	92	17708	16	8002
79	6	148	12	1188	46	9306	6	4068
80	8	278	24	2262	92	18898	14	5596
81	10	402	9	882	48	10361	23	10032
82	8	365	8	867	62	13315	22	8931
83	2	126	16	1636	60	11731	14	5093
84	2	124	27	2996	60	12234	0	0
85	2	108	12	1117	72	13793	8	5466
86	3	67	13	1397	56	11343	9	3077
87	0	0	0	0	22	4432	21	10295
88	9	461	35	3366	73	14484	9	3294
89	5	176	12	1329	49	10268	4	1427
90	23	647	33	3297	141	27163	15	6527
91	21	717	26	2786	111	22969	29	14951
92	4	110	0	0	29	6547	10	3942
93	1	60	6	555	41	7588	4	1468
94	9	400	22	2204	94	17429	12	6380
95	17	796	39	4000	75	13545	2	906
96	8	298	8	827	46	9301	21	9872
97	11	665	37	3678	128	24870	4	1330
98	7	211	17	1917	65	13415	7	2388
99	10	384	27	2773	68	14080	10	4082
100	8	400	13	1215	80	16819	15	6130

## Anexo 4 – Dados Gerais de Consumo e Consumidores dos Transformadores Analisados

Transformador	Consumidores Residenciais do Tipo 1		Consumidores Residenciais do Tipo 2		Consumidores Residenciais do Tipo 3		Consumidores Residenciais do Tipo 4	
	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)
101	6	162	20	2092	80	16339	17	6774
102	8	264	27	2799	54	11395	10	3860
103	2	30	16	1816	127	26981	6	2122
104	3	74	1	98	63	12835	9	4751
105	0	0	8	870	34	7050	15	6741
106	14	456	10	1006	39	7885	12	5096
107	6	126	14	1536	94	19472	10	3874
108	4	161	2	230	33	8235	19	9368
109	0	0	9	943	49	8948	4	1826
110	4	102	6	666	29	6292	0	0
111	5	214	31	3123	86	17147	8	4358
112	2	74	4	390	40	8577	15	6644
113	6	186	14	1474	109	21655	9	3360
114	7	214	17	1592	38	7110	2	804
115	20	816	29	2769	41	7843	17	9015

## Anexo 4 – Dados Gerais de Consumo e Consumidores dos Transformadores Analisados

Transformador	Consumidores Comerciais do Tipo 1		Consumidores Comerciais do Tipo 2		Consumidores Comerciais do Tipo 3		Consumidores Industriais do Tipo 1	
	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)
	1	12	2356	3	1591	0	0	3
2	12	1855	2	830	1	1603	0	0
3	7	1033	0	0	0	0	4	806
4	0	0	0	0	0	0	3	447
5	14	1664	10	4954	11	15448	5	822
6	14	1752	10	4270	13	17485	2	14
7	5	656	5	2190	9	8695	2	600
8	14	3762	2	1022	2	1646	4	464
9	21	3244	4	2348	11	26959	6	772
10	0	0	0	0	2	1900	2	152
11	7	770	2	722	0	0	0	0
12	8	1826	6	2556	2	7404	2	494
13	1	211	0	0	6	6778	2	254
14	2	592	0	0	4	8554	0	0
15	3	257	0	0	0	0	0	0
16	3	220	4	1814	0	0	2	606
17	8	1572	2	1314	1	1683	2	24
18	0	0	1	397	0	0	1	241
19	9	1805	0	0	0	0	0	0
20	6	1172	0	0	2	2962	0	0
21	0	0	0	0	0	0	2	138
22	6	552	0	0	0	0	3	355
23	2	260	0	0	4	5066	2	578
24	7	1028	2	746	2	1746	7	1205
25	6	901	4	1848	6	7629	0	0
26	0	0	0	0	0	0	2	166
27	0	0	1	423	0	0	2	12
28	2	93	2	720	0	0	2	154
29	0	0	0	0	1	1668	0	0
30	12	1276	6	2790	4	10864	4	514
31	5	1404	4	1862	2	1454	0	0
32	3	698	0	0	4	9508	8	1330
33	2	480	0	0	2	1530	0	0
34	1	134	0	0	0	0	2	16
35	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	1	534	0	0	5	713
37	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	1	711	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	2	4126	0	0
42	2	216	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0
44	2	558	0	0	2	6640	1	4
45	3	27	2	920	2	1922	0	0
46	2	524	0	0	0	0	0	0
47	4	904	0	0	0	0	2	274
48	6	1048	0	0	0	0	5	449
49	5	949	0	0	0	0	0	0
50	4	652	0	0	4	4772	2	32





## Anexo 4 – Dados Gerais de Consumo e Consumidores dos Transformadores Analisados

Transformador	Consumidores Industriais do Tipo 2		Consumidores Industriais do Tipo 3		Carga de Iluminação Pública (kVA)
	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)	
1	0	0	3	4539	5
2	0	0	1	965	7,2
3	0	0	0	0	10,4
4	0	0	1	947	2,2
5	2	1018	2	1794	5,4
6	0	0	0	0	5,1
7	3	1554	3	3161	6,5
8	0	0	2	3152	3,2
9	3	1589	4	7528	5,2
10	2	1034	0	0	4,7
11	6	2886	0	0	5,4
12	9	4594	0	0	6,8
13	0	0	0	0	3,7
14	0	0	0	0	5,3
15	0	0	0	0	4,3
16	0	0	1	1877	2,2
17	0	0	0	0	2,9
18	0	0	0	0	2,3
19	2	914	0	0	3,5
20	2	1100	2	1958	3,7
21	2	914	0	0	1,7
22	0	0	0	0	2,3
23	3	1682	0	0	5,2
24	4	2094	3	2631	6,4
25	2	834	0	0	6,4
26	0	0	0	0	3,1
27	0	0	0	0	1,2
28	0	0	0	0	3,3
29	0	0	0	0	1,3
30	2	912	0	0	4,9
31	2	1296	0	0	5,8
32	3	1941	2	1566	3
33	0	0	0	0	1,7
34	0	0	0	0	1,6
35	0	0	0	0	1,1
36	3	1200	0	0	1,4
37	0	0	0	0	2,2
38	0	0	0	0	0,6
39	0	0	0	0	2,2
40	0	0	0	0	2,2
41	0	0	0	0	2,2
42	0	0	0	0	1,2
43	2	820	0	0	0,7
44	0	0	0	0	6
45	0	0	0	0	2,6
46	0	0	0	0	1,1
47	0	0	0	0	1
48	0	0	0	0	4,7
49	0	0	2	1894	3,7
50	0	0	0	0	3,4

