

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**“MODELO MULTICRITÉRIO PARA ORDENAÇÃO DOS PONTOS
MONITORADOS DE UM SISTEMA ELÉTRICO COM BASE NOS MÉTODOS
SMARTS/SMARTER”**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

SANDRO FELINTO DA SILVA

Orientador: Prof. Adiel Teixeira de Almeida, PhD

RECIFE, JUNHO / 2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Silva, Sandro Felinto da

Modelo multicritério para ordenação dos pontos monitorados de um sistema elétrico com base nos métodos SMART/SMARTER / Sandro Felinto da Silva.
– Recife : O Autor, 2006.

67 folhas : il., tab., fig.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia de Produção, 2006.

Inclui bibliografia e apêndices.

1. Engenharia de produção – Teoria da decisão. 2. Teoria da utilidade multiatributo – Métodos SMARTS/SMARTER. 3. Sistema elétrico – Ordenação de pontos monitorados – Modelo multicritério. I. Título.

658.5
658.5

CDU (2.ed.)
CDD (21.ed.)

UFPE
BC2006 - 402



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE DE

SANDRO FELINTO DA SILVA

“Modelo Multicritério para Ordenação dos Pontos Monitorados de um Sistema Elétrico com Base no Método SMARTS/SMARTER”.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato SANDRO FELINTO DA SILVA **APROVADO**.

Recife, 21 de junho de 2006.

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)

Profª. CAROLINE MARIA DE MIRANDA MOTA, Doutor (UFPE)

Prof. RUI FRANCISCO MARTINS MARÇAL, Doutor (UTFPR)

À minha esposa, Ana,
aos meus filhos, Fernanda e Arthur,
aos meus pais, Jorge e Lizete e a meus irmãos,
Sandra, Simone e Sandoval em memória.

AGRADECIMENTOS

A realização de qualquer trabalho por mais individual que possa parecer, sempre é fruto de uma série de contribuições recebidas ao longo da caminhada vivenciada pelo executor, seja no campo intelectual, moral ou espiritual. Desta forma, quero expressar meus sinceros agradecimentos:

- A Deus, por ter me dado tantas dádivas, sempre guiar os meus caminhos e pelo envio de Nosso Senhor Jesus Cristo que mostrou o caminho a ser seguido;
- A minha esposa, Ana e aos meus filhos, Fernanda e Arthur pelo amor, compreensão, incentivo e diversas contribuições;
- Aos meus pais, Jorge e Lizete, pelo amor, ensinamentos e um sem número de sacrifícios;
- A meus irmãos Sandra, Simone e Sandoval em memória, pelo amor, encorajamento e confiança depositada ao longo dessa jornada;
- Ao amigo, Wider Basilio, pela viabilização do mestrado, conselhos e incentivos permanentes;
- A Companhia Energética de Pernambuco nas pessoas do Superintendente Gustavo Alencar e do Gestor Bruno da Silveira Lobo pelo incentivo e confiança;
- Ao professor Adiel pela sua orientação e incentivo, decisivos para a realização deste trabalho;
- Aos professores Caroline e Marçal, pelas críticas e sugestões para melhoria do trabalho;
- As secretárias do mestrado pela presteza, e em especial a Juliane pelo incentivo no momento decisivo.

RESUMO

O presente trabalho de dissertação apresenta um modelo de ordenação dos pontos monitorados de um sistema elétrico baseado no nível de qualidade da energia elétrica, relativa aos fenômenos eletromagnéticos dos afundamentos de tensão.

O modelo de ordenação desenvolvido será aplicado a uma rede elétrica da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e tem por base a teoria da utilidade multiatributo, aplicada através dos métodos *SMARTS* (*Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings*) e *SMARTER* (*Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks*), para mensuração do valor da utilidade para os pontos monitorados.

Os dados relativos aos afundamentos de tensão são obtidos a partir dos arquivos gerados pelo sistema de monitoração elétrica da rede, sendo caracterizados por meio de nove atributos cujos valores individuais são agregados através de uma função utilidade multiatributo aditiva. Esses valores das utilidades multiatributo permitem a ordenação dos pontos monitorados segundo o nível da qualidade da energia elétrica apresentado em relação aos afundamentos de tensão. Essa é uma informação relevante, pois é fruto da transformação dos dados dos afundamentos de tensão, que não mensuram diretamente o nível da qualidade da energia elétrica, numa indicação útil ao gestor da rede elétrica, propiciando-lhe tanto uma visão global da qualidade da rede, quanto dando suporte ao desenvolvimento de políticas para melhoria da qualidade da energia elétrica.

ABSTRACT

This work presents a model for ranking the monitored points, in an electrical system, based on electrical power quality level, relative to voltage sags electromagnetic phenomena.

The developed model for ranking will be used in a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) electrical network and is based on Multiattribute Theory Utility, utilized through SMARTS (Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings) and SMARTER (Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks) methods, for the utility value measurement to the monitored points.

Data relative to voltage sags are obtained from files generated by network electrical monitoring system and are characterized through nine attributes whose individual values are aggregated through an additive multiattribute utility function.

