

FABIANO FERREIRA ANDRADE

**FORMAÇÃO DE AGRUPAMENTOS DE CONSUMIDORES DE
ENERGIA ELÉTRICA COM BASE NOS PERFIS DE
CARGA INDIVIDUAIS**

**FLORIANÓPOLIS
2003**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FORMAÇÃO DE AGRUPAMENTOS DE CONSUMIDORES DE
ENERGIA ELÉTRICA COM BASE NOS PERFIS DE
CARGA INDIVIDUAIS

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

FABIANO FERREIRA ANDRADE

Florianópolis, Maio de 2003.

FORMAÇÃO DE AGRUPAMENTOS DE CONSUMIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA COM BASE NOS PERFIS DE CARGA INDIVIDUAIS

Fabiano Ferreira Andrade

‘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. C. Celso de Brasil Camargo, Dr. Eng.
Orientador

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

Banca Examinadora:

Prof. C. Celso de Brasil Camargo, Dr. Eng.
Presidente

Prof^a. Jacqueline Gisèle Rolim, Dra. Eng.

Prof. Jorge Coelho, D. Sc.

*Aos meus avós, Sebastião Ferreira e Edna Moraes,
pelo carinho, pela paciência e principalmente pelo exemplo de vida.*

*Ao meu avô Wolsey Andrade,
pelo otimismo e a contagiante alegria de viver.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Celso Camargo, pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho, que se transformou em confiança e compreensão inestimáveis de sua orientação. Agradeço também, pelos vários outros desafios que plantou em meu caminho, que contribuíram não somente para o meu crescimento profissional, mas também para o meu amadurecimento pessoal.

Aos professores Jorge Coelho e Jacqueline Rolim, pela participação ativa na banca examinadora, que em muito contribuiu para a qualidade deste trabalho.

Aos professores e colegas do Labplan que me permitiram a convivência por mais de dois anos, e que tanto me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina pelo apoio institucional, ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica pelo apoio técnico, e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Ao engenheiro Francisco Berka pela boa vontade e colaboração na fase de implementação da metodologia em casos reais com consumidores da CELESC.

Ao amigo e engenheiro Ricardo Santa Catarina pelas contribuições e incentivos para o desenvolvimento das bases deste trabalho.

Aos meus pais, Carlos Catarino e Eliete Moraes, pelo voto de confiança que me permitiu alçar um vôo mais alto e infelizmente mais distante do ninho.

Aos meus queridos irmãos, Greyce e Fabrício, por estarem sempre a minha frente iluminado os caminhos.

Aos meus sobrinhos, Rafael, Eduardo e Leonardo, e a meu afilhado Lucas, por tornarem a vida sempre um pouco mais criança.

À encantadora Vanessa Schmitz Hansen, pela maneira indelével com que contribuiu para a realização deste sonho. Um companheirismo feito de carinho, compreensão, cumplicidade e amor!

Finalmente, agradeço a Deus!

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

FORMAÇÃO DE AGRUPAMENTOS DE CONSUMIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA COM BASE NOS PERFIS DE CARGA INDIVIDUAIS

FABIANO FERREIRA ANDRADE

Maio/2003

Orientador: Prof. C. Celso de Brasil Camargo, Dr. Eng.

Área de Concentração: Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica.

Palavras-chave: agrupamento de consumidores, tarifas de energia elétrica, uso eficiente da energia elétrica, gerenciamento pelo lado da demanda.

Número de Páginas: 98

A presente dissertação propõe uma nova metodologia para aprimorar a elaboração das estruturas tarifárias para a energia elétrica. Diante da premente necessidade de aprimoramento nas políticas tarifárias do setor, nem sempre capazes de promover o uso racional da energia elétrica, apresenta-se a formação de agrupamentos de consumidores com base nos perfis de carga individuais. A metodologia proposta permite aos consumidores que impõem custos similares ao sistema elétrico serem agrupados em uma mesma categoria, independentemente da classe de consumo ou segmento da sociedade aos quais pertençam. A semelhança na forma de consumir é quantificada através da matriz de similaridade, resultante das curvas de carga diárias dos consumidores. Objetivando a determinação dos agrupamentos, dois processos seqüenciais de clusterização, conseguem de forma satisfatória determinar as formas fortes de consumo. Por meio de um estudo de caso com mais de 400 curvas de carga reais de consumidores do subgrupo A4 consegue-se identificar as principais tipologias e estratificar as atividades econômicas predominantes. Se a tarifa ideal –uma para cada consumidor – não é factível, uma estrutura tarifária composta por agrupamentos de consumidores similares mostra-se um bom caminho na direção do uso eficiente da energia elétrica, promovendo a customização do consumidor e o bem geral da sociedade.

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

ELECTRICAL ENERGY CONSUMERS CLUSTERS BASED ON INDIVIDUALS LOADS PROFILES

FABIANO FERREIRA ANDRADE

May/2003

Advisor: Prof. C. Celso de Brasil Camargo, Dr. Eng.

Area of Concentration: Electrical Energy Systems Planning

Keywords: electrical energy tariffs, cluster analysis, efficient use of electrical energy, demand side management.

Number of Pages: 98

This work proposes to develop a new methodology to study and implement electric energy tariffs, in order to obtain a better and efficient use of electrical energy. This methodology groups consumers who impose similar costs to the electric system, no matter to which consumer or society class they belong. The cluster analysis is effectuated by means of a similarity matrix obtained from the daily load curves of electrical consumers. Two steps of analysis are used, a non hierarchical and a hierarchical process. Finally, a case study is shown, with more than four hundred real load curves from A4 group, and it was possible to identify a number of different types of load curves, which belongs to different patterns of consumer behaviour. Although is not feasible and economical to have a single tariff for each customer, this methodology seems to be a step further in order to have a better and efficiency use of electrical energy.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	APRESENTAÇÃO	1
1.1	INTRODUÇÃO	1
1.2	MOTIVAÇÕES	3
1.3	OBJETIVOS	3
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
CAPÍTULO 2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	INTRODUÇÃO	5
2.2	REVISÃO DAS METODOLOGIAS PARA A TARIFICAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA	6
2.2.1	<i>Do Surgimento da Indústria de Energia Elétrica ao Início do Século XX – Ausência de uma Metodologia Tarifária</i>	6
2.2.2	<i>Evolução da Metodologia para o Cálculo das Tarifas</i>	7
2.2.3	<i>Tipos de Estrutura Tarifária</i>	12
2.3	REVISÃO DA REGULAMENTAÇÃO TARIFÁRIA DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO	18
2.3.1	<i>As Leis de Concessão de Serviços Públicos</i>	19
2.3.2	<i>A Regulamentação da Estrutura Tarifária</i>	23
2.4	REVISÃO DAS TÉCNICAS PARA AGREGAÇÃO DE CURVAS DE CARGA	30
2.5	CONCLUSÕES	32
CAPÍTULO 3	METODOLOGIA	33
3.1	INTRODUÇÃO	33
3.2	AGRUPAMENTOS TARIFÁRIOS	34
3.3	CARACTERIZAÇÃO DAS CARGAS DO SEB NA DÉCADA DE 80	35
3.3.1	<i>Campanhas de Medidas</i>	36
3.3.2	<i>Análise das Curvas de Cargas Obtidas</i>	37
3.3.3	<i>Considerações Adicionais</i>	44
3.4	FORMAÇÃO DOS AGRUPAMENTOS DE CONSUMIDORES COM BASE NO PERFIL DE CARGA INDIVIDUAL	47
3.4.1	<i>Levantamento das Curvas de Carga dos Consumidores</i>	49
3.4.2	<i>Modelagem Matemática da Similaridade dos Perfis de Carga Individuais</i>	50
3.4.3	<i>Processo de Criação dos Agrupamentos</i>	56
3.5	CONCLUSÕES	66

CAPÍTULO 4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	67
4.1	INTRODUÇÃO.....	67
4.2	FORMULAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	68
4.3	ASPECTOS GERAIS DO PROGRAMA DE CLUSTERIZAÇÃO.....	70
4.4	FORMAÇÃO DOS AGRUPAMENTOS DE CONSUMIDORES – A4 ACIMA DE 500 kW	71
4.4.1	<i>Procedimentos Computacionais para a Clusterização – A4 acima de 500 kW.....</i>	<i>71</i>
4.4.2	<i>Agrupamento de Consumidores Encontrados – A4 acima de 500 kW.....</i>	<i>74</i>
4.4.3	<i>Estratificação das Tipologias Encontradas – A4 acima de 500 kW.....</i>	<i>76</i>
4.5	FORMAÇÃO DOS AGRUPAMENTOS DE CONSUMIDORES – A4 DE 10 A 50 kW	80
4.5.1	<i>Procedimentos Computacionais para a Clusterização – A4 de 10 a 50 kW.....</i>	<i>80</i>
4.5.2	<i>Agrupamento de Consumidores Encontrados e Estratificação das Tipologias.....</i>	<i>81</i>
4.6	CONCLUSÕES.....	90
CAPÍTULO 5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	91
5.1	CONCLUSÕES DA PESQUISA.....	91
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Brasil: Curvas de Carga do Sistema – 1983.....	39
Figura 3.2 – Composição da Curva de Carga do Sistema Nacional – 1983.....	39
Figura 3.3 – Curva de Carga Agregada da Alta Tensão – 1983.....	40
Figura 3.4 – Curva de Carga por Nível de Tensão (AT) – 1983.....	41
Figura 3.5 – Tipologia da Alta Tensão – 1983.....	42
Figura 3.6 – Curvas de Carga Agregadas por Atividade Econômica – 1983.....	44
Figura 3.7 – Comparação das Curvas de Carga Diárias do SIN de 1983 e 2003.....	45
Figura 3.8 – Curvas de Carga Típicas do Sistema Elétrico Francês – 2002.....	46
Figura 3.9 – Participação de Cada Setor de Atividade no Consumo de Eletricidade no País (%)	47
Figura 3.10 – Evolução da Carga Própria em MW _{méd} de 1994 a 2001.....	48
Figura 3.11 – Exemplo Ilustrativo de Curvas de Carga Diárias	51
Figura 3.12 – Exemplos de Curvas de Carga Normalizadas.....	52
Figura 3.13 – Representação Espacial da Matriz de Similaridade	55
Figura 3.14 – Representação dos Parâmetros do Método de Validação Gradativa da MS.....	59
Figura 3.15 (a) – Fluxograma Principal da Validação Gradativa dos Elementos da MS	61
Figura 3.15 (b) – Fluxograma da Subrotina de Seleção dos Melhores Alvos.....	62
Figura 3.15 (c) – Fluxograma da Subrotina de Apuração dos Agrupamentos Genuínos.....	62
Figura 3.16 – Árvore de Similaridade	63
Figura 3.17 – Fluxograma da Clusterização Hierárquica da Árvore de Agrupamentos	65
Figura 4.1 – Projeção da MS dos 90 PCI's com Demanda Média Acima de 500 kW	72
Figura 4.2 (a) – PCI's e Tipologia do Agrupamento 1.....	75
Figura 4.2 (b) – PCI's e Tipologia do Agrupamento 2.....	75
Figura 4.2 (c) – PCI's e Tipologia do Agrupamento 3.....	75
Figura 4.2 (d) – PCI's e Tipologia do Agrupamento 4.....	75
Figura 4.2 (e) – PCI's e Tipologia do Agrupamento 5.....	76
Figura 4.2 (f) – PCI's dos Consumidores Isolados.....	76
Figura 4.3 – Evolução do Método Não Hierárquico com 352 PCI's.....	80
Figura 4.4 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 1.....	82
Figura 4.5 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 2.....	83
Figura 4.6 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 3.....	84
Figura 4.7 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 4.....	86
Figura 4.8 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 5.....	87
Figura 4.9 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 6.....	88
Figura 4.10 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 7.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tarifas de Energia Elétrica Monômias (R\$/kWh) – CELESC.....	13
Tabela 2.2 – Tarifas de Energia Elétrica Binômias (R\$/kWh) – CELESC.....	14
Tabela 3.1 – Consumo e Número de Consumidores por Nível de Tensão – 1983.....	38
Tabela 3.2 – Consumo e Número de Consumidores por Classe – 1983.....	38
Tabela 3.3 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação do Tipo Plano.....	42
Tabela 3.4 – Atividades Econ. que Contribuíram para a Formação do Tipo Modulado.....	43
Tabela 3.5 – Atividades Econ. que Contribuíram para a Formação do Tipo Duas Pontas.....	43
Tabela 3.6 – Atividades que Contribuíram para a Formação do Tipo Super Modulado.....	43
Tabela 3.7 – Exemplo de Banco de Dados.....	50
Tabela 3.8 – Testes de Sensibilidade do Desvio Padrão de Similaridade.....	54
Tabela 4.1 – Divisão do Consumo, da Demanda e do Fator de Carga por Faixas do Subgrupo A4 (CELESC)..	69
Tabela 4.2 – Participação das Classes de Consumo na Faixa de Demanda Acima de 500 kW.....	77
Tabela 4.3 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 1.....	77
Tabela 4.4 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 2.....	78
Tabela 4.5 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 3.....	78
Tabela 4.6 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 4.....	79
Tabela 4.6 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 5.....	79
Tabela 4.7 – Participação das Classes de Consumo na Faixa de Demanda de 10 a 50 kW.....	82
Tabela 4.8 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 1.....	83
Tabela 4.9 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 2.....	84
Tabela 4.10 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 3.....	85
Tabela 4.11 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 4.....	86
Tabela 4.12 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 5.....	87
Tabela 4.13 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 6.....	88
Tabela 4.14 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 7.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS

A4	Subgrupo com tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV
AG	Matriz de Agrupamentos de Consumidores
AGG	Matriz de Agrupamentos Genuínos
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.
CMCP	Custo Marginal de Curto Prazo
CMLP	Custo Marginal de Longo Prazo
CNM-BT	Campanha Nacional de Medições na Baixa Tensão
CNM-MT	Campanha Nacional de Medições na Média Tensão
CODI	Comitê de Distribuição de Energia Elétrica
DESCR2	Programa de Clusterização Hierárquico da EDF
DNAEE	Departamento Nacional de Águas de Energia Elétrica
EDF	Electricité de France
MME	Ministério de Minas e Energia
MS	Matriz de Similaridade
NUDYC	Programa de Clusterização Não Hierárquico da EDF
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCI	Perfil de Carga Individual
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SIN	Sistema Interligado Nacional

CAPÍTULO 1

APRESENTAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de uma sociedade moderna não pactua com o desperdício dos recursos naturais à ela disponíveis. A energia elétrica, assim como outros recursos naturais, tem sido utilizada de maneira cada vez mais eficiente ao longo dos anos. Diversas áreas do conhecimento, como Economia, Física, Matemática, Ciências Sociais, Engenharia, entre outras, possibilitaram à sociedade melhorar de forma considerável as formas de consumir.

Busca-se, neste trabalho, apresentar a questão das estruturas tarifárias como ferramentas promotoras do uso racional da energia elétrica. Uma justa relação entre a tarifa para a prestação de um serviço e os custos por ele incorridos, pode promover a customização dos consumidores e a melhor sinalização dos seus atos de consumir. “Uma justa política tarifária deve proporcionar uma tarifa que possa, ao mesmo tempo, induzir o consumidor ao uso racional e econômico da energia elétrica e promover a eficiência da

empresa prestadora do serviço, com o máximo de qualidade e produtividade” (BITU e BORN, 1993).

As políticas tarifárias para a prestação dos serviços de energia elétrica no Brasil, vêm se aprimorando desde o início do século XX. Uma tarifa que seja justa tanto para os concessionários quanto para os consumidores, tem sido um tema constante de discussões no setor elétrico.

Os recursos econômicos do país devem ser alocados de forma eficiente. Isto implica que os preços devem ser usados para sinalizar aos consumidores os custos econômicos verdadeiros para o suprimento de suas necessidades específicas. No caso específico do setor elétrico, deve-se ainda observar a justa alocação dos custos entre os consumidores de acordo com a carga por eles imposta ao sistema. Adicionalmente outros fatores devem ser levados em conta, como a garantia de uma razoável estabilidade dos preços, com baixa flutuação de revisão para revisão, a provisão de um nível mínimo de serviço para aqueles que não estão aptos a arcar com os verdadeiros custos, a questão da tarifa social, (MUNASINGHE, 1981).

O presente enquadramento dos consumidores de energia elétrica é feito sob uma ótica eminentemente técnica, separando-os tanto por nível de tensão como por classe de consumo. A formação de grupos tarifários com base no perfil de carga individual, possibilita agregar dentro de uma mesma categoria os consumidores que impõem custos similares aos sistema, em função da semelhança dos comportamento da carga. Assim, os subgrupos tarifários, diretamente relacionados às formas fortes¹ identificadas, tornam o sistema tarifário mais racional à medida que ocorre a customização do consumidor.

Enfim, a formação de agrupamentos de consumidores com base no perfil de carga individual, além de aumentar a oferta de serviços diferenciados com o atendimento personalizado ao consumidor, pode ainda, ser o alicerce de uma nova tarifa de energia elétrica customizada e capaz de promover a melhoria da racionalidade do uso dos recursos energéticos do país.

¹ São os grupos de consumidores que guardam a maior semelhança entre si, caracterizando, portanto, uma forma dentro de uma população.

1.2 MOTIVAÇÕES

A última grande reformulação das políticas tarifárias para a energia elétrica no Brasil ocorreu através da implementação da tarifa horo-sazonal, há praticamente duas décadas, (ANDRADE e CAMARGO, 2003). Nesse tempo, importantes variáveis relacionadas ao mercado de energia elétrica sofreram considerável alteração:

- i) O aumento da participação dos segmentos residencial e comercial no consumo de eletricidade do país;
- ii) O aparecimento da elasticidade da demanda dos consumidores quando do racionamento de 2001, mostrando um consumidor mais informado sobre os efeitos do seu ato de consumir;
- iii) A diminuição proporcional da carga no horário de ponta do sistema.

De 1983 à 2003 a política tarifária para a racionalidade do consumo provocou uma melhora no fator de carga diário e uma maior utilização do sistema em dias não úteis. O horário de ponta do sistema, bastante considerado pela atual estrutura tarifária, é um problema cuja importância vem diminuindo e tende a se reduzir ainda mais.

Diante dessas premissas, a estrutura tarifária proposta, independente do horário de ponta do sistema, pode permitir o aproveitamento racional da energia elétrica com mais postos tarifários.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho, inicialmente, é apresentar a evolução histórica das questões metodológicas e regulatórias relacionadas à melhoria da racionalidade do uso da energia elétrica, desde a década de 30 até os dias de hoje.

A metodologia, a que se propõe o presente trabalho, visa aprimorar a atual formação dos grupos tarifários que estabelecem os alicerces de toda a estrutura tarifária, influenciando desde o cálculo dos custos marginais até às tarifas de aplicação.

Finalmente, o principal objetivo desta dissertação é apresentar a formação de agrupamentos de consumidores com base nos perfis de carga individuais como uma alternativa viável para a reformulação das atuais estruturas tarifárias. Os exemplos de

aplicação apresentam resultados que podem estimular novos estudos a partir dos agrupamentos de consumidores encontrados.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está organizado em cinco capítulos, sintetizados a seguir.

O presente capítulo apresenta em sua introdução as evidências que fazem necessária uma reestruturação das políticas tarifárias para a energia elétrica no Brasil. Apresenta-se uma proposta de agrupamento de consumidores com base no perfis de carga individuais como base de uma nova estrutura tarifária, capaz de aprimorar a racionalidade do uso da energia elétrica.

O Capítulo 2 é reservado para que as questões metodológicas e regulatórias, relacionadas ao uso racional da energia elétrica, possam ser revisadas de forma cronológica. Este espaço possibilita a contextualização dos problemas e soluções encontrados, tanto pela Legislação quanto pela Ciência, para as políticas tarifárias no Brasil.

O Capítulo 3 é dedicado à Metodologia para a formação dos agrupamentos tarifários com base nos perfis de carga individuais. Primeiramente, apresenta-se os estudos de caracterização da carga do sistema elétrico brasileiro, realizados na década de 80 para a implantação da Tarifa Horo-Sazonal. Em seguida, desenvolve-se todo o tratamento matemático, assim como a heurística para a obtenção de agrupamentos de consumidores em função do comportamento de suas cargas.

No Capítulo 4 são apresentados dois estudos de caso, a partir de 943 curvas de carga dos consumidores do Subgrupo A4 da CELESC. Pode-se verificar as tipologias presentes nas faixas de maior consumo e na faixa com maior número de consumidores. Para cada tipologia encontrada, são apresentadas as atividades econômicas que mais contribuíram para a sua formação.

O Capítulo 5 reserva-se às conclusões sobre o trabalho desenvolvido e às recomendações para trabalhos futuros. Evidenciam-se as constatações sobre a necessidade de modernização das políticas tarifárias para energia elétrica no país e a formação de agrupamentos, aqui proposta, como um dos caminhos possíveis da mesma.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

As políticas tarifárias para a prestação dos serviços de energia elétrica no Brasil, vêm se aprimorando desde o início do século XX. Uma tarifa adequada aos consumidores e que atenda as necessidades dos concessionários, tem sido bastante discutida nos mais diversos fóruns da sociedade brasileira.

Teoricamente, uma política tarifária adequada deve proporcionar uma tarifa capaz de induzir o consumidor ao uso racional e econômico da energia elétrica e promover a eficiência da empresa prestadora do serviço, com o máximo de qualidade e produtividade (BITU e BORN, 1993).

O objetivo deste capítulo é apresentar a evolução histórica das questões metodológicas e regulatórias relacionadas à melhoria da racionalidade do uso da energia elétrica, e uma síntese de alguns trabalhos científicos relacionados às técnicas de *cluster analysis*. A seção 2.2 apresenta um breve resumo das metodologias para tarifação, que normalmente, antecipam em 20 a 30 anos a regulamentação de suas aplicações. A seção 2.3 apresenta os principais marcos regulatórios das políticas tarifárias no Brasil que modificaram a racionalidade do uso da energia elétrica. Outros trabalhos que fazem uso de processos para agregação de curvas de carga são sinteticamente ilustrados na seção 2.4. Finalmente, a seção 2.5 dedica-se às conclusões do capítulo.

2.2 REVISÃO DAS METODOLOGIAS PARA A TARIFICAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA

A sociedade moderna não admite mais o desperdício dos recursos naturais à ela disponíveis para o desenvolvimento. A utilização da energia elétrica foi gerenciada ao longo dos anos de forma a se tornar cada vez mais racional. Estudos de diversas áreas, como Economia, Física, Matemática, Ciências Sociais, Engenharia, entre outras, possibilitaram à sociedade melhorar de forma considerável a relação entre a tarifa para a prestação de um serviço e os custos por ele incorridos.

Esse item da revisão bibliográfica, tem por objetivo apresentar de forma resumida a evolução dos marcos metodológicos que modificaram o uso da energia elétrica pela sociedade. Dedicar-se especial atenção ao uso destas tecnologias no Sistema Elétrico Brasileiro.

2.2.1 Do Surgimento da Indústria de Energia Elétrica ao Início do Século XX – Ausência de uma Metodologia Tarifária

Nos primórdios da indústria de energia elétrica no Brasil, final do século XIX, a tarifa já se tornava objeto de grandes discussões, (BRANCO *et al.*, 2002). Permitiu-se a exploração dos serviços públicos de eletricidade por companhias, na maioria privadas, sob uma branda regulação. Nesse período, aquele que tinha a permissão ou concessão para atuar na geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, o fazia sob sua própria conta e risco. A tarifa era determinada da forma que lhe conviesse, com o objetivo, quase sempre, de acumulação de capital baseado em lucros abusivos.

Assim, devido à necessidade de garantir a sustentabilidade dos empreendimentos realizados pelos investidores e a aplicação de uma tarifa justa, evitando os lucros exagerados e assegurando uma correta remuneração do capital, tornava-se cada vez maior a necessidade de uma metodologia tarifária para a indústria de energia elétrica.

BRANCO *et al.* (2002) apresentaram o cenário em que surgiram os primeiros estudos visando uma regulação dos serviços públicos no Brasil: “No início do século XX, a intensificação de alguns e o surgimento de outros serviços de interesse público, como a

telefonía, a produção e a distribuição de energia elétrica, a distribuição dos gás canalizado, os transportes por bondes, deram origem a um esforço regulamentador, ...”.

Os estudos publicados pelo jurista Alfredo Valladão, de 1904 até o Código de Águas em 1934, consideravam que as tarifas para a prestação dos serviços públicos concedidos deveriam ser necessárias e suficientes para cobrir os custos mais uma justa remuneração de capital – a chamada tarifa pelo custo do serviço. Nesse período a estrutura tarifária era bastante incipiente, possibilitando apenas diferenciações de preço em função dos blocos de energia elétrica consumida.

2.2.2 Evolução da Metodologia para o Cálculo das Tarifas

2.2.2.1 Tarifa pelo Custo do Serviço

Essa tarifa é definida por BITU e BORN (1993) com base no custo do serviço prestado, o qual é definido por lei e composto basicamente pelas seguintes parcelas:

- a) Os custos de exploração, os quais se compõem basicamente dos custos de operação e manutenção dos bens e instalações em serviço;
- b) Os custos de conservação dos ativos, relativos à depreciação dos bens e instalações em serviço; e
- c) A rentabilidade do capital, que corresponde a um percentual sobre o custo de investimento nos bens e instalações em serviço. Esse percentual é estabelecido por regulamentos legais.

Até o início dos anos 80, em todas as situações em que o Estado regulamentava preços e lucros de empresas de serviços públicos, utilizava-se o sistema de tarifa pelo custo do serviço, que era aplicado tanto em empresas privadas regulamentadas quanto em empresas estatais.

O principal componente da tarifa pelo custo do serviço é o custo de capital – função direta do capital imobilizado e da taxa de rentabilidade. Na prática, existem quatro alternativas para avaliar os bens e instalações em serviço ou o capital imobilizado:

- i) Custo Histórico: definido através do valor efetivamente pago pela concessionária por suas instalações e equipamentos, deduzido da

depreciação acumulada. Este é, sem dúvida, o método mais amplamente utilizado pois define um valor preciso e é de fácil aplicação;

- ii) Custo de Substituição: é o custo atual de aquisição de novas instalações e equipamentos, que possibilitem serviço idêntico ao proporcionado pelas instalações e equipamentos que a empresa possui. Esta é a forma utilizada em mercados competitivos para valorizar o capital imobilizado;
- iii) Custo de Reprodução: representa quanto custaria construir hoje as mesmas instalações e equipamentos. Difere do custo de substituição por se referir à mesma instalação, sem importar se ela está ou não obsoleta. O custo de reprodução corresponde ao custo histórico corrigido da inflação, através de índices de preços específicos, sendo, às vezes, deduzida alguma porcentagem a título de obsolescência;
- iv) Justo Valor, (BREYER, 1982): É o nome dado ao capital imobilizado estimado de um modo subjetivo pelo organismo responsável pela regulamentação. Na maioria das vezes é uma média ponderada entre os custos históricos e de reprodução.

A taxa de retorno e o capital imobilizado estão relacionados, uma vez que sua multiplicação resulta na remuneração do capital pertencente aos investidores. Segundo BITU e BORN (1993), três aspectos devem ser considerados na determinação da adequada taxa de retorno:

- i) a justiça para acionistas, investidores ou contribuintes;
- ii) a captação da quantidade de investimentos (ou empréstimos) necessária para o desenvolvimento do sistema; e
- iii) a simplicidade administrativa.

Sob o ponto de vista econômico, a taxa de retorno deveria ser fixada em função do custo de oportunidade do capital² e deveria ser equivalente à obtida, no equilíbrio de longo prazo, por empresas em mercados perfeitamente competitivos.

² Quanto custaria para conseguir o capital da concessionária nos mercados financeiros hoje ou o que a sociedade perde em outras oportunidades de investimentos, ao alocar capital na concessionária.

O método mais amplamente utilizado é a comparação com outras indústrias ou negócios similares, o que freqüentemente conduz a um processo circular. Nos anos que antecederam o neoliberalismo na América Latina, a aplicação de tarifas para energia elétrica pelo custo do serviço sem um respeito efetivo às taxas legais de retorno sobre o investimento e sem uma adequada atualização monetária do capital imobilizado, foram importantes fatores que provocaram sérias crises financeiras na maioria destes países.

2.2.2.2 Tarifa pelo Passivo

A tarifa pelo passivo é construída com base no balanço de resultados da empresa concessionária. Para isso considera-se os custos compostos pelas seguintes parcelas do passivo:

- a) Os custos de exploração, compreendendo os custos de operação e manutenção dos bens e instalações em serviço;
- b) Os custos financeiros relativos aos juros pagos e às parcelas de amortização dos empréstimos usados na formação dos bens e instalações em serviço;
- c) Os custos administrativos comprometidos na supervisão e gerenciamento dos serviços de eletricidade;
- d) Pagamento dos dividendos e royalties quando existirem.

Essa tarifa, portanto, é definida em conformidade com o valor médio obtido para os itens de custo apresentados e o mercado previsto. A empresa Itaipu Binacional, que fornece energia elétrica para o Brasil e Paraguai, faz uso deste tipo de tarifa.

2.2.2.3 Tarifa pelo Serviço

Essa é o tipo de tarifa estabelecida em função do preço apresentado na proposta vencedora de uma licitação para outorga da concessão do serviço, preservadas regras estabelecidas no edital de licitação ou no contrato de concessão.

Supõe-se mantido o equilíbrio econômico-financeiro da concessão, sempre que forem atendidas as condições do contrato. Portanto esta tarifa não está subordinada a taxas de rentabilidade ou qualquer outro critério dessa natureza. Assim o nível das tarifas

fica estabelecido no momento da assinatura do contrato de concessão e reajustado conforme as cláusulas pertinentes.

2.2.2.4 Tarifação ao Custo Marginal

O custo marginal é, do ponto de vista matemático, uma derivada do custo total em relação à quantidade consumida. A interpretação econômica desta derivada é o custo de produzir uma unidade adicional do bem, ou serviço, sob consideração.

Esse conceito pode ser entendido como o surgimento de uma carga adicional no contexto do sistema elétrico em plena utilização. Neste caso, segundo BRASIL (1985), três possibilidades se apresentam em relação ao atendimento desta carga adicional:

- i) expandir o sistema para atender;
- ii) atender com sobrecarga das instalações existentes (diminuição da qualidade do serviço prestado); e
- iii) não atender (déficit).

Quando ocorre o atendimento da carga adicional, por meio de expansão do sistema, o custo resultante é dito custo marginal de longo prazo (CMLP), composto dos custos de investimento, e os custos marginais de operação, manutenção, perdas, combustível e do déficit. A tarifa ao custo marginal de curto prazo é geralmente fixada para períodos anuais e reajustada quando ocorrem variações significativas desse custo. O Chile aplicou essa modalidade de tarifa em 1972 (BITU e BORN, 1993).