Transformador	Consumidores Industriais do Tipo 2		Consumidores Industriais do Tipo 3		Carga de Iluminação Pública (kVA)
	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)	
51	0	0	0	0	2
52	0	0	1	920	8,2
53	0	0	0	0	1,6
54	0	0	1	1055	1,2
55	0	0	2	1900	5,7
56	0	0	0	0	0,5
57	0	0	0	0	2
58	0	0	0	0	2,3
59	0	0	0	0	3,6
60	0	0	0	0	1
61	2	1220	0	0	1,1
62	0	0	2	2886	1
63	0	0	0	0	0,8
64	0	0	0	0	2,2
65	0	0	0	0	1,1
66	0	0	0	0	2,3
67	0	0	0	0	1
68	0	0	0	0	1,3
69	3	1920	1	1093	1,7
70	0	0	2	1966	1,4
71	0	0	1	1220	1,2
72	2	986	2	2954	3,6
73	0	0	0	0	3,4
74	0	0	0	0	1,7
75	2	1042	0	0	3,8
76	0	0	0	0	2,6
77	0	0	0	0	2,6
78	0	0	0	0	2,9
79	0	0	6	11488	1,7
80	0	0	0	0	2,2
81	0	0	0	0	5,1
82	0	0	1	2137	4,8
83	0	0	0	0	1,6
84	0	0	0	0	1,2
85	0	0	2	1486	2,2
86	0	0	2	1654	1,8
87	2	972	0	0	2,4
88	0	0	0	0	3,7
89	1	359	1	1173	2,5
90	1	619	2	1672	4,8
91	0	0	2	3926	3,4
92	0	0	0	0	0,7
93	0	0	0	0	1,7
94	2	1144	0	0	2,6
95	0	0	0	0	2,5
96	0	0	2	1600	3,1
97	0	0	0	0	2,5
98	0	0	0	0	3,9
99	4	1962	2	2234	1,3
100	0	0	0	0	1,9



## Anexo 4 – Dados Gerais de Consumo e Consumidores dos Transformadores Analisados

Transformador	Consumidores industriais do Tipo 2		Consumidores Industriais do Tipo 3		Carga de Iluminação Pública (kVA)
	Número	Consumo (kWh)	Número	Consumo (kWh)	
101	0	0	0	0	2,3
102	0	0	0	0	1,8
103	0	0	0	0	2,3
104	0	0	0	0	3,5
105	3	1450	0	0	2,6
106	0	0	0	0	1,7
107	0	0	0	0	3,2
108	5	2119	0	0	1,6
109	2	870	2	1474	1,3
110	0	0	0	0	0,6
111	0	0	0	0	2,5
112	0	0	1	4433	1,3
113	0	0	0	0	2,2
114	0	0	0	0	1,6
115	2	808	0	0	3

## **Anexo 5:**

### **Dados de Saída do Programa de Conversão Consumo - Demanda.**

Neste anexo apresenta-se uma tabela com os dados de saída do programa de conversão consumo – demanda empregado. Pode-se observar a máxima demanda, o horário em que esta demanda é verificada, além do número de consumidores conectados a cada transformador analisado.

## Anexo 5 – Dados de Saída do Programa de Conversão Consumo-Demanda

Transformador	Número de Consumidores	Hora da Máxima Demanda	Demanda Máxima (kVA)
1	121	21	59,76
2	116	21	68,61
3	138	21	77,29
4	105	21	55,95
5	217	15	102,57
6	150	21	89,96
7	216	21	111,61
8	94	21	53,67
9	135	16	137,24
10	192	21	88,4
11	148	21	76,31
12	123	18	80,78
13	123	21	68,14
14	170	21	92,26
15	138	21	75,4
16	117	21	56,73
17	140	21	58,6
18	119	21	59,71
19	142	21	62,75
20	123	21	61,24
21	116	21	48,21
22	170	21	64,58
23	150	21	77,95
24	120	21	71,92
25	194	21	104,57
26	147	21	68,23
27	71	21	34,47
28	93	21	57,16
29	82	21	45,32
30	160	21	86,89
31	124	21	63,11
32	209	21	99,57
33	136	21	64,18
34	91	21	49,85
35	57	21	32,95
36	104	21	41,56
37	84	21	47,11
38	74	21	33,76
39	100	22	61,34
40	83	21	50,34
41	84	21	50,58
42	34	22	29,29
43	58	21	27,38
44	127	21	71,04
45	132	21	74,12
46	63	21	39,77
47	63	21	35,45
48	128	21	58,04
49	136	21	58,03
50	147	21	64,63

## Anexo 5 – Dados de Saída do Programa de Conversão Consumo-Demanda

Transformador	Número de Consumidores	Hora da Máxima Demanda	Demanda Máxima (kVA)
51	112	21	56,44
52	43	18	57,46
53	56	21	26,58
54	77	21	43,38
55	86	21	55,77
56	14	22	6,17
57	107	21	47,82
58	115	21	43,72
59	21	18	40,42
60	65	21	29,92
61	58	21	35,01
62	78	21	44,62
63	61	21	37,58
64	118	21	57,22
65	54	21	24,73
66	74	21	39,02
67	63	21	30,93
68	61	21	30,18
69	34	17	45
70	94	21	55,54
71	84	21	40,64
72	148	15	89,07
73	111	21	58,85
74	103	21	47,13
75	50	18	52,73
76	175	21	78,25
77	146	21	67,97
78	131	21	60,48
79	82	21	54,3
80	140	21	67,33
81	95	21	54,89
82	106	21	64,92
83	94	21	45,08
84	98	21	35,22
85	100	21	52,18
86	89	21	42,29
87	47	22	41,02
88	127	21	50,29
89	80	21	39,59
90	227	21	81,02
91	193	21	93,08
92	44	21	28,1
93	57	21	26,7
94	141	21	62,14
95	135	21	43,21
96	97	21	58,34
97	183	21	61,17
98	112	18	61,39
99	125	21	55,1
100	120	21	54,27