These multiattribute utilities' values allow ranking the monitored points under the electrical power quality level, presented regarding voltage sags. This information is so important because it is the product of the transformation of voltage sags' data, that do not measure, directly, the electrical power quality level, in a useful indication to the electrical network manager, providing both a network quality overall view, and support for the development of politics for the improvement of electrical power quality.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Importância do Tema.....	11
1.2	Objetivo	12
1.3	Limitações da Dissertação.....	12
1.4	Estrutura da Dissertação	12
2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	14
2.1	Sistema de Monitoração	15
2.2	Fenômenos Eletromagnéticos.....	17
2.2.1	Distorção Harmônica de Tensão	17
2.2.2	Desequilíbrio de Tensão	19
2.2.3	Flutuação de Tensão	19
2.2.4	Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD).....	19
2.3	Dados Operacionais	23
2.4	Formulação do Problema.....	23
3	BASE CONCEITUAL	25
3.1	Teoria da Decisão	25
3.2	Teoria da Utilidade Multiatributo.....	26
3.3	<i>SMARTS</i> e <i>SMARTER</i>	27
3.3.1	Introdução	27
3.3.2	Estratégia de aproximação heróica.....	28
3.3.3	Procedimentos para utilização do Método <i>SMARTS</i>	28
3.3.4	Procedimentos para utilização do Método <i>SMARTER</i>	32
4	MODELO PROPOSTO.....	35
4.1	Delimitação do Problema	35
4.2	Definição dos Atributos.....	36
4.2.1	Quantidade Relativa de Afundamentos por Fases Afetadas.....	38
4.2.2	Duração Relativa dos Afundamentos por Fases Afetadas.....	39
4.2.3	Valor Médio dos Afundamentos por Fases Afetadas	39
4.3	Objetos de Avaliação.....	39
4.4	Utilidades de Única Dimensão	39
4.5	Utilidade Multiatributo	40
4.6	O Grau de Importância dos Atributos	40
5	ESTUDO DE CASO	42
5.1	Rede Elétrica	42
5.2	Aplicação da Metodologia <i>SMARTS</i>	42
5.3	Aplicação da Metodologia <i>SMARTER</i>	48
5.4	Análise de Sensibilidade.....	50
5.5	Considerações sobre o Estudo de Caso	50
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
	APÊNDICE 1: Tabela com Relação de Ocorrências do Estudo de Caso.....	58
	APÊNDICE 2: Arquivo de Afundamento de Tensão Gravado pelo RDP.	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sistema de monitoração da rede elétrica	15
Figura 2.2 - Gráfico da tensão eficaz <i>versus</i> tempo para um afundamento de tensão hipotético	20
Figura 5.1 - Diagrama Unifilar Simplificado do Sistema Elétrico utilizado para aplicação do modelo	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Categorias e características típicas dos fenômenos eletromagnéticos, conforme recomendação da <i>IEEE Standard 1159-1995</i>	17
Tabela 2.2 - Denominação das Variações de Tensão de Curta Duração, conforme sub-módulo 2.2 dos Procedimentos de Rede do ONS	19
Tabela 2.3 - Caracterização do evento mostrado na Figura 2.2, pelo critério de desagregação	21
Tabela 3.1 - Pesos calculados segundo os diferentes métodos	32
Tabela 5.1 - Quantidade total e relativa de afundamentos de tensão por número de fases afetadas	43
Tabela 5.2 - Duração total e relativa dos afundamentos de tensão por número de fases afetadas	44
Tabela 5.3 - Tensão Média Resultante e Afundamento de Tensão Médio por número de fases afetadas	44
Tabela 5.4 - Matriz de Valores dos Objetos de Avaliação (Alternativas) por Atributos	45
Tabela 5.5 - Valores dos pesos dos atributos, ordenados segundo sua importância	46
Tabela 5.6 - Valores das utilidades multiatributos calculados através do método <i>SMARTS</i> ..	47
Tabela 5.7 - Valores dos pesos <i>ROC</i> dos atributos, ordenados segundo sua importância	48
Tabela 5.8 - Valores das utilidades multiatributos calculados com os pesos <i>ROC</i> , através do método <i>SMARTER</i>	48
Tabela 5.9 - Resultados da variação dos pesos dos atributos, na ordenação obtida pelo método <i>SMARTS</i>	50

1 INTRODUÇÃO

A década de 1990 representou para o setor elétrico brasileiro um marco, decorrente de três fatos marcantes, as mudanças na elaboração de um novo modelo para o setor, as privatizações das concessionárias de energia elétrica e a mudança de postura dos seus usuários em relação a importância dada ao insumo energia elétrica.

O novo modelo do setor elétrico brasileiro possibilitou que os usuários da energia elétrica, principalmente os do segmento industrial, que já atuavam num mercado aberto para comercialização de seus produtos, passassem a usufruir da flexibilidade contratual para escolha de qualquer empresa comercializadora de energia que atuasse no mercado nacional, para compra da energia demandada por seus processos produtivos.

Entretanto, a avaliação a ser feita pelo cliente industrial para escolha da empresa distribuidora, responsável pelo fornecimento da energia elétrica as suas unidades produtivas, deveria considerar não somente o custo da unidade de energia praticado pela distribuidora, mas também outros fatores que tivessem estreita relação com a qualidade do produto final do seu processo produtivo.

A energia elétrica então passou a ser identificada, principalmente pelo cliente industrial, como insumo importante no seu processo produtivo, pela sua relação direta com as paradas de produção e conseqüente perda de matéria prima, quando esta não apresentasse a qualidade requerida para funcionamento do processo industrial.

Em outro caminho, a evolução tecnológica associada às atividades produtivas, seja em grande ou pequena escala, sobretudo pela necessidade de maior produtividade e qualidade dos bens produzidos, teve e tem como conseqüência a utilização de uma quantidade crescente de dispositivos e equipamentos micro-processados. Esses dispositivos, por sua vez, apresentam uma maior suscetibilidade aos problemas da qualidade da energia elétrica (QEE) fornecida, exigindo das empresas distribuidoras de energia uma maior preocupação com a qualidade de seu produto.