Se a alternativa for o atendimento da carga adicional sem a expansão do sistema, o custo incorrido é o chamado custo marginal de curto prazo (CMCP), que engloba todas as parcelas do CMLP exceto os custos de investimento. As tarifas ao custo marginal de longo prazo são geralmente calculadas a partir de custos incrementais associados a planos de expansão específicos. Considerando a expansão ótima dos sistemas, alguns países, como a França, têm usado essa modalidade de tarifa com resultados bastante positivos.

O Novo Sistema Tarifário Nacional, implantado no Brasil, desde o início dos anos 80, é baseado no custo marginal de longo prazo.

2.2.2.5 Tarifa Integrada com Base nos Custos Marginais

A tarifa integrada é estabelecida a partir da tarifa de referência ou tarifa ao custo marginal, considerando o equilíbrio financeiro da empresa concessionária e também aspectos de ordem política, social, operacional, etc.

MUNASINGHE (1981) definiu os princípios básicos para uma tarifa integrada:

- i) Os recursos econômicos nacionais devem ser alocados de forma eficiente, não somente entre diferentes setores da economia, mas dentro do próprio setor elétrico. Isto implica que os preços consonantes com os custos devem ser usados para indicar aos consumidores os custos econômicos verdadeiros para o suprimento de suas necessidades específicas;
- ii) Deve ser observada: a justa alocação dos custos entre os consumidores de acordo com a carga por eles imposta; a garantia de uma razoável estabilidade dos preços com baixa flutuação de revisão para revisão; a provisão de um nível mínimo de serviço para aqueles que não estão aptos a acarretar com os verdadeiros custos – tarifa social;
- iii) As tarifas de energia elétrica devem ser suficientes para remunerar de forma justa o capital necessário para sua disponibilidade, incluindo a geração, transmissão e distribuição;
- iv) A estrutura tarifária deve ser simples o suficiente para facilitar a medição e o faturamento dos consumidores;
- v) E finalmente, a tarifa deve atender aos requisitos políticos e econômicos.

Dessa forma, a tarifa integrada contempla adequadamente a teoria econômica, pois considera os objetivos de eficiência econômica (primeiro ótimo), além de tratar de forma racional os aspectos políticos, como a forma de equalização das tarifas; econômicos relacionados ao segundo ótimo, como as tarifas para consumidores industriais considerando os subsídios em energéticos alternativos; sociais, nas tarifas para consumidores de baixa renda; e operacionais, simplificando as tarifas devido as restrições de medição e faturamento.

Em virtude dessas características, essa modalidade tarifária, vem sendo escolhida pelos setores elétricos de um número crescente de países, pois é a que mais se ajusta aos requisitos por eles exigidos, que devem buscar uma tarifa adequada às suas características e às necessidades da sociedade, considerando o uso racional e a conservação da energia conduzindo os agentes envolvidos na direção da qualidade e da produtividade.

2.2.3 Tipos de Estrutura Tarifária

A estrutura tarifária define a forma com que os preços definidos pelo nível tarifário serão apresentados aos consumidores. A estrutura compreende a diferenciação das tarifas, segundo os componentes de consumo e demanda, nível de tensão de fornecimento, classe de consumo, estação do ano, período do dia, localização do consumidor, etc.

Portanto, a tarifa deve satisfazer às necessidades financeiras das concessionárias – nível tarifário, e ao mesmo tempo, alocar eficientemente os recursos com estabilidade de preços e simplicidade; promovendo a igualdade e justiça social através do incentivo ao uso racional da energia.

2.2.3.1 Tarifa Monômia

A tarifa monômia é a mais simples das estruturas tarifárias. Como o próprio nome já diz, o preço fica em função de apenas uma medida física, geralmente a energia elétrica consumida. O preço da energia para os consumidores sujeitos a esta estrutura, está diretamente relacionado à quantidade de energia consumida em um determinado período; ou seja, se o consumo estiver concentrado em apenas uma pequena parte do tempo ou distribuído uniformemente no período, o valor recebido pela concessionária é o mesmo apesar dos diferentes custos incorridos para o atendimento. Pode-se observar a ausência de um sinal econômico capaz de induzir o consumidor ao uso racional da energia elétrica.

Normalmente, a estrutura monômia apresenta-se juntamente com uma tarifa diferenciada por blocos de consumo. A tarifa pode ser em blocos crescentes quando os primeiros lotes de energia tem preços menores que os lotes posteriores. Já ao contrário, a

tarifa por blocos decrescentes pode estimular o desperdício sinalizando ao consumidor que a energia é mais barata quanto maior for seu consumo.

Apesar da sua simplicidade, a tarifa monômnia em blocos crescentes ainda é utilizada no Brasil para os consumidores da baixa tensão: residenciais, comerciais, industriais, rurais etc. Na Tabela 2.1 tem-se as tarifas praticadas pela Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. referente aos consumidores de baixa tensão em abril de 2003.

Tabela 2.1 – Tarifas de Energia Elétrica Monômnia (R\$/kWh) – CELESC.

GRUPO	CLASSIFICAÇÃO		TARIFAS EM R\$ COM ICMS	
			DEMANDA	CONSUMO
B1	<i>Residencial Baixa Renda *</i>	Até 30 kWh	-	0,09093
		De 31 a 100 kWh	-	0,15583
		De 101 a 150 kWh	-	0,23378
		De 151 a 180 kWh	-	0,27431
	<i>Residencial Normal Até 150 kWh</i>		-	0,25976
	<i>Residencial Normal Acima de 150 kWh</i>		-	0,30479
B2	<i>Rural Não Cooperativa Até 500 kWh</i>		-	0,15434
	<i>Rural Não Cooperativa Acima de 500 kWh</i>		-	0,18109
	<i>Rural Irrigação Até 500 kWh</i>		-	0,00000
	<i>Rural Irrigação Acima de 500 kWh</i>		-	0,00000
B3	<i>Comercial, Serviços e Outras Atividades</i>		-	0,28893
	<i>Industrial</i>		-	0,28893
	<i>Poder Público</i>		-	0,28893
	<i>Água, Esgoto e Saneamento (Redução 15%)</i>		-	0,24559
B4	<i>Iluminação Pública</i>		-	0,14885

Fonte: Internet, <http://www.celesc.com.br/atendimento/precos.php>

É importante ressaltar que, atualmente, a tarifa de fornecimento aos consumidores do grupo B é calculada considerando a energia e a potência desses carregamentos, apenas a sua aplicação que é feita de forma monômnia (SANTOS et. al., 2001). Existem limitações de ordem física e operacional que ainda impedem a superação desse tipo de estrutura.

2.2.3.2 Tarifas Binômias

As tarifas binômias ou de Hopkinson são aquelas que apresentam um componente de energia e outro de potência. A forma mais utilizada é aquela que considera o faturamento do consumo de energia separado da demanda de potência máxima dentro do

período. A simples aplicação da tarifa binômia, ainda não sinaliza adequadamente o uso racional da energia elétrica, pois, se a máxima demanda de potência do consumidor é observada no período de ponta do sistema ou fora dele, a tarifa cobrada é a mesma embora os custos sejam bem diferentes. Pode-se observar na Tabela 2.2, as tarifas binômias convencionais oferecidas aos consumidores da CELESC com tensão inferior a 69kV e com demanda menor do que 500 kW.

Tabela 2.2 – Tarifas de Energia Elétrica Binômias (R\$/kWh) – CELESC.

GRUPO	CLASSIFICAÇÃO	TARIFAS EM R\$ COM ICMS	
		DEMANDA	CONSUMO
A3a	<i>Todas as Classes</i>	10,48	0,15355
	<i>Água, Esgoto e Saneamento (Redução 15%)</i>	8,91	0,13051
	<i>Rural Não Cooperativa Até 500 kWh (Redução 10%)</i>	9,43	0,11778
	<i>Rural Não Cooperativa Acima de 500 kWh (Red 10%)</i>	9,43	0,13819
	<i>Coop Eletrificação Rural Até 500 kWh (Red 50%)</i>	5,24	0,06543
	<i>Coop Eletrificação Rural Acima de 500 kWh (Red 50%)</i>	5,24	0,07677
A4	<i>Todas as Classes</i>	10,89	0,15920
	<i>Água, Esgoto e Saneamento (Redução 15%)</i>	9,26	0,13532
	<i>Rural Não Cooperativa Até 500 kWh (Redução 10%)</i>	9,80	0,12211
	<i>Rural Não Coop Acima de 500 kWh (Redução 10%)</i>	9,80	0,14328
	<i>Coop Eletrificação Rural Até 500 kWh (Red 50%)</i>	5,45	0,06784
	<i>Coop Eletrificação Rural Acima de 500 kWh (Red 50%)</i>	5,45	0,07960
AS	<i>Subterrâneo</i>	16,04	0,16860

Fonte: Internet, <http://www.celesc.com.br/atendimento/precos.php>

Com a desverticalização da indústria de energia elétrica promovida no país, a partir de 1995, a tarifa passou a se referir a cada parcela da cadeia separadamente (SANTOS et. al., 2001):

- a) Tarifa pelo uso dos sistemas de distribuição;
- b) Tarifa pelo uso dos sistemas de transmissão;
- c) Preço cobrado pela empresa comercializadora de energia;
- d) Preço da energia.

Sendo assim, a tarifa de fornecimento de referência binômia pode ser descrita, em relação a suas componentes, da seguinte forma:

- Tarifa de Referência da Demanda = custo de potência + tarifa de uso da transmissão + impostos e encargos;
- Tarifa de Referência de Energia = variação do custo de capacidade em relação às horas de utilização + preço da energia + tarifa de comercialização + impostos e encargos.

2.2.3.3 Tarifa Horo-Sazonal

Observa-se, na curva de cargas do sistema elétrico brasileiro, uma intensificação do uso da eletricidade entre às 17 e as 22 horas nos dias úteis – o chamado “horário de ponta”. Esse fenômeno é resultado das influências individuais das várias classes de consumo que normalmente compõem o mercado (CODI, 1994).

Devido ao maior carregamento das redes de transmissão e distribuição no horário de ponta, verifica-se que um novo consumidor a ser atendido pelo sistema custará mais a concessionária nesse horário do que em qualquer outro horário do dia. Portanto, o atendimento ao último kWh na ponta induz à expansão do sistema, considerando que este esteja no limite da sua capacidade.

O comportamento do mercado brasileiro de eletricidade ao longo do ano tem características peculiares que podem ser observadas na Figura 2.1:

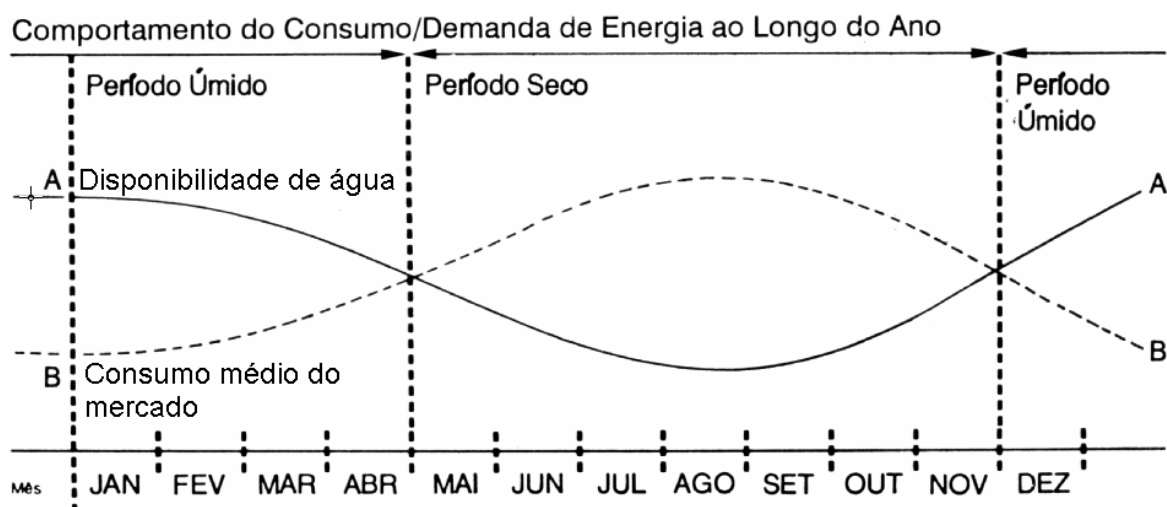


Figura 2.1 – Sazonalidade Anual da Relação Energia Consumida e Armazenada.

Fonte: CODI, 1994.

Verifica-se que o consumo médio se intensifica justamente na época do ano em que os reservatórios estão com os níveis próximos do mínimo. Esse fato permite identificar, em função da disponibilidade hídrica, uma época do ano determinada “período seco”, compreendido entre maio e novembro, e outra denominada “período úmido”, de dezembro de um ano até abril do ano seguinte.

Assim, o fornecimento de energia elétrica no período seco tende a ser mais oneroso, pois leva a necessidade de se construir grandes reservatórios e, eventualmente, operar usinas térmicas cujas matérias-primas normalmente são mais caras.

No Brasil, à partir da década de 80, foi concebida a estrutura horo-sazonal com preços diferenciados de acordo com o horário do dia (ponta e fora de ponta) e os períodos do ano (seco e úmido). A Tabela 2.3 apresenta as tarifas praticadas pela CELESC junto aos consumidores do grupo A (a demanda é medida em kW e a energia em kWh).

Tabela 2.3 – Tarifas Horo-Sazonais de Energia Elétrica – CELESC

HORO SAZONAIS - AZUL						
SEGMENTOS HORO SAZONAIS			PONTA		FORA DE PONTA	
SUBGRUPOS		COMPONENTES	SECA	ÚMIDA	SECA	ÚMIDA
A2	Todas as Classes	Demanda	17,65		4,04	
		Consumo	0,09920	0,09256	0,07109	0,06520
A3	Todas as Classes	Demanda	23,71		6,45	
		Consumo	0,11241	0,09965	0,07745	0,06684
A3a	Todas as Classes	Demanda	27,72		9,24	
		Consumo	0,18176	0,16824	0,08645	0,07637
A4	Todas as Classes	Demanda	28,72		9,56	
		Consumo	0,18845	0,17440	0,08963	0,07919
AS	Todas as Classes	Demanda	30,05		14,72	
		Consumo	0,19724	0,18253	0,09380	0,08288
HORO SAZONAIS - VERDE						
SEGMENTOS HORO SAZONAIS			PONTA		FORA DE PONTA	
SUBGRUPOS		COMPONENTES	SECA	ÚMIDA	SECA	ÚMIDA
A3a	Todas as Classes	Demanda	-		9,24	
		Consumo	0,82257	0,80908	0,08645	0,07637
A4	Todas as Classes	Demanda	-		9,56	
		Consumo	0,85279	0,83881	0,08963	0,07919
AS	Todas as Classes	Demanda	-		14,72	
		Consumo	0,89244	0,87781	0,09380	0,08288

Fonte: Internet, <http://www.celesc.com.br/atendimento/precos.php>

Existe ainda a aplicação de tarifas de ultrapassagem de demanda aos clientes sujeitos à tarifação horo-sazonal. Essa tarifa incide sobre a parcela de demanda medida que superar o valor da demanda contratada, respeitados os respectivos limites de tolerância.

Os objetivos da utilização de tarifas horo-sazonais no sistema elétrico brasileiro são basicamente:

- i) estimular o consumo de parte da carga para os horários em que o sistema elétrico estiver menos carregado;
- ii) orientar o consumo da energia para períodos do ano em que houver maior disponibilidade de água nos reservatórios das usinas.
- iii) condução do mercado à utilização mais racional da energia, consonante com o potencial de produção e distribuição existente no sistema elétrico interligado do país.

2.2.3.4 Tarifas Interruptíveis

Esse tipo de tarifa é uma forma extrema de tarifação diferenciada, em que o consumidor concorda em ser desconectado sempre que exista dificuldade de fornecimento de energia por parte de empresa concessionária. A sua aplicação pode ser feita de forma monômnia ou binômnia, e são necessariamente mais baixas em função do tipo de fornecimento que não sobrecarrega a capacidade do sistema.

2.2.3.5 Tarifas Instantâneas

Tarifas instantâneas ou tarifas *spot* são aquelas cujos valores variam em períodos curtos de tempo. Sua determinação é feita com base nos custos marginais de curto prazo, geralmente, resultantes da livre comercialização de energia entre empresas ou países.

O objetivo desse tipo de tarifa é estimular a utilização de sobras eventuais de energia em um mercado sob regime de concorrência. Geralmente, a compra dessa energia só é vantajosa se o preço de compra for inferior ao custo marginal de curto prazo da geração própria.

2.3 REVISÃO DA REGULAMENTAÇÃO TARIFÁRIA DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

A regulação das tarifas no Brasil está inserida ao longo da história nas leis de concessões de serviços públicos. As concessões foram feitas, no Brasil, desde o tempo do Império na forma de acordos pouco regulamentados através dos quais o mesmo autorizava esse ou aquele empreendedor a implantar um serviço de interesse público, por sua conta e risco, com tarifas que julgasse convenientes para o êxito de seu empreendimento (BRANCO *et al.*, 2002).

O marco inicial de um esforço regulamentador no Brasil pode ser atribuído ao trabalho do jurista Alfredo Valladão, publicado em 1904 sob o título *Dos rios públicos e particulares*. Apesar de sua obra estivesse voltada para a regulamentação do aproveitamento das águas, ela se desenvolveu continuamente até sua transformação no Código de Águas, que o presidente Getúlio Vargas decretou em 11 de julho de 1934, contemplando toda a regulamentação do uso das águas e da concessão da exploração da hidroeletricidade.

Um princípio fundamental consagrado nos anos 30 foi o da prestação de um serviço concedido em base do regime de “serviço pelo custo”. Significa que as tarifas desses serviços deveriam ser as necessárias e suficientes para cobrir os custos operacionais, administrativos e financeiros; os custos de depreciação e a justa remuneração de capital.

Os princípios firmados na década de 30 com a decretação do Código de Águas acabaram por permear toda a legislação de concessões de serviços públicos que vigeu até o advento da Lei Federal nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995. O critério da “justa remuneração do capital” foi princípio constitucional inscrito nas Cartas Magnas de 1934, de 1937, de 1946, e 1969, sendo omitido, entretanto, na Constituição de 1988, o que ensejou uma nova legislação de concessões em que a tarifa é fruto de uma “competição” em regime de mercado.

Atualmente, segundo a Lei nº 8.987, a tarifa do serviço público concedido é fixada pelo preço da proposta vencedora da licitação, onde o primeiro critério de julgamento é o menor valor da tarifa do serviço público a ser prestado.

As próximas seções deste capítulo, apresentam como foi tratada a questão das políticas tarifárias para o uso racional da energia elétrica, no contexto regulatório desde a década de 30 até os dias de hoje.

2.3.1 As Leis de Concessão de Serviços Públicos

2.3.1.1 O Código de Águas

O Código de Águas firmado pelo Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, pelo então presidente Getúlio Vargas, conseguiu, pela primeira vez na história legislativa, definir as regras básicas para a concessão dos serviços públicos relativos à hidroeletricidade.

Quanto aos princípios das concessões de serviços públicos, pode-se destacar no Código de Águas:

- a) O princípio da reversão, pois findos os contratos de concessão todos o patrimônio técnico implantado pelo concessionário deveria reverter sem pagamento ao poder público;
- b) O princípio mais determinante no aspecto das políticas tarifárias, definiu a tarifa baseada nos custos do serviço com uma justa remuneração de capital. Princípio mantido até a Constituição de 1988;
- c) A eliminação do pagamento da remuneração dos concessionários em ouro ou em moeda estrangeira;
- d) E finalmente, ficou determinada que a remuneração e a depreciação dos bens dos concessionários, seria feita com base no custo histórico, ou seja, no valor efetivamente pago, e não segundo o custo de reprodução.

A determinação do agente regulador da época foi dada pelo Art. 178: “No desempenho das atribuições que lhe são conferidas, a Divisão de Águas do Departamento Nacional de Produção Mineral fiscalizará a produção, a transmissão, a transformação e a distribuição de energia hidrelétrica, com o triplice objetivo de:

- a) assegurar serviço adequado;
- b) fixar tarifas razoáveis;

V. art. 180

c) garantir a estabilidade financeira das empresas.

V. art. 181

Parágrafo único. Para a realização de tais fins, exercerá a fiscalização da contabilidade das empresas.

V. art. 183”

Quanto a fixação das tarifas razoáveis, citada no Art. 178, o decreto apresenta em seu Art. 180 os alicerces de uma estrutura tarifária pouco racional utilizada no país por quase meio século.

“Art. 180. Quanto às tarifas razoáveis, alínea b, do art. 178 o Serviço de Águas fixará, trienalmente, as mesmas:

V. art. 183.

V. Decreto nº 62.724, de 17.05.68.

I - sob a forma do serviço pelo custo, levando-se em conta:

- todas as despesas de operações, impostos e taxas de qualquer natureza, lançadas sobre a empresa, excluídas as taxas de benefício;
- as reservas para a depreciação;
- a remuneração do capital da empresa;

II - tendo em consideração, no avaliar a propriedade, o custo histórico, isto é, o capital efetivamente gasto menos a depreciação;

III - conferindo justa remuneração a esse capital;

IV - vedando estabelecer distinção entre consumidores dentro da mesma classificação e nas mesmas condições de utilização do serviço;

V - tendo em conta as despesas de custeio fixadas anualmente de modo semelhante.” (BRASIL, 1934).

Apesar de representar um marco inicial para a regulação do setor elétrico no Brasil, o Código de Águas não dispunha de mecanismos capazes de promover o uso racional da energia elétrica. O maior mérito que pode ser dado ao decreto, foi a defesa do

interesse público na medida que limitava as vantagens dos grupos que detentores das concessões, e na definição, para a época, das tarifas baseadas no custo dos serviços.

2.3.1.2 A Nova Lei de Concessões – Estabelecimento da Concorrência

A Constituição de 1988, remeteu para a legislação ordinária toda a questão da política tarifária, através de seu Artigo 175.

“Art. 175. Incumbe ao Poder Público, na forma de lei, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, sempre através de licitação, a prestação de serviços públicos.

Parágrafo único. A lei disporá sobre:

- I – o regime das empresas concessionárias e permissionárias de serviços públicos, o caráter especial de seu contrato e sua prorrogação, bem como as condições de caducidade, fiscalização e rescisão da concessão ou permissão;
- II – os direitos dos usuários;
- III – política tarifária;
- IV – a obrigação de manter serviço adequado”.

Depois da Constituição de 1934, somente a de 1988 conseguiu ter o seu artigo referente a concessão de serviços públicos regulamentada. A Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995 e atualmente em vigor, dispõe sobre o Regime de Concessão e Permissão da Prestação de Serviços Públicos previsto no artigo 175 da Constituição Federal, e dá outras providências.

A Lei 8.987 representa um marco na legislação do Setor Elétrico Brasileiro, pois foram precisos 61 anos para que matéria de tamanha importância fosse regulamentada. Grandes mudanças foram colocadas pela nova lei visando a adequação aos investimentos da iniciativa privada e aos programas de privatização das empresas do setor elétrico.

Quanto a prestação de serviço adequado, o Artigo 6º apresenta: “Toda concessão ou permissão pressupõe a prestação de serviço adequado ao pleno atendimento dos usuários, conforme estabelecido nesta Lei, nas normas pertinentes e no respectivo contrato.

§ 1º Serviço adequado é o que satisfaz as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade tarifária”.

A principal mudança implementada à partir de 1995, trata da definição da tarifa, que deixa de obedecer o princípio da “tarifa pelo custo do serviço”, e torna-se resultado de um processo de concorrência licitatório. “Art. 9º A tarifa do serviço público concedido será fixada pelo preço da proposta vencedora da licitação e preservada pelas regras de revisão previstas nesta Lei, no edital e no contrato. § 2º Os contratos poderão prever mecanismos de revisão das tarifas, a fim de manter-se o equilíbrio econômico-financeiro”.

O objetivo de determinação da tarifa pela livre concorrência no mercado, acredita-se ser o melhor caminho para evitar abusos contra a ordem econômica nacional. Mas, deve-se ressaltar que os procedimentos não estão isentos de falhas, e que por isso necessitam, para o bem da sociedade, de profunda fiscalização.

O Artigo 14 trata da forma das concessões: “Toda concessão de serviço público, precedida ou não da execução de obra pública, será objeto de prévia licitação, nos termos da legislação própria e com observância dos princípios da legalidade, moralidade, publicidade, igualdade, do julgamento por critérios objetivos e da vinculação dos instrumento convocatório”.

Os critérios para definição da parte vencedora nos processos de licitação, tornou-se bastante abrangente, por meio da redação dada pelo art. 2º da Lei nº 9.648 de 27.05.1998, no Artigo 15 da nova lei de concessões. “Art. 15 No julgamento da licitação será considerado um dos seguintes critérios:

- I – o menor valor da tarifa do serviço público a ser prestado;
- II – a maior oferta, nos casos de pagamento ao poder concedente pela outorga da concessão;
- III – a combinação , dois a dois, dos critérios referidos nos incisos I, II e IV;
- IV – melhor proposta técnica, com preço fixado no edital;
- V – melhor proposta em razão da combinação dos critérios de menor valor da tarifa dos serviço público a ser prestado com o de melhor técnica;

VI – melhor proposta em razão da combinação dos critérios de maior oferta pela outorga da concessão com o de melhor técnica; ou

VII – melhor oferta de pagamento pela outorga após qualificação de propostas técnicas.

§ 4º Em igualdade de condições, será dada preferência à proposta apresentada por empresa brasileira”.

Destaca-se, também, a manutenção possibilidade da aplicação de tarifas diferenciadas para os diversos grupos de consumidores. “Art.13 As tarifas poderão ser diferenciadas em função das características técnicas e dos custos específicos provenientes do atendimento aos distintos segmentos de usuários”.

A Nova Lei de Concessões apesar de permitir o aparecimento de estruturas tarifárias mais racionais, não teve provada, ainda, as vantagens para a sociedade dos novos processos de licitação. Os critérios definidos no Art. 15 não garantem que a melhor proposta venha a ganhar a licitação.

2.3.2 A Regulamentação da Estrutura Tarifária

O Setor Elétrico Brasileiro, diante da crescente demanda de energia elétrica e da dificuldade de investimentos verificada nas últimas décadas, passou por importantes mudanças na sua estrutura tarifária. A cada nova estrutura, os consumidores tiveram seu ato de consumir melhor sinalizado, o equilíbrio econômico-financeiro das concessionárias ficava mais próximo, e a sociedade como um todo ganhava através adiamento de novos investimentos.

2.3.2.1 A Tarifa Monômnia até 1968

Desde o início da prestação de serviços de energia elétrica no Brasil até 1968, a regra básica da política tarifária era para a justa remuneração do capital investido pelo concessionário, previsto no Artigo 180 do Código de Águas. A racionalidade no uso dos recursos naturais ainda não era uma preocupação premente no Setor Elétrico Brasileiro. Os grandes projetos de geração de energia elétrica para aumentar sua oferta e impulsionar o desenvolvimento do país não permitiram espaços ao GLD - Gerenciamento pelo Lado

da Demanda. O GLD só apareceu com maior destaque, no Brasil, a partir dos anos 80 com a reestruturação das tarifas via teoria marginalista, e depois nos diversos programas de conservação da energia.

A estrutura tarifária esteve, até 1968, resumida a tarifas que refletiam somente os custos da energia consumida (kWh), não importando as demandas impostas pelos consumidores – a tarifa tipo monômnia; aplicadas em diferentes grupos de consumidores.

A tarifa monômnia aplicada por tantos anos, quase sempre de forma política, provocou a deterioração da saúde financeira das companhias estatais do setor elétrico. A tarifa foi utilizada por várias vezes de forma distorcida, repleta de subsídios e como uma espécie de modulador inflacionário do governo. A conta destas distorções a sociedade só veio a pagar na última década com reajustes tarifários muito acima inflação.

2.3.2.2 A Tarifação Diferenciada de 1968 a 1982

A partir do final da década de 60 permitiu-se a aplicação de uma tarifa binômnia para os grandes consumidores, e ainda, a possibilidade de utilização de uma estrutura tarifária por blocos de demanda de potência e/ou consumo de energia.

O Decreto nº 62.724, de 17 de maio de 1968, estabeleceu normas gerais de tarifação para as empresas concessionárias de serviços públicos de energia elétrica.

Pode-se destacar a instauração da tarifa binômnia: “Art. 11 As tarifas a serem aplicadas aos consumidores do Grupo “A” serão estruturadas sob a forma binômnia, com uma componente de demanda de potência e outra de consumo de energia”.

A formação de uma estrutura tarifária, onde os maiores blocos de energia e/ou de potência teriam menores tarifas, foi estabelecida no parágrafo 4º do mesmo artigo:

“Art. 11 § 4º As portarias de fixação de tarifas poderão estabelecer blocos nas taxas de demanda de potência e consumo de energia, aplicáveis aos consumidores do Grupo A, levando-se em consideração o valor da carga demandada e a sua distribuição, com base em estudos a serem apresentados pelo concessionário, à Fiscalização”.

As regras para a determinação da demanda de potência faturável foram estabelecida pelo Art. 12, como sendo o maior valor entre a máxima potência demandada

no intervalo de 15 minutos durante o período de faturamento (geralmente o mês) e 85% da maior demanda verificada em qualquer dos 11 meses anteriores. Assim do decreto deixou clara as conseqüências para o usuário por excessos de demanda de potência.

Os consumidores do Grupo “B” tiveram suas tarifas definidas da seguinte forma: “Art. 13 As tarifas a serem aplicadas aos consumidores do Grupo B serão, inicialmente, calculadas sob a forma binômia com uma componente de demanda de potência e outra de consumo de energia e serão fixadas, após conversão, para a forma monômia equivalente, admitindo-se o estabelecimento de blocos”.

O Decreto referido acima, definiu ainda, em seu Capítulo III, sobre a classificação especial de consumidores. O fornecimento rural de energia elétrica foi definido no Art. 16.

Finalmente, deve-se destacar no Art. 20, o subsídio (que era fixado pelo DNAEE) à tarifa para o fornecimento de energia elétrica a poderes públicos, autarquias, sociedades de economia mista e empresas de utilidade pública. Verifica-se que a política de subsídios cruzados entre grupos de consumidores, foi permanentemente adotada no Setor Elétrico Brasileiro sem o devido conhecimento dos verdadeiros custos de atendimento à cada classe consumidora.

2.3.2.3 Implantação da Estrutura Tarifária Marginalista - Década de 80

Os anos 80 marcaram, no campo da regulamentação, o início da tarifação baseada nos custos marginais de fornecimento para cada grupo de consumidores em detrimento da tarifação baseada do custo médio do serviço. A seguir são apresentados as principais legislações do Setor Elétrico Brasileiro sobre o tema.

O Decreto nº 86.463/81 deu o embasamento legal necessário para que os estudos que foram realizados pelo Setor Elétrico Brasileiro entre 1977 e 1981, objetivando a determinação de uma nova estrutura tarifária, pudessem ser de fato implementados junto às concessionárias de energia elétrica e os consumidores.