<b>Transformador</b>	<b>Número de Consumidores</b>	<b>Hora da Máxima Demanda</b>	<b>Demanda Máxima (kVA)</b>
101	127	21	56,66
102	104	21	46,55
103	153	21	60,77
104	82	15	75,86
105	74	21	48,08
106	78	21	37,8
107	128	21	55,99
108	70	21	51,76
109	75	21	37,53
110	41	21	18,94
111	136	21	56,28
112	63	21	48,45
113	138	21	54,81
114	67	21	28,96
115	109	21	52,07

## **Anexo 6:**

### **Queda de Tensão Percentual Diária por ponto de Carga para o Caso 1 (FMC = 1,27).**

Neste anexo pode-se observar a queda de tensão percentual em cada ponto de carga (transformador) durante as vinte e quatro horas de um dia útil típico. Os valores em negrito indicam os pontos em que ocorrem violações dos limites de tensão indicados pelo órgão regulador.

## Anexo 6 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso I (FMC = 1,27)

Ponto	Hora							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1
7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
10	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
11	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
12	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
13	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
14	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
15	1,1	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,2
16	1,2	1	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1,2
17	1,2	1	1	1	0,9	0,9	1	1,3
18	1,2	1	1	1	0,9	0,9	1	1,3
19	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4
20	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4
21	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5
22	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5
23	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5
24	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,6
25	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,6
26	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,6
27	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,6
28	2,3	2	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9	2,4
29	2,3	2	1,9	1,9	1,9	1,8	1,9	2,5
30	2,3	2	1,9	1,9	1,9	1,9	2	2,5
31	2,8	2,4	2,3	2,2	2,2	2,2	2,3	3
32	2,8	2,4	2,3	2,2	2,2	2,2	2,3	3
33	2,9	2,4	2,3	2,2	2,2	2,2	2,3	3
34	2,8	2,4	2,3	2,2	2,2	2,2	2,3	3
35	2,9	2,5	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	3
36	2,9	2,5	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	3
37	2,9	2,5	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	3
38	3,3	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,7	3,5
39	3,3	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,7	3,5
40	3,4	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,8	3,5
41	3,4	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,8	3,6
42	3,4	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,8	3,6
43	3,4	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,8	3,6
44	3,4	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,8	3,6
45	3,4	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,8	3,6
46	3,4	2,9	2,7	2,7	2,6	2,6	2,8	3,6
47	3,4	2,9	2,7	2,7	2,7	2,6	2,8	3,6
48	3,4	2,9	2,7	2,7	2,7	2,6	2,8	3,6

## Anexo 6 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso I (FMC = 1,27)

Ponto	Hora							
	1	2	3	4	5	6	7	8
49	3,4	2,9	2,7	2,7	2,7	2,6	2,8	3,6
50	3,3	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,7	3,5
51	3,4	2,9	2,7	2,7	2,7	2,6	2,8	3,6
52	3,4	2,9	2,7	2,7	2,7	2,6	2,8	3,6
53	3,4	2,9	2,7	2,7	2,7	2,6	2,8	3,6
54	3,4	2,9	2,7	2,7	2,7	2,6	2,8	3,6
55	3,4	2,9	2,7	2,7	2,7	2,6	2,8	3,6
56	3,4	2,9	2,7	2,7	2,7	2,6	2,8	3,6
57	3,4	2,9	2,7	2,7	2,7	2,6	2,8	3,6
58	3,5	3	2,9	2,8	2,8	2,7	2,9	3,7
59	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
60	3,6	3,1	3	2,9	2,9	2,8	3	3,8
61	3,7	3,1	3	2,9	2,9	2,9	3	3,8
62	3,7	3,1	3	2,9	2,9	2,9	3	3,9
63	3,7	3,1	3	2,9	2,9	2,9	3	3,9
64	3,7	3,1	3	2,9	2,9	2,9	3	3,9
65	3,6	3	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
66	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
67	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
68	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
69	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
70	3,6	3,1	3	2,9	2,9	2,8	3	3,8
71	3,7	3,1	3	2,9	2,9	2,9	3	3,9
72	3,7	3,2	3	2,9	2,9	2,9	3	3,9
73	3,7	3,2	3	2,9	2,9	2,9	3,1	3,9
74	3,7	3,2	3	2,9	2,9	2,9	3	3,9
75	3,7	3,2	3	2,9	2,9	2,9	3	3,9
76	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
77	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
78	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
79	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
80	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
81	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
82	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
83	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
84	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8