Essa necessidade de aumento no nível da QEE fornecida, embora seja mais crítica para os clientes de natureza industrial, também está presente nos outros tipos de cargas, sobretudo pela sofisticação dos aparelhos eletro-eletrônicos disponíveis e principalmente, pela inserção cada vez maior dos computadores, nos mais diversos processos relacionados às atividades cotidianas.

Porém, não obstante a necessidade e o interesse pelo tema, as empresas do setor elétrico brasileiro não dispunham de ferramentas de análise e nem de modelos de gestão em QEE, que auxiliassem na definição de quais ações adotar para melhoria da QEE, nem de quais pontos priorizar para implementação dessas melhorias.

Tal fato decorre de que todas as pesquisas, até então desenvolvidas pelo setor, apresentavam apenas um enfoque voltado para identificação de modelos para diagnósticos técnicos dos distúrbios elétricos no sistema de potência das concessionárias. Esses modelos não propiciavam uma visão global dos pontos monitorados do sistema elétrico em apreço e, portanto não geravam um mecanismo de comparação do nível de QEE presente nas barras monitoradas do sistema que permitissem ao gestor da rede definir políticas de melhoria do nível de QEE. Esses pontos monitorados correspondem aos barramentos do sistema elétrico que possuem instalados registradores para medição dos distúrbios elétricos que afetam a qualidade da energia fornecida.

Ciente desta necessidade, a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) vem trabalhando desde 1998, na monitoração do seu sistema elétrico e no aprimoramento das ferramentas de análise da QEE fornecida aos seus clientes, particularmente os do segmento industrial. Dispondo atualmente de metodologia própria de análise de engenharia, validada pelo setor elétrico brasileiro.

Sendo assim, é através desta dissertação que se busca disponibilizar para a CELPE um modelo de ordenação dos pontos monitorados, segundo o nível de QEE associado ao fenômeno dos afundamentos de tensão, que partindo dos dados técnicos de engenharia, associados a tais eventos, permita a construção de políticas empresarias para melhoria da QEE.

1.1 Importância do Tema

A busca pela melhoria da QEE fornecida aos seus usuários finais tem sido, nos últimos anos, um dos principais objetivos das empresas do setor elétrico brasileiro. Esta nova visão por parte das empresas pode ser amparada pelo conceito de Juran e Gryna (1991), “Qualidade é adequação ao uso”, que representa a fundamental importância da satisfação do cliente com o produto adquirido, fator crucial para a sobrevivência das organizações num mercado cada vez mais competitivo.

É dentro deste contexto que a CELPE vem trabalhando na monitoração da QEE do seu sistema, com o objetivo de identificar o padrão de fornecimento da energia ofertada nos

diversos barramentos de seu sistema elétrico e selecionar pontos para aprofundamento dos estudos técnicos de melhoria da QEE.

Diante deste quadro percebe-se a importância de um modelo de ordenação dos pontos monitorados, que proporcione uma visão global do sistema elétrico com respeito ao nível de QEE referente aos afundamentos de tensão, fenômeno de maior impacto na operação das redes elétricas pela sua abrangência e ocorrência corriqueira.

1.2 Objetivo

O principal objetivo desta dissertação é desenvolver um modelo de ordenação dos pontos monitorados, para aplicação no sistema elétrico da CELPE, baseado no nível de QEE, referente aos afundamentos de tensão, que subsidie o gestor da rede elétrica na formulação de políticas empresariais para melhoria da QEE.

A consecução do objetivo principal dar-se-á pela realização dos seguintes objetivos secundários relativos aos afundamentos de tensão:

- Estudar as características relevantes para mensuração do nível de QEE;
- Desenvolver os atributos adequados para essa mensuração;
- Mensurar o nível de QEE dos pontos monitorados do sistema elétrico;
- Comparar os resultados obtidos pela utilização de mais de um método.

1.3 Limitações da Dissertação

O modelo de ordenação proposto se baseia no cálculo da utilidade multiatributo, para os pontos monitorados e refere-se aos afundamentos de tensão, não considerando outros fenômenos eletromagnéticos presentes na rede elétrica.

Além disso, a formulação de tal modelo está fundamentada na teoria da utilidade multiatributo, medida através dos métodos *SMARTS* (*Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings*) e *SMARTER* (*Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks*). Portanto, não estão sendo considerados outros modelos de decisão multicritérios para resolução deste problema.

1.4 Estrutura da Dissertação

Este trabalho de pesquisa está dividido em seis capítulos, cujo conteúdo é descrito a seguir.

O presente capítulo, Introdução, traz uma apresentação inicial da dissertação. Sendo abordada a importância do tema, o objetivo do trabalho e suas limitações.

O capítulo 2, Descrição do Problema, relata o contexto e os condicionantes do problema em análise.

O capítulo 3, Base Conceitual, apresenta o embasamento metodológico relativo a teoria da utilidade multiatributo e sua mensuração através dos métodos *SMARTS* e *SMARTER*.

O capítulo 4, Modelo Proposto, descreve o modelo de ordenação desenvolvido e apresenta suas principais características enfatizando a adequação do cálculo da utilidade multiatributo por meio da agregação aditiva para o problema em análise.

No capítulo 5, Estudo de Caso, é aplicado o modelo proposto para ordenação dos pontos monitorados de um sistema elétrico da CELPE.