O Decreto atribuiu ao DNAEE a faculdade de estruturar as tarifas, estabelecer diferenciações, modificar métodos de medição e faturamento e, ainda, fixar normas e condições para os efeitos aplicação.

Em seu Art. 14 o mesmo decreta: “O custo do serviço do fornecimento de energia elétrica deverá ser repartido, entre os componentes de demanda de potência e de consumo de energia, de modo que cada grupo ou subgrupo, se houver, de consumidores, responda pela fração que lhe couber.” Pode-se considerar este ato como sendo o marco regulatório inicial para a busca da racionalidade do uso da energia elétrica através de tarifas diferenciadas.

Ficou definido ainda em parágrafo único, que: “O critério de repartição das parcelas do custo do serviço entre os componentes tarifários será definido pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE.” Este por sua vez poderia segundo o Art. 3º:

- i) estabelecer diferenciações nas tarifas, bem como modificar os métodos de medição e faturamento, tendo em vista os períodos do ano, os horários de utilização da energia, ou sua distinção;
- ii) fixar normas e condições relativas a casos de opção dos consumidores por mudanças de agrupamento, para efeito de medição e aplicação de tarifas.

O Ministério de Minas e Energia, publicou a Portaria nº 046, em 10 de janeiro de 1982, considerando a necessidade de:

- a) Dispor de uma estrutura tarifária coerente com a estrutura de custos do setor de energia elétrica;
- b) Fundamentar orientações quanto à política de substituições de outros energéticos por energia elétrica;
- c) Orientar decisões sobre o esquema aceitável de transferência de encargos entre as diversas categorias de consumidores;
- d) Racionalizar o processo de escolha de novos investimentos;
- e) Estabelecer uma estrutura de tarifas que oriente o consumo, para as horas e os locais onde o fornecimento é menos oneroso para a Nação, estimulando o uso mais racional do sistema elétrico.

Resolveu em seu Art. 1º determinar ao DNAEE que considerasse como tarefa prioritária, para o ano de 1982, a implantação de tarifas de energia elétrica diferenciadas conforme os períodos do ano e os horários de utilização da energia.

A Portaria também determinou, através de seu Art. 2º que os concessionários de serviços públicos de energia elétrica estruturassem seus sistemas de medição, leitura e faturamento segundo critérios, prioridades e cronogramas a serem estabelecidos.

A Portaria 165 do DNAEE, de 05 de novembro de 1984, estabeleceu as condições a serem observadas para o fornecimento de energia elétrica com tarifas diferenciadas, conforme os períodos do ano e os horários de utilização de energia, segundo a estrutura tarifária horo-sazonal.

Diante das significativas mudanças previstas na portaria, aos concessionários couberam importantes funções. O item XXI trazia: “..., o concessionário deverá desenvolver programas específicos de atendimento, informação, orientação e assistência a consumidores enquadráveis nas disposições da presente Portaria, considerando as conseqüências para seu sistema”.

Pode-se observar também, que a tarifação horo-sazonal foi implementada de cima pra baixo, isto é, inicialmente somente os consumidores do grupo “A”, atendidos pelo sistema elétrico interligado e com uma demanda não inferior a 500 kW, puderam ser enquadrados. Posteriormente as demandas superiores a 50 kW foram enquadradas na tarifação horo-sazonal, através da Tarifa Verde. Atualmente existem projetos pilotos para implantação da tarifação horo-sazonal, para a baixa e média tensão, em algumas cidades brasileiras.

2.3.2.4 Resolução ANEEL nº 286/99 – Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição

Após a reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro, implementada pelo último governo, as tarifas sofreram algumas modificações. A desverticalização das empresas do setor, em geração, transmissão e distribuição, trouxe também a separação das parcelas de receita oriunda da venda de energia elétrica ao consumidor final. Atualmente, a tarifa final é o resultado da soma do preço pago pela energia elétrica gerada, mais as tarifas de

uso dos sistemas de transmissão e distribuição para a entrega daquela energia demandada.

Assim, a Agência Nacional de Energia Elétrica, veio através desta Resolução, orientar as concessionárias para a realização de estudos sobre as características de carga dos consumidores das suas redes, objetivando o correto embasamento técnico para a elaboração das tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição, componentes da Rede Básica do Sistema Elétrico Interligado. A Resolução trouxe algumas considerações:

- “ Compete à Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, nos termos do inciso I do art. 29 da Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e do art. 2º da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, regular a produção, transmissão, distribuição e comercialização dos serviços de energia elétrica concedidos, fiscalizando permanentemente a sua prestação;
- A legislação em vigor assegura aos fornecedores e respectivos consumidores livre acesso aos sistemas de distribuição e transmissão de concessionário e permissionário de serviço público, mediante ressarcimento do custo de transporte envolvido, calculado com base em critérios fixados pelo Poder Concedente; ...
- ...A atual indisponibilidade dos custos atribuíveis aos serviços prestados pelas instalações de distribuição, bem como da proposição de tarifação do uso destas instalações, por barramento, com tensão igual ou superior a 69 kV, a serem encaminhadas à ANEEL pelas concessionárias de distribuição.”

Assim resolveu:

“Art. 1º Estabelecer, de conformidade com os quadros constantes dos Anexos I e II desta Resolução, os valores das tarifas de uso das instalações de transmissão de energia elétrica, componentes da Rede Básica do Sistema Elétrico Interligado, atribuíveis às centrais geradoras e às unidades consumidoras, em cada Unidade da Federação.

§ 2º Os valores de tarifa de uso foram determinados, para cada barramento componente da Rede Básica, em conformidade com a Resolução ANEEL nº 281/99, considerando os parâmetros e critérios a seguir:

I - rateio dos encargos de uso dos sistemas de transmissão na proporção de cinquenta por cento para as unidades geradoras e cinquenta por cento para as unidades consumidoras;

II - utilização dos percentuais de trinta por cento e sessenta por cento, correspondentes aos valores mínimo e máximo do fator de ponderação, no cálculo das tarifas aplicáveis às unidades geradoras;

III - utilização dos percentuais de quarenta por cento e oitenta por cento, correspondentes aos valores mínimo e máximo do fator de ponderação, no cálculo das tarifas aplicáveis às unidades consumidoras;

IV - tarifa nula para uso dos sistemas de transmissão nos horários fora da ponta;

V - caso base de operação do sistema elétrico interligado, considerando o despacho de todas as usinas geradoras de maneira proporcional às suas energias asseguradas, no caso de hidrelétricas, e às suas potências instaladas, nos demais casos.

2.3.2.5 Resolução 456 de 25 de novembro de 2000 – Condições Gerais de Fornecimento

Atualmente, esta resolução apresenta de forma consolidada, as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Quanto à racionalidade do uso da energia elétrica, praticamente nada de novo foi acrescentado nesta resolução. Destaca-se:

- i) O horário de ponta passa a ser definido pela concessionária de acordo com as características de seu sistema elétrico;
- ii) A clara definição dos grupos e subgrupos da Alta e da Baixa Tensão;
- iii) Estabelecimento e definição das classes (Residencial; Industrial; Comercial, Serviços e Outras Atividades; Rural; Poder Público; Iluminação Pública; Serviço Público; Consumo Próprio) e subclasses para efeito de aplicação de tarifas;

- iv) Definição dos critérios de inclusão na estrutura tarifária convencional ou horo-sazonal aplicáveis às unidades consumidoras do Grupo “A”.

A Resolução 456 torna-se, devido a sua abrangência, um importante documento de referência para os atuais estudos de tarifação. Talvez, por não ser seu intuito, a Resolução não apresenta mudanças significativas para o uso racional da energia elétrica.

2.4 REVISÃO DAS TÉCNICAS PARA AGREGAÇÃO DE CURVAS DE CARGA

A formação de agrupamentos de consumidores com base nos perfis de carga individuais tem por objetivo, permitir que semelhantes curvas de carga definam um comportamento típico para o consumo de energia elétrica de uma determinada população. Existem muitas técnicas para se fazer a agregação das curvas de carga (*cluster analysis*) e que são utilizadas nas mais diversas áreas do conhecimento (ANDENBERG, 1971). Esta seção apresenta alguns dos trabalhos desenvolvidos na área de caracterização da carga dos consumidores de energia elétrica que fazem uso dessas técnicas de clusterização.

CHEN *et al.* (1997) propõem que o comportamento típico dos consumidores de energia elétrica possa ser efetivamente representado pela sua curva de carga diária, e além disso, também seja considerada na determinação de uma adequada estrutura tarifária. Os autores determinam os custos para o fornecimento da energia elétrica a cada classe de consumo (residencial, industrial, etc.) em diferentes períodos do ano com base nas suas curvas de carga e nos respectivos custos de geração, transmissão e distribuição. A estrutura tarifária encontrada procura refletir as contribuições de cada classe de consumo para o custo do seu atendimento de maneira imparcial.

Durante o processo de reformulação das políticas tarifárias do setor elétrico brasileiro no início da década de 80, foram utilizados dois programas computacionais trazidos da Electricité de France para a efetuar a caracterização da carga nos diversos níveis de tensão do sistema nacional (BRASIL, 1985). O Método das Nuvens Dinâmicas, utilizado no primeiro programa – NUDYC, define as formas fortes de uma população de consumidores a ser classificada de forma natural. Assim, defini-se primeiramente

quantos núcleos e quais os seus elementos (curvas de carga). Inicia-se então um processo iterativo onde cada iteração decompõe-se em duas etapas: (1) formação dos grupos a partir dos núcleos: cada núcleo deve atrair os consumidores com maior similaridade, que pode ser medida de três maneiras: distância euclidiana simples, distância euclidiana ponderada, ou a distância X^2 ; (2) escolha de um novo sistema de núcleos (melhor que o anterior) para os grupos escolhidos. Esse processo converge quando os novos grupos já não se modificam em relação os anteriores. O processo iniciado com a escolha dos núcleos e findado na convergência dos grupos é chamado de experiência. É evidente que os grupos encontrados a cada experiência dependem do sistema inicial de núcleos. Assim, são considerados para a formação dos grupos, apenas aqueles consumidores que se mantiverem juntos em um número pré-determinado de experiências.

Em seguida, uma lista argumentos é passada ao segundo programa (DESCR 2) que pode realizar as seguintes funções: (1) Descrição das características de uma tipologia segundo qualquer variável relacionada, como por exemplo: segmento, região, classe de consumo, etc.; (2) Reagrupamentos dos grupos encontrados no NUDYC, com possibilidade de descrição dos tipos obtidos a cada reagrupamento. O primeiro programa encontra, naturalmente, os grupos de consumidores mais similares através de uma clusterização não hierárquica e o segundo programa define, a partir deles, hierarquicamente, quantos grupos devem ser formados.

Já NAZARKO e STYCZYNSKI (1999) propõem uma modelagem das curvas de carga diárias dos consumidores de energia elétrica com a aplicação da estatística e de técnicas de redes neurais. No citado trabalho, fez-se uma interessante classificação das classes de consumo de forma subjetiva e objetiva. As classes de consumo tradicionais (residencial, rural, industrial, etc.) possuem curvas de carga individuais com alto grau de heterogeneidade, principalmente no caso dos industriais. Portanto o conhecimento das curvas de carga com base nesta classificação torna-se bastante subjetivo para os estudos de distribuição da energia elétrica. As classes de consumo objetivas, resultantes dos processos de clusterização, permitem o melhor entendimento do carregamento das redes de distribuição e as conseqüências do mesmo.

Com o intuito de comparar diferentes técnicas de clusterização, PESSANHA *et al.* (2002) apresentam uma análise daquelas mais utilizadas para a construção de tipologias de curva de carga. Utilizou-se os seguintes métodos: K *Means*, Ward, NUDYC-DESCR 2, rede de Kohonen, e classificação *fuzzy* (FCM). A partir de uma amostra de 125 medições de curvas de carga de baixa tensão e para um número fixo de 8 tipologias foram realizados os testes. Através dos valores da estatística SQIntra³ para cada metodologia, foram comparadas as cinco técnicas. Apesar do método FCM apresentar a menor dispersão, todos os outros métodos poderiam ser utilizados com resultados bastante semelhantes.

2.5 CONCLUSÕES

O conhecimento da evolução das leis que permitiram a prática da atual estrutura tarifária traz para um mesmo contexto a preocupação básica da sociedade com a escassez dos recursos naturais. Verifica-se que o processo de amadurecimento da questão de uso racional da energia elétrica é bastante lento, e são necessários, na maioria das vezes, anos de estudos técnicos para que sejam definidas as regulamentações capazes de promover uma melhoria na maneira de consumir da sociedade. Novos modelos tanto para o cálculo dos níveis tarifários como para a construção de estruturas tarifárias ainda mais racionais devem sempre ser buscados, para que não sejamos julgados futuramente, por não termos racionado hoje.

³ Soma dos quadrados intra-classe, representado pela distância euclidiana entre cada curva e núcleo da classe.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1 INTRODUÇÃO

A sociedade brasileira tem buscado nas últimas décadas promover o uso racional da energia elétrica. Uma das formas de se obter tal intento, foi a constante melhoria dos sistemas de tarifação, tanto nos aspectos metodológicos quanto nas regulamentações de implantação.

A metodologia a que se propõe o presente trabalho visa aprimorar a atual formação dos grupos tarifários que estabelece os alicerces de toda a estrutura tarifária, influenciando desde o cálculo dos custos marginais até as tarifas de aplicação.

O presente enquadramento dos consumidores de energia elétrica no Brasil é feito sob uma ótica eminentemente técnica, separando-se os tanto por nível de tensão (alta, média e baixa) como por classe de consumo (residencial, industrial, comercial, rural, serviços públicos, poderes públicos, iluminação pública). As justificativas deste modelo e suas prerrogativas são apresentadas na seção 3.3.

A formação de grupos tarifários com base no perfil de carga individual, apresentada na seção 3.4, possibilita agregar dentro de uma mesma classe de tensão os consumidores que impõem custos similares ao sistema devido à semelhança dos perfis de carga. Ou seja, os subgrupos tarifários diretamente relacionados às formas fortes identificadas tornam o sistema tarifário mais racional à medida que ocorre a customização do consumidor.

O capítulo se encerra na seção 3.5 com as considerações adicionais sobre os modelos atual e proposto para a formação dos grupos tarifários. A metodologia proposta é ainda avaliada no estudo de caso desenvolvido no capítulo 4.

3.2 AGRUPAMENTOS TARIFÁRIOS

Os usuários do sistema elétrico brasileiro encontram-se classificados em diferentes arquiteturas de precificação de acordo com o nível de tensão da sua ligação e sua classe de consumo – os chamados agrupamentos tarifários.

Os critérios para formação dos grupos são de ordem técnica, através dos diferentes níveis de tensão típicos, e de ordem organizacional, por meio dos segmentos de consumo presentes na sociedade. Apesar de enquadrar o consumidor adequadamente, a simples existência dos grupos tarifários não garante a racionalidade do uso da energia elétrica. A racionalidade torna-se tanto maior quanto melhor for a sinalização das concessionárias para o consumidor da direção do uso mais eficiente da energia para a sociedade.

Até 1968, apesar da existência dos grupos “A” (alta tensão) e “B” (baixa tensão), a tarifa ainda era monômnia e, conseqüentemente, a sinalização ao consumidor era bastante ineficiente. O crescimento das demandas de energia elétrica perante ao limitado ritmo de investimentos na ampliação da capacidade do SEB, possibilitou, em 1968, o aparecimento da tarifa binômnia, onde a tarifa referente à potência sinalizava ao consumidor para o uso racional da energia elétrica.

A grande mudança na racionalidade do uso da energia elétrica no Brasil ocorreu no início dos anos 80 devido às dificuldades econômico-financeiras, geradas pela crise econômica, que conduziram a drásticos cortes nos investimentos para a expansão do sistema, comprometendo seriamente, em qualidade e quantidade, a eletricidade fornecida aos consumidores. Diante do cenário exposto, o Setor Elétrico buscando a melhor utilização da capacidade já instalada do sistema e a orientação dos consumidores para a operação mais racional de seus equipamentos, implantou a tarifa horo-sazonal.

A aplicação da tarifação horo-sazonal, baseada na Teoria de Custos Marginais, e nos agrupamentos tarifários existentes, permitiu às concessionárias expor aos consumidores sinalizações adequadas sobre a energia e a demanda para os períodos de maior dificuldade para o atendimento horário (período de ponta) e sazonal (período seco) e para aqueles em que o sistema está menos carregado diariamente (período fora de ponta) e sazonalmente (período úmido).

Os estudos de caracterização da carga dos diversos agrupamentos tarifários, efetuados na época da implantação da tarifa horo-sazonal, são apresentados a seguir com o objetivo de encadear os passos seguintes do aprimoramento da sinalização aos consumidores, integrantes da metodologia proposta.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS CARGAS DO SEB NA DÉCADA DE 80

Os estudos de mercado desenvolvidos no país até o final dos anos 60, sempre se preocuparam com o estudo do consumo a nível global, sendo farta a metodologia de previsão de mercado e de amplo conhecimento dentro das concessionárias de energia elétrica. Porém, o conhecimento da demanda dos consumidores é a primeira condição para os estudos de investimento, de planejamento e de tarifação em uma estrutura que vise a utilização racional do sistema elétrico, pois não se pode otimizar o sistema se a carga não for bem conhecida (BRASIL, 1985).

A utilização da potência disponibilizada pelas distribuidoras, é feita pelos consumidores de forma descontínua ao longo das horas do dia. Como esta potência fornecida tem custo diferente de acordo com seu horário de consumo, torna-se necessário o conhecimento, em nível de consumidor, não somente da energia consumida, mas também das potências demandadas a cada instante – o perfil da carga.

Naquela época, o mercado de Alta Tensão (consumidores atendidos em tensão igual ou superior a 69kV), contava com um número reduzido de usuários e muitos deles já contavam com equipamentos de medição horária da carga. Assim bastou-se recuperar as medições destes usuários para a caracterização do seu mercado. Os mercados de Média e Baixa Tensão (consumidores atendidos em tensões compreendidas entre 2,3 kV e 44,0 kV e abaixo de 2,3 kV respectivamente) contavam com mais de 21 milhões de usuários, tornando-se impossível conhecer a curva de carga de cada consumidor. Portanto, para se estudar estes mercados foram realizadas campanhas de medição com amostras representativas dos mesmos.

3.3.1 Campanhas de Medidas

Uma campanha de medidas pode ser entendida como sendo o conjunto de técnicas estatísticas e procedimentos organizacionais, que permitem, a partir de amostras, caracterizar a demanda do sistema ou universo de consumidores que se deseja conhecer.

3.3.1.1 Campanha Nacional de Medidas na Média Tensão – CNM-MT

Nessa campanha, organizada pelo DNAEE, obteve-se uma estratificação da amostra de consumidores divididos por faixas de demanda da seguinte forma:

- CNM-MT.1 – consumidores com demanda mensal maior ou igual a 1.000 kW;
- CNM-MT.2 - consumidores com demanda mensal entre 500 e 999 kW;
- CNM-MT.3 - consumidores com demanda mensal entre 200 e 499 kW;
- CNM-MT.4 - consumidores com demanda mensal entre 100 e 199 kW;
- CNM-MT.5 - consumidores com demanda mensal entre 50 e 99 kW;
- CNM-MT.6 - consumidores com demanda mensal menor que 50 kW.

As concessionárias, ao instalarem os medidores, procuraram respeitar o critério de aleatoriedade dentro de cada faixa de demanda. Assim, foram medidos cerca de 70 a 100 consumidores dentro de cada uma dessas faixas (BRASIL, 1985).

3.3.1.2 Campanha Nacional de Medidas da Baixa Tensão – CNM-BT

Foram utilizados 60 conjuntos de medição, obtendo-se a curva de carga e a tensão real dos consumidores a cada 5 minutos. A CNM-BT.1, realizada em 1985, teve a duração de sete meses, com cerca de 1.600 consumidores medidos em sete concessionárias: CEEE, CELPE, CEMIG, COELBA, CPFL, ELETROPAULO e LIGHT.

As medições foram distribuídas pelas classes de consumo comercial, industrial, rural e residencial, seguindo um critério de proporcionalidade em relação ao consumo total da BT. As amostragens de consumidores foram feitas de forma aleatória.

3.3.1.3 Recuperação de Medições na Alta Tensão

Em junho de 1982, foi montado um arquivo de curvas de carga de aproximadamente 300 consumidores, de um dia útil, do sábado e do domingo, por mês, correspondentes a 20 meses em média. O arquivo foi construído a partir de printômetros e de medidores gráficos. Participaram deste projeto todas as concessionárias que dispunham de dados de curva de carga de consumidores da Alta Tensão.

Além disso, entre 1982 e 1983, foram realizadas recuperações de dados de curva de carga de cerca de 200 subestações AT/MT e 2.000 subestações MT/BT, por meio de um trabalho conjunto de 13 concessionárias.

3.3.2 Análise das Curvas de Cargas Obtidas

O trabalho realizado para a caracterização da carga do Sistema Elétrico Brasileiro produziu uma gama de informações bastante considerável. Com o intuito de nortear o presente trabalho, algumas informações de ordem geral são apresentadas, juntamente com dados mais específicos e confiáveis do sistema de Alta Tensão.

3.3.2.1 Sistema Elétrico Brasileiro

No ano de 1983, o sistema contava com pouco mais de 21 milhões de consumidores, que consumiram cerca de 133 TWh. Pode-se observar na Tabela 3.1 que a Alta Tensão tinha uma participação mínima no número de consumidores e respondia por 30% do consumo nacional, enquanto a Baixa Tensão agregava quase a totalidade dos consumidores para consumir 39% da energia elétrica do sistema (BRASIL, 1985).

A composição do mercado de energia elétrica através dos setores da economia mostrava a classe industrial como a mais significativa em consumo, enquanto a residencial detinha quase a totalidade dos consumidores. A Tabela 3.2 traz um resumo deste panorama.

Tabela 3.1 – Consumo e Número de Consumidores por Nível de Tensão – 1983

NÍVEL DE TENSÃO	CONSUMO (TWh)	CONSUMO TOTAL (%)	NÚMERO DE CONS. (MIL)	% TOTAL DE CONSUMIDORES
AT	40,1	30,1	0,7	0,0
MT	36,9	27,7	61,8	0,3
BT	52,2	39,1	21.281,9	99,7
F.E. ⁴	4,2	3,1	2,0	0,0
TOTAL	133,4	100,0	21.346,4	100,0

Fonte: BRASIL, 1985.

Tabela 3.2 – Consumo e Número de Consumidores por Classe – 1983

CLASSE DE CONSUMO	CONSUMO (TWh)	CONSUMO TOTAL (%)	NÚMERO DE CONS. (MIL)	% TOTAL DE CONSUMIDORES
Industrial	67,9	50,9	238,2	1,1
Residencial	29,7	22,3	18.353,4	86,0
Comercial	16,7	12,5	1.930,1	9,0
Outros	19,1	14,3	824,7	3,9
TOTAL	133,4	100,0	21.346,4	100,0

Fonte: BRASIL, 1985.

Para o ano de 1983, estavam disponíveis 48 curvas de carga do sistema em dias úteis. Foi, então, desenvolvido um programa que calculou o desvio padrão entre elas para descobrir qual a curva era mais representativa, ou seja, apresentasse o menor desvio para as demais. A Figura 3.1, que apresenta também as curvas do sábado e domingo da mesma semana, refere-se a curva de carga do sistema nacional no dia 16 de março de 1983.

A partir da forma da curva de carga típica do dia útil da Figura 3.1, e considerando as perdas globais de potência, foi composta a curva de carga do sistema para cada um dos níveis de tensão isoladamente e em composição.

A Figura 3.2 apresenta as curvas de carga para a Alta, Média e Baixa Tensão que somadas compunham a curva de carga do sistema nacional. Esta última é apresentada pela composição das ordenada dos níveis de tensão.

⁴ Fornecimentos Especiais.

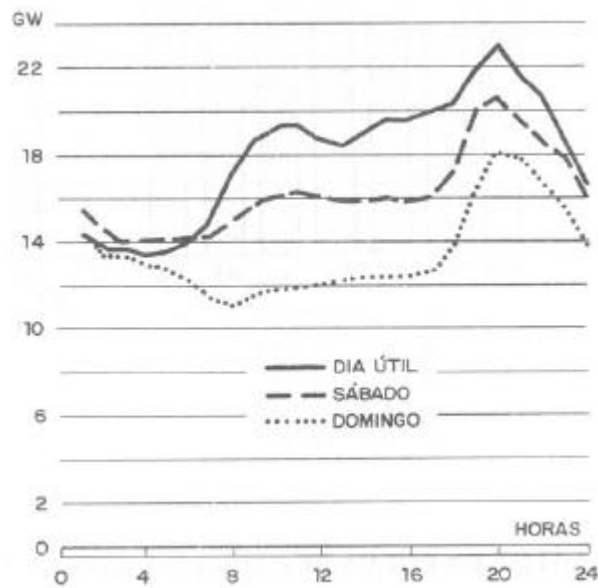


Figura 3.1 - Brasil: Curvas de Carga do Sistema - 1983

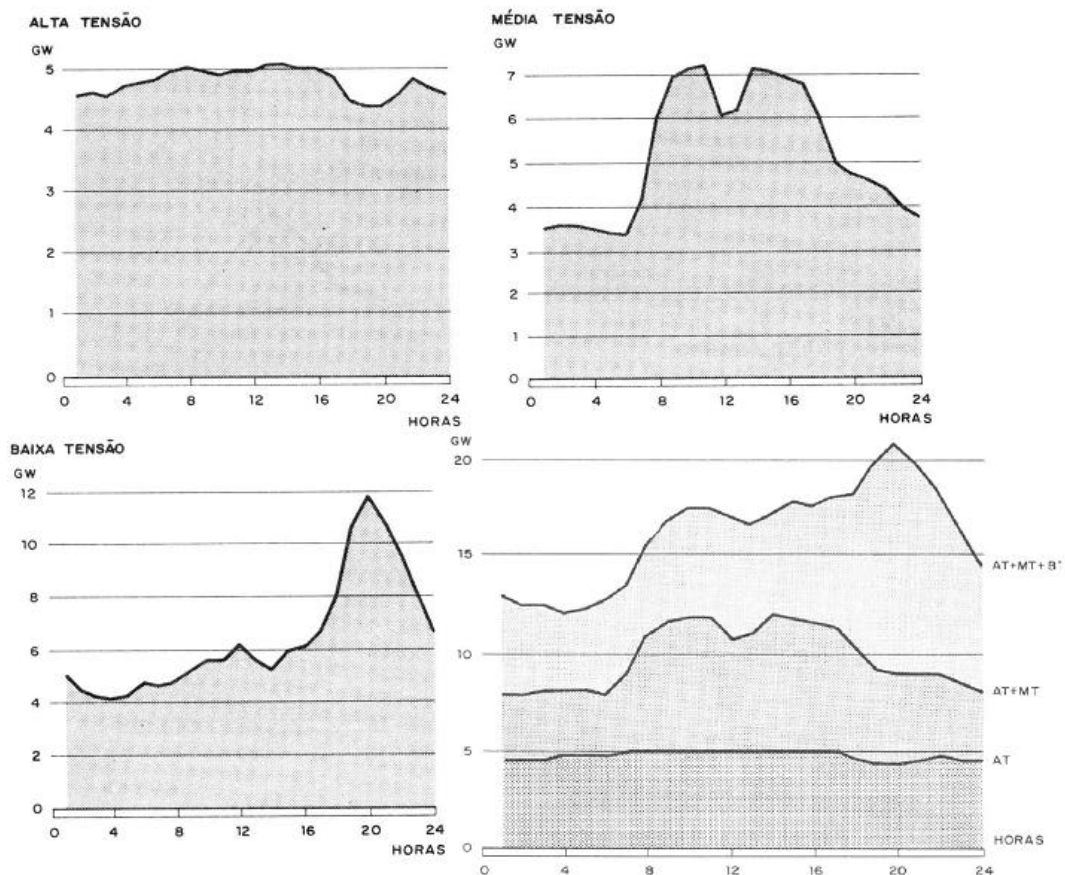


Figura 3.2 - Composição da Curva de Carga do Sistema Nacional - 1983

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1985.

3.3.2.2 Alta Tensão

Foi na Alta Tensão que se realizaram as primeiras recuperações de curvas de carga devido ao pequeno número de consumidores existentes, a grande concentração de consumo e a disponibilidade de medições (mais da metade do mercado consumidor foi medido). Portanto, os resultados encontrados para a Alta Tensão na década de 80 bem como os procedimentos para sua obtenção tornam-se um importante referencial para o presente trabalho.

A Figura 3.3 apresenta a curva de carga agregada da Alta Tensão, seguindo a mesma metodologia da curva de carga do sistema nacional da Figura 3.1. A curva de carga anterior pôde ainda ser apresentada por níveis de tensão notáveis dentro da Alta Tensão. Estas curvas e a respectiva composição gradual para formação da curva de carga da Alta Tensão podem ser observadas na Figura 3.4.

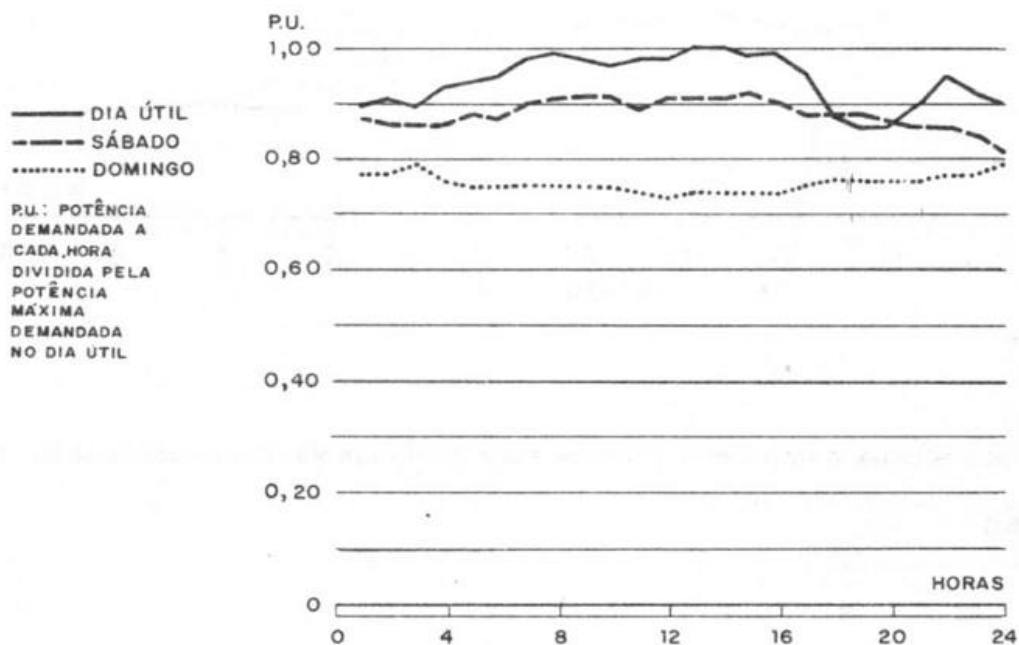


Figura 3.3 – Curva de Carga Agregada da Alta Tensão – 1983

Fonte: BRASIL, 1985.