## Anexo 6 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso 1 (FMC = 1,27)

Ponto	Hora							
	9	10	11	12	13	14	15	16
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
9	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
10	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
11	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
12	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
13	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6
14	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6
15	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,7
16	1,5	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,7
17	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9	1,8
18	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9	1,8
19	1,7	1,8	2	2	2	2,1	2,1	2
20	1,7	1,8	2	2	2	2,1	2,1	2
21	1,8	2	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,2
22	1,8	2	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,2
23	1,8	2	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,2
24	1,9	2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2
25	1,9	2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2
26	1,9	2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2
27	1,9	2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2
28	2,9	3,1	3,4	3,3	3,4	3,6	3,6	3,5
29	2,9	3,1	3,4	3,4	3,5	3,6	3,7	3,5
30	2,9	3,1	3,4	3,4	3,5	3,7	3,7	3,5
31	3,6	3,9	4,2	4,1	4,2	4,5	4,5	4,3
32	3,6	3,9	4,2	4,2	4,3	4,5	4,6	4,4
33	3,6	3,9	4,2	4,2	4,3	4,5	4,6	4,4
34	3,6	3,9	4,2	4,2	4,3	4,5	4,6	4,4
35	3,7	4	4,3	4,2	4,4	4,6	4,6	4,4
36	3,7	4	4,3	4,2	4,4	4,6	4,6	4,4
37	3,7	4	4,3	4,2	4,4	4,6	4,6	4,4
38	4,2	4,6	4,9	4,9	5	5,3	5,3	5,1
39	4,2	4,6	4,9	4,9	5	5,3	5,3	5,1
40	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,4	5,2
41	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,4	5,2
42	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,4	5,2
43	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,5	5,2
44	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,5	5,2
45	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,5	5,2
46	4,3	4,6	5	5	5,1	5,5	5,5	5,2
47	4,3	4,7	5	5	5,1	5,5	5,5	5,2
48	4,3	4,7	5	5	5,2	5,5	5,5	5,2

## Anexo 6 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso 1 (FMC = 1,27)

Ponto	Hora							
	9	10	11	12	13	14	15	16
49	4,3	4,7	5	5	5,2	5,5	5,5	5,2
50	4,2	4,6	4,9	4,9	5	5,3	5,3	5,1
51	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,4	5,2
52	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,4	5,2
53	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,5	5,2
54	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,5	5,2
55	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,5	5,2
56	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,5	5,2
57	4,3	4,6	5	5	5,1	5,4	5,5	5,2
58	4,5	4,8	5,2	5,2	5,3	5,7	5,7	5,4
59	4,5	4,9	5,3	5,2	5,4	5,7	5,7	5,5
60	4,6	5	5,4	5,3	5,5	5,8	5,8	5,6
61	4,6	5	5,4	5,4	5,5	5,8	5,8	5,6
62	4,7	5	5,4	5,4	5,5	5,8	5,9	5,6
63	4,7	5	5,4	5,4	5,5	5,8	5,9	5,6
64	4,7	5	5,4	5,4	5,5	5,8	5,9	5,6
65	4,5	4,9	5,3	5,2	5,4	5,7	5,7	5,5
66	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5
67	4,6	4,9	5,4	5,3	5,5	5,8	5,8	5,6
68	4,6	4,9	5,4	5,3	5,5	5,8	5,8	5,6
69	4,6	4,9	5,4	5,3	5,5	5,8	5,8	5,6
70	4,6	5	5,4	5,3	5,5	5,8	5,8	5,6
71	4,7	5	5,4	5,4	5,5	5,8	5,9	5,6
72	4,7	5	5,4	5,4	5,5	5,9	5,9	5,6
73	4,7	5,1	5,5	5,4	5,6	5,9	5,9	5,7
74	4,7	5	5,4	5,4	5,6	5,9	5,9	5,6
75	4,7	5	5,4	5,4	5,6	5,9	5,9	5,6
76	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,7	5,7	5,5
77	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,7	5,8	5,5
78	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,7	5,8	5,5
79	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,7	5,8	5,5
80	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,7	5,8	5,5
81	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,7	5,8	5,5
82	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5
83	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5
84	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5

## Anexo 6 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso 1 (FMC = 1,27)

Ponto	Hora							
	17	18	19	20	21	22	23	24
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0
5	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0
6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
9	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2
10	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2
11	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
12	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
13	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,5
14	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,5
15	1,7	1,8	1,9	2	2,2	2,1	1,8	1,4
16	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,2	1,9	1,4
17	1,8	1,9	2	2,2	2,4	2,3	1,9	1,5
18	1,8	1,9	2	2,2	2,4	2,3	1,9	1,5
19	2	2,1	2,3	2,4	2,7	2,6	2,2	1,7
20	2	2,1	2,3	2,5	2,7	2,6	2,2	1,7
21	2,1	2,3	2,4	2,6	2,9	2,8	2,3	1,8
22	2,2	2,3	2,4	2,6	2,9	2,8	2,3	1,8
23	2,2	2,3	2,4	2,6	2,9	2,8	2,3	1,8
24	2,2	2,3	2,5	2,7	3	2,8	2,4	1,9
25	2,2	2,4	2,5	2,7	3	2,9	2,4	1,9
26	2,2	2,4	2,5	2,7	3	2,9	2,4	1,9
27	2,2	2,4	2,5	2,7	3	2,9	2,4	1,9
28	3,4	3,7	3,9	4,2	4,6	4,4	3,7	2,9
29	3,5	3,7	3,9	4,2	4,6	4,4	3,7	2,9
30	3,5	3,7	3,9	4,2	4,6	4,4	3,7	2,9
31	4,3	4,5	4,8	5,2	5,7	5,4	4,6	3,5
32	4,3	4,6	4,8	5,2	5,8	5,5	4,6	3,5
33	4,3	4,6	4,8	5,2	5,8	5,5	4,6	3,6
34	4,3	4,6	4,8	5,2	5,8	5,5	4,6	3,5
35	4,4	4,6	4,9	5,3	5,9	5,6	4,7	3,6
36	4,4	4,7	4,9	5,3	5,9	5,6	4,7	3,6
37	4,4	4,6	4,9	5,3	5,9	5,6	4,7	3,6
38	5	5,4	5,7	6,2	6,9	6,5	5,4	4,2
39	5	5,4	5,7	6,2	6,9	6,5	5,4	4,2
40	5,1	5,4	5,8	6,2	6,9	6,6	5,5	4,2
41	5,1	5,4	5,8	6,3	7	6,6	5,5	4,2
42	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,6	5,5	4,2
43	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,6	5,6	4,3
44	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,6	5,6	4,3
45	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,6	5,6	4,3
46	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,7	5,6	4,3
47	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,7	5,6	4,3
48	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,7	5,6	4,3