Finalmente, o capítulo 6, Conclusões e Trabalhos Futuros, apresenta as considerações finais sobre a aplicação do modelo de ordenação proposto e são citadas algumas possibilidades visualizadas para futuros desenvolvimentos.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A demanda crescente dos clientes das empresas distribuidoras por energia elétrica de qualidade superior, sobretudo os do segmento industrial, devido a modernização das suas instalações, com a substituição de processos produtivos robustos por sistemas automatizados que apresentam níveis de sensibilidade elevados a distorção da forma de onda e a variação da tensão de suprimento, tem exigido das concessionárias de energia investimentos adicionais na área de Qualidade da Energia Elétrica (QEE).

Esta qualidade anteriormente avaliada por índices baseados na frequência e duração das interrupções no fornecimento de energia, denominada qualidade do serviço, passa a necessitar de critérios que afirmam também a conformidade da forma da onda da tensão elétrica, qualidade do produto, portanto, exigindo novas estratégias de mensuração por parte das distribuidoras.

A QEE segundo a perspectiva da qualidade do produto, conformidade da onda da tensão elétrica, abrange diversos fenômenos eletromagnéticos, cujas conseqüências sobre as cargas atendidas pelas redes das distribuidoras são o mau funcionamento, redução da vida útil e eventuais queimas de equipamentos, além de desligamento de dispositivos de proteção elétrica, com conseqüente parada no processo produtivo de plantas industriais.

Os principais fenômenos eletromagnéticos, comumente avaliados na Europa e EUA, são as variações de tensão de curta duração, distorção harmônica, desequilíbrio e flutuação de tensão. Para estes eventos estão sendo definidos os níveis máximos permitidos no âmbito do Brasil, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através da elaboração do documento regulador denominado Procedimentos de Distribuição, em seu módulo 8, que se refere a QEE nas redes de distribuição.

Num mercado onde a concorrência foi introduzida pela privatização das empresas estaduais de distribuição, e sobretudo pela possibilidade de determinados clientes se declararem livres, e com isso poderem comprar energia de qualquer empresa comercializadora, independentemente do suprimento físico, a QEE passa a ser estratégica também, para a fidelização do mercado cativo e na atração de novos clientes.

Neste contexto onde a QEE tornou-se fundamental para os clientes, diferencial competitivo para as concessionárias, além da introdução prevista de normas reguladoras relativas a qualidade do produto, as empresas distribuidoras precisam desenvolver procedimentos para avaliação das suas redes, segundo a ótica da QEE. A monitoração de seu sistema elétrico é a ferramenta básica para esta avaliação e pode ser utilizada também para a

definição de ações mitigadoras dos problemas reclamados e/ou identificados. Entretanto, a quantidade de dados gerados pelo sistema de monitoração, relativos aos mais diversos fenômenos eletromagnéticos, implicando na dificuldade de transformação desses dados em informações úteis às concessionárias para a administração de suas redes, torna bastante difícil a tarefa de decidir sobre quais investimentos realizar para melhoria da qualidade do sistema elétrico, ou mesmo, quais pontos selecionar para a realização de uma análise técnica de engenharia mais aprofundada.

Diante disso, a presente dissertação tem como objetivo apresentar um modelo de ordenação das barras de um sistema elétrico com base em critérios relativos a QEE, mensurada através dos eventos de variação de tensão de curta duração (VCTD), particularmente os afundamentos de tensão, que determinará a barra mais indicada para a realização dos estudos técnicos de engenharia. Tal modelo utiliza a teoria da utilidade multiatributo, aplicada conforme preceituam as metodologias para sua medição, denominadas de *SMARTS (Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings)* e *SMARTER (Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks)*.

Nos itens seguintes apresentam-se as características dos principais elementos relacionados a QEE, para entendimento dos condicionantes do problema em análise.

2.1 Sistema de Monitoração

A monitoração da QEE é necessária para caracterizar os diversos fenômenos eletromagnéticos presentes em uma rede elétrica. Ela pode ter como objetivo desde a avaliação da QEE presente na rede, até servir de base para a previsão de desempenho futuro de dispositivos de mitigação dos problemas. Por isso, a tarefa mais importante para o sucesso no desenvolvimento e implementação de tal sistema é a definição clara dos objetivos (*IEEE Standard 1159, 1995*).

No caso da CELPE, o sistema de monitoração foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a rede elétrica de forma eficiente e prover a empresa de informações sobre a QEE, antecipando-se de forma planejada a legislação em elaboração. Para tanto, a monitoração foi implementada de modo piloto, numa rede elétrica de 69 kV derivada de uma subestação supridora de 230/69 kV, designada como regional. Esta região elétrica foi escolhida por suprir a uma das áreas mais industrializada do estado de Pernambuco.

Este regional é composto por 12 subestações de 69/13,8 kV e tem cerca de 307 km de linhas de transmissão na tensão de 69 kV, totalizando 32 barras de 69 kV. Para ser realizada a monitoração completa de todo o regional, *a priori* seria necessária a instalação de um número

de registradores digitais de perturbação, que é o equipamento responsável pela medição das grandezas elétricas e dos fenômenos eletromagnéticos monitorados, igual a quantidade de barras. Como a instalação de registradores em todos os barramentos do regional demandaria um montante de investimentos excessivo, foi desenvolvido através de um projeto de pesquisa, uma metodologia de monitoração eficiente da QEE que escolheu um número reduzido de pontos para instalação dos mesmos. Esta metodologia é responsável pela monitoração de todo o regional, pois, utiliza um algoritmo de estimação de estado, especialmente desenvolvido, para os pontos não diretamente medidos do regional. Desta forma, foi necessária a instalação dos registradores em apenas 11 barras em todo o regional.