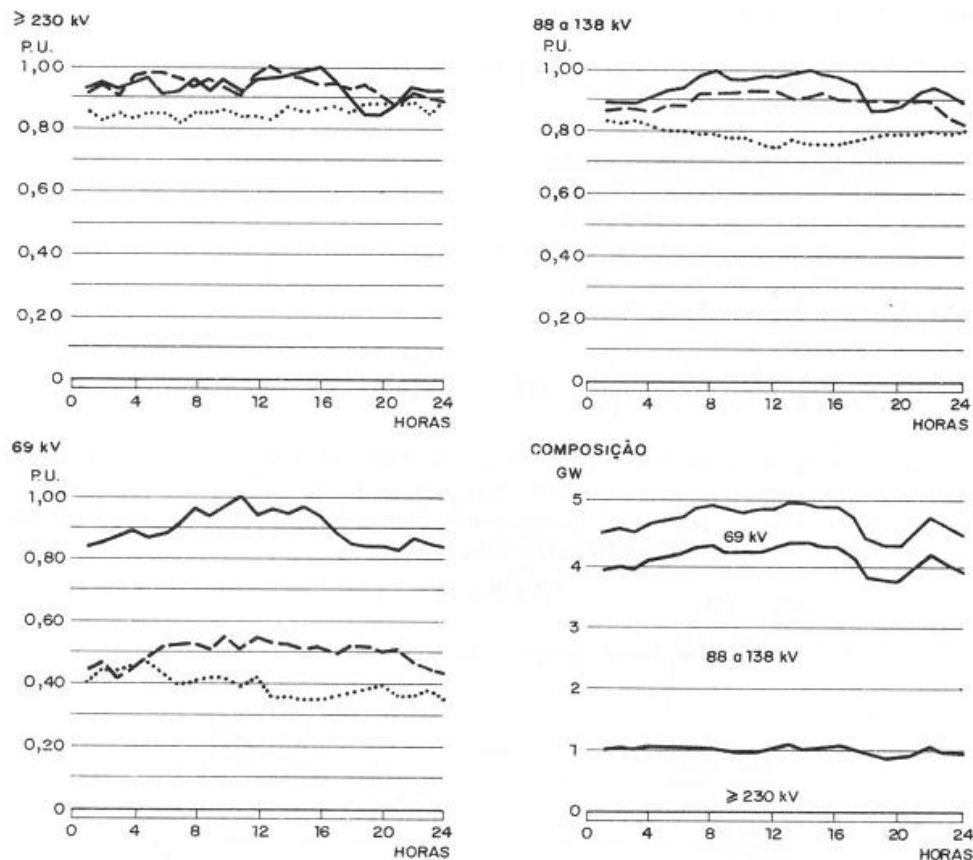


Figura 3.4 – Curva de Carga por Nível de Tensão (AT) - 1983

Fonte: BRASIL, 1985.

O agrupamento de consumidores pela semelhança no perfil de carga, ponto chave do presente trabalho, foi efetuado já nos trabalhos de caracterização da carga em 1985. Apesar de não objetivar a formação de grupos tarifários, o conhecimento das diferentes tipologias do consumo nos diversos níveis de tensão possibilitou a tomada de estratégias setoriais adequadas para a política nacional de energia elétrica.

Para definir a tipologia da Alta Tensão, através do agrupamento das curvas de carga semelhantes (BRASIL, 1985), foram utilizados os programas computacionais, na época trazidos da Electricité de France, NUDYC e DESCR 2. O NUDYC consistia, basicamente, na partição da população em grupos de indivíduos semelhantes que definiam as formas fortes através do método das nuvens dinâmicas. O programa DESCR 2 realizava os reagrupamentos a partir das formas fortes obtida no NUDYC. Estes programas serão detalhados posteriormente na seção 3.4.3. A aplicação destes programas revelou quatro curvas típicas para a Alta Tensão apresentadas na Figura 3.5.

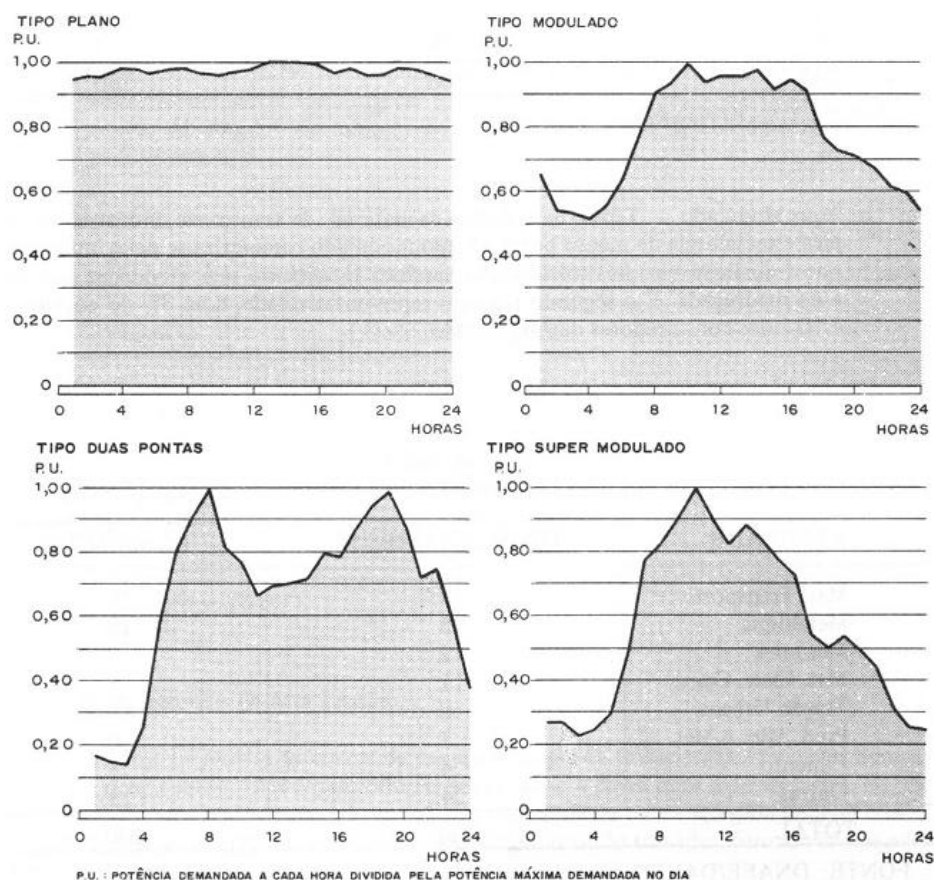


Figura 3.5 – Tipologia da Alta Tensão – 1983

Fonte: BRASIL, 1985.

Com base nas tipologias encontradas, verificou-se como os setores da economia contribuíam para a formação de cada curva típica da Alta Tensão. A seguir as Tabelas 3.3 a 3.6 ilustram a composição setorial dos quatro tipos de curvas de carga encontrados.

Tabela 3.3 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação do Tipo Plano⁵

ATIVIDADE	CONSUMIDORES (%)	CONSUMO (%)
Metalurgia	30	57
Química	21	18
Cimento	7	4
Têxtil	7	3
Extração de Minerais	6	4
Papel e Papelão	6	3
Material de Transporte	3	1
Outras	20	10
TOTAL	100	100

Fonte: BRASIL, 1985.

Tabela 3.4 – Atividades Econ. que Contribuíram para a Formação do Tipo Modulado⁶

ATIVIDADE	CONSUMIDORES (%)	CONSUMO (%)
Material de Transporte	19	39
Metalurgia	15	18
Mecânica	12	8
Material Elétrico	11	5
Tração Urbana	8	6
Produção de Minério	7	6
Cimento	4	5
Outras	24	13
TOTAL	100	100

Tabela 3.5 – Atividades Econ. que Contribuíram para a Formação do Tipo Duas Pontas⁷

ATIVIDADE	CONSUMIDORES (%)	CONSUMO (%)
Tração Ferroviária	46	57
Tração Urbana	38	33
Material de Transporte	4	3
Mecânica	4	3
Têxtil	4	4
Metalurgia	4	0
TOTAL	100	100

Tabela 3.6 – Atividades que Contribuíram para a Formação do Tipo Super Modulado⁸

ATIVIDADE	CONSUMIDORES (%)	CONSUMO (%)
Material de Transporte	30	51
Metalurgia	23	17
Extração de Minerais	8	13
Mecânica	8	9
Material Elétrico	7	4
Outras	24	6
TOTAL	100	100

Fonte: BRASIL, 1985.

Finalmente, pode-se destacar o levantamento das curvas de carga agregadas da maioria das atividades econômicas da Alta Tensão. As curvas, apresentadas na Figura 3.6, foram obtidas somando-se a curva mais representativa do dia útil de cada consumidor

⁵ Tipologia marcada por um consumo pouco variante e próximo à média do período.

⁶ Tipologia caracterizada pelo maior consumo durante o dia e baixo consumo na noite e madrugada.

⁷ Tipologia formada por consumidores que demandam mais energia no início da manhã e no final da tarde.

⁸ Tipologia semelhante a (3) mas com um pico de consumo durante a manhã de maior intensidade.

existente em cada atividade. Assim, por exemplo, pôde-se observar que as curvas geralmente serrilhadas como as de metalurgia, quando somadas, formam curvas do Tipo Plano.

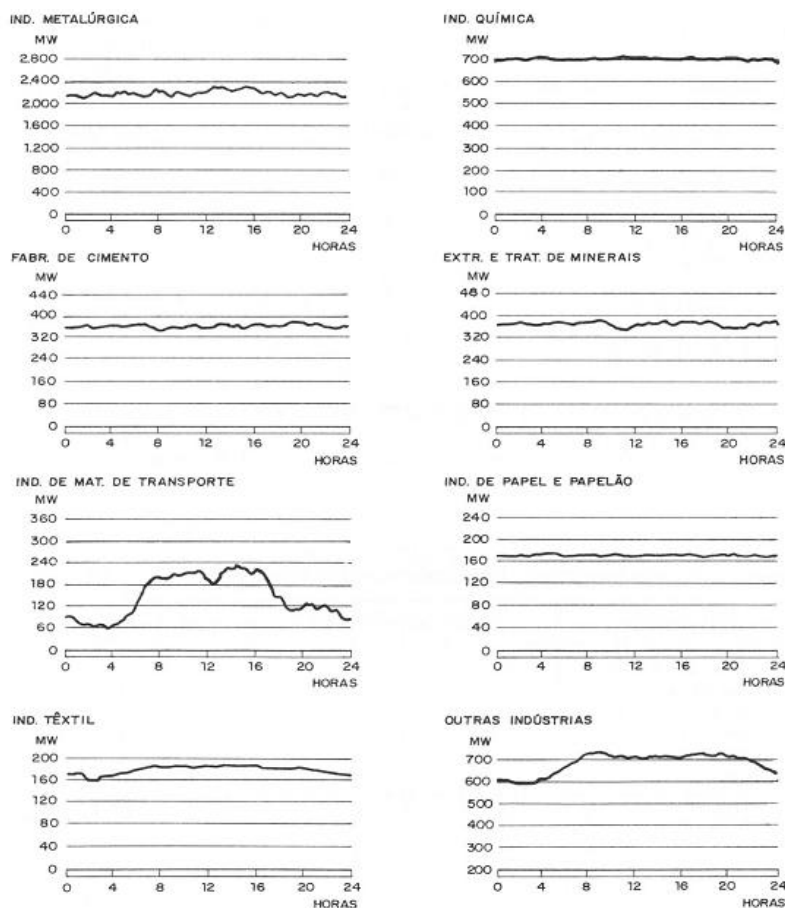


Figura 3.6 - Curvas de Carga Agregadas por Atividade Econômica - 1983

Fonte: BRASIL, 1985.

3.3.3 Considerações Adicionais

O trabalho de caracterização da carga do sistema elétrico nacional nos anos 80 foi de grande importância para a definição da Nova Tarifa de Energia Elétrica, explicitada na obra do DNAEE também conhecida atualmente por “Livro Verde da ANEEL”, e para os novos rumos da política tarifária no país.

A metodologia empregada bem como os resultados alcançados servem, ainda hoje, de referência para os trabalhos na área de tarifação. Dada a tecnologia de medição, os recursos computacionais existentes e principalmente os bancos de dados da época, a

caracterização das curvas de carga foi uma grata revelação da potencialidade dos profissionais presentes do setor elétrico nacional.

Atualmente pode-se considerar outras questões para caracterizar a carga dos consumidores. Uma parcela razoável dos consumidores da Alta Tensão, devido aos mais de 20 anos de aplicação da tarifa horo-sazonal, possuem medidores de consumo eletrônicos e poderiam ser facilmente caracterizados tanto no consumo de energia ativa como de reativa. Novas campanhas de medição poderiam ser feitas para os consumidores da Baixa Tensão, com um número bem maior de medições, devido a redução no custo dos medidores, e podendo considerar outros fatores, tais como: consumo de reativo, pesquisas de posse e hábito, estudos sobre a elasticidade da demanda do consumidor, entre outros.

Outra importante questão que deve começar a ser revista é a dos postos tarifários de ponta e fora de ponta. De 1983 à 2003 a política tarifária para a racionalidade do consumo provocou uma razoável melhora no fator de carga do sistema elétrico nacional. Além desse deslocamento no horário da carga, verificou-se a maior utilização do Sistema Interligado Nacional (SIN) em dias não úteis (Figura 3.7). Assim, conclui-se que a ponta do sistema é uma questão cuja importância diminuiu e tende a se reduzir ainda mais.

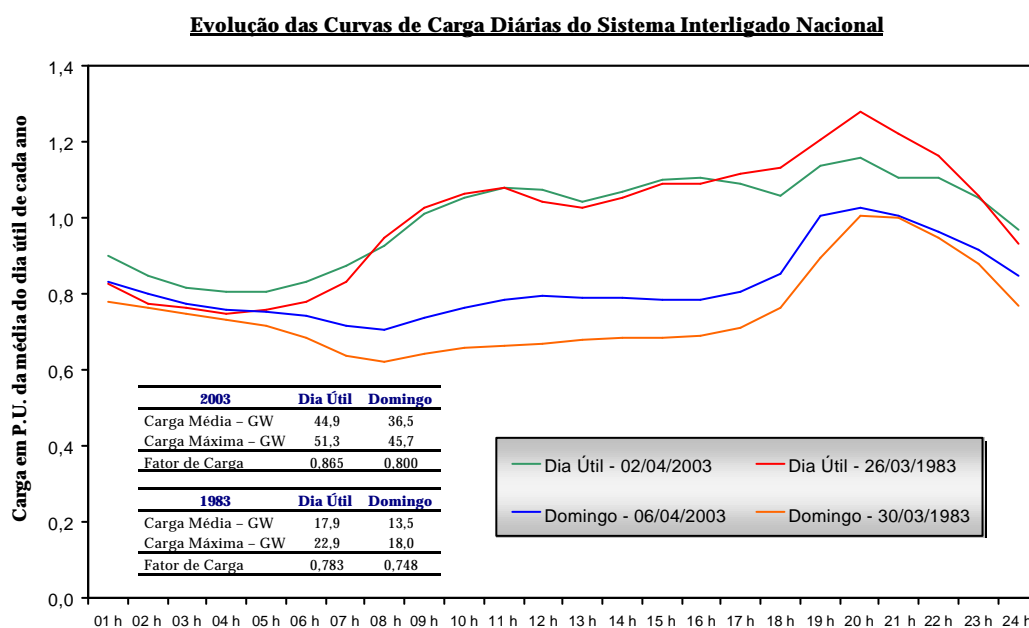


Figura 3.7 – Comparação das Curvas de Carga Diárias do SIN de 1983 e 2003

Fonte: Elaborado a partir de BRASIL, 1985 e Medições Verificadas pelo ONS

A curva de carga típica nos dias úteis em países desenvolvidos, normalmente apresenta um fator de carga comparativamente mais alto em relação ao SIN. A Figura 3.8 apresenta as curvas de carga típicas do sistema elétrico francês para uma semana de verão e uma semana de inverno no ano de 2002. Pode-se observar que na França, os custos de atendimento guardam mais relação com a sazonalidade anual do que com a variação da carga diária. Este fato pode-se ser constatado através da quantidade de opções tarifárias disponibilizadas pela EDF – Electricité de France ao seu consumidor.

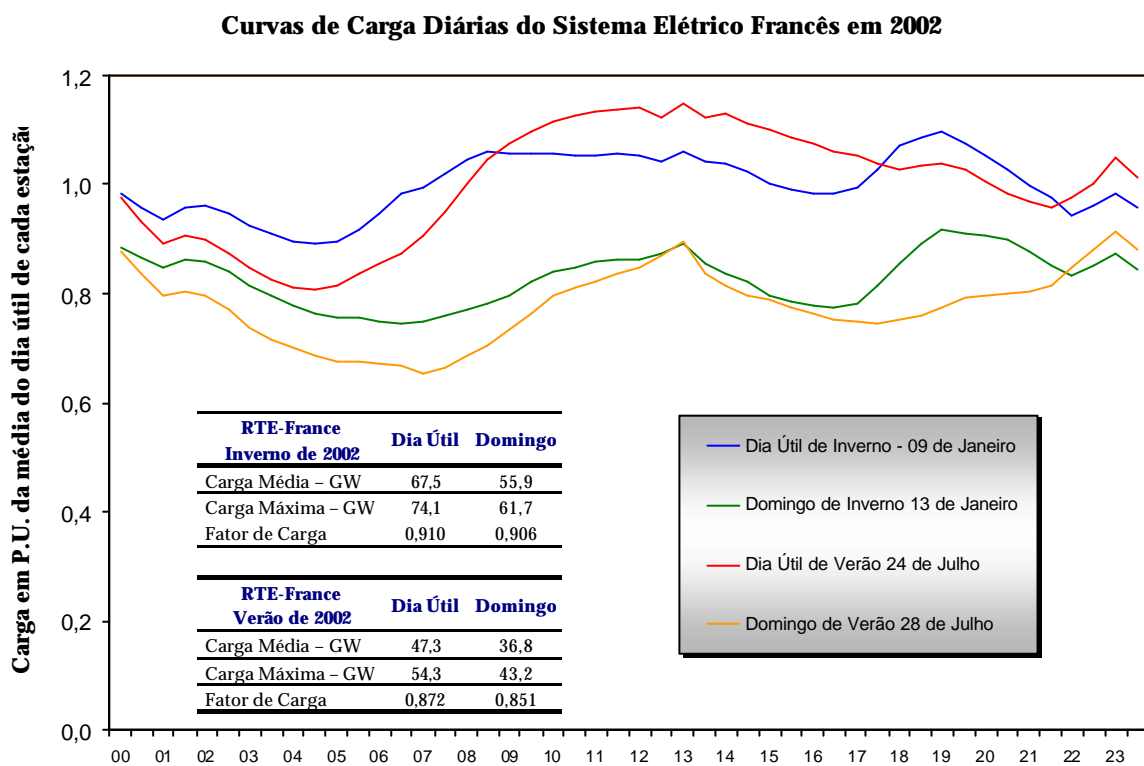


Figura 3.8 – Curvas de Carga Típicas do Sistema Elétrico Francês – 2002

Fonte: Elaborado a partir de <http://www.rte-france.com/jsp/an/courbes/courbes.jsp>

Diante dessas premissas, sugere-se que uma nova estrutura tarifária no Brasil não seja dependente do horário de ponta do sistema, que provavelmente vai ter sua importância diminuída, e que possa sim permitir o aproveitamento racional da energia elétrica com mais postos tarifários. Uma formação de agrupamentos de consumidores baseada no perfil de carga individual pode ser um caminho nessa direção.

3.4 FORMAÇÃO DOS AGRUPAMENTOS DE CONSUMIDORES COM BASE NO PERFIL DE CARGA INDIVIDUAL

A última grande reformulação das políticas de tarifação de energia elétrica no Brasil, ocorreu através da implementação da tarifa horo-sazonal há praticamente duas décadas. Nesses vinte anos, importantes variáveis relacionadas ao mercado de energia elétrica sofreram considerada alteração. O aumento da participação dos segmentos da Baixa Tensão, especialmente o residencial e o comercial, no consumo de eletricidade do país (Figura 3.9), o aparecimento da elasticidade da demanda dos consumidores quando do racionamento de 2001 (Figura 3.10), mostrando que o consumidor de hoje está mais informado sobre os efeitos do seu ato de consumir, e a diminuição proporcional da carga no horário de ponta do sistema são subsídios importantes para que a sociedade almeje um aprimoramento do sistema tarifário para a energia elétrica.

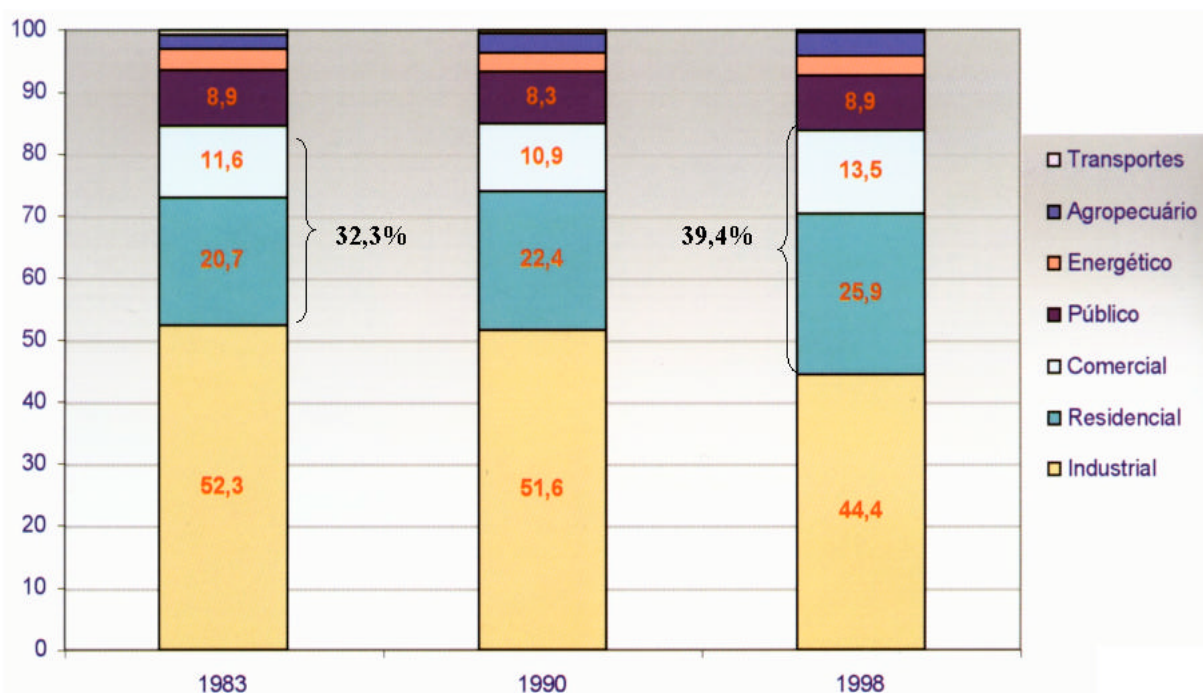


Figura 3.9 – Participação de Cada Setor de Atividade no Consumo de Eletricidade no País (%)

Fonte: ANEEL, 2002.

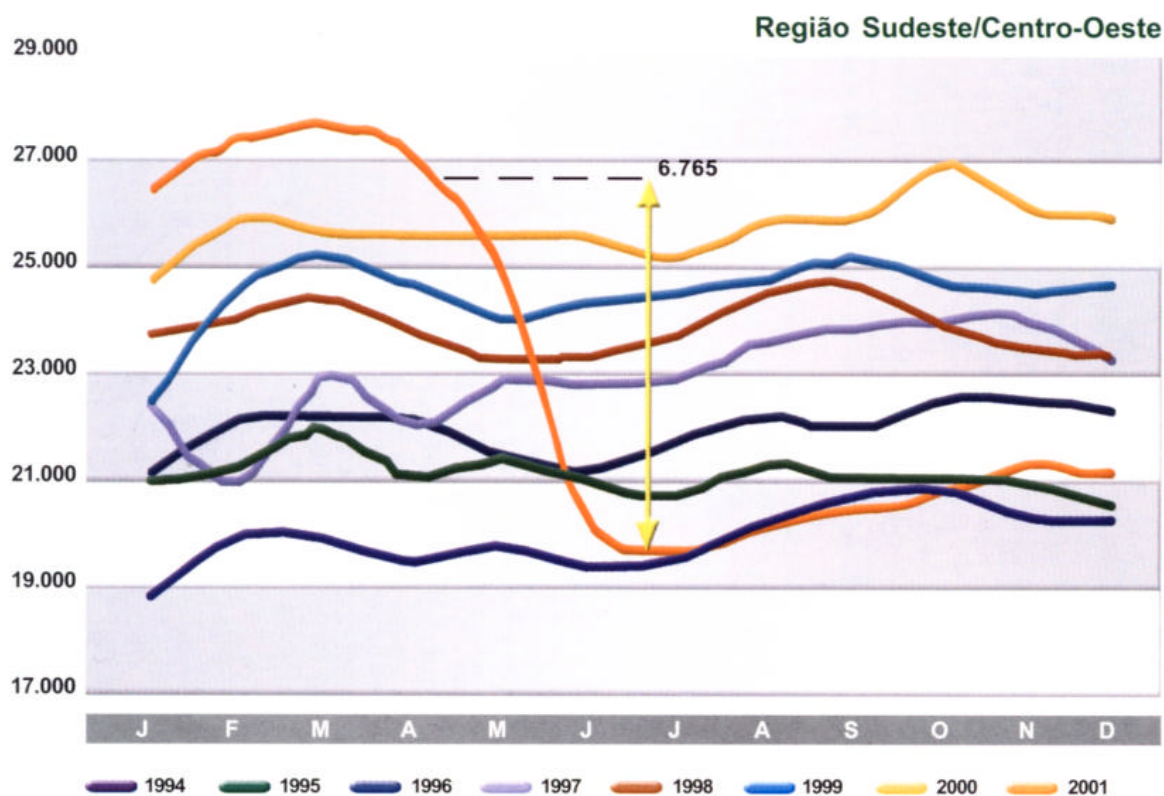


Figura 3.10 – Evolução da Carga Própria em MW méd de 1994 a 2001

Fonte: ONS, 2001

Como pôde ser observada no Capítulo 2, a sociedade tem buscado ao longo dos anos tornar o consumo dos recursos naturais cada vez mais racional. As políticas tarifárias do setor elétrico no país também foram aprimoradas desde os anos 30. A evolução deste processo de racionalidade pode até levar à tarifa ideal – uma tarifa própria para cada consumidor, o que na atual circunstâncias não é factível nem ao menos cogitada. Se considerarmos que cada consumidor tem características próprias e é único perante o sistema, uma alternativa no sentido de uma tarifa ideal remete ao agrupamento por similaridade destas características. Se a característica mais importante é a curva de carga (potência ativa) que cada consumidor impõe ao sistema, torna-se razoável agrupar os mesmos com base na similaridade da curva de carga. Uma importante questão técnica relacionada aos atuais grupos tarifários, o nível de tensão, pode ainda ser mantido desde que os novos agrupamentos se dêem dentro de cada nível de tensão já existente.

Esta proposta de agrupamento tarifário busca também melhorar o relacionamento entre as empresas comercializadoras e os consumidores de energia elétrica. Uma nova

estrutura de tarifa com mais postos tarifários poderia promover a customização dos consumidores da concessionária e, bem trabalhada, serviria de marketing num mercado cada vez mais competitivo. O aumento gradual do mercado de consumidores livres, e cada vez mais exigentes e o potencial de crescimento do mercado de energia elétrica no país, reforçam ainda mais a necessidade da formação de novos grupos tarifários.

Enfim, a formação de agrupamentos de consumidores com base no perfil de carga individual, além de aumentar a oferta de serviços diferenciados com o atendimento personalizado ao consumidor, pode ainda, ser o alicerce de uma nova tarifa de energia elétrica customizada e capaz de promover a melhoria da racionalidade do uso dos recursos energéticos do país.

3.4.1 Levantamento das Curvas de Carga dos Consumidores

Considerando-se que a potência ativa demandada pelo consumidor a cada intervalo de tempo é uma informação suficiente para caracterizar similaridade dos custos impostos por ele ao sistema, pode-se, então, a partir dela desenvolver todo o processo de formação dos grupos tarifários.

Seja através de campanhas de medição ou simplesmente por meio da recuperação de informações de bancos de dados, o levantamento das curvas de carga dos consumidores deve considerar basicamente duas questões:

- Representatividade: se o levantamento de dados não possui todos os consumidores do universo pesquisado, ele deve contar um número de consumidores proporcional à participação de cada segmento no universo;
- Compatibilidade no tempo: não se deve amostrar de forma conjunta dados de diferentes épocas, períodos ou circunstâncias;

A curva de carga de cada consumidor pode e deve ser armazenada no banco de dados com algumas informações adicionais para facilitar futuras análises. As futuras tipologias de carga encontradas poderão se analisadas em função dos segmentos que as compõem entre outras análises. Tem-se a seguir um modelo para o banco de dados.

Tabela 3.7 – Exemplo de Banco de Dados

Data	Informações Adicionais			Potência Demandada (kW)				
	Consumidor	Segmento	Tipo	00:00	00:15	00:30	...	23:45
12/03/03	X ₁	Industrial	Verde	1427	1371	1322	...	1584
12/03/03	X ₂	Residencial	Conv.	2,1	1,8	1,5	...	2,3
12/03/03
12/03/03	X _n	Comercial	Conv.	11	10	9	...	12

3.4.2 Modelagem Matemática da Similaridade dos Perfis de Carga Individuais

Atualmente, todos os consumidores possuem uma classificação dentro do sistema elétrico brasileiro. A metodologia proposta mantém o critério dos níveis de tensão para a formação dos grupos e abandona a subagregação em função da classe de consumo. Ou seja, poderia-se ter então, um número limitado de subgrupos tarifários em função dos perfis de carga típicos existentes dentro de cada faixa de tensão.

Dentro de uma mesma faixa de tensão existem consumidores dos mais diferentes níveis de consumo. Assim, a verificação da similaridade entre eles não pode ser feita simplesmente pela curva de carga real que eles impõem ao sistema. A questão que deve ser levada em conta são as variações desta carga, proporcionais a uma referência padrão (norma), por eles experimentada durante o período de análise. Portanto, as curvas de carga dos consumidores devem primeiramente passar por um processo de normalização.