## Anexo 6 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso 1 (FMC = 1,27)

Ponto	Hora							
	17	18	19	20	21	22	23	24
49	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,7	5,6	4,3
50	5	5,4	5,7	6,2	6,9	6,5	5,4	4,2
51	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,6	5,5	4,2
52	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,6	5,5	4,2
53	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,6	5,5	4,2
54	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,6	5,5	4,2
55	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,6	5,5	4,2
56	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,6	5,5	4,2
57	5,1	5,5	5,8	6,3	7	6,6	5,5	4,3
58	5,3	5,7	6	6,5	7,3	6,9	5,8	4,4
59	5,4	5,7	6,1	6,6	7,3	6,9	5,8	4,5
60	5,5	5,8	6,2	6,7	7,5	7	5,9	4,5
61	5,5	5,9	6,2	6,7	7,5	7,1	5,9	4,6
62	5,5	5,9	6,2	6,8	7,5	7,1	5,9	4,6
63	5,5	5,9	6,2	6,8	7,5	7,1	6	4,6
64	5,5	5,9	6,2	6,8	7,5	7,1	6	4,6
65	5,4	5,7	6,1	6,6	7,3	6,9	5,8	4,5
66	5,4	5,8	6,2	6,7	7,4	7	5,9	4,5
67	5,5	5,8	6,2	6,7	7,4	7	5,9	4,5
68	5,5	5,8	6,2	6,7	7,5	7	5,9	4,5
69	5,5	5,8	6,2	6,7	7,5	7	5,9	4,5
70	5,5	5,8	6,2	6,7	7,5	7,1	5,9	4,6
71	5,5	5,9	6,2	6,8	7,5	7,1	6	4,6
72	5,5	5,9	6,3	6,8	7,6	7,1	6	4,6
73	5,6	5,9	6,3	6,8	7,6	7,2	6	4,6
74	5,5	5,9	6,3	6,8	7,6	7,2	6	4,6
75	5,5	5,9	6,3	6,8	7,6	7,2	6	4,6
76	5,4	5,8	6,1	6,6	7,4	7	5,8	4,5
77	5,4	5,8	6,1	6,6	7,4	7	5,8	4,5
78	5,4	5,8	6,1	6,6	7,4	7	5,8	4,5
79	5,4	5,8	6,1	6,6	7,4	7	5,8	4,5
80	5,4	5,8	6,1	6,6	7,4	7	5,9	4,5
81	5,4	5,8	6,1	6,7	7,4	7	5,9	4,5
82	5,4	5,8	6,1	6,7	7,4	7	5,9	4,5
83	5,4	5,8	6,2	6,7	7,4	7	5,9	4,5
84	5,4	5,8	6,2	6,7	7,4	7	5,9	4,5

## **Anexo 7:**

### **Queda de Tensão Percentual Diária por ponto de Carga para o Caso 2 (FMC = 1,35).**

Neste anexo pode-se observar a queda de tensão percentual em cada ponto de carga (transformador) durante as vinte e quatro horas de um dia útil típico. Os valores em negrito indicam os pontos em que ocorrem violações dos limites de tensão indicados pelo órgão regulador.

## Anexo 7 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso 2 (FMC = 1,35)

Ponto	Hora							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1
7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
10	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
11	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
12	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
13	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5
14	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5
15	1,2	1	1	0,9	0,9	0,9	1	1,2
16	1,2	1,1	1	1	1	1	1	1,3
17	1,3	1,1	1	1	1	1	1	1,3
18	1,3	1,1	1	1	1	1	1	1,3
19	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,5
20	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,5
21	1,6	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,6
22	1,6	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,6
23	1,6	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,6
24	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,7
25	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,7
26	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,7
27	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,7
28	2,5	2,1	2	2	2	1,9	2	2,6
29	2,5	2,1	2	2	2	2	2,1	2,6
30	2,5	2,1	2	2	2	2	2,1	2,6
31	3	2,6	2,4	2,4	2,4	2,3	2,5	3,1
32	3	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	3,2
33	3	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	3,2
34	3	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	3,2
35	3,1	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	3,2
36	3,1	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	3,2
37	3,1	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	3,2
38	3,5	3	2,9	2,8	2,8	2,7	2,9	3,7
39	3,5	3	2,9	2,8	2,8	2,7	2,9	3,7
40	3,6	3	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
41	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
42	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
43	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
44	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
45	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
46	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
47	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
48	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8

## Anexo 7 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso 2 (FMC = 1,35)

Ponto	Hora							
	1	2	3	4	5	6	7	8
49	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
50	3,5	3	2,9	2,8	2,8	2,7	2,9	3,7
51	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,8
52	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
53	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
54	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
55	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
56	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
57	3,6	3,1	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3,8
58	3,7	3,2	3	2,9	2,9	2,9	3,1	3,9
59	3,8	3,2	3,1	3	3	2,9	3,1	4
60	3,9	3,3	3,1	3	3	3	3,2	4,1
61	3,9	3,3	3,1	3,1	3,1	3	3,2	4,1
62	3,9	3,3	3,2	3,1	3,1	3	3,2	4,1
63	3,9	3,3	3,2	3,1	3,1	3	3,2	4,1
64	3,9	3,3	3,2	3,1	3,1	3	3,2	4,1
65	3,8	3,2	3,1	3	3	2,9	3,1	4
66	3,8	3,3	3,1	3	3	3	3,2	4
67	3,8	3,3	3,1	3	3	3	3,2	4
68	3,8	3,3	3,1	3	3	3	3,2	4
69	3,8	3,3	3,1	3	3	3	3,2	4
70	3,9	3,3	3,1	3	3	3	3,2	4,1
71	3,9	3,3	3,2	3,1	3,1	3	3,2	4,1
72	3,9	3,4	3,2	3,1	3,1	3,1	3,2	4,1
73	4	3,4	3,2	3,1	3,1	3,1	3,3	4,2
74	3,9	3,4	3,2	3,1	3,1	3,1	3,2	4,1
75	3,9	3,4	3,2	3,1	3,1	3,1	3,2	4,1
76	3,8	3,2	3,1	3	3	3	3,1	4
77	3,8	3,2	3,1	3	3	3	3,1	4
78	3,8	3,2	3,1	3	3	3	3,1	4
79	3,8	3,2	3,1	3	3	3	3,1	4
80	3,8	3,3	3,1	3	3	3	3,1	4
81	3,8	3,3	3,1	3	3	3	3,1	4
82	3,8	3,3	3,1	3	3	3	3,1	4
83	3,8	3,3	3,1	3	3	3	3,2	4
84	3,8	3,3	3,1	3	3	3	3,2	4