O sistema de monitoração é composto, além dos registradores digitais de perturbação, por transdutores de sinais, *nobreaks*, *modems*, linhas telefônicas e um servidor de banco de dados, onde estão instalados os programas computacionais responsáveis pelo gerenciamento e aquisição dos arquivos de dados. Em cada ponto monitorado da rede elétrica estão instalados, além do registrador digital de perturbação (RDP), um *modem*, um *nobreak*, uma linha telefônica e os transdutores de sinais. Enquanto que no escritório da CELPE encontram-se instalados o servidor, um *modem* e uma linha telefônica. A Figura 2.1 mostra esquematicamente o sistema de monitoração.

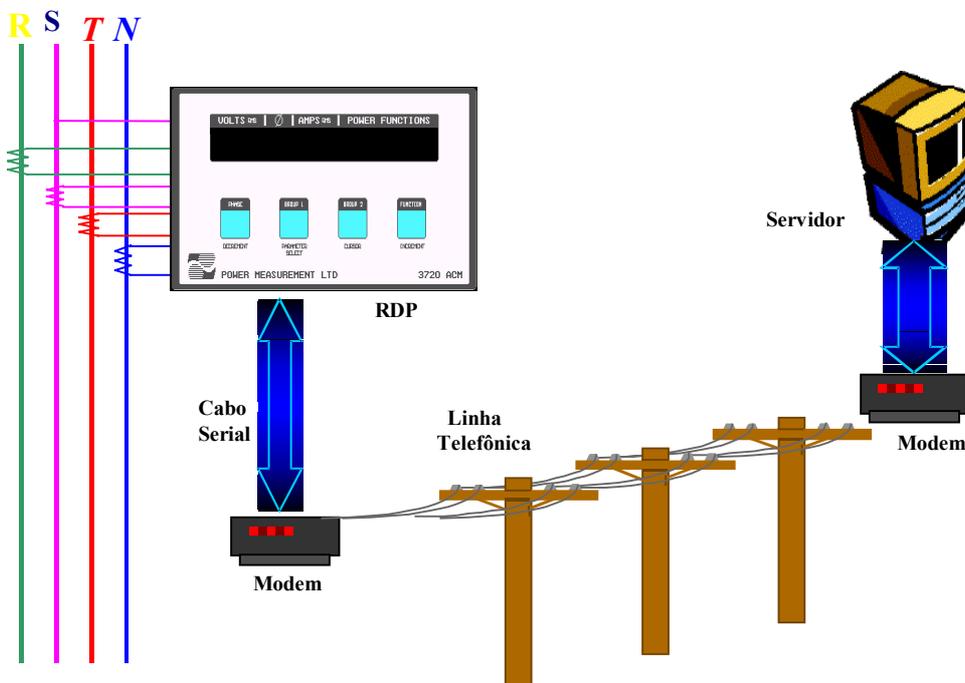


Figura 2.1 - Sistema de monitoração da rede elétrica.

O RDP está acoplado a um conjunto de transdutores de sinais que possibilita a transformação das grandezas para níveis compatíveis a sua capacidade de leitura. No registrador são gravados os arquivos referentes à medição contínua, grandezas elétricas e

fenômenos eletromagnéticos, além das variações de tensão de curta duração, que são fenômenos oriundos da ocorrência de eventos corriqueiros a operação do sistema elétrico.

A transmissão e recebimento desses arquivos no servidor são realizados pelas linhas telefônicas e *modems*, através de programas instalados no próprio servidor. Já o *nobreak*, fornece energia ao RDP durante as interrupções elétricas, possibilitando o seu registro, de acordo com a sua capacidade de funcionamento autônomo.

Todos esses dispositivos, que compõem o sistema de monitoração, devem possuir determinadas características técnicas que foram minuciosamente detalhadas nas suas respectivas especificações de compra. E visam garantir níveis adequados de precisão e acurácia na medição dos fenômenos eletromagnéticos, conforme exigem os normativos nacionais e internacionais. Tais requisitos não fazem parte do escopo desta dissertação, portanto não se constituem em objetos de análise.

2.2 Fenômenos Eletromagnéticos

Embora este trabalho trate apenas dos fundamentos de tensão serão apresentados os conceitos dos principais fenômenos para proporcionar uma visão abrangente do problema em estudo.

Conforme dito anteriormente, o termo QEE se refere a uma grande variedade de fenômenos eletromagnéticos, cuja caracterização utilizada de acordo com o *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, conforme o documento normativo intitulado “*Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*”, de 1995, está mostrada na Tabela 2.1. Dos fenômenos apresentados, estão sendo definidas regras de acompanhamento e avaliação, pela ANEEL, no âmbito das empresas distribuidoras de energia elétrica brasileiras, para as variações de tensão de curta duração, flutuação, distorção harmônica e desequilíbrio de tensão.

2.2.1 Distorção Harmônica de Tensão

Distorção harmônica de tensão são desvios na forma de onda da tensão em relação a uma onda com formato perfeitamente sinusoidal. As componentes harmônicas são tensões sinusoidais cujas frequências são múltiplos inteiros da frequência em que o sistema elétrico opera normalmente (60 Hz). Essas distorções periódicas podem ser decompostas numa soma cujas parcelas são a componente de frequência fundamental (60 Hz) e as componentes harmônicas. Elas são originadas pelas características não lineares presentes nos equipamentos

e dispositivos responsáveis pela geração e transporte da energia elétrica. Entretanto, a maior contribuição para a distorção harmônica da tensão resulta da operação de cargas não lineares.