3.4.2.1 Normalização das Curvas de Carga dos Consumidores

As curvas de carga devem ser agrupadas de acordo com a similaridade dos seus perfis, ou seja de acordo com suas curvas de carga normalizadas. Para isto deve-se dividir cada ponto da curva de carga por uma norma adequada capaz de promover a proximidade das curvas de carga mais similares entre si. Considerando que cada curva de carga como um vetor possuindo um número limitado de valores, pode-se aplicar uma norma de vetores. A seguir são apresentados alguns tipos de normas que podem ser utilizadas (SPIEGEL, 1985). Considerando \underline{x} o vetor representativo de cada curva de carga e i a hora da medição num intervalo de 1 a p , tem -se:

- Norma do somatório: $\|x\|_1 = \sum_{i=1}^p |x_i|$

- Norma Euclidiana: $\|x\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^p |x_i|^2}$
- Norma do valor máximo: $\|x\|_\infty = \underset{i=1 \rightarrow p}{máx} \{x_i\}$

A Figura 3.11 apresenta seis curvas de carga devidamente construídas para formarem três pares de perfis de carga semelhantes. Em virtude dos dados escolhidos como exemplo, espera-se que cada par forme um das tipologias:

- A e B – Tipo 1 – curva de carga mais plana;
- C e D – Tipo 2 – curva de carga com ponta acentuada no início da noite;
- E e F – Tipo 3 – curva de carga com duas pontas (início e fim do dia).

Exemplo Ilustrativo de Curvas de Carga Diárias

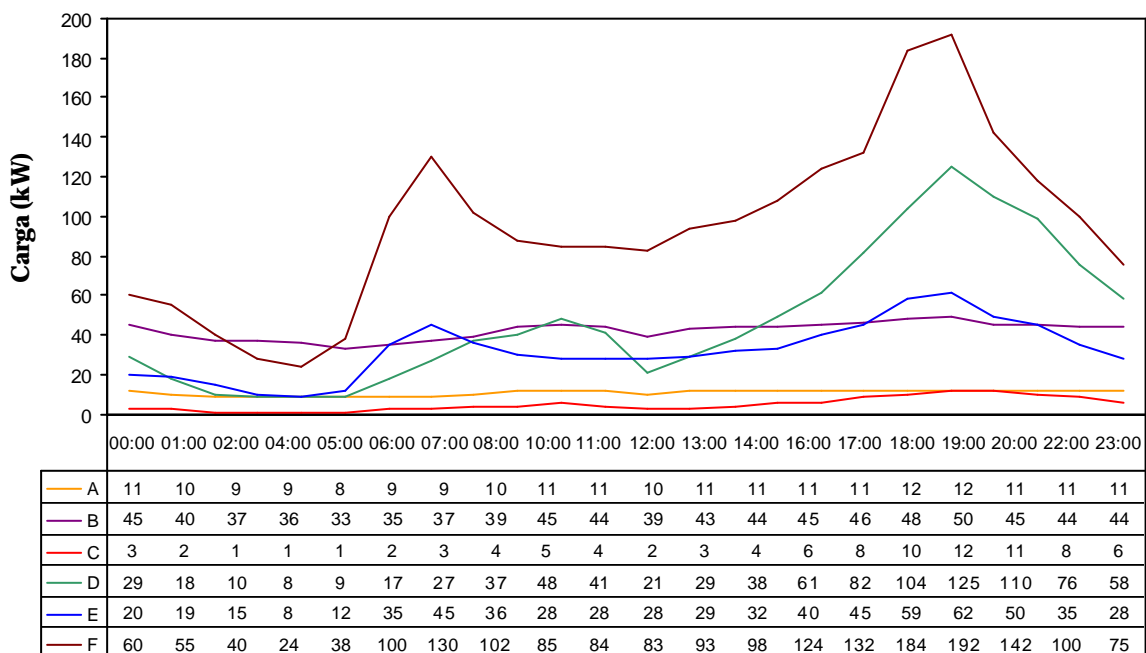


Figura 3.11 – Exemplo Ilustrativo de Curvas de Carga Diárias

Os resultados obtidos para cada norma utilizada mostram as curvas de carga, que antes estavam separadas, com maior ou menor proximidade ao longo do período em função da similaridade e do tipo de norma utilizada.

Além das normas citadas, pode-se ainda avaliar a similaridade dos perfis de carga através da proximidade da distribuição normal padronizada de cada um. Esta é determinada a partir da distribuição normal de probabilidade, apresentada abaixo, com ($\mu = 0$ e $s = 1$)⁹.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s} e^{-\left[\frac{(x-\mu)^2}{2s^2}\right]}$$

Qualquer conjunto de valores de carga (x) pode, então, ser convertido em valores normais padronizados z pelo uso da seguinte equação (KAZMIER, 1982):

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s(x)}, \text{ onde:}$$

\bar{x} é a média dos elementos de x e $s(x)$ é o desvio padrão do vetor x

As quatro maneiras de representação das curvas de carga dos consumidores, de forma normalizada, são graficamente apresentados na Figura 3.12. Observa-se que quanto mais homogênea for a diferença entre os pares mais similares são os perfis de carga dos consumidores.

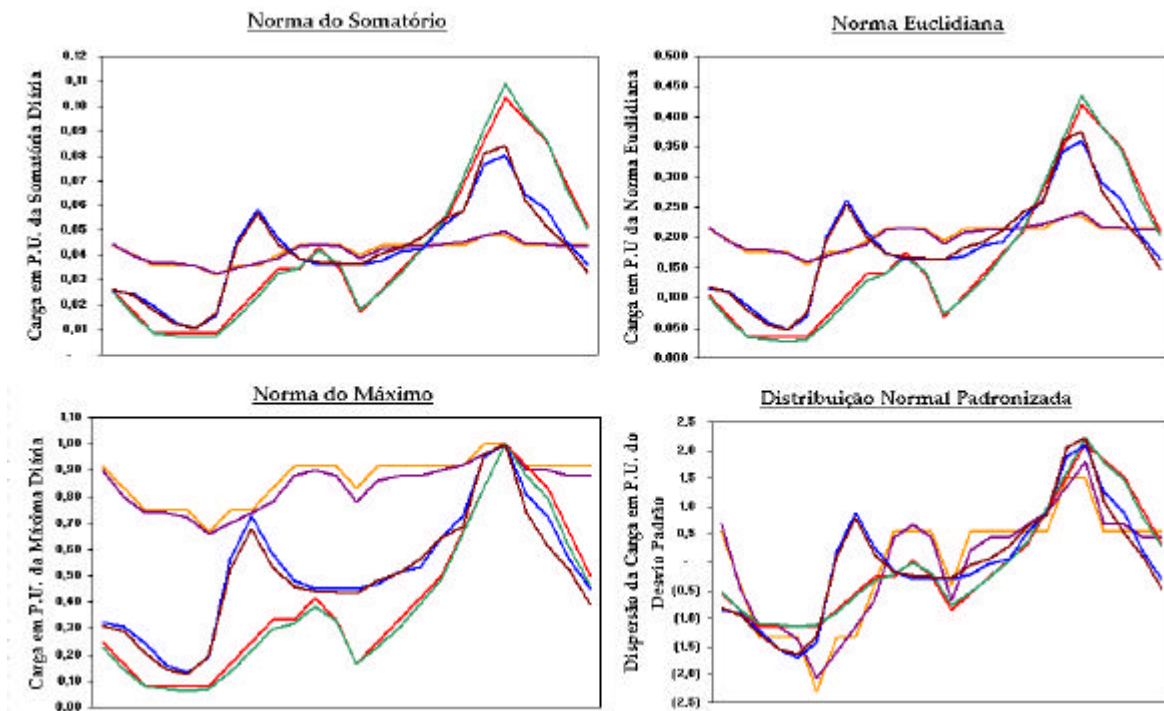


Figura 3.12 – Exemplos de Curvas de Carga Normalizadas

⁹ μ e s – média e desvio padrão da distribuição normal de probabilidade, respectivamente.

3.4.2.2 Medida da Similaridade entre os Perfis de Carga

Cada curva de carga dos consumidores deve passar por um processo de normalização antes de serem agrupadas. Seja através da divisão de cada elemento do vetor x por uma de suas normas, ou seja pela aplicação da distribuição normal padronizada, a nova representação da curva de carga, doravante chamada apenas de perfil de carga individual (PCI) de cada consumidor, é que deve ser considerada para o cálculo da similaridade nas suas imposição de custos ao sistema.

As curvas de carga que impõem custos similares ao sistema possuem PCI's num lugar geométrico distinto das demais curvas. Quanto mais homogênea for a distância geométrica, ponto a ponto, de dois PCI's, maior será a similaridade dos seus consumos. Assim, quanto menor o desvio padrão da distância geométrica, ponto a ponto, de dois PCI's mais similares são os respectivos consumos.

Notando-se o vetor representativo do PCI dos consumidores por pci , tem-se a medida da similaridade entre os consumidores 1 e 2, ou desvio padrão de similaridade entre eles (s), dada por:

$$s_{1,2} = s \left(pci_{1,i} - pci_{2,i} \right)_{i=0 \rightarrow p}$$

A qualidade deste desvio padrão para a medida da similaridade dos consumos depende do processo de normalização ou transformação utilizado. Para a amostra de dados da Figura 3.11 pôde-se avaliar quais normas apresentaram melhores resultados para medir a similaridade entre os perfis de consumo. Para cada par de PCI's cada um dos quatro processos apresentados revela um desvio padrão de similaridade. Os melhores processos são aqueles com menor desvio padrão de similaridade em relação à média das distâncias encontradas entre as PCI's. Esta última divisão objetiva verificar o desvio não de forma absoluta, mas sim em relação à ordem de grandeza dos PCI's.

A Tabela 3.8 ilustra os testes de sensibilidade do desvio padrão de similaridade para cada processo.

Tabela 3.8 – Testes de Sensibilidade do Desvio Padrão de Similaridade

	Norma do Somatório			Norma Euclidiana			Norma do Máximo			Standard		
	A-B	C-D	E-F	A-B	C-D	E-F	A-B	C-D	E-F	A-B	C-D	E-F
00:00	0,0006	0,0005	0,0004	0,0028	0,0037	0,0012	0,0167	0,0180	0,0101	0,1192	0,0066	0,0411
01:00	0,0004	0,0015	0,0006	0,0018	0,0071	0,0028	0,0333	0,0227	0,0200	0,0690	0,0126	0,0042
02:00	0,0007	0,0001	0,0019	0,0032	0,0001	0,0089	0,0100	0,0033	0,0336	0,1956	0,0544	0,0703
03:00	0,0007	0,0008	0,0007	0,0032	0,0035	0,0033	0,0100	0,0113	0,0155	0,1956	0,0296	0,0027
04:00	0,0009	0,0016	0,0001	0,0016	0,0070	0,0005	0,0300	0,0193	0,0040	0,0307	0,0031	0,0504
05:00	0,0007	0,0008	0,0011	0,0034	0,0035	0,0046	0,0067	0,0113	0,0044	0,2338	0,0256	0,0935
06:00	0,0013	0,0024	0,0015	0,0065	0,0106	0,0077	0,0500	0,0307	0,0437	0,2571	0,0413	0,0858
07:00	0,0007	0,0023	0,0013	0,0032	0,0106	0,0071	0,0100	0,0340	0,0467	0,1956	0,0508	0,0935
08:00	0,0013	0,0022	0,0020	0,0066	0,0107	0,0090	0,0533	0,0373	0,0494	0,2953	0,0503	0,1097
09:00	0,0004	0,0005	0,0003	0,0020	0,0003	0,0021	0,0367	0,0133	0,0255	0,1072	0,0259	0,0127
10:00	0,0006	0,0012	0,0010	0,0028	0,0073	0,0036	0,0167	0,0327	0,0089	0,1192	0,0411	0,0580
11:00	0,0004	0,0013	0,0005	0,0020	0,0032	0,0017	0,0367	0,0053	0,0141	0,1072	0,0546	0,0349
12:00	0,0013	0,0011	0,0001	0,0066	0,0033	0,0003	0,0533	0,0013	0,0193	0,2953	0,0736	0,0119
13:00	0,0014	0,0005	0,0032	0,0068	0,0037	0,0136	0,0567	0,0180	0,0166	0,3336	0,0066	0,1726
14:00	0,0004	0,0013	0,0015	0,0020	0,0072	0,0058	0,0367	0,0293	0,0057	0,1072	0,0316	0,0760
15:00	0,0004	0,0003	0,0046	0,0020	0,0038	0,0196	0,0367	0,0247	0,0302	0,1072	0,0124	0,2367
16:00	0,0006	0,0016	0,0025	0,0028	0,0031	0,0102	0,0167	0,0120	0,0007	0,1192	0,0356	0,1179
17:00	0,0016	0,0027	0,0005	0,0077	0,0064	0,0032	0,0033	0,0107	0,0363	0,3455	0,0453	0,0474
18:00	0,0004	0,0048	0,0042	0,0022	0,0133	0,0172	0,0400	0,0013	0,0067	0,1454	0,0537	0,1724
19:00	0,0016	0,0057	0,0038	0,0075	0,0166	0,0155	0,0000	0,0000	0,0000	0,3073	0,0934	0,1470
20:00	0,0006	0,0012	0,0026	0,0028	0,0007	0,0127	0,0167	0,0367	0,0669	0,1192	0,0406	0,1666
21:00	0,0006	0,0003	0,0066	0,0028	0,0042	0,0306	0,0167	0,0413	0,1112	0,1192	0,0589	0,3703
22:00	0,0004	0,0025	0,0015	0,0020	0,0145	0,0077	0,0367	0,0587	0,0437	0,1072	0,1270	0,0858
23:00	0,0004	0,0011	0,0034	0,0020	0,0074	0,0160	0,0367	0,0360	0,0610	0,1072	0,0506	0,1727
μ	0,0007	0,0016	0,0019	0,0036	0,0063	0,0066	0,0275	0,0212	0,0263	0,1724	0,0443	0,1016
σ	0,0004	0,0013	0,0017	0,0021	0,0045	0,0074	0,0170	0,0151	0,0263	0,0904	0,0297	0,0649
σ/μ	0,5741	0,8451	0,8715	0,5699	0,7040	0,8607	0,6194	0,7139	0,9324	0,5244	0,6717	0,8354
$\Sigma(\sigma/\mu)$		2,2907			2,1347			2,2656			2,0315	

Apesar da simplicidade do exemplo apresentado, com perfis de carga nitidamente próximos (Figura 3.12), pôde-se reforçar a norma Euclidiana e a distribuição normal padronizada como os processos mais adequados para a determinação da similaridade dos PCI's dos consumidores devido aos menores desvios proporcionais apresentados.

3.4.2.3 Matriz de Similaridade

Dado um conjunto com n curvas de carga de consumidores, onde pretende-se definir os agrupamentos por perfil de carga individual, pode-se determinar, através de um dos quatro processos apresentados na seção anterior, os desvios padrões de similaridade entre cada par de curvas e assim construir a matriz dos desvios ou matriz de similaridade.

Cada elemento da matriz de similaridade, MS_{ij} , traz o desvio padrão de similaridade, $s_{j,i}$, entre o consumidor da linha i e o consumidor da coluna j. Verifica-se ainda que toda matriz de similaridade tem sua diagonal principal nula e é simétrica em relação à mesma pois:

$$s_{i,j} = s_{j,i} \quad e \quad s_{i,i} = 0$$

A matriz de similaridade pode ser representada pela seguinte expressão:

$$MS = \begin{bmatrix} s_{1,1} & s_{1,2} & \cdots & s_{1,j} & \cdots & s_{1,n} \\ s_{2,1} & s_{2,2} & \cdots & s_{2,j} & \cdots & s_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{i,1} & s_{i,2} & \cdots & s_{i,j} & \cdots & s_{i,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n,1} & s_{n,2} & \cdots & s_{n,j} & \cdots & s_{n,n} \end{bmatrix}$$

A matriz de similaridade possui as informações sobre todos os relacionamentos possíveis entre os perfis de consumo individuais, tornando-se assim a informação mais importante do processo de criação dos agrupamentos. A sua representação gráfica pode ser obtida no espaço como uma função discreta de duas variáveis, o par de consumidores i e j , com o Eixo Z representando o desvio padrão de similaridade entre eles¹⁰. A Figura 3.13 traz o gráfico representativo da matriz de desvio padrão para o exemplo, juntamente com um plano de referência para o desvio padrão igual à unidade. Pode-se observar o pequeno grau de similaridade entre os vários pares de consumidores possíveis.

Representação Espacial da Matriz de Similaridade

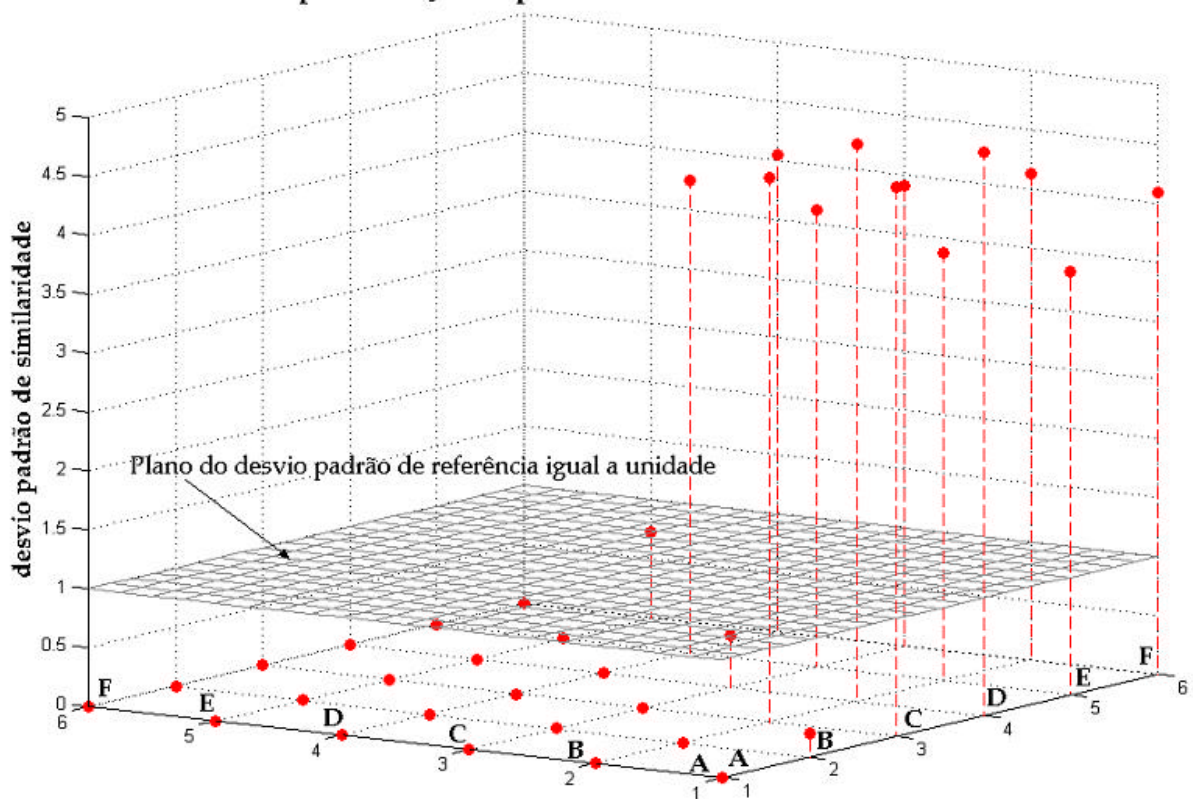


Figura 3.13 – Representação Espacial da Matriz de Similaridade

¹⁰ Eixo Z multiplicado por 100 devido aos pequenos desvios de similaridade encontrados

3.4.3 Processo de Criação dos Agrupamentos

A partir do momento em que são conhecidas as relações de similaridade entre todos os pares possíveis de perfis de carga de um universo de consumidores, pode-se então promover um processo capaz de agrupar os clientes com maior similaridade. O processo deve ainda permitir algum controle sobre a quantidade de agrupamentos encontrados, que pode ser fixada ou não.

O processo de formação de grupos de consumidores recai na teoria de análises de agrupamentos ou “*Cluster Analysis*”, que é bastante abrangente com implicações nos mais variados campos do conhecimento como: Biologia, Geografia, Genética, Ciências da Computação, Engenharia entre outras (ANDERBERG, 1973).

Existem basicamente dois métodos de clusterização:

- a) Métodos Hierárquicos: trabalham a matriz de similaridade para construir uma árvore de relacionamentos entre os consumidores. As extremidades da árvore representam cada consumidor, e a raiz um grupo equivalente de todos eles. Movendo-se dos extremos para a raiz pode-se reduzir gradativamente o número de clusters formados. Assim, nestes métodos pode-se determinar previamente o número de clusters desejado. Destacam-se aqui os seguintes métodos: das ligações, dos núcleos, da soma dos erros quadráticos e os métodos de variância.
- b) Métodos Não Hierárquicos: consistem basicamente na escolha de um grupo inicial de consumidores, que formam os clusters iniciais, e que, a cada interação são acrescidos, “naturalmente”, de outros consumidores. Geralmente o número de clusters é definido no decorrer do processo e não pode ser realizada previamente.

Uma breve descrição dos métodos utilizados para a formação dos grupos de curvas de carga similares, também conhecida como formas fortes, utilizados na “Nova Tarifa de Energia Elétrica” da década de 80 (BRASIL, 1985), e as duas etapas da metodologia implementada neste trabalho, dos tipos b e a respectivamente, são apresentados nas próximas seções.

3.4.3.1 Métodos de Clusterização dos Programas NUDYC e DESCR 2

O Método das Nuvens Dinâmicas – NUDYC (BRASIL, 1985), define as Formas Fortes de uma população de consumidores a ser classificada de forma não hierárquica. Primeiramente são definidos quantos núcleos e quais os seus elementos (consumidores) para dar partida ao processo. Inicia-se então um processo iterativo onde cada iteração decompõe-se em duas etapas:

- a) formação dos grupos a partir dos núcleos: cada núcleo atrai os consumidores com maior similaridade, que pode ser medida de três maneiras: distância euclidiana simples, distância euclidiana ponderada, ou a distância X^2 .
- b) escolha de um novo sistema de núcleos (melhor que o anterior) para os grupos escolhidos: os novos núcleos são os mais próximos ao centróide¹¹ de cada grupo.

Esse processo converge ao término de um certo número de iterações, quando os novos grupos já não se modificam em relação os anteriores. O processo iniciado com a escolha dos núcleos e findado na convergência dos grupos é chamado de experiência. É evidente que os grupos encontrados a cada experiência dependem do sistema inicial de núcleos. Assim, são considerados para a formação dos grupos, apenas aqueles consumidores que se mantiverem juntos em um número pré-determinado de experiências.

Em seguida, uma lista argumentos é passada ao programa DESCR 2 que pode realizar as seguintes funções:

- i) Descrição das características de uma tipologia segundo qualquer variável relacionada, como por exemplo: segmento, região, classe de consumo, etc.;
- ii) Reagrupamentos dos grupos encontrados no NUDYC, com possibilidade de descrição dos tipos obtidos a cada reagrupamento.

Objetivando uma redução no número de grupos formados no primeiro programa, o DESCR 2 realiza uma classificação hierárquica ascendente dos tipos baseado no critério de maximização do momento de segunda ordem de uma partição (BRASIL, 1985).

¹¹ Consumidor imaginário cuja distância aos consumidores do grupo é mínima.

Resumindo, o primeiro programa encontra, naturalmente, os grupos de consumidores mais similares através de uma clusterização não hierárquica e o segundo programa define, a partir deles, hierarquicamente, quantos grupos devem ser formados.

3.4.3.2 Método da Validação Gradativa dos Elementos da Matriz de Similaridade

A primeira etapa da metodologia objetiva a formação natural dos agrupamentos, ou seja, de forma não hierárquica, com base nas informações de proximidade entre os consumidores contidas na matriz de similaridade.

Os parâmetros iniciais do método são os desvios padrões de referência para a matriz de desvio padrão:

- S_MIN: Define o desvio de similaridade mínimo para a validação dos elementos da matriz de similaridade. É o plano mais baixo na representação gráfica da Figura 3.14 durante o processo iterativo. Os elementos abaixo deste plano formarão os núcleos iniciais do processo.
- S_MAX: Define o desvio de similaridade máximo para a aceitação dos elementos da matriz de similaridade. Portanto se um consumidor possuir em sua linha ou coluna da matriz de similaridade, somente elementos acima deste plano, ele será isolado.
- S_PASSO: Define o acréscimo ao S_MIN que deve ser dado quando todos os consumidores não grupados já tiverem sido testados, e o S_MIN ainda for menor que o S_MAX. Quanto menor o passo mais precisa será a formação dos agrupamentos e mais tempo de processamento será exigido.
- N: número de experiências¹² desejadas. Quanto maior o número de experiências maior será a garantia da formação legítima dos agrupamentos e mais tempo de processamento será exigido.

¹² Um ciclo do método não hierárquico, da reordenação das linhas até a formação dos agrupamentos.

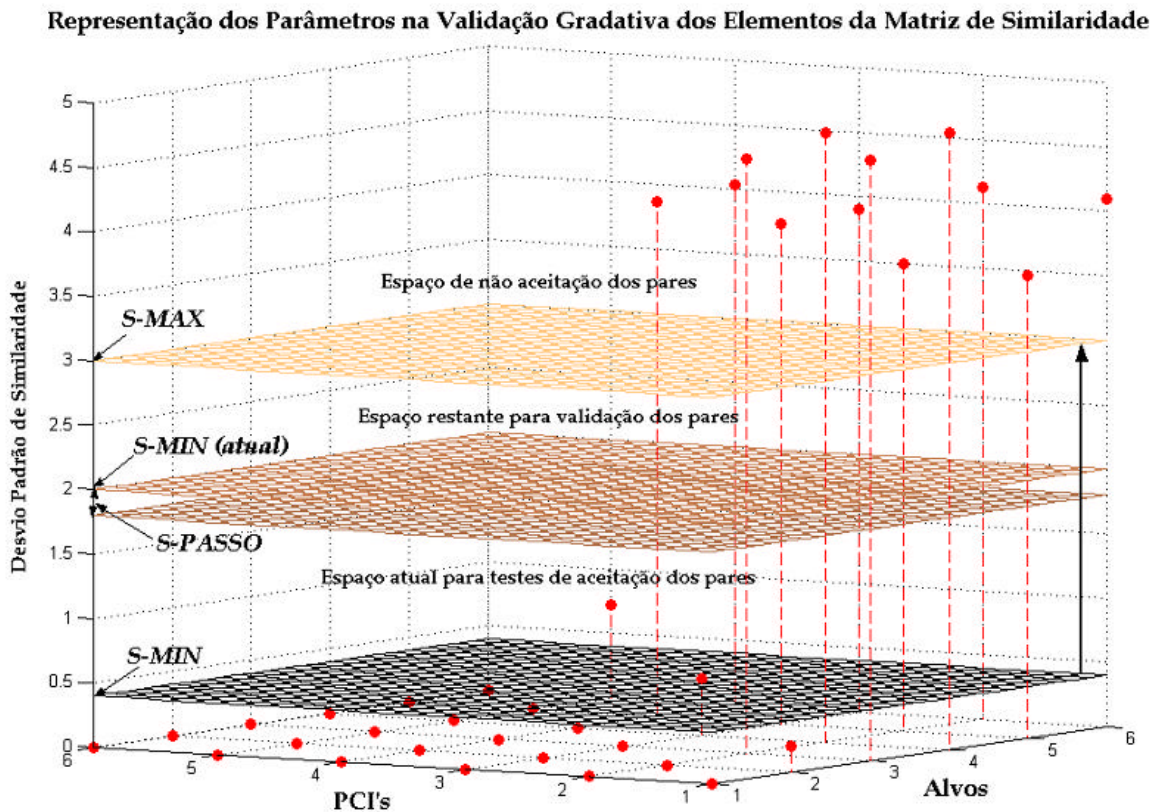


Figura 3.14 – Representação dos Parâmetros do Método de Validação Gradativa da MS

De acordo com a Figura 3.14, o método inicia-se com um S_MIN em 0,4, validando apenas o par 1-2 que está com desvio de similaridade abaixo do plano de S_MIN. A medida que o método evolui, os pares 3-4 e 5-6 são validados para formação de agrupamentos. Os demais pares acima de S_MAX não possuem similaridade suficiente para formar agrupamentos. O método se desenvolve nos seguintes passos:

- i) Ordenação randômica das linhas da matriz de similaridade: a cada nova experiência deve-se trocar a ordem dos consumidores que pode, ou não, alterar os agrupamentos encontrados;
- ii) Cada PCI da matriz é testado¹³ quanto a possibilidade de formar agrupamento, ser agrupado em agrupamento existente, ou ser enviado para o vetor denominado isolado. A definição depende se no atual estado

¹³ Tentativa de formação de pares de consumidores dentro da região válida da MS.

do processo iterativo, o PCI i^{14} possui um S^{15} menor que o S_MAX , então o PCI i não seria isolado, e dependendo do seu valor para os alvos¹⁶ já agrupados e/ou não agrupados o PCI i toma seu destino;

- iii) Se o PCI i possui um S_{ij} em relação ao melhor alvo já agrupado menor que o S_MIN atual, então ele será alocado no mesmo agrupamento do seu alvo;
- iv) Se o PCI i possui um S_{ij} em relação ao melhor alvo não agrupado menor que o S_MIN atual, ele formará com ele um novo agrupamento (novo núcleo);
- v) Se as condições iii e iv não ocorrerem troca-se o PCI i pelo próximo da lista dos não agrupados;
- vi) Se todos os PCI's já foram testados, então aumenta-se o S_MIN de um S_PASSO , e retomam-se os testes a partir do primeiro da lista.
- vii) Quando todos os PCI's já estão agrupados encerra-se a experiência e volta-se quantas vezes for necessário ao passo i), para uma nova experiência.

A cada nova experiência, faz-se uma verificação dos agrupamentos que se mantiveram constantes durante todas as experiências (genuínos). Utiliza-se uma matriz de agrupamentos (AG), onde cada linha representa os PCI's que compõem um agrupamento. A primeira coluna de AG armazena os núcleos de cada agrupamento para servirem de guia na subrotina de averiguação dos agrupamentos genuínos.

As Figuras 3.15 apresentam os fluxogramas do método da validação gradativa dos elementos da matriz de similaridade, onde:

- PCI i : Perfil de Carga Individual que atualmente está sendo testado;
- ALVO j : Um dos PCI's possíveis para formar de um par com o PCI i ;
- S_NA : Menor desvio padrão de similaridade entre o PCI i e um ALVO j que ainda não foi agrupado;

¹⁴ Perfil de Carga Individual que está sendo testado.