## Anexo 7 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso 2 (FMC = 1,35)

Ponto	Hora							
	9	10	11	12	13	14	15	16
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
9	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
10	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
11	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
12	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
13	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
14	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
15	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9	1,8
16	1,5	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8
17	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2	2	1,9
18	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2	2	1,9
19	1,8	1,9	2,1	2,1	2,1	2,2	2,3	2,2
20	1,8	1,9	2,1	2,1	2,1	2,3	2,3	2,2
21	1,9	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,4	2,3
22	1,9	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,4	2,3
23	1,9	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,4	2,3
24	2	2,1	2,3	2,3	2,3	2,5	2,5	2,4
25	2	2,1	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5	2,4
26	2	2,1	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5	2,4
27	2	2,1	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5	2,4
28	3,1	3,3	3,6	3,5	3,6	3,8	3,9	3,7
29	3,1	3,3	3,6	3,6	3,7	3,9	3,9	3,7
30	3,1	3,3	3,6	3,6	3,7	3,9	3,9	3,7
31	3,8	4,1	4,4	4,4	4,5	4,8	4,8	4,6
32	3,8	4,1	4,4	4,4	4,5	4,8	4,8	4,6
33	3,8	4,1	4,5	4,4	4,5	4,8	4,8	4,6
34	3,8	4,1	4,5	4,4	4,5	4,8	4,8	4,6
35	3,9	4,2	4,5	4,5	4,6	4,9	4,9	4,7
36	3,9	4,2	4,5	4,5	4,6	4,9	4,9	4,7
37	3,9	4,2	4,5	4,5	4,6	4,9	4,9	4,7
38	4,5	4,8	5,2	5,2	5,3	5,6	5,7	5,4
39	4,5	4,8	5,2	5,2	5,3	5,6	5,7	5,4
40	4,5	4,9	5,3	5,2	5,4	5,7	5,7	5,5
41	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,7	5,8	5,5
42	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,7	5,8	5,5
43	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5
44	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5
45	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5
46	4,6	4,9	5,3	5,3	5,5	5,8	5,8	5,5
47	4,6	4,9	5,3	5,3	5,5	5,8	5,8	5,5
48	4,6	4,9	5,3	5,3	5,5	5,8	5,8	5,5



## Anexo 7 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso 2 (FMC = 1,35)

Ponto	Hora							
	9	10	11	12	13	14	15	16
49	4,6	4,9	5,3	5,3	5,5	5,8	5,8	5,5
50	4,5	4,8	5,2	5,2	5,3	5,6	5,7	5,4
51	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,7	5,8	5,5
52	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,7	5,8	5,5
53	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5
54	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5
55	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5
56	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5
57	4,6	4,9	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,5
58	4,8	5,1	5,5	5,5	5,7	6	6	5,7
59	4,8	5,2	5,6	5,6	5,7	6	6,1	5,8
60	4,9	5,3	5,7	5,7	5,8	6,1	6,2	5,9
61	4,9	5,3	5,7	5,7	5,8	6,2	6,2	5,9
62	4,9	5,3	5,7	5,7	5,8	6,2	6,2	5,9
63	4,9	5,3	5,7	5,7	5,8	6,2	6,2	5,9
64	4,9	5,3	5,7	5,7	5,8	6,2	6,2	5,9
65	4,8	5,2	5,6	5,5	5,7	6	6,1	5,8
66	4,9	5,2	5,7	5,6	5,8	6,1	6,1	5,9
67	4,9	5,2	5,7	5,6	5,8	6,1	6,2	5,9
68	4,9	5,2	5,7	5,6	5,8	6,1	6,2	5,9
69	4,9	5,2	5,7	5,6	5,8	6,1	6,2	5,9
70	4,9	5,3	5,7	5,7	5,8	6,2	6,2	5,9
71	4,9	5,3	5,7	5,7	5,8	6,2	6,2	5,9
72	5	5,3	5,8	5,7	5,9	6,2	6,2	6
73	5	5,4	5,8	5,8	5,9	6,3	6,3	6
74	5	5,3	5,8	5,7	5,9	6,2	6,3	6
75	5	5,3	5,8	5,7	5,9	6,2	6,3	6
76	4,8	5,2	5,6	5,6	5,7	6,1	6,1	5,8
77	4,8	5,2	5,6	5,6	5,7	6,1	6,1	5,8
78	4,8	5,2	5,6	5,6	5,7	6,1	6,1	5,8
79	4,8	5,2	5,6	5,6	5,7	6,1	6,1	5,8
80	4,8	5,2	5,6	5,6	5,7	6,1	6,1	5,8
81	4,8	5,2	5,6	5,6	5,7	6,1	6,1	5,8
82	4,9	5,2	5,6	5,6	5,8	6,1	6,1	5,9
83	4,9	5,2	5,7	5,6	5,8	6,1	6,1	5,9
84	4,9	5,2	5,7	5,6	5,8	6,1	6,1	5,9