Tabela 2.1 - Categorias e características típicas dos fenômenos eletromagnéticos, conforme recomendação da IEEE Standard 1159-1995.

Categorias	Conteúdo Espectral Típico	Duração Típica	Amplitude de Tensão Típica
1.0 Transitórios			
1.1 Impulsivos			
1.1.1 Nanossegundos	5 ns (tempo de subida)	< 50 ns	
1.1.2 Microssegundos	5 ns (tempo de subida)	50 ns - 1 ms	
1.1.3 Milissegundos	5 ns (tempo de subida)	> 1ms	
1.2 Oscilatórios			
1.2.1 Baixa frequência	< 5 kHz	0,3 - 50 ms	0 - 4 pu
1.2.2 Média frequência	5 - 500 kHz	20 μ s	0 - 8 pu
1.2.3 Alta frequência	0,5 - 5 MHz	5 μ s	0 - 4 pu
2.0 Variações de curta duração			
2.1 Instantâneas			
2.1.1 Afundamento		0,5 - 30 ciclos	0,1 - 0,9 pu
2.1.2 Elevação		0,5 - 30 ciclos	1,1 - 1,8 pu
2.2 Momentâneas			
2.2.1 Interrupção		0,5 ciclo - 3 s	< 0,1 pu
2.2.2 Afundamento		30 ciclos - 3 s	0,1 - 0,9 pu
2.2.3 Elevação		30 ciclos - 3 s	1,1 - 1,4 pu
2.3 Temporárias			
2.3.1 Interrupção		3 s - 1 min	< 0,1 pu
2.3.2 Afundamento		3 s - 1 min	0,1 - 0,9 pu
2.3.3 Elevação		3 s - 1 min	1,1 - 1,2 pu
3.0 Variações de longa duração			
3.1 Interrupção sustentada		> 1 min	0,0 pu
3.2 Subtensão		> 1 min	0,8 - 0,9 pu
3.3 Sobretensão		> 1 min	1,1 - 1,2 pu
4.0 Desequilíbrio de tensão		Regime permanente	0,5 - 2,0 %
5.0 Distorção da forma de onda			
5.1 Componente CC (<i>DC offset</i>)		Regime permanente	0 - 0,1 %
5.2 Harmônicos		Regime permanente	0 - 20 %
5.3 Inter-harmônicos		Regime permanente	0 - 2,0 %
5.4 Corte (<i>notching</i>)		Regime permanente	
5.5 Ruído		Regime permanente	0 - 1,0 %
6.0 Flutuações de tensão	< 25 Hz	Intermitente	0,1 - 7,0 %
7.0 Variações de frequência		< 10 s	

Os níveis de distorção harmônica são avaliados tanto pelo percentual das componentes individuais presentes em relação a componente fundamental da onda, como também, pela

quantidade total de distorção, que é dada pela raiz quadrada do somatório do quadrado dos valores eficazes das componentes harmônicas individuais.

2.2.2 Desequilíbrio de Tensão

O desequilíbrio de tensão é caracterizado pela situação em que as amplitudes das tensões num sistema trifásico são diferentes, ou quando as defasagens entre elas não correspondem a 120° elétricos, ou ambos. Um método simples de expressar o desequilíbrio de tensão é dado pela relação percentual entre o máximo desvio de cada uma das tensões em relação a média, dividido pela média das tensões. Entretanto, sua mensuração é mais rigorosa quando são utilizados componentes simétricas, sendo dado pela razão entre a componente de seqüência negativa ou zero, pela componente de seqüência positiva.

O surgimento de tensões de seqüência negativa, ou zero num sistema elétrico, geralmente resulta da operação de cargas desequilibradas que geram o fluxo de correntes dessas seqüências. As cargas monofásicas conectadas em circuitos trifásicos são a principal fonte de desequilíbrio de tensão.

2.2.3 Flutuação de Tensão

As flutuações de tensão são variações aleatórias, repetitivas ou esporádicas, do valor eficaz da tensão elétrica. Geralmente, pode-se relacionar as flutuações aleatórias e repetitivas com a operação de cargas não lineares, cujo consumo de potência é variável no tempo. Enquanto que as flutuações esporádicas relacionam-se com manobras na rede elétrica e na carga.

Cargas que apresentam variações rápidas, contínuas na magnitude da corrente demandada podem causar variações de tensão que são habitualmente referidas como *flicker*. Contudo, o termo *flicker* é derivado do impacto da flutuação de tensão sobre a luminosidade das lâmpadas, tal que sejam percebidas pelo olho humano como cintilação luminosa. Para ser tecnicamente correto, flutuação de tensão é um fenômeno eletromagnético, enquanto *flicker* é um resultado indesejável da flutuação sobre certas cargas.

A operação de fornos a arco elétrico é a causa mais comum das flutuações de tensão nos sistemas de transmissão e distribuição.

2.2.4 Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD)

As variações de tensão de curta duração correspondem a um desvio significativo da amplitude da tensão em um curto intervalo de tempo. A sua amplitude é definida pelo valor

extremo da média quadrática (valor eficaz) da tensão, em relação à tensão nominal do sistema no ponto considerado. Já a duração da VTCD é definida pelo intervalo de tempo decorrido, entre o instante em que o valor eficaz da tensão, em relação à tensão nominal, ultrapassa determinado limite e o instante em que a mesma variável volta a cruzar este limite, conforme sub-módulo 2.2, dos Procedimentos de Rede, do Operador Nacional do Sistema (ONS).