¹⁵ Desvio de Similaridade

¹⁶ Conjunto de PCI's com desvio de similaridade menor que S_MAX para o PCI i

- $S_{J\acute{A}}$: Menor desvio padrão de similaridade entre o PCI i e um ALVO j que já foi agrupado;

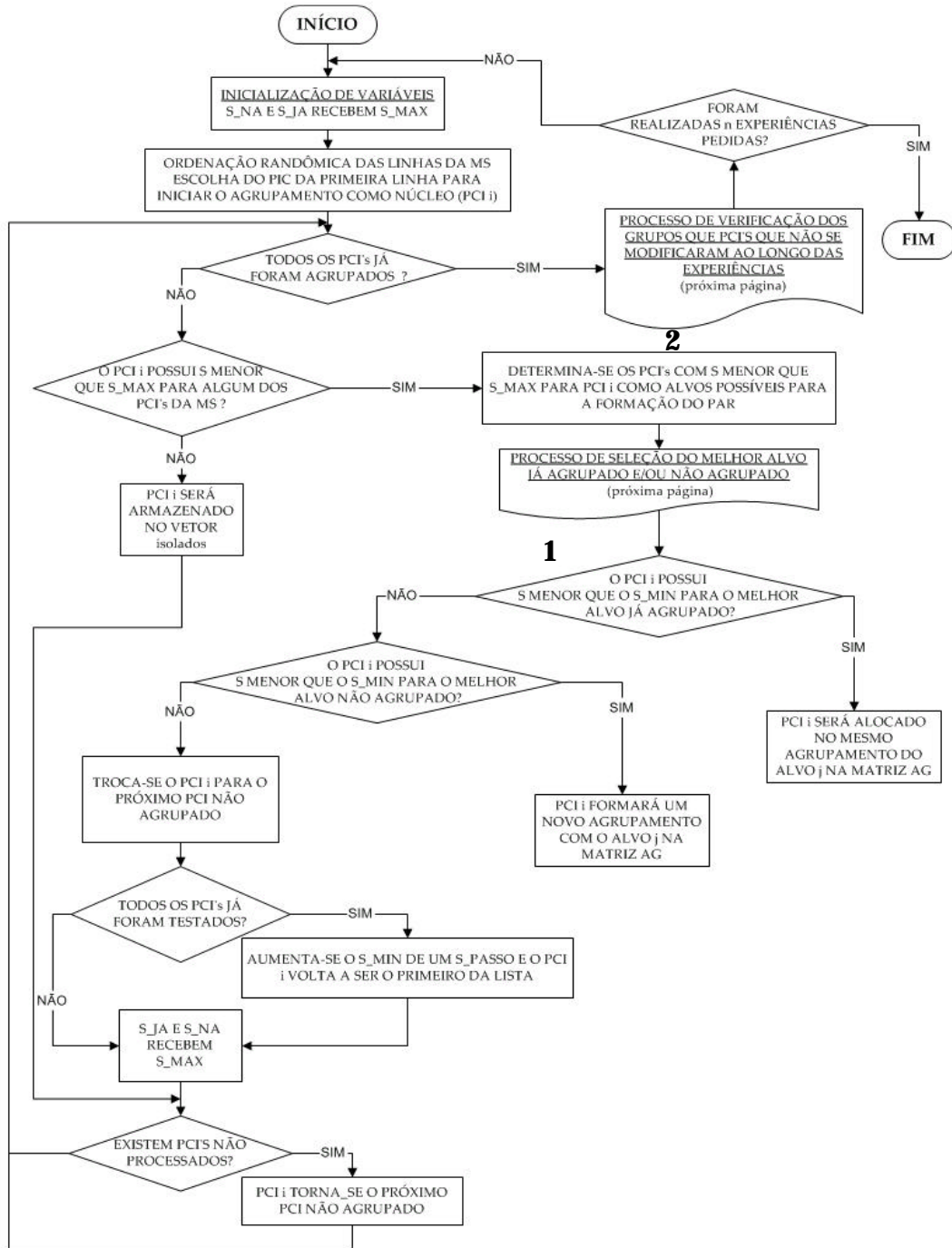


Figura 3.15 (a) – Fluxograma Principal da Validação Gradativa dos Elementos da MS

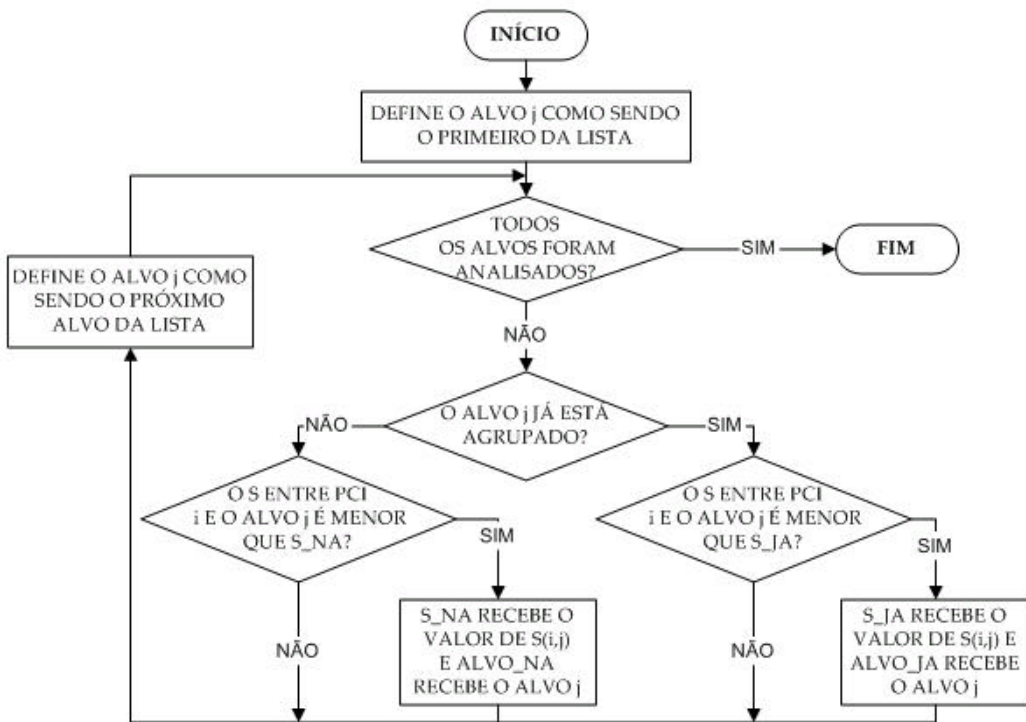


Figura 3.15 (b) - Fluxograma da Subrotina de Seleção dos Melhores Alvos

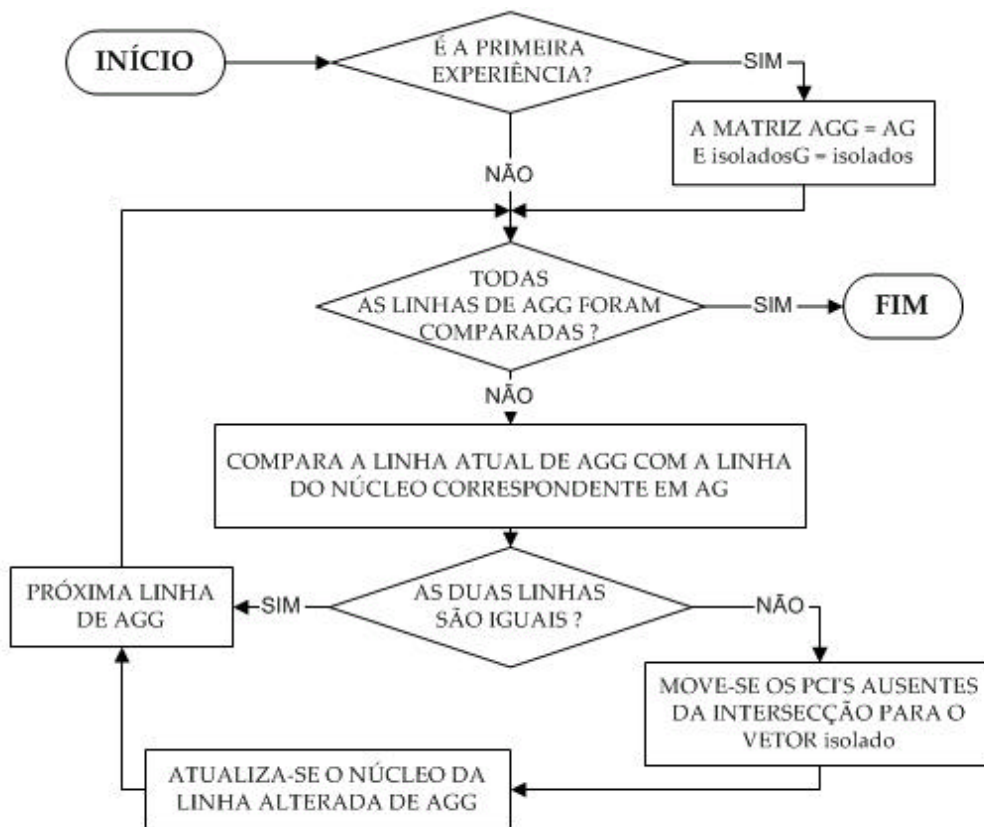


Figura 3.15 (c) - Fluxograma da Subrotina de Apuração dos Agrupamentos Genuínos

Os resultados finais da primeira etapa na formação dos agrupamentos de consumidores são:

- Os agrupamentos genuínos de consumidores (núcleos da segunda etapa);
- A lista de consumidores ainda sem agrupamento definido (isolados).

Essas informações, contidas na matriz AGG¹⁷, formam os dados de entrada da segunda etapa no processo de formação de agrupamentos de consumidores, onde poderão ser definidos o número de agrupamentos desejados e o número mínimo de elementos em cada um.

3.4.3.3 Método dos Cortes na Árvore de Similaridade

A segunda etapa no processo de formação dos agrupamentos de consumidores inicia-se com a formação da árvore de similaridade a partir dos resultados da primeira etapa. A árvore é formada nas suas ramificações extremas pelos grupos genuínos e consumidores isolados, que vão formando ramos maiores à medida que a tolerância de similaridade entre eles vai diminuindo (Figura 3.16).

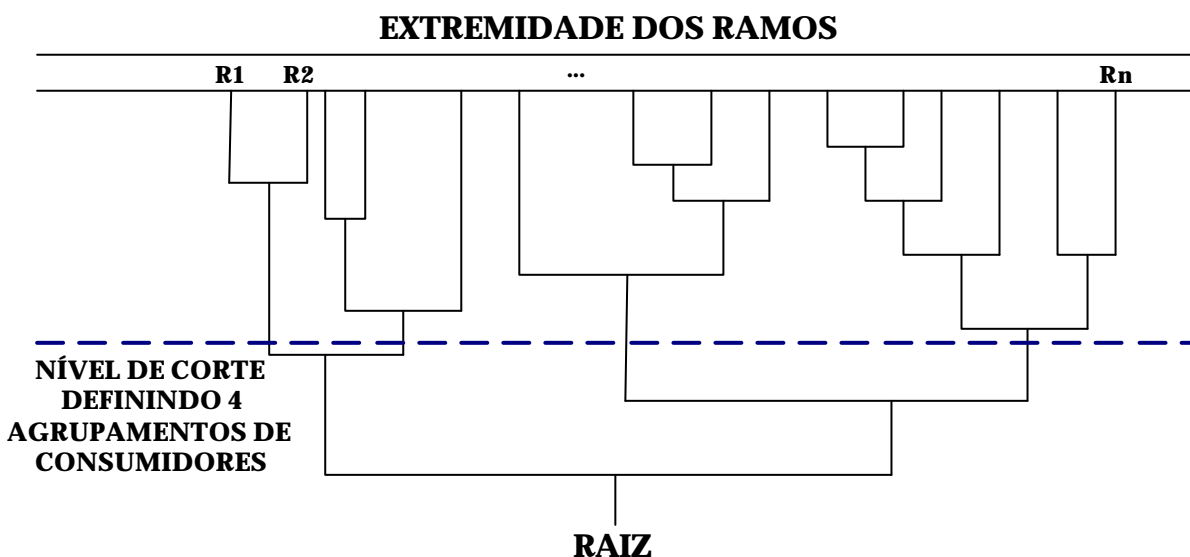


Figura 3.16 – Árvore de Similaridade

¹⁷ Matriz de Agrupamentos Genuínos

O método considera cada ramo da árvore como sendo um perfil de consumo individual equivalente. Quando se tratar de um consumidor isolado o PCI equivalente será o próprio PCI do consumidor. Mas quando se tratar de um agrupamento genuíno, o PCI equivalente deverá ser aquele do consumidor mais representativo do núcleo. O critério utilizado para essa representatividade é o menor desvio padrão de similaridade obtido para os demais componentes do núcleo. Assim, sempre um PCI do núcleo deverá representá-lo na árvore de similaridade.

Inicialmente a árvore de similaridade possui n ramos, equivalentes à soma do número de agrupamentos genuínos mais a quantidade de consumidores isolados do primeiro método. Passa-se então às seguintes etapas:

- i) A árvore passa a ser representada por uma matriz AR, onde cada linha é um ramo ou PCI (núcleo) da linha correspondente de AGG;
- ii) Formação da matriz de similaridade entre os ramos – MSR;
- iii) Verificação de qual par de ramos, entre todos considerados, possui menor desvio padrão de similaridade entre seus núcleos – mínimo de MSR;
- iv) Os ramos a e b escolhidos podem seguir três situações possíveis:
 - Redução de um agrupamento de AGG através da união dos ramos a e b advindos de agrupamentos existentes em AGG;
 - Acréscimo de um agrupamento em AGG através da união dos ramos a e b advindos do vetor isoladosG;
 - Manutenção do número de agrupamentos de AGG, pois os ramos a e b pertencem um à matriz AGG e o outro ao vetor isoladosG.
- v) Reorganização da Matriz AGG e de isoladosG de acordo com o par a e b definido;
- vi) Eleição dos possíveis novos núcleos em AGG, baseado no mesmo critério de representatividade inicial;
- vii) Reconfiguração da árvore modificada¹⁸.

¹⁸ Árvore com menos um ramo (união de dois ramos de agrupamentos) ou com mais um ramo (alocação de um PCI isolado em um ramo de agrupamento ou novo agrupamento formado à partir de dois PCI's isolados).

- viii) Volta-se ao passo i), até que a matriz AGG contenha um número de linhas, com o mínimo de elementos, igual ao número de agrupamentos desejados.

A Figura 3.17 apresenta o Fluxograma do método da clusterização pela representatividade dos PCI's dos núcleos e dos PCI's Isolados.

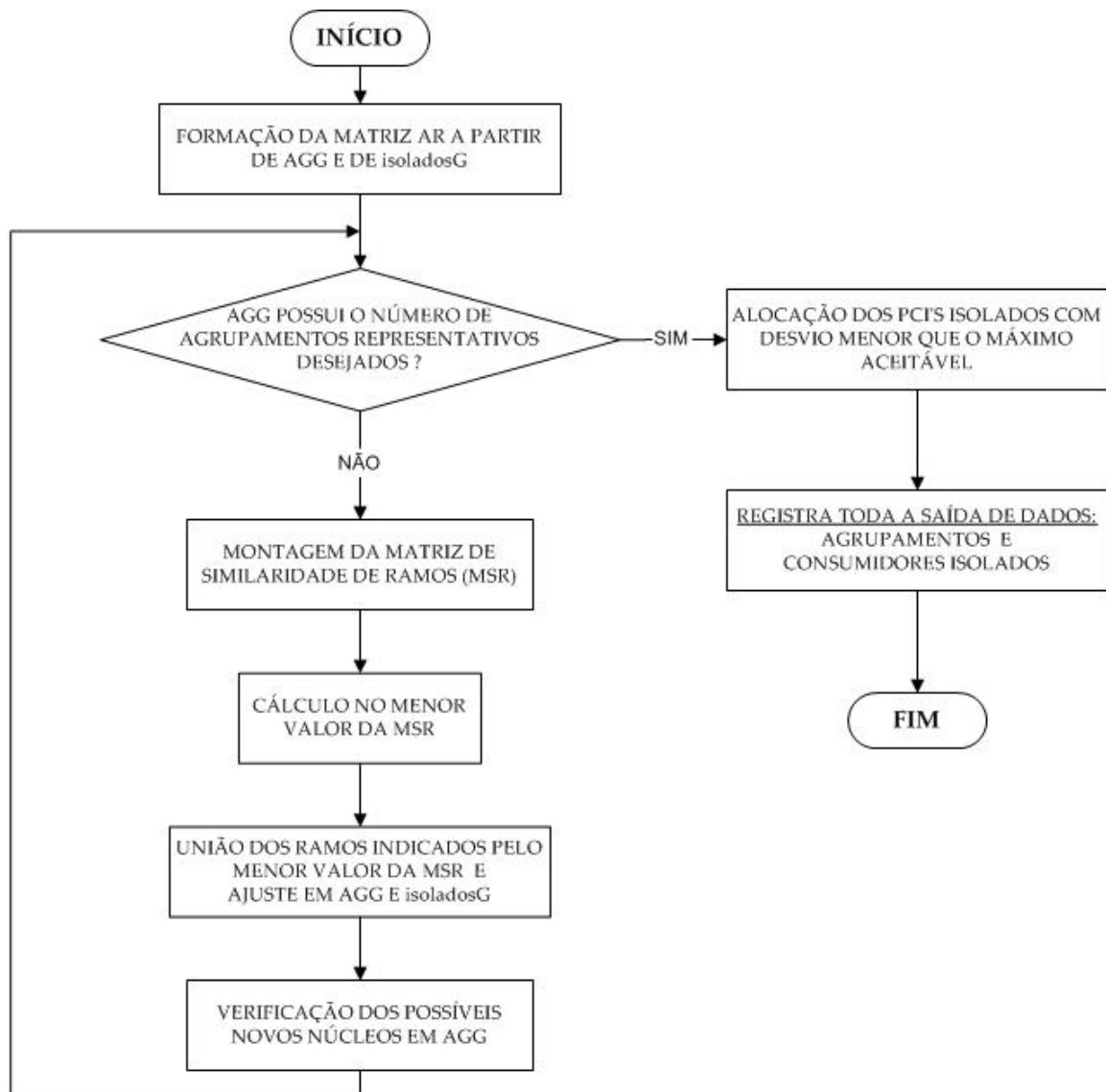


Figura 3.17 - Fluxograma da Clusterização Hierárquica da Árvore de Agrupamentos

Portanto ao final dos dois métodos apresentados, consegue-se identificar os agrupamentos de consumidores com perfil de carga individual mais similares. A concessionária de energia elétrica pode, aproveitando este conhecimento, desenvolver um conjunto de ações estratégicas, das quais destaca-se a elaboração de novas estruturas tarifárias.

3.5 CONCLUSÕES

A formação de agrupamentos de consumidores objetivando a tarifação desenvolveu-se à medida que o comportamento do consumidor exigia do sistema elétrico condições de atendimento próximas do seu limite. Quando o fator de simultaneidade no uso do sistema aumentou, passou-se a cobrar, além da energia, a demanda de potência, criando-se a tarifa binômia. A passagem dos custos diferenciados de atendimento ao consumidor para as tarifas se deu na década de 80 com a tarifação horo-sazonal.

Os últimos estudos de caracterização nacional da carga dos consumidores foram realizados a quase duas décadas e precisam ser desenvolvidos novamente, sob a pena de continuarmos utilizando uma estrutura tarifária cada vez menos eficaz.

A metodologia para formação dos agrupamentos utilizada na implementação da tarifação horo-sazonal, tem em uma de suas etapas a descoberta das formas fortes das curvas de carga, bastante semelhante a metodologia proposta, que poderia até ser utilizada em novos estudos de caracterização de carga como fator determinante para a construção da estrutura tarifária.

A validação gradativa dos elementos da matriz de similaridade, juntamente com os cortes na árvore de similaridade constituem-se numa metodologia robusta para a descoberta das curvas de carga mais similares, possibilitando, de forma rápida, a obtenção dos agrupamentos de consumidores existentes num dado conjunto.

Com os resultados obtidos no capítulo 4 comprovam-se a qualidade e a robustez da metodologia proposta.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

4.1 INTRODUÇÃO

A apresentação da evolução das questões regulatórias e metodológicas relacionadas ao uso mais racional da energia elétrica no Brasil, realizada no Capítulo 2, não deixa dúvidas sobre a necessidade de aprimoramento das políticas tarifárias para a energia elétrica no país. Apresentou-se no Capítulo 3, um dos caminhos possíveis para a melhoria das atuais estruturas tarifárias, através da formação de agrupamentos de consumidores baseada nos perfis de consumo individuais. Portanto, torna-se indispensável para este trabalho a apresentação de um estudo de caso com consumidores reais ligados ao sistema elétrico.

O Capítulo 4 tem por objetivo apresentar como a metodologia proposta no capítulo anterior, e implementada em ambiente computacional, forma os agrupamentos de uma amostra dos consumidores que pertencem ao Subgrupo A4 da CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina. Desenvolve-se ainda uma análise dos agrupamentos formados e a estratificação das tipologias encontradas.

4.2 FORMULAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A formação de agrupamentos de consumidores, segundo a proposta apresentada, depende fundamentalmente do conhecimento da curva de carga dos consumidores. Assim, foi solicitado à CELESC curvas de carga de consumidores que já possuíam medidores de demanda, ou seja, que estão enquadrados nas tarifas horo-sazonais. Os consumidores do Subgrupo A4 foram escolhidos como objeto de estudo pelos seguintes motivos:

- O nível de tensão de fornecimento, entre 2,3 kV e 25 kV, possui a maioria dos consumidores (99,4%) do Grupo A dentro da concessionária;
- Até a data da coleta dos dados, 30 de março de 2003, o Subgrupo A4 contava com 36,7% dos seus consumidores enquadrados nas tarifas não convencionais, e portanto com curvas de carga conhecidas.
- A diversidade de atividades econômicas presentes neste subgrupo possibilita melhores análises na estratificação dos agrupamentos formados.
- A concessionária forneceu um banco de dados com 1.065 curvas da carga de consumidores do Subgrupo A4 para três dias de uma mesma semana (quarta-feira, sábado e domingo) tomada como referência. Para os estudos de caso foram utilizadas as curvas de carga do dia útil, devido ao maior nível de consumo.

Após uma varredura sobre quais registradores¹⁹ possuíam dados confiáveis para as três datas consideradas, formou-se um banco de dados com 943 curvas de carga de consumidores para cada um dos três dias. Esta amostra equivale a mais de 12,5% do universo de consumidores do Subgrupo A4 da CELESC.

A partir das 943 curvas de carga fornecidas pela concessionária, foi realizada uma classificação de acordo com a demanda média diária de cada consumidor. Os consumidores foram separados por níveis de demanda para que a formação de agrupamentos não se desenvolvesse com consumidores de demandas muito diferentes.

Em seguida definiram-se as faixas de demanda de modo similar àquela feita pelo DNAEE na Análise da Média Tensão em 1983 (BRASIL, 1985).

A Tabela 4.1 apresenta as características de consumo de cada uma das faixas de demanda do Subgrupo A4 da concessionária. Pode-se observar a maior participação no consumo e os mais altos fatores de carga nas faixas de demanda mais elevadas. À medida que se considera as faixas de demanda mais baixas, cresce o número de consumidores mas diminui a sua participação no consumo e o fator de carga por eles apresentado.

**Tabela 4.1 – Divisão do Consumo, da Demanda e do Fator de Carga
por Faixas do Subgrupo A4 (CELESC)**

Faixa de Demanda (kW)	Nº de Cons.	% do Nº Cons.	Demanda Média (kW)	Demanda Média Agregada		Demanda Máxima Agregada		FC Diário	FC Diário Acum.	Consumo Diário		Consumo Diário Acumulado	
				MW	%	MW	%			MWh	%	MWh	%
acima de 1.000	45	4,8	2.397,0	107.863	50,8	123.967	44,5	0,870	0,870	2.589	50,8	2.589	50,8
de 500 a 1.000	45	4,8	669,5	30.126	14,2	39.879	14,3	0,755	0,845	723	14,2	3.312	65,0
de 200 a 500	112	11,9	309,8	34.700	16,3	48.128	17,3	0,721	0,820	833	16,3	4.145	81,3
de 100 a 200	136	14,4	142,5	19.387	9,1	30.641	11,0	0,633	0,801	465	9,1	4.610	90,4
de 50 a 100	152	16,1	67,9	10.323	4,9	17.175	6,2	0,601	0,791	248	4,9	4.858	95,3
menos de 50	453	48,0	22,1	9.991	4,7	18.829	6,8	0,531	0,779	240	4,7	5.097	100,0
TOTAL	943	100,0	225,2	212.390	100,0	278.619	100,0	0,779		5097			

Para os estudos de caso, foram escolhidas duas faixas de demanda para serem utilizadas na formação dos agrupamentos de consumidores com base no perfil de carga individual:

- i) A primeira, com 90 consumidores de demanda acima de 500 kW e responsáveis por cerca de 65% do consumo da amostra.
- ii) A segunda, com 352 consumidores de demanda entre 10 e 50 kW representando 37,3% dos consumidores da amostra do subgrupo. Evitou-se a utilização das curvas de carga com demanda média abaixo de 10 kW, em virtude dos dados de demanda fornecidos estarem com valores inteiros, ou seja, uma demanda real de 1,100 kW ou de 1,499 kW estavam representadas da mesma maneira, ou seja, 1 kW. Essa simplificação do banco de dados acaba por influenciar, erroneamente, o processo de normalização dos pequenos consumidores.

¹⁹ Equipamentos de medição de demanda individuais

Os resultados apresentados neste capítulo, para as duas faixas de demanda escolhidas, são apresentados na seguinte ordem:

- a) A escolha e justificativa dos parâmetros utilizados nos método de clusterização e a forma com que eles evoluíram para a obtenção dos agrupamentos de consumidores;
- b) Apresentação dos agrupamentos de consumidores encontrados. Identificam-se, ainda, as formas fortes e a tipologia de cada agrupamento formado;
- c) Finalmente, realiza-se uma estratificação de cada agrupamento em relação às atividades econômicas e tipo de tarifa horo-sazonal utilizada.

4.3 ASPECTOS GERAIS DO PROGRAMA DE CLUSTERIZAÇÃO

Toda a metodologia apresentada, foi implementada por meio do software MATLAB, o que proporcionou uma programação simples e com resultados de alta confiabilidade e de ótima qualidade gráfica.

Algumas opções de entrada podem ser destacadas no programa:

Primeiro Método (Não Hierárquico):

- i) Escolha de um dos três dias da semana, citados na seção 4.2, para que seja feita a clusterização;
- ii) Escolha do intervalo de tempo entre cada medição da curva de carga dos consumidores. Originalmente o banco de dados da concessionária possui as demandas a cada 15 minutos, fazendo com que a curva de carga diária tenha 96 pontos. Considerando os intervalos de tempo maiores, de 30 em 30 minutos, ou de hora em hora, o programa faz as médias convenientes na curva de demanda original, reduzindo-a para 48 ou 24 pontos, respectivamente;
- iii) Definição da faixa de demanda válida para que o consumidor seja considerado;
- iv) Escolha do processo de normalização: norma Euclidiana ou distribuição normal padronizada;

v) Finalmente, a definição dos parâmetros da matriz de similaridade;

Segundo Método (Hierárquico):

- i) Definição do número de agrupamentos definitivos;
- ii) Escolha do número mínimo de consumidores em cada agrupamento definitivo;
- iii) Determinação do desvio de similaridade máximo dos PCI's isolados para os núcleos dos agrupamentos definitivos.

Após a determinação dos agrupamentos e dos consumidores isolados, o programa gera uma série de relatórios, em arquivo de texto, tanto do primeiro método quanto do segundo, além de informações para serem utilizadas na estratificação das tipologias encontradas. Podem ainda ser escolhidos quais tipos de gráficos dos agrupamentos devem ser gerados.

4.4 FORMAÇÃO DOS AGRUPAMENTOS DE CONSUMIDORES – A4 ACIMA DE 500 kW

O conjunto de consumidores com os maiores níveis de demanda, representam 9,5% dos integrantes do Subgrupo A4 e respondem por mais de 65% do consumo. Assim, torna-se importante o conhecimento das tipologias predominantes nesse nicho de mercado, representado na amostra por 90 consumidores.

4.4.1 Procedimentos Computacionais para a Clusterização – A4 acima de 500 kW

No primeiro método, os consumidores agrupam-se naturalmente de acordo com a distribuição dos elementos da MS na região válida para a formação de pares. A Figura 4.1 apresenta uma projeção lateral da Matriz de Similaridade, a partir de sua forma espacial (similar à Figura 3.13), dos consumidores da faixa de demanda considerada. Pode-se observar o quão próximos são os desvios de similaridade entre as 90 curvas e a necessidade de uma boa metodologia para a formação dos agrupamentos de consumidores com base nos perfis de carga individuais.

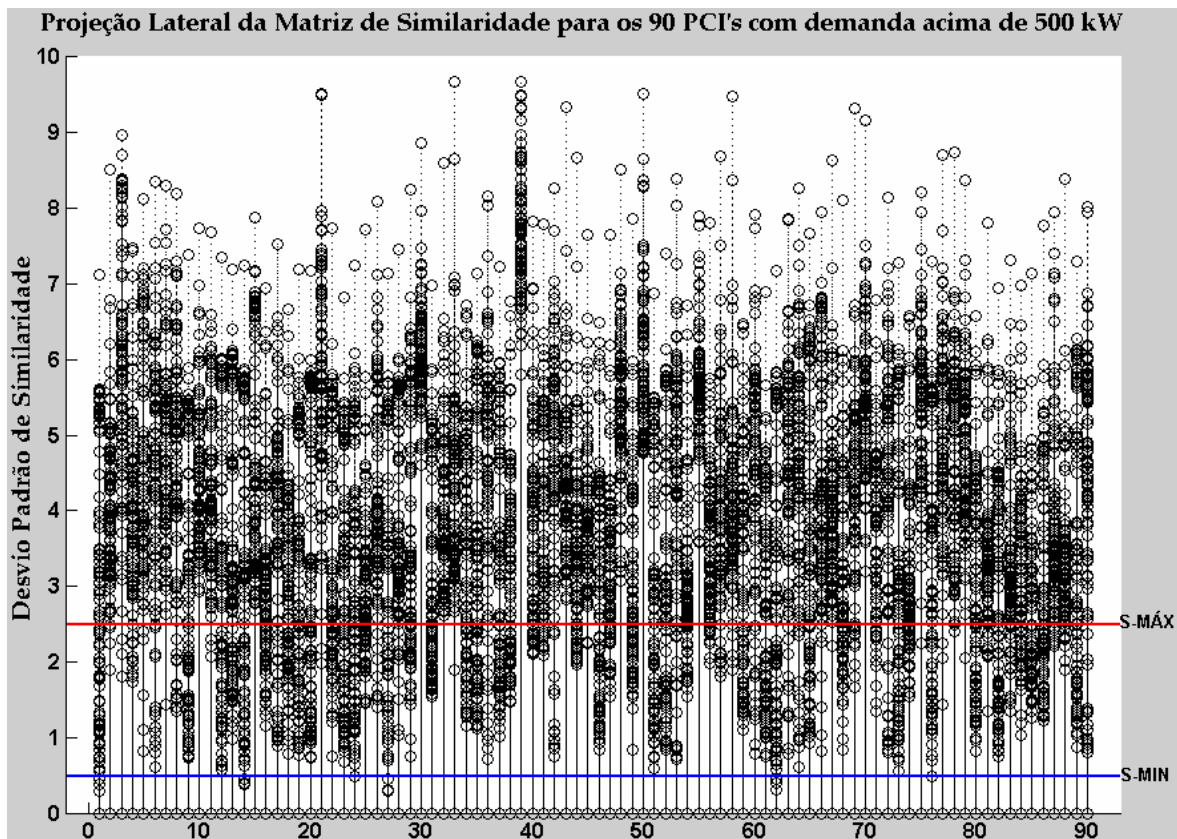


Figura 4.1 –Projecção da MS dos 90 PCI's com Demanda Média Acima de 500 kW

O desvio de similaridade mínimo (S_MIN) deve ser suficientemente baixo para não permitir que muitos pares sejam aceitos logo no início do processo de validação. Foi escolhido então que S_MIN seria igual a 0,50.