## Anexo 7 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso 2 (FMC = 1,35)

Ponto	Hora							
	17	18	19	20	21	22	23	24
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0
4	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0
5	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0
6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
7	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
8	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
9	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
10	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
11	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
12	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
13	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6
14	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6
15	1,8	1,9	2	2,1	2,4	2,2	1,9	1,5
16	1,8	1,9	2	2,2	2,5	2,3	2	1,5
17	1,9	2	2,1	2,3	2,5	2,4	2	1,6
18	1,9	2	2,1	2,3	2,5	2,4	2	1,6
19	2,1	2,3	2,4	2,6	2,9	2,7	2,3	1,8
20	2,1	2,3	2,4	2,6	2,9	2,7	2,3	1,8
21	2,3	2,4	2,6	2,8	3,1	2,9	2,5	1,9
22	2,3	2,4	2,6	2,8	3,1	2,9	2,5	1,9
23	2,3	2,4	2,6	2,8	3,1	2,9	2,5	1,9
24	2,3	2,5	2,6	2,9	3,2	3	2,6	2
25	2,3	2,5	2,6	2,9	3,2	3	2,6	2
26	2,3	2,5	2,6	2,9	3,2	3	2,6	2
27	2,3	2,5	2,6	2,9	3,2	3	2,6	2
28	3,6	3,9	4,1	4,4	4,9	4,6	3,9	3
29	3,7	3,9	4,1	4,4	4,9	4,6	3,9	3,1
30	3,7	3,9	4,1	4,4	4,9	4,6	3,9	3,1
31	4,5	4,8	5,1	5,5	6,1	5,7	4,8	3,7
32	4,5	4,8	5,1	5,5	6,1	5,8	4,9	3,8
33	4,6	4,8	5,1	5,5	6,2	5,8	4,9	3,8
34	4,5	4,8	5,1	5,5	6,1	5,8	4,9	3,8
35	4,6	4,9	5,2	5,6	6,2	5,9	5	3,8
36	4,6	4,9	5,2	5,6	6,3	5,9	5	3,8
37	4,6	4,9	5,2	5,6	6,3	5,9	5	3,8
38	5,3	5,7	6	6,5	7,2	6,9	5,8	4,4
39	5,3	5,7	6	6,5	7,3	6,9	5,8	4,4
40	5,4	5,7	6,1	6,6	7,3	6,9	5,8	4,5
41	5,4	5,8	6,1	6,6	7,4	7	5,9	4,5
42	5,4	5,8	6,1	6,6	7,4	7	5,9	4,5
43	5,4	5,8	6,1	6,7	7,4	7	5,9	4,5
44	5,4	5,8	6,1	6,7	7,4	7	5,9	4,5
45	5,4	5,8	6,1	6,7	7,4	7	5,9	4,5
46	5,4	5,8	6,2	6,7	7,4	7	5,9	4,5
47	5,4	5,8	6,2	6,7	7,5	7	5,9	4,5
48	5,4	5,8	6,2	6,7	7,5	7	5,9	4,5

## Anexo 7 – Queda de Tensão Diária por ponto para o Caso 2 (FMC = 1,35)

Ponto	Hora							
	17	18	19	20	21	22	23	24
49	5,4	5,8	6,2	6,7	7,5	7,1	5,9	4,5
50	5,3	5,7	6	6,5	7,2	6,9	5,8	4,4
51	5,4	5,8	6,1	6,6	7,4	7	5,9	4,5
52	5,4	5,8	6,1	6,6	7,4	7	5,9	4,5
53	5,4	5,8	6,1	6,7	7,4	7	5,9	4,5
54	5,4	5,8	6,1	6,7	7,4	7	5,9	4,5
55	5,4	5,8	6,1	6,6	7,4	7	5,9	4,5
56	5,4	5,8	6,1	6,7	7,4	7	5,9	4,5
57	5,4	5,8	6,1	6,7	7,4	7	5,9	4,5
58	5,6	6	6,4	6,9	7,7	7,3	6,1	4,7
59	5,7	6,1	6,4	7	7,8	7,3	6,2	4,7
60	5,8	6,2	6,5	7,1	7,9	7,5	6,3	4,8
61	5,8	6,2	6,6	7,1	7,9	7,5	6,3	4,8
62	5,8	6,2	6,6	7,1	7,9	7,5	6,3	4,9
63	5,8	6,2	6,6	7,1	7,9	7,5	6,3	4,9
64	5,8	6,2	6,6	7,1	7,9	7,5	6,3	4,9
65	5,7	6,1	6,4	7	7,8	7,3	6,2	4,7
66	5,8	6,1	6,5	7,1	7,8	7,4	6,2	4,8
67	5,8	6,2	6,5	7,1	7,9	7,4	6,3	4,8
68	5,8	6,2	6,5	7,1	7,9	7,5	6,3	4,8
69	5,8	6,2	6,5	7,1	7,9	7,5	6,3	4,8
70	5,8	6,2	6,6	7,1	7,9	7,5	6,3	4,8
71	5,8	6,2	6,6	7,2	7,9	7,5	6,3	4,9
72	5,9	6,3	6,6	7,2	8	7,6	6,3	4,9
73	5,9	6,3	6,7	7,2	8	7,6	6,4	4,9
74	5,9	6,3	6,6	7,2	8	7,6	6,4	4,9
75	5,9	6,3	6,6	7,2	8	7,6	6,4	4,9
76	5,7	6,1	6,5	7	7,8	7,4	6,2	4,7
77	5,7	6,1	6,5	7	7,8	7,4	6,2	4,8
78	5,7	6,1	6,5	7	7,8	7,4	6,2	4,8
79	5,7	6,1	6,5	7	7,8	7,4	6,2	4,8
80	5,7	6,1	6,5	7	7,8	7,4	6,2	4,8
81	5,7	6,1	6,5	7	7,8	7,4	6,2	4,8
82	5,8	6,1	6,5	7,1	7,8	7,4	6,2	4,8
83	5,8	6,1	6,5	7,1	7,8	7,4	6,2	4,8
84	5,8	6,1	6,5	7,1	7,9	7,4	6,2	4,8