A Tabela 2.2 mostra como são classificadas as variações de tensão de curta duração a partir da duração e amplitude, segundo o sub-módulo 2.2 supracitado. Nela se pode observar que os afundamentos de tensão representam uma diminuição no valor da amplitude da tensão fornecida, que resultem em valores maiores ou iguais a 0,1 pu (por unidade) e menores que 0,9 pu, e cuja duração seja maior ou igual a 1 ciclo (1/60 s) e igual ou inferior a 1 minuto. Percebe-se ainda três diferenças importantes em relação a *IEEE Standard 1159-1995*, a primeira é que no Brasil não existe a categoria instantânea, a segunda é que os eventos de afundamento e elevação de tensão são categorizados a partir da duração de um ciclo, e a terceira é que as elevações de tensão não possuem um limite superior para o valor de sua amplitude.

Tabela 2.2 - Denominação das Variações de Tensão de Curta Duração, conforme sub-módulo 2.2 dos Procedimentos de Rede do ONS.

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da Tensão (valor eficaz) em relação à tensão nominal
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 pu
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 pu
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 pu
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior ou igual a um minuto	Inferior a 0,1 pu
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior ou igual a um minuto	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 pu
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior ou igual a um minuto	Superior a 1,1 pu

As principais causas das variações de tensão de curta duração são a ocorrência de curto-circuito no sistema elétrico, sobrecargas e partidas de grandes motores elétricos, além das perdas de conexões na rede.

Dois importantes conceitos normalmente empregados para a contagem dessas variações são a agregação de fases e a agregação temporal. A agregação de fases consiste na composição como um único evento quando ocorrem eventos fase-neutro simultâneos, no mesmo ponto de monitoração. Já a agregação temporal corresponde a contagem como um único evento, de eventos consecutivos, dentro do período de tempo de 1 minuto, no mesmo local monitorado. Desta forma, depois de procedida a agregação de fases é realizada a agregação temporal.

Como o nosso objeto de estudo são os afundamentos de tensão e a sua valoração por meio da definição de atributos relevantes ao objetivo colimado depende da sua caracterização, ilustram-se a seguir as possibilidades para sua agregação e conseqüente contagem. Na Figura 2.2 tem-se o gráfico do valor da tensão eficaz *versus* o tempo, para um afundamento de tensão hipotético que servirá para essa ilustração. Nele estão mostrados todos os instantes de tempo onde o limiar para a ocorrência de afundamento de tensão (tensão eficaz de 0,9 pu) é transposto.

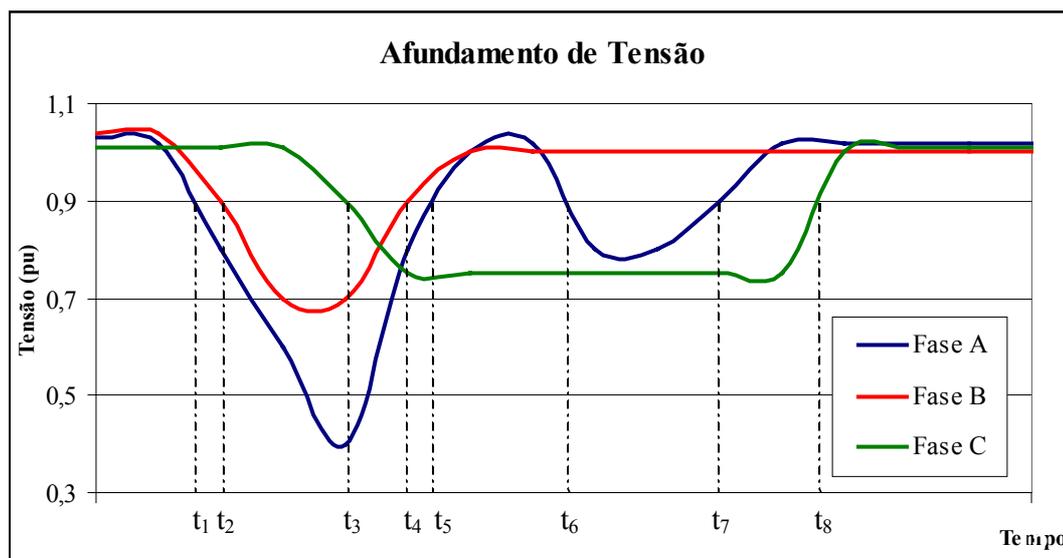


Figura 2.2 - Gráfico da tensão eficaz versus tempo para um afundamento de tensão hipotético.

A primeira possibilidade para a agregação de fases é realizada pelo critério de união das fases, ou seja, a duração do evento é definida como o intervalo de tempo decorrido entre o instante em que o primeiro dos eventos fase-neutro ultrapassa o limite (tensão eficaz de 0,9 pu) e o instante em que o último dos eventos fase-neutro volta a cruzar este limite. Desta forma, o evento mostrado na Figura 2.2 seria caracterizado como um afundamento trifásico, de tensão resultante de 0,4 pu (amplitude) e com uma duração correspondente ao tempo decorrido entre t_1 e t_8 .

Uma segunda forma de agregação de fases é por parâmetros críticos, onde tanto a duração, quanto a amplitude são tomadas como as mais severas dentre as dos eventos fase-neutro. De acordo com esse critério o afundamento da Figura 2.2 seria especificado como um afundamento trifásico, de tensão resultante de 0,4 pu (amplitude do primeiro evento monofásico da fase A) e com uma duração correspondente ao tempo decorrido entre t_3 e t_8 (duração do evento monofásico da fase C).