O desvio de similaridade máximo (S_MAX) está diretamente relacionado com a quantidade de consumidores da amostra que ficarão sem agrupamento após o término do método não hierárquico. Após a observação dos resultados obtidos em diversos testes foi escolhido que S_MAX seria igual a 2,50.

O principal parâmetro deste método é o incremento dado ao desvio de similaridade mínimo durante a formação dos agrupamentos. Quanto menor o S_PASSO, maior a confiabilidade sobre o destino²⁰ correto do PCI que está sendo testado.

²⁰ se o PCI formar um novo agrupamento ou será alocado em um agrupamento existente.

Observando-se a heurística implementada, verifica-se que a ordem em que os PCI's são testados é um fator determinante para a clusterização, tanto que define-se um número N de testes. Caso seja escolhido um passo elevado, o primeiro conjunto de agrupamentos, muito provavelmente, será diferente do segundo, do terceiro, até que o resultado não seja mais alterado. Ao diminuir, suficientemente, o passo, as novas ordenações randômicas dos PCI's não alteram mais os agrupamentos encontrados.

O passo pequeno, quando utilizado, embora considere mais PCI's agrupados, o faz com a existência de agrupamentos com pouca representatividade²¹. Por outro lado, um menor número de PCI's são agrupados evitando-se a baixa representatividade, quando se utiliza um passo maior e uma seqüência de testes. Portanto, a escolha do passo deve ser feita observando-se se os resultados estão de acordo com objetivos pretendidos. Lembra-se ainda, que a formação dos agrupamentos de consumidores é finalizada somente após o processamento do segundo método, o qual define o número de agrupamentos desejado. Se o passo não é exagerado, a solução do problema pode ser contornada no método não hierárquico. Como o número de PCI's a serem clusterizados não é muito grande, optou-se por um passo pequeno e a garantia de formação de um único sistema de agrupamentos ao final do primeiro método.

Pode-se definir quantas vezes devem ser reordenados os PCI's antes de serem agrupados. O valor de N, é uma garantia que o agrupamentos de consumidores foram observados de diversas maneiras antes de serem declarados genuínos. Resumindo, foram utilizados os seguintes parâmetros:

Parâmetros Utilizados			
S_MIN	S_PASSO	S_MAX	N
0,50	0,005	2,50	50

Graficamente observou-se que a quantidade de PCI's agrupados (80) manteve-se constante em todos os 50 testes, confirmando a formação de um sistema único de agrupamentos ao final do método não hierárquico. Após 4 minutos, foram encontrados 12 agrupamentos, sendo metade deles formado por pares de PCI's sem representatividade.

²¹ Número de elementos que formam o agrupamento.

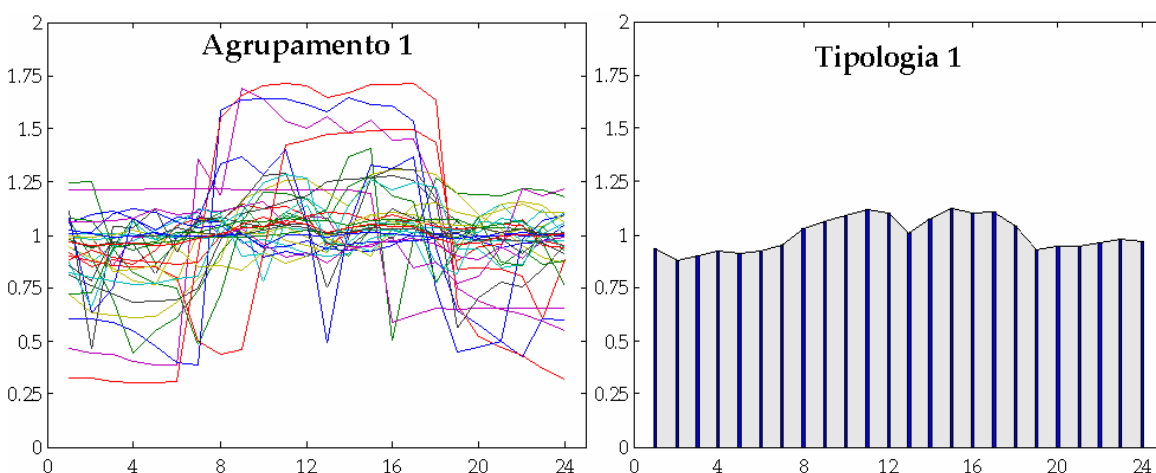
A segunda etapa da metodologia, o método dos cortes na árvore de similaridade, objetiva um número limitado de agrupamentos com garantia de representatividade. Foram, então, definidos os seguintes parâmetros para o método hierárquico:

- $N_AGRUP = 5$, em função das formas fortes verificadas anteriormente;
- $MIN_REP = 5$, com no mínimo 5 consumidores em cada amostra, pôde-se preservar as formas fortes identificadas anteriormente;
- $S_MAX_ISO = 3.2$, apesar de alguns agrupamentos permanecerem com PCI's de desvio elevado, este máximo desvio de similaridade para os PCI's isolados permite uma melhor representatividade com 84,4% dos consumidores agrupados.

Definidos os parâmetros, o programa efetuou os cortes na árvore de similaridade e alocou os consumidores isolados. Dos 90 PCI's, a maioria (76) encontrou uma tipologia, e os 14 restantes (15,5%) permaneceram matematicamente sem uma tipologia definida.

4.4.2 Agrupamento de Consumidores Encontrados – A4 acima de 500 kW

As Figuras 4.2 apresentam, para cada um dos cinco agrupamentos, os perfis de carga individuais²² e a curva típica correspondente²³. Pode-se verificar também, como os perfis de carga dos consumidores isolados justificaram, de certa forma, sua classificação.



²² Os PCI's estão representados pela curva de carga em p.u. de sua média, e não em p.u. da norma Euclidiana.

²³ A curva típica ou tipologia do agrupamento é o resultado da soma das curvas de carga dos componentes deste grupo para cada horário medido, e representada em p.p. de sua média.

Figura 4.2 (a) – PCI's e Tipologia do Agrupamento 1

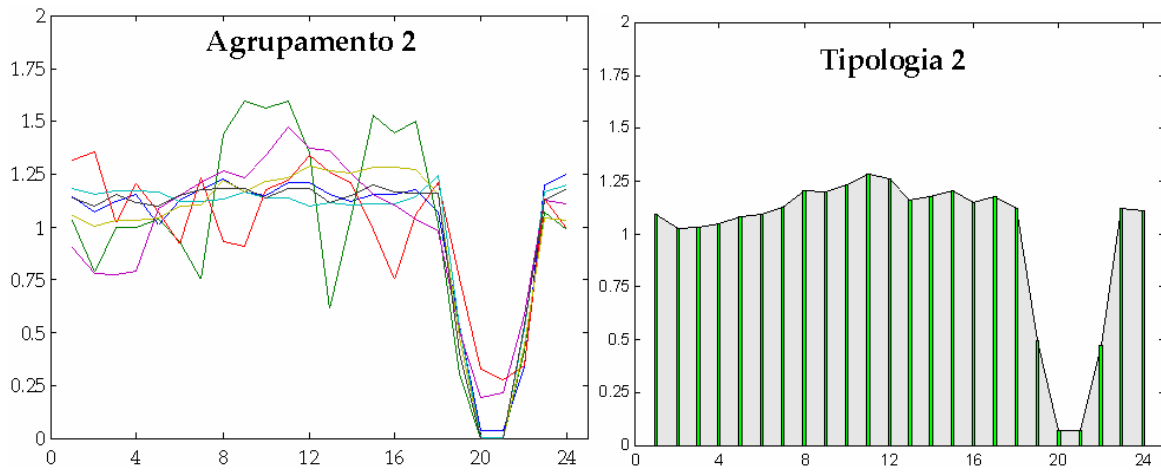


Figura 4.2 (b) – PCI's e Tipologia do Agrupamento 2

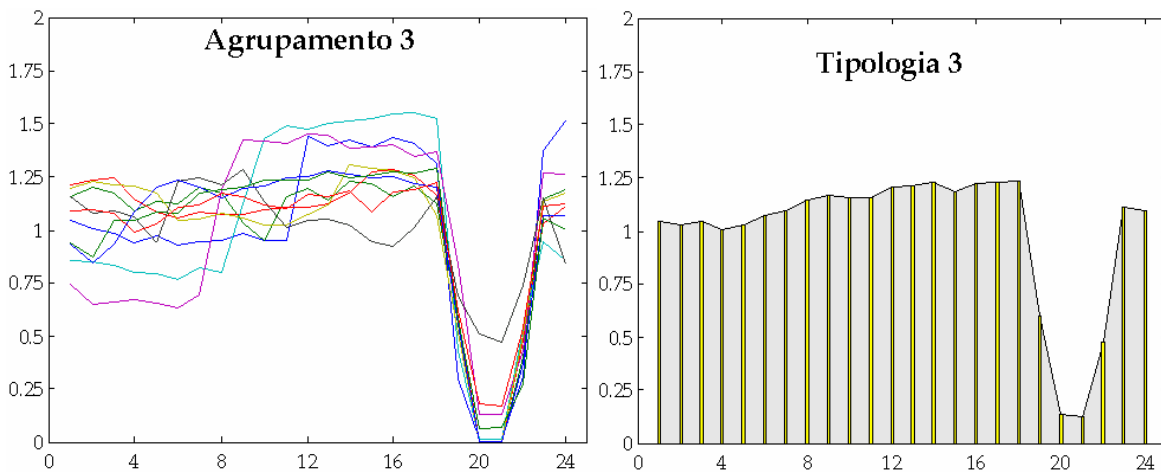


Figura 4.2 (c) – PCI's e Tipologia do Agrupamento 3

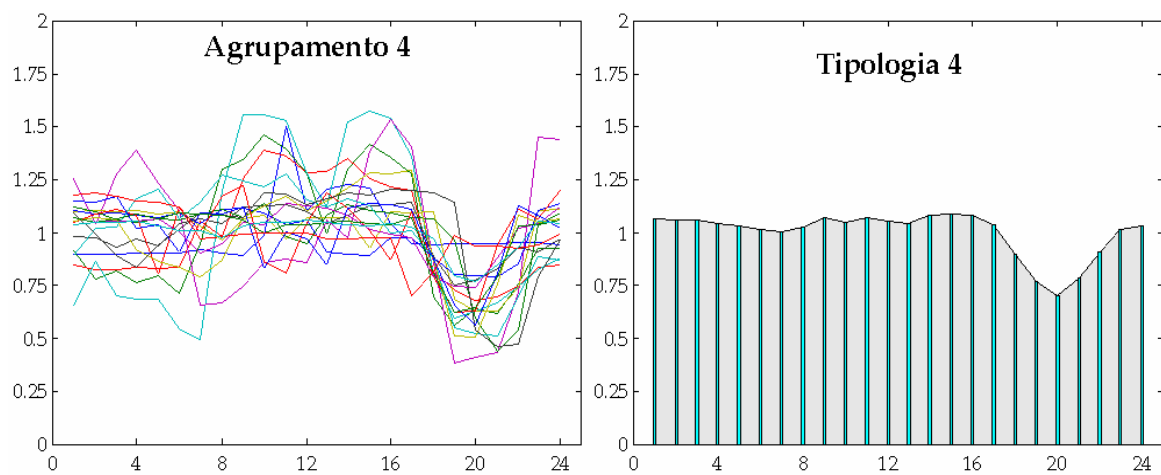


Figura 4.2 (d) – PCI's e Tipologia do Agrupamento 4

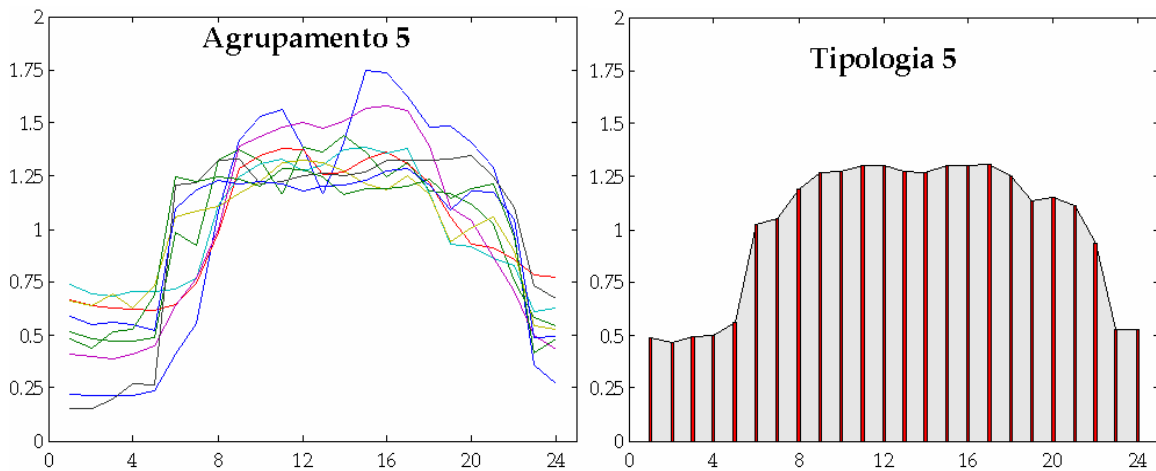


Figura 4.2 (e) – PCI's e Tipologia do Agrupamento 5

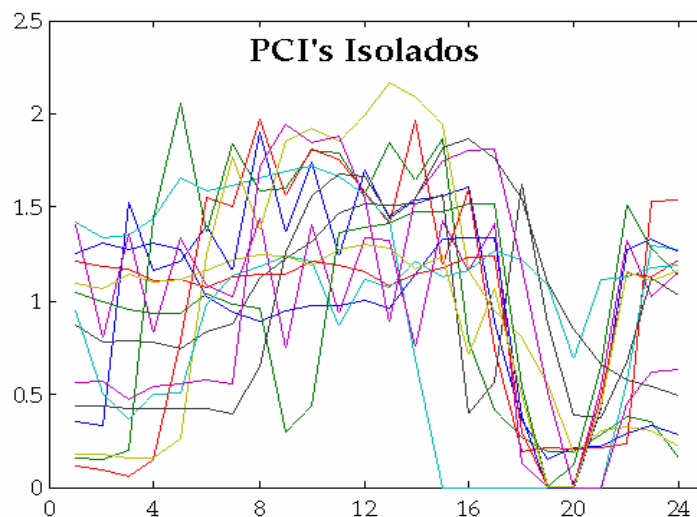


Figura 4.2 (f) – PCI's dos Consumidores Isolados

4.4.3 Estratificação das Tipologias Encontradas – A4 acima de 500 kW

Esta seção tem por objetivo apresentar como as atividades econômicas e as classes de consumo participam da constituição de cada uma das tipologias encontradas nesta faixa de demanda. Antes porém, na Tabela 4.2, apresenta-se a estratificação das classes de consumo presentes na amostra total de consumidores com demanda média acima de 500kW que de alguma forma foram agrupados²⁴. A classe industrial domina esta faixa de demanda tanto na participação no consumo quanto no número de representantes.

²⁴ Toda a estratificação de consumidores foi elaborada com base nos consumidores agrupados, ou seja, aqueles que no processo de clusterização não encontraram uma tipologia definida, não são considerados.

Tabela 4.2 – Participação das Classes de Consumo na Faixa de Demanda Acima de 500 kW

Classe de Consumo	Consumo (%)	Consumidores (%)
Industrial	79,9	73,3
Comercial	7,4	13,3
Rural	6,9	3,3
Poder Público	3,9	6,7
Serviço Público	1,9	3,3
TOTAL	100,0	100,0

A curva da Tipologia 1 tem um fator de carga de 88,9%, sendo o segundo mais alto dentre as tipologias encontradas. O seu comportamento é bem definido, durante o período de trabalho da manhã e tarde; a carga cresce até seu pico recuando apenas no horário de almoço, e volta a ficar abaixo da média durante a noite e a madrugada. A maioria dos consumidores desta faixa (42,1%), possuem este comportamento e são responsáveis por 49,6% do consumo. A grande maioria dos consumidores (81,3%) são adeptos da Tarifa Azul²⁵. A Tabela 4.3 apresenta as atividades que formaram esta tipologia.

Tabela 4.3 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 1

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Indústria Têxtil	20,2	12,5
Cooperativas	13,3	3,1
Indústria de Produtos Alimentares	11,7	9,4
Indústria Química	11,6	18,8
Indústria de Papéis	10,4	9,4
Indústria Cerâmica	6,8	9,4
Agroindústria	4,9	3,1
Indústria Metalúrgica	3,4	3,1
Construção Civil	3,3	3,1
Indústria de Madeira	3,3	3,1
Saneamento	3,1	6,3
Poder Público	2,1	6,3
Consumo Próprio	1,1	3,1
Outras Atividades	4,7	9,4
TOTAL	100,0	100,0

As Tipologias 2 e 3 são bem semelhantes. Apresentam curvas com fator de carga de 77,9% e 80,8% respectivamente. São caracterizadas pela queda brusca do consumo no período do dia correspondente ao horário de ponta. A sutil diferença entre elas, reside no horário em que ocorre o pico de consumo e sua intensidade. A Tipologia 2 com 9,2% dos consumidores, responsáveis por 6,4% do consumo da faixa apresentam a máxima carga 28,5% acima da média e durante a manhã. Com 13,2% dos consumidores e 10,9 do consumo total da faixa, a Tipologia 3 apresenta seu pico de carga 23,7% acima da média momentos antes de iniciar o horário de ponta. Verificou-se quase a totalidade dos consumidores das duas tipologias aderiram à Tarifa Verde²⁶. A Tabela 4.4 e 4.5 descrevem como as atividades econômicas contribuíram para a formação destas tipologias.

Tabela 4.4 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 2

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Indústria Têxtil	56,3	57,1
Indústria de Produtos Alimentares	28,7	28,6
Indústria Química	15,0	14,3
TOTAL	100,0	100,0

Tabela 4.5 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 3

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Indústria de Papéis	41,9	10,0
Indústria de Produtos Alimentares	28,2	30,0
Comércio d Serviços	13,6	30,0
Indústria de Materiais Elétricos de Eletrônicos	7,6	10,0
Indústria Agropecuária	4,7	10,0
Indústria Química	3,9	10,0
TOTAL	100,0	100,0

A Tipologia 4 apresenta uma curva com fator de carga de 92,2%, o melhor dentre as tipologias desta faixa de demanda, e provavelmente do Subgrupo A4. Os consumidores mantêm sua carga próxima à media diária, o que justifica a alta relação entre demanda média e a máxima. Assim como nas tipologias 2 e 3, ocorre uma redução

²⁵ Tarifa diferenciada no horário de ponta tanto pela energia consumida quanto pela demanda de potência verificada.

²⁶ Tarifa diferenciada no horário de ponta apenas pela energia consumida.

do consumo durante o horário de ponta. A diferença agora, é que o alívio na carga não é tão acentuado. O patamar mínimo atingido é de 70% da carga média. Além disso, durante as 21 horas²⁷ restantes, a carga é bem comportada atingindo picos em torno de 1,10 p.u. da média. Participam desta tipologia 23,7% dos consumidores que respondem por 25,4% do consumo da faixa. Não houve predominância na adesão à nenhuma das tarifas horo-sazonais. A Tabela 4.6 apresenta as atividades que formaram esta tipologia.

Tabela 4.6 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 4

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Indústria de Produtos Alimentares	42,9	22,2
Indústria de Papéis	26,5	11,1
Indústria Cerâmica	8,6	16,7
Comércio e Serviços	4,6	5,6
Indústria Têxtil	3,5	11,1
Extração de Minerais	3,1	5,6
Indústria de Materiais Elétricos e Eletrônicos	2,8	5,6
Indústria Química	2,6	5,6
Indústria Agropecuária	1,9	5,6
Poder Público	1,6	5,6
Outras Atividades	1,9	5,6
TOTAL	100,0	100,0

Finalmente, a Tipologia 5 apresenta uma curva com fator de carga de 76,4%, sendo o menor dentre as tipologias da faixa de demanda considerada. Ocorre uma considerável redução do consumo do final da noite até o início da manhã seguinte. Cerca de 11,8% dos consumidores agrupados possuem este comportamento e são responsáveis por 7,7% do consumo da faixa. Verificou-se também que dois terços dos consumidores desta tipologia aderiram a Tarifa Azul. A Tabela 4.6 descreve as atividades que formaram esta tipologia.

Tabela 4.6 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 5

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Indústria Têxtil	74,8	55,6
Poder Público	12,8	22,2
Indústria de Materiais Elétricos e Eletrônicos	6,8	11,1
Escolas	5,6	11,1
TOTAL	100,0	100,0

²⁷ Horas do dia menos as horas do período de ponta.

4.5 FORMAÇÃO DOS AGRUPAMENTOS DE CONSUMIDORES – A4 DE 10 A 50 kW

A faixa de demanda média entre 10 e 50kW possui o maior número de consumidores entre as faixas definidas para o Subgrupo A4. O maior número de curvas (352), com alto grau de diversidade de comportamento, tornam este caso de clusterização mais lento em termos computacionais, mas em contrapartida, possibilitam boas análises sobre a composição das atividades econômicas das tipologias .

4.5.1 Procedimentos Computacionais para a Clusterização – A4 de 10 a 50 kW

Para o método de validação gradativa dos elementos da MS, utilizou-se um passo médio em virtude do grande número de curvas a serem analisadas. Com isso, o programa concluiu em cerca de 4 minutos a primeira parte da metodologia, com um número razoável de consumidores agrupados. A Figura 4.3 apresenta os parâmetros de entrada do método não hierárquico e a evolução do número de consumidores agrupados durante os 20 testes realizados.

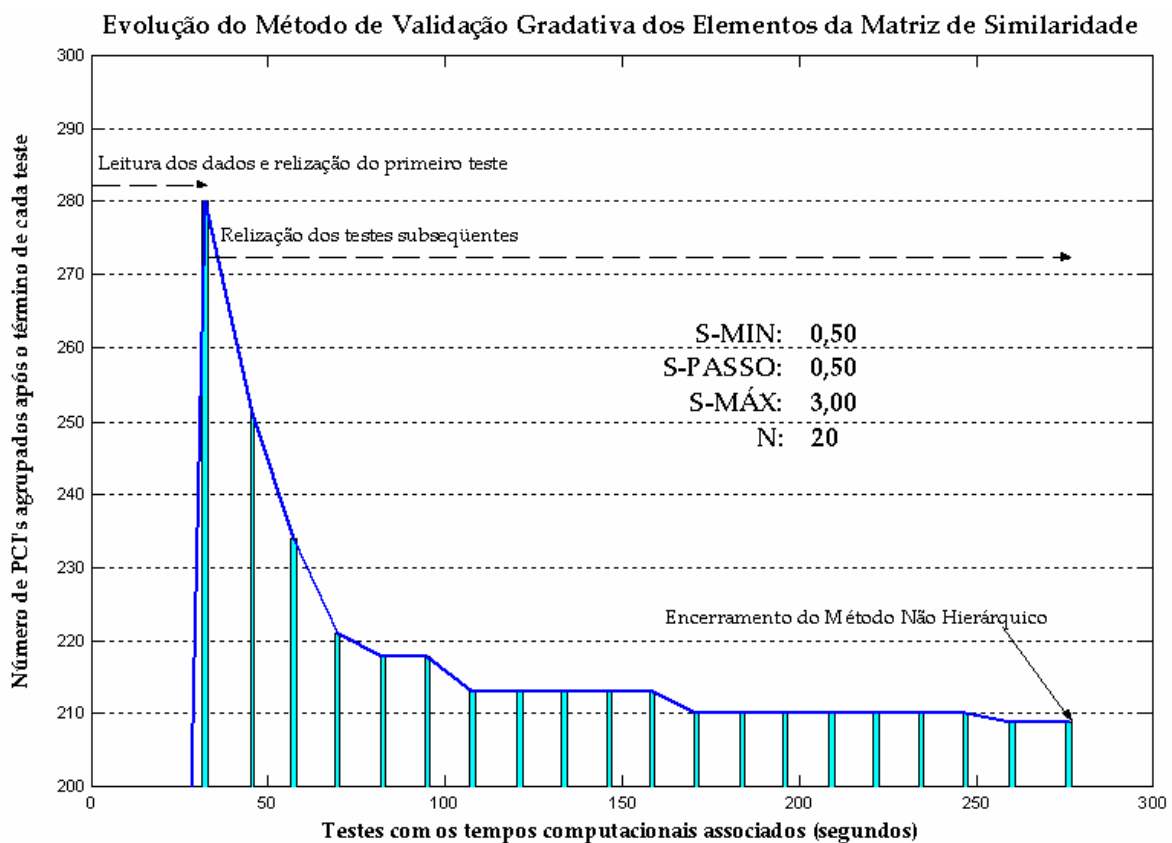


Figura 4.3 – Evolução do Método Não Hierárquico com 352 PCI's

Devido ao passo de 0,50, ocorre uma redução gradual e decrescente no número de elementos da matriz de agrupamentos genuínos (AGG), até que novas ordenações randômicas não alterem mais o sistema de agrupamentos obtidos. Poderia-se, ainda, realizar um número maior de testes modificando os resultados do primeiro método, mas com pouca ou nenhuma influência no resultado final do segundo método.

Na segunda etapa da metodologia, após alguns testes de clusterização e inspeções de resultados, foram definidos os seguintes parâmetros:

- $N_AGRUP = 7$, em função das sete formas fortes verificadas nas demais tentativas;
- $MIN_REP = 12$, com no mínimo 12 consumidores em cada amostra, chegou-se a cerca de 70% do número de consumidores agrupados;
- $S_MAX_ISO = 4,5$, apesar de ocorrer uma certa “poluição da tipologia”²⁸ dos agrupamentos formados inicialmente, tem-se uma representatividade mais acentuada, com mais de 80% dos consumidores agrupados.

Definidos os parâmetros, o programa efetuou os cortes na árvore de similaridade e determinou os consumidores isolados. Dos 352 PCI's, a grande maioria (80,4%) encontraram uma tipologia e os 69 restantes (19,6%) permaneceram matematicamente sem uma tipologia definida.

4.5.2 Agrupamento de Consumidores Encontrados e Estratificação das Tipologias

Os agrupamentos encontrados confirmaram as expectativas a respeito desta faixa de demanda. A maioria das tipologias têm baixo fator de potência, em função das características das atividades econômicas (menos eletrointensivas), predominantes entre os menores consumidores do Subgrupo A4.

Entre os menores consumidores horo-sazonais, verifica-se, comparativamente à faixa analisada anteriormente, uma presença menor da classe industrial (ainda maioria) e o crescimento da classe comercial, tanto no consumo efetuado como no número de representantes. A Tabela 4.7 apresenta a estratificação das classes de consumo presentes

²⁸ Ocorre quando curvas de desvio de similaridade altas são alocadas nos agrupamentos definitivos.

na amostra total de consumidores com demanda média acima entre 10 e 50 kW que foram agrupados.

Tabela 4.7 – Participação das Classes de Consumo na Faixa de Demanda de 10 a 50 kW

Classe de Consumo	Consumo (%)	Consumidores (%)
Industrial	51,4	52,8
Comercial	38,6	36,1
Poder Público	6,3	7,4
Rural	2,0	2,3
Serviço Público	1,6	1,4
TOTAL	100,0	100,0

A curva da Tipologia 1 tem um fator de carga de 47,8%, entre os menores desta faixa de demanda. A concentração da carga dá-se durante o período diurno, crescendo a partir das 7 horas e diminuindo das 17 horas em diante. O pico do carga ocorre durante a manhã, quando atinge mais que o dobro da média diária. Durante o período da noite e madrugada a carga mantém-se reduzida à um quarto da média.

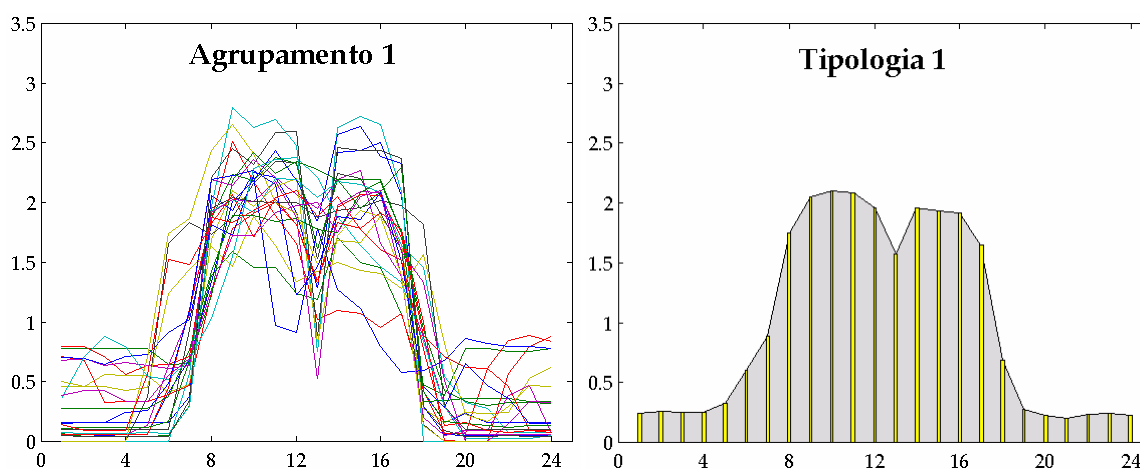


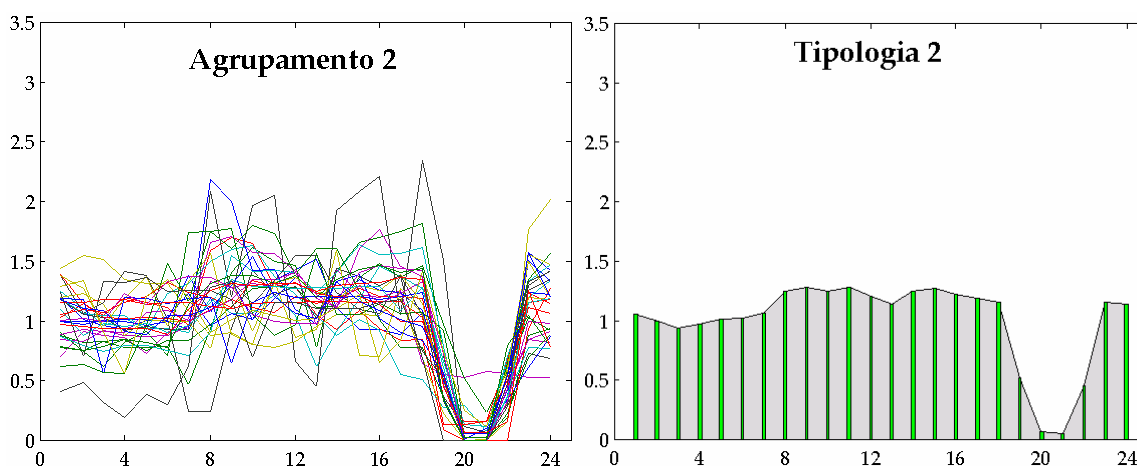
Figura 4.4 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 1

O comportamento de carga, descrito por esta tipologia, está presente em 8,5% dos consumidores desta faixa de demanda, que são responsáveis por 8,7% do consumo. A Tabela 4.8 apresenta as atividades que contribuíram para a formação desta tipologia. Observa-se que a Indústria Têxtil tem a maior participação no consumo e no número de representantes, seguida das Indústrias Química e Metalúrgica.