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PARADA, Gabriel Maurício Olguín. *Proposta de Regulamentação da Qualidade de Serviço em Sistemas de Distribuição Sujeitos a Limitação de Preços / Receita*. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- [2] COELHO, Jorge. *Qualidade de Engenharia em Sistemas Industriais. Publicação Interna (apostila)* – LabPlan/EEL/UFSC, Ago. 1999.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL; Resolução N<sup>o</sup>. 024 de 27 de Janeiro de 2000.
- [4] ROMÁN, T. Gómez San, UBEDA, J. Román. Power Quality Regulation in Argentina: Flicker and Harmonics. *IEEE Transactions on Power Delivery*. v. 13, n. 3, p. 895-901, July 1998.
- [5] SIQUEIRA, Gustavo F. G., ACHKAR, Luiz Roberto, YAMANAKA, Alberto S. Os Benefícios da Automação de Sistemas Elétricos para a Qualidade de Energia. *Revista Eletricidade Moderna*, São Paulo, v. 289, p. 148-152, Abr. 1998.
- [6] BRASIL, Luciano, ROSS, Ricardo Penido, SOUZA, Luiz Felipe Willcox de. Desenvolvimento de um Projeto de Monitoração de Qualidade de Energia em uma Concessionária de Distribuição de Energia Elétrica. In: *XIV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (Anais)*. Foz do Iguaçu – PR, 2000.
- [7] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DNAEE; Portaria N<sup>o</sup>. 047, de 17 de Abril de 1978.
- [8] SILVA, Mário Daltro Londero da. *Conversão Consumo / Demanda uma Metodologia Alternativa*. São Paulo, 1987. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo.

- [9] SILVA, Edson Luiz da, FERNANDES, Rubiapiara Cavalcante. *Glossário do MAE, Relatório 1*. Projeto CEPTEL – UFSC. Florianópolis, jan. 2000.
- [10] DUGAN, Roger C., MCGRANAGHAN, Mark F., BEATY, H. Wayne. *Electrical Power Systems Quality*. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1996.
- [11] BURKE, James J. *Power Distribution Engineering*. 1. ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1994.
- [12] TANURE, José Eduardo P. S., HASSIN, Eduardo Sormanti, FILHO, Armando Silva. Indicadores de Qualidade de Energia Elétrica Aspectos Contratuais e de Proteção ao Consumidor. In: III SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA (Ago. 1999: Brasília). *Anais*. Brasília, 1999. p. 237-243.
- [13] SILVA, Roberto J. R. Gomes da, RAMOS, Álvaro J. P., BRASIL, Dalton O. C. et al. Reflexões Sobre A Garantia da Qualidade de Energia no Novo Ambiente do Setor Elétrico Brasileiro. In: III SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA (Ago. 1999: Brasília). *Anais*. Brasília, 1999. p. 345-350.
- [14] SANTOS, Celso Luiz Fioravanti dos. O programa Federal de Qualidade de Energia. *Revista Eletricidade Moderna*, São Paulo, v. 288, p. 59-63, Mar. 1998.
- [15] THOMAS, Walter, BORDINI, Walter Pedro, HASSIN, Eduardo Sormanti. *Proposta de Índices de Qualidade de Fornecimento de Energia Elétrica Baseado na Portaria Nº. 163/93*. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL.
- [16] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DNAEE; Portaria Nº. 046, de 17 de Abril de 1978.
- [17] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL; Resolução Nº. 318 de 06 de Outubro de 1998.
- [18] WARD, Daniel J. The Impact of Distribution System Design on Harmonic Limits. *IEEE*. p. 1110-1114, 1998.
- [19] GUNTHER, Erich W., SAMOTYJ, Marek. Procedimentos para Avaliar e Melhorar a Qualidade da Energia. *Revista Eletricidade Moderna*, São Paulo, v. 277, p. 218-225, Mar. 1997.

- [20] DUGAN, R. C., BROOKS, D. L., MCDERMOTT, T. E. et al. Using Voltage Sag and Interruption Indices in Distribution Planning. *IEEE*. p. 1164-1169, 1998.
- [21] PAVÃO, Augusto Carlos, ANDRADE, Adnei Melges de, AFFONSO, Octávio Ferreira. A Dispersão dos Valores de Tensão para os Consumidores Residenciais. *Revista Eletricidade Moderna*, São Paulo, v. 301, p. 358-363, Abr. 1999.
- [22] ROSS, Ricardo P., LIMA, Antonio G. G., SOUZA, Luiz F. W. et al. Afundamentos de Tensão de Curta Duração: Análise das Áreas de Vulnerabilidade. *Revista Eletricidade Moderna*, São Paulo, v. 302, p. 212-218, Maio. 1999.
- [23] KAVALCO, Gilson Fioravante, SILVA, Luiz Paulo Gaspar da. Implantação do Sistema Fone Luz em Cascavel. In: *XIV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (Anais)*. Foz do Iguaçu – PR, 2000.
- [24] ROCHA, Luiz Antônio Ribeiro da, LOMBARDI, Giovanni, FILHO, Jacques Miranda. Instalação de bancos de Capacitores de 15 kV: Nas Subestações ou nos Alimentadores? *Revista Eletricidade Moderna*, São Paulo, v. 289, p. 202-208, Abr. 1998.
- [25] JUNIOR, Carlos Frederico Fassheber. Utilização de Capacitores para Melhoria da Qualidade de Energia Elétrica nos Circuitos de BT. In: *XIV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (Anais)*. Foz do Iguaçu – PR, 2000.
- [26] SILVA, Mário Dautro Londero da. Conversão Consumo / Demanda uma Metodologia Alternativa. *Comissão de Integração Elétrica Regional – CIER*. Curitiba, p.78-96, 1989.
- [27] JARDINI, José Antônio, FIGUEIREDO, Fernando Monteiro de, FERRARI, Eduardo Luiz et al. Curvas de Carga de Consumidores Comerciais e Industriais em Baixa Tensão. *Revista Eletricidade Moderna*, São Paulo, v. 289, p. 190-201, Abr. 1998.
- [28] MEDEIROS, André Della Rocca, MANZONI, Alessandro. *Manual do Programa para o Cálculo de Fluxo de Potência em Alimentadores Rádiais – SPDIST*. Florianópolis, 1995. Laboratório de Sistemas de Potência (LABSPOT) – Universidade Federal de Santa Catarina.

- [29] COELHO, Jorge. *Representação Probabilística da Carga em Fluxo de Potência de Sistemas de Distribuição*. Publicação Interna – 12 páginas – LabPlan/EEL/UFSC, 2000.