Tabela 4.8 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 1

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Indústria Têxtil	24,6	20,8
Indústria Química	9,7	8,3
Indústria Metalúrgica	9,2	8,3
Indústria de Produtos Alimentares	7,6	8,3
Setor Financeiro	4,8	4,2
Indústria Mecânica	4,3	8,3
Setor de Combustíveis	4,3	4,2
Indústria de Madeira	3,9	4,2
Transportes	3,6	4,2
Poder Público	1,9	4,2
Outras Atividades	26,0	25,0
TOTAL	100,0	100,0

A Tipologia 2 apresenta o maior fator de carga (78,1%) dentre as tipologias desta faixa de demanda. Os consumidores não variam muito sua carga durante todo o horário correspondente ao período fora de ponta; o que justifica a melhor relação entre demanda média e a máxima da faixa. Ocorre uma brusca redução do consumo entre as 18 e 23 horas, em virtude do horário de ponta. A carga atinge picos em torno de 28% acima da média diária, geralmente, pela manhã.

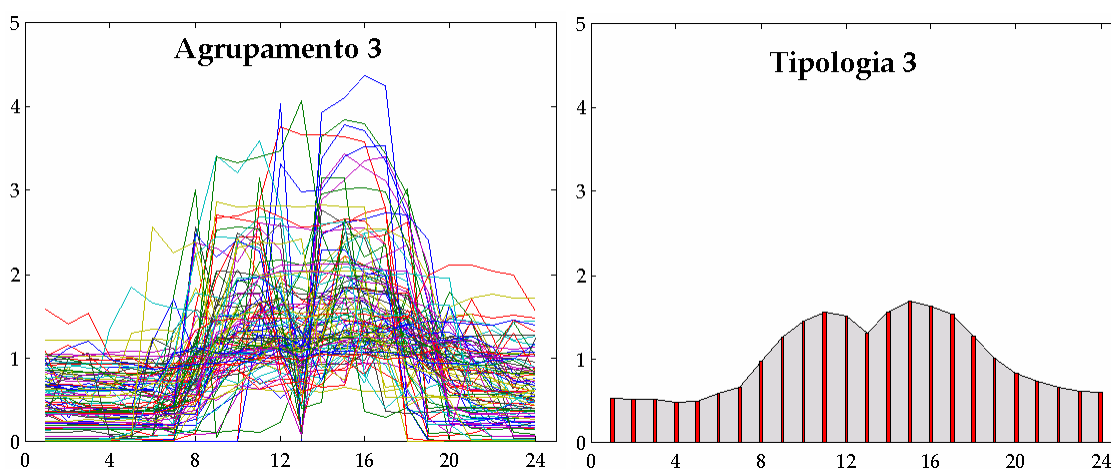
**Figura 4.5 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 2**

Possuem este comportamento, 11,0% dos consumidores desta faixa de demanda, e são responsáveis por 13,4% do consumo. A Tabela 4.9 apresenta as atividades que contribuíram para a formação desta tipologia. O setor de Comércio e Serviços é predominante nesta tipologia, seguido das Indústrias Química e de Produtos Alimentares.

Tabela 4.9 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 2

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Comércio e Serviços	56,5	58,1
Indústria Química	13,8	12,9
Indústria de Produtos Alimentares	10,3	9,7
Indústria Têxtil	8,6	6,5
Indústria Cerâmica	2,6	3,2
Indústria de Papéis	2,2	3,2
Outras Atividades	6,0	6,5
TOTAL	100,0	100,0

A curva da Tipologia 3 tem um fator de carga (60,2%), valor mediano em relação às tipologias encontradas nesta faixa de demanda. A concentração da carga dá-se durante o período diurno. O consumo cresce, com uma taxa de crescimento menor em relação à Tipologia 1, a partir das 8 horas e diminui das 18 horas em diante. O pico do carga ocorre durante a tarde, quando atinge 1,66 p.u. de sua média diária. Durante o período da noite e madrugada o carregamento permanece em torno de 50% da média.

**Figura 4.6 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 3**

O comportamento de carga, descrito por esta tipologia, conta com a maior participação de consumidores (34,3%) dentre os comportamentos verificados para a sua faixa de demanda. Estes representantes, são responsáveis por 33,6% do consumo total da faixa. A Tabela 4.10 apresenta as várias atividades que contribuíram para a formação desta tipologia, que para os dados utilizados, possui 97 consumidores. Pode-se observar que os setores que dependem do horário comercial predominam nesta tipologia.

Tabela 4.10 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 3

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Comércio e Serviços	20,1	17,5
Setor Financeiro	13,0	11,3
Poder Público	10,8	13,4
Indústria Cerâmica	8,1	8,2
Indústria de Produtos Alimentares	6,0	5,2
Indústria de Madeira	4,4	5,2
Saneamento	4,3	3,1
Transportes	3,8	4,1
Indústria Química	3,0	5,2
Indústria Agropecuária	2,8	3,1
Indústria Têxtil	2,6	3,1
Indústria Mecânica	1,8	1,0
Indústria de Materiais Elétricos e Eletrônicos	1,5	1,0
Indústria de Papéis	0,9	1,0
Fabricação de Produtos do Fumo	0,7	1,0
Escolas	0,5	1,0
Construção Civil	0,5	1,0
Outras Atividades	15,4	14,4
TOTAL	100,0	100,0

A Tipologia 4 apresenta uma curva com o pior fator de carga (43,5%) dentre as tipologias encontradas. A concentração da carga dá-se durante os períodos matutino e vespertino, crescendo à partir das 8 horas e diminuindo das 17 horas em diante. O pico da carga (2,30 p.u. da média diária!), pode ocorrer tanto pela manhã quanto durante a tarde. Durante o período da noite e madrugada a carga mantém-se reduzida à um quinto da média. Nota-se um fato interessante em todas as tipologias. A redução da carga em função do horário de almoço acontece sempre as 13 horas. Para a Tipologia 4, a carga recua de mais de 2 p.u. da média para uma carga igual a média diária durante o horário de almoço.

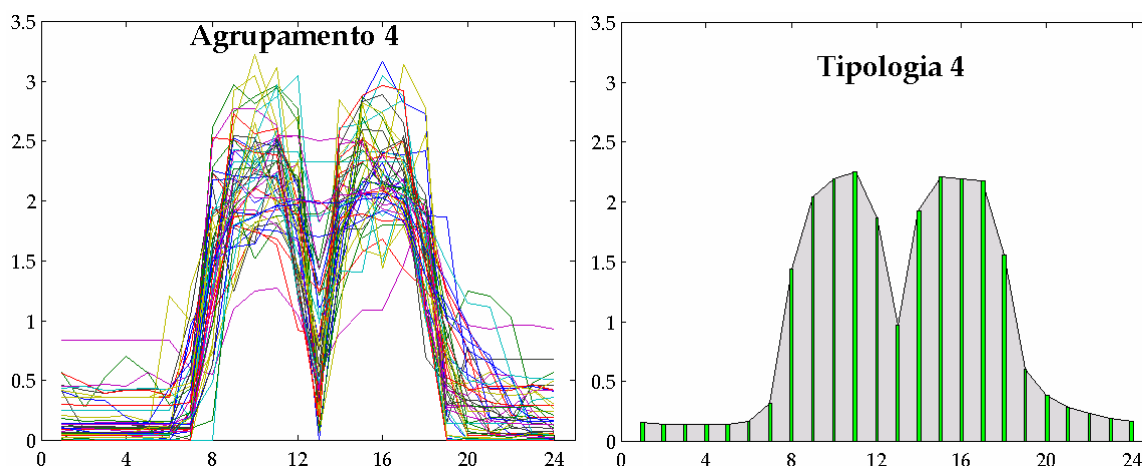


Figura 4.7 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 4

O comportamento de carga, descrito por esta tipologia, está presente em 17,7% dos consumidores desta faixa de demanda, que são responsáveis por 17,1% do consumo. A Tabela 4.11 apresenta as atividades que contribuíram para a formação desta tipologia. Observa-se que a Indústria Têxtil tem a maior participação no consumo, seguida pelo Poder Público e o setor de Comércio e Serviços.

Tabela 4.11 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 4

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Indústria Têxtil	24,6	22,0
Poder Público	13,6	12,0
Comércio e Serviços	10,8	10,0
Indústria de Madeira	9,4	14,0
Indústria Cerâmica	7,8	8,0
Indústria Metalúrgica	6,6	6,0
Setor Financeiro	4,1	4,0
Indústria Mecânica	4,0	4,0
Indústria Química	3,9	4,0
Saneamento	1,8	2,0
Indústria de Mídia	1,1	2,0
Outras Atividades	12,4	12,0
TOTAL	100,0	100,0

A Tipologia 5 apresenta uma curva com fator de carga de 49,3%, entre os menores desta faixa de demanda. A concentração da carga dá-se durante o período diurno. Diferentemente da Tipologia 1, o crescimento da carga ocorre à partir das 9 horas e

decrece das 18 horas em diante. No horário de almoço o recuo da carga é muito pequeno, se comparado a referida tipologia. O pico do carga ocorre no fim da manhã ou no início da tarde, quando atinge o dobro da média diária. Durante o período da noite e madrugada a carga mantém-se reduzida à um quarto da média.

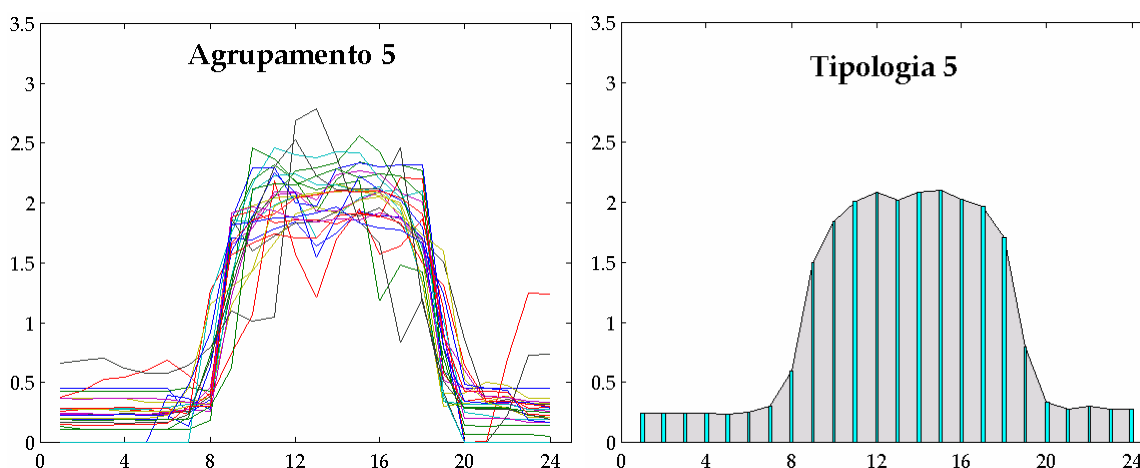


Figura 4.8 - PCI's e Tipologia do Agrupamento 5

O comportamento de carga, descrito por esta tipologia, está presente em 8,5% dos consumidores desta faixa de demanda, que são responsáveis por 9,0% do consumo. A Tabela 4.12 apresenta as atividades que contribuíram para a formação desta tipologia. Observa-se que o Setor Financeiro predomina fortemente no consumo e no número de representantes, seguido do setor de Comércio e Serviços.

Tabela 4.12 - Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 5

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Setor Financeiro	64,0	58,3
Comércio e Serviços	12,1	16,7
Indústria Química	11,3	12,5
Poder Público	9,9	8,3
Indústria Cerâmica	2,6	4,2
TOTAL	100,0	100,0

A Tipologia 6 apresenta uma curva com o segundo pior fator de carga (43,9%) dentre as tipologias encontradas. A concentração da carga dá-se durante os períodos matutino e vespertino, crescendo à partir das 7 horas e diminuindo das 17 horas em

diante. A máxima carga pode ocorrer tanto pela manhã quanto durante a tarde. Durante o período da noite e madrugada a carga mantém-se reduzida à um quinto da média. Durante o horário de almoço ocorre uma forte redução do consumo, quando a carga reduz de 200% para 50% do valor médio diário. Pode-se perceber que esta tipologia é bem semelhante a Tipologia 4. A diferença está no horário em que a carga começa a crescer pela manhã e na maior redução verificada no período de almoço.

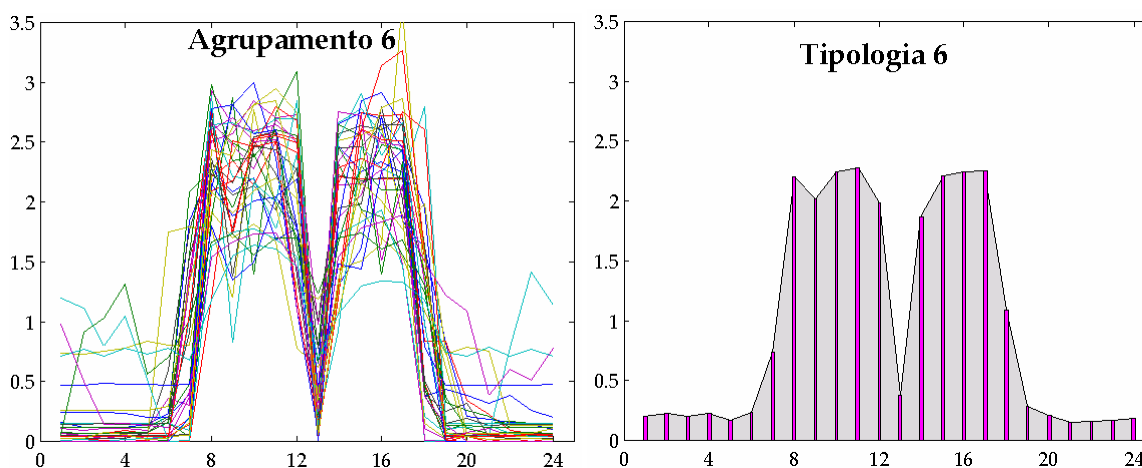


Figura 4.9 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 6

O comportamento de carga, descrito por esta tipologia, está presente em 12,0% dos consumidores desta faixa de demanda, que são responsáveis por 10,7% do consumo. A Tabela 4.13 apresenta as atividades que contribuíram para a formação desta tipologia. Observa-se que a Indústria de Madeira tem a maior participação no consumo e no número de representantes, seguida pela Indústria Cerâmica.

Tabela 4.13 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 6

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Indústria de Madeira	46,9	47,1
Indústria Cerâmica	12,1	11,8
Indústria Mecânica	7,4	5,9
Indústria Têxtil	6,7	8,8
Indústria Metalúrgica	3,0	2,9
Indústria de Materiais Elétricos e Eletrônicos	2,8	2,9
Extração de Minerais	2,4	2,9
Indústria Química	1,4	2,9
Outras Atividades	17,2	14,7
TOTAL	100,0	100,0

A Tipologia 7, com um comportamento bastante similar à Tipologia 1, apresenta uma curva com fator de carga (45,5%), entre os piores das tipologias encontradas. A concentração da carga dá-se, também, durante o período diurno, crescendo, agora, a partir das 8 horas e diminuindo das 18 horas em diante. A máxima carga ocorre durante o período da tarde, e não pela manhã, quando atinge mais que o dobro da média diária. Outra diferença importante, refere-se a diminuição da carga no horário de almoço que nesta tipologia dá-se com mais intensidade (chega a 1,10 p.u. da média). Durante o período da noite e madrugada a carga mantém-se reduzida a um quarto da média.

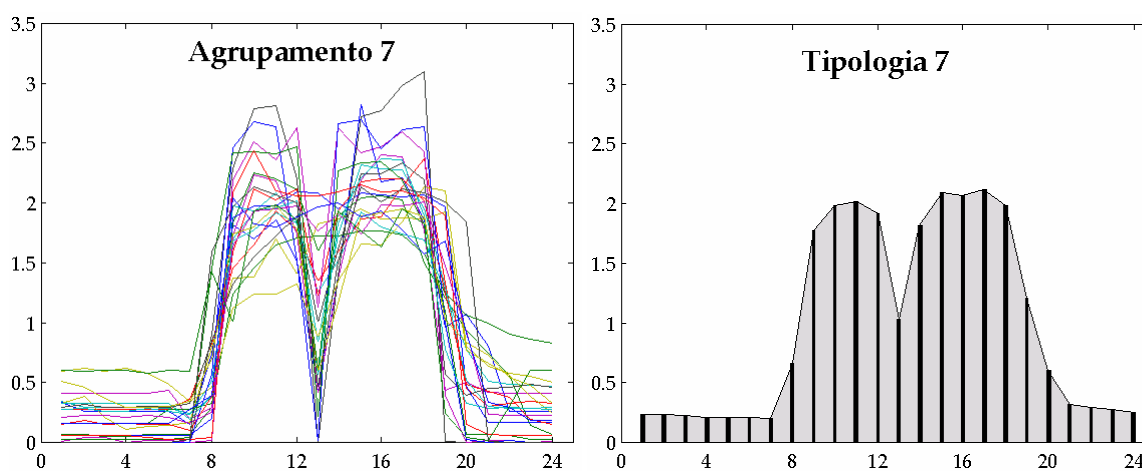


Figura 4.10 – PCI's e Tipologia do Agrupamento 7

O comportamento de carga, descrito por esta tipologia, está presente em 8,1% dos consumidores desta faixa de demanda, que são responsáveis por 7,3% do consumo. A Tabela 4.14 apresenta como os setores de Comércio, Serviços e Financeiro predominam nesta tipologia.

Tabela 4.14 – Atividades Econômicas que Contribuíram para a Formação da Tipologia 7

Atividade Econômica	Consumo (%)	Consumidores (%)
Comércio e Serviços	28,8	34,8
Setor Financeiro	13,2	13,0
Indústria de Madeira	10,7	8,7
Transportes	6,8	4,3
Indústria Mecânica	3,6	4,3
Indústria Química	3,4	4,3
Indústria de Mídia	2,0	4,3
Outras Atividades	31,5	26,1
TOTAL	100,0	100,0

4.6 CONCLUSÕES

Pôde-se verificar através deste capítulo, como se formam os agrupamentos de consumidores com base nos perfis de consumo, e como esta metodologia pode ser utilizada na estrutura tarifária das concessionárias.

O conhecimento das formas fortes de consumo, juntamente com a estratificação das tipologias, torna-se uma ferramenta importante para o planejamento estratégico dentro das empresas de energia elétrica.

A partir do momento em que a empresa distribuidora passa a conhecer melhor o comportamento de seus clientes, a mesma pode, então, oferecer o produto energia elétrica de forma mais adequada às necessidades desses clientes.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES DA PESQUISA

O processo de amadurecimento da questão de uso racional da energia elétrica é bastante lento. Na maioria das vezes são necessários anos de estudos técnicos para que sejam definidas as regulamentações capazes de promover uma melhoria na maneira de consumir da sociedade.

As estruturas tarifárias para a energia elétrica, que interferem desde o cálculo dos custos marginais até às tarifas de aplicação, atualmente utilizadas no país, foram definidas em condições que já não se fazem mais presentes. Apesar das políticas tarifárias para a prestação dos serviços de energia elétrica no Brasil, terem se aprimorado ao longo dos anos, uma tarifa justa tanto para os concessionários quanto para os consumidores, tem sido um tema constante de discussões no setor elétrico.

O presente enquadramento dos consumidores de energia elétrica, separando-os tanto por nível de tensão como por classe de consumo, não garante uma sinalização adequada capaz de promover o uso racional da energia elétrica em sua plenitude.

Os últimos estudos de caracterização nacional da carga dos consumidores foram realizados há quase duas décadas e precisam ser desenvolvidos novamente, sob pena de continuarmos utilizando uma estrutura tarifária cada vez menos eficaz.

A formação de grupos tarifários com base no perfil de carga individual, como pode ser visto no Capítulo 4, possibilita agregar dentro de uma mesma categoria os

consumidores que impõem custos similares ao sistema, em função da semelhança no comportamento das cargas.

A aplicação desta metodologia aumenta a oferta de serviços diferenciados com o atendimento personalizado ao consumidor, possibilitando à empresa uma maior competitividade no mercado.

Os agrupamentos de consumidores similares, podem ainda, ser o alicerce de uma nova tarifa de energia elétrica customizada e capaz de promover a melhoria da racionalidade do uso dos recursos energéticos do país.

A elasticidade da demanda dos consumidores, possibilita o melhor aproveitamento de tarifas diferenciadas, uma vez que o consumidor torna-se capaz de responder à sinalização tarifária.

O horário de ponta do sistema, bastante considerado pela atual estrutura tarifária, é um problema cuja importância vem diminuindo e tende a se reduzir ainda mais. Assim, a estrutura tarifária proposta, independente do horário de ponta do sistema, pode permitir o aproveitamento racional da energia elétrica com mais postos tarifários.

No tocante à metodologia proposta, a validação gradativa dos elementos da matriz de similaridade, juntamente com os cortes na árvore de similaridade, constituem-se numa metodologia robusta para a descoberta das curvas de carga mais similares, possibilitando, de forma rápida, a obtenção dos agrupamentos de consumidores similares existentes num dado conjunto.

O conhecimento das formas fortes de consumo, juntamente com a estratificação das tipologias, torna-se uma ferramenta importante para o planejamento estratégico dentro das empresas de energia elétrica. A partir do momento em que a empresa distribuidora passa a conhecer melhor o comportamento de seus clientes, ela pode, então, oferecer o produto energia elétrica de forma mais adequada às necessidades desses clientes.

Finalmente, o principal objetivo desta dissertação foi apresentar a formação de agrupamentos de consumidores com base nos perfis de carga individuais como uma alternativa viável para a reformulação das atuais estruturas tarifárias. Os exemplos de

aplicação apresentam resultados que podem estimular novos estudos a partir dos agrupamentos de consumidores encontrados. Esse objetivo foi plenamente alcançado, como foi verificado no Capítulo 4 nos estudos de caso apresentados. Esses exemplos de aplicação, baseados em dados reais, permitiram identificar diversas tipologias de carga e suas respectivas estratificações.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Baseado no exposto anteriormente, recomendam-se os seguintes tópicos para serem desenvolvidos futuramente, em continuação ao presente trabalho:

- Estudos para a determinação de uma estrutura tarifária baseada nos agrupamentos de consumidores pelo perfil de carga individual, no tocante a sistemática de funcionamento.
- Novos estudos de caracterização de carga, que viabilizem a diferenciação dos consumidores em função dos seus custos de atendimento.
- Desenvolvimento de metodologias para o levantamento da demanda de energia elétrica, e sua elasticidade junto aos consumidores, agora agrupados.
- Estudos para a determinação dos custos marginais de fornecimento da energia elétrica para os novos agrupamentos de consumidores.
- Elaboração de uma tarifa de aplicação baseada nos agrupamentos de consumidores pelo perfil de carga individual.
- Desenvolvimento de metodologia visando a inclusão dos aspectos ambientais, políticos e sociais na tarifa de referência, obtendo a tarifa integrada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDENBERG M. R. *Cluster Analysis for Applications*. 1ª ed. Austin: Academic Press, INC., 1971.
- ANDRADE, F. F.; CATARINA, R. S.; CAMARGO C. C. B. et al. Agrupamento de Consumidores Visando a Racionalidade do Uso da Energia: Metodologia Baseada no Perfil de Consumo Individual. *Artigo aceito*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REGULAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS (3.: Mai. 2003: Gramado, RS). *Anais*. Gramado, 2003. Trabalho nº 40.
- ANDRADE, F. F.; CAMARGO C. C. B. Análise Histórica das Questões Regulatórias Relacionadas à Melhoria da Racionalidade do Uso da Energia Elétrica. *Artigo aceito*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REGULAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS (3.: Mai. 2003: Gramado, RS). *Anais*. Gramado, 2003. Trabalho nº 54 .
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 286, de 1ª de outubro de 1999. Estabelece as tarifas de uso dos sistemas de distribuição de energia elétrica. *Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro / Agência Nacional de Energia Elétrica*, Brasília, v.2, pág. 197
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 456, de 29 de novembro de 2000. Estabelece as disposições atualizadas e consolidadas, relativas as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, a serem observadas na prestação e utilização do serviço público de energia elétrica, tanto pelas concessionárias e permissionárias quanto pelos consumidores. *Diário Oficial da União*, Brasília, vol. 138, núm. 230-E seção: 1, pág. 35 de 30/11/2000.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 1ª ed.

Brasília: ANEEL, 2002.

BITU R. S.; BORN P. H. Tarifas de Energia Elétrica – Aspectos Conceituais e Metodológicos.

1ª ed. São Paulo: MM Editora, 1993.

BORENSTEIN C. R.; CAMARGO C. C. B. *O Setor Elétrico no Brasil*. 1ª ed. Porto Alegre:

Sagra Luzzatto, 1997.

BRANCO, A. M.; SAUER, I. L.; GOLDEMBERG, J. et al. *Política Energética e Crise de*

Desenvolvimento. 1ª ed. São Paulo: Paz e Terra, 2002.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil

BRASIL. Decreto nº 62.724, de 17 de maio de 1968. Estabelece Normas Gerais de Tarifação para as empresas concessionárias de serviços públicos de energia elétrica. *Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro / Agência Nacional de Energia Elétrica*, Brasília, v.1, pág. 251.

BRASIL. Decreto nº 86.463, de 13 de outubro de 1981. Altera o Decreto nº 41.019, de 26 de fevereiro de 1957, que regulamenta os serviços de energia elétrica, e o Decreto nº 62.724, de 17 de maio de 1968, que estabelece normas gerais de tarifação para as empresas concessionárias de serviços públicos de energia elétrica, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília.

- BRASIL, Ministério das Minas e Energia, DNAEE, Eletrobrás, Empresas Concessionárias de Energia Elétrica; *Nova Tarifa de Energia Elétrica: metodologia e aplicação*, Brasília: DNAEE, 1985.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.
- BRASIL. Lei nº 8.987 de 13 de fevereiro de 1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previstos no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. *Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro / Agência Nacional de Energia Elétrica*, Brasília, v.1, pág. 37.
- BRASIL. Lei nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. *Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro / Agência Nacional de Energia Elétrica*, Brasília, v.1, pág. 61.
- BRASIL. Lei nº 9.648 de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 8.666, de 21 de junho de 1993, nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, nº 9.074, de 7 de julho de 1995, nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação das Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências. *Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro / Agência Nacional de Energia Elétrica*, Brasília, v.1, pág. 72.
- BRASIL. Decreto nº 3.653, de 7 de novembro 2000. Altera dispositivos do Decreto nº 62.724, de 17 de maio de 1968, que estabelece normas gerais de tarifação para as empresas concessionárias de serviços públicos de energia elétrica, e do Decreto nº 2.655, de 2 de julho de 1998, que regulamenta o Mercado Atacadista de Energia Elétrica, define as regras de organização do Operador Nacional do Sistema

Elétrico, de que trata a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, e dá outras providências. *Legislação Básica do Setor Elétrico Brasileiro / Agência Nacional de Energia Elétrica*, Brasília, v.1, pág. 344

BREYER, S. P. *Regulation and its Reform*. Cambridge, EUA: Havard University Press, 1982.

CHEN, C. S.; HWANG, J. C.; HUANG, C. W. Application of Load Survey Systems to Proper Tariff Design. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 12, Nº 4, p. 1746-1751, Nov. 1997.

CODI – Comitê de Distribuição de Energia Elétrica. *Tarifas Horo-Sazonais Azul e Verde*, Manual de Orientação ao Consumidor. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1994.

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica: Portaria nº 165, de 05 de novembro de 1984. Estabelece as condições a serem observadas para o fornecimento de energia elétrica com tarifas diferenciadas, conforme os períodos do ano e os horários de utilização de energia, segundo a estrutura tarifaria horo-sazonal. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção: 1, pág. 16.263 em 06/11/1984.

KAZMIER L. J. *Estatística Aplicada a Economia e Administração*. 1ª ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.

MME – Ministério de Minas e Energia. Portaria nº 046, de 10 de janeiro de 1982.

Determina ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE, a implantação de tarifas de energia elétrica diferenciadas conforme os períodos do ano e os horários de utilização da energia elétrica. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção: 1, pág. 1.120 em 19/01/1982.

- MUNASINGHE, M. Principles of Modern Electricity Pricing *Proceedings of the IEEE*.
Vol. 69, nº 3 , Mar. 1981.
- NAZARCO, J.; STYCZYNSKI, Z. A. Application of Statistical and Neural Approaches to
the Daily Load Profiles Modelling in Power Distribution Systems. IEEE
Transmission and Distribution Conference (Apr. 1999: New Orleans, LA).
Proceedings. New Orleans, 1999. Vol. 1 p. 320-325.
- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Operação do Sistema Interligado Nacional –
Dados Relevantes de 2001*. Brasília, 2001.
- PESSANHA, J. F. M.; VELASQUEZ, R. M. G.; MELO, A. C. G. et al. Técnicas de Cluster
Analysis na Construção de Tipologias de Curva de Carga. SEMINÁRIO
NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (15.: Nov. 2002:
Salvador, BA). *Anais*. Salvador, 2002. Trabalho nº 111.
- SANTOS, P. E. S.; AMADO, T. F.; ROSA, R. L. et al. Tarifas de Uso da Distribuição e seu
Acoplamento com as Atuais Tarifas de Fornecimento. In: CONGRESSO
BRASILEIRO DE REGULAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS (2.: Out. 2001: São
Paulo, SP). *Anais*. São Paulo, 2001. Trabalho 160.
- SILVA E. L. Formação de Preços em Mercados de Energia Elétrica. 1ª ed. Porto Alegre:
Sagra Luzzatto, 2001.
- SPIEGEL M. R. *Estatística*. 2ª ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.