A terceira forma de agregação de fases é pela fase crítica. Neste critério são consideradas para representação do evento agregado, a duração e a amplitude do evento fase-neutro mais crítico em termos de amplitude. De acordo com esse critério o afundamento da Figura 2.2 seria especificado como um afundamento trifásico, de tensão resultante de 0,4 pu (amplitude do primeiro evento monofásico da fase A) e com uma duração correspondente ao tempo decorrido entre t_1 e t_5 (duração do primeiro evento monofásico da fase A).

Como pode ser observado todas essas formas de agregação temporal conduzem a uma avaliação do afundamento de tensão que não reproduz exatamente o evento verificado. Embora sejam de grande utilidade para a contagem de eventos face as suas causas. Entretanto, como o objetivo do presente trabalho é a avaliação do nível de QEE, relativa aos afundamentos de tensão, considerada como um desvio da QEE ideal, será adotado para contagem e valoração dos atributos o evento desagregado. Seguindo esse critério o evento é caracterizado, em tantos afundamentos de tensão quantos sejam necessários, por número de fases afetadas simultaneamente, e com as respectivas amplitude e duração verificadas. A Tabela 2.3 mostra como o evento da Figura 2.2 é caracterizado pelo desdobramento em 7 afundamentos de tensão distintos, segundo esse critério.

Tabela 2.3 - Caracterização do evento mostrado na Figura 2.2, pelo critério de desagregação.

Evento	Duração	Amplitude	Quantidade de Fases Afetadas
Afundamento 1	Intervalo de tempo entre t_1 e t_2	0,80 pu	1
Afundamento 2	Intervalo de tempo entre t_2 e t_3	0,40 pu	2
Afundamento 3	Intervalo de tempo entre t_3 e t_4	0,40 pu	3
Afundamento 4	Intervalo de tempo entre t_4 e t_5	0,75 pu	2
Afundamento 5	Intervalo de tempo entre t_5 e t_6	0,75 pu	1
Afundamento 6	Intervalo de tempo entre t_6 e t_7	0,75 pu	2
Afundamento 7	Intervalo de tempo entre t_7 e t_8	0,75 pu	1

2.3 Dados Operacionais

Além dos dados provenientes do sistema de monitoração, referentes às grandezas elétricas e aos fenômenos que impactam na QEE, existe uma grande variedade de dados disponíveis nos relatórios diários do Centro de Operações Integradas (COI), da CELPE.

O COI é o órgão responsável pela operação da rede elétrica, desde a coordenação das manobras em eventos programados, até a gestão do atendimento as solicitações para correção de defeitos e restabelecimento do fornecimento de energia, oriundas das reclamações dos clientes, feitas ao centro de atendimento da CELPE. Portanto, seus relatórios descrevem o dia a dia da operação do sistema elétrico e trazem os detalhes dos eventos ocorridos, tais como: as suas origens, causas e conseqüências sobre os dispositivos e cargas da rede.

Esses dados operacionais, no que diz respeito ao registro dos eventos, além de se apresentarem numa grande quantidade, muitas das vezes trazem registros incompletos, pois, na maioria das vezes as ocorrências do sistema elétrico são ocasionadas por eventos de natureza intermitente e transitória, não sendo possível a identificação de suas causas.

A qualidade do serviço prestado pela CELPE aos seus clientes é avaliada pela ANEEL, principalmente através da verificação da eficiência e eficácia dos procedimentos adotados pelo COI, no atendimento as solicitações dos consumidores.

2.4 Formulação do Problema

A QEE de modo geral pode ser enfocada a partir de três perspectivas distintas, a primeira como forma de verificação do nível de qualidade presente nas redes elétricas, a segunda na determinação do nível de sensibilidade de determinadas cargas e clientes aos diferentes problemas, e numa terceira alternativa para o estudo e desenvolvimento de equipamentos para mitigação dos problemas. Embora essas perspectivas sejam complementares, os processos utilizados para sua implementação e desenvolvimento são absolutamente distintos.

Como descrito anteriormente o sistema de monitoração implementado na CELPE possibilita de forma eficiente o acompanhamento e a avaliação do nível da qualidade na rede elétrica, entretanto não mostra de forma direta os pontos, ou regiões elétricas, mais carentes do ponto de vista da QEE, pois, apesar de medir os diversos fenômenos eletromagnéticos presentes no sistema, não mensura o impacto desses fenômenos sobre os clientes e suas cargas. Nenhum sistema de monitoração por si só é capaz de atender tal requisito. Além disso,

conforme mostrado anteriormente, a quantidade de dados gerados pelo sistema de monitoração é bastante grande.

Neste contexto, é necessário e relevante desenvolver ferramentas adicionais, que a partir dos dados obtidos do sistema de monitoração possam prover um meio de gestão efetiva da QEE na rede. Desta forma, visando contribuir para a redução dessa lacuna, apresenta-se um modelo de ordenação das barras de um sistema elétrico monitorado, a partir dos dados dos fundamentos de tensão, que indicará os pontos mais carentes segundo o nível da QEE. Esse modelo de ordenação é baseado na teoria da utilidade multiatributo e utiliza para sua mensuração as metodologias *SMARTS* e *SMARTER*.

Os principais aspectos teóricos relacionados com a teoria da decisão, arcabouço que comporta a teoria da utilidade multiatributo, bem como as descrições das metodologias *SMARTS* e *SMARTER*, base metodológica da ordenação proposta, são apresentados no capítulo que se segue.

3 BASE CONCEITUAL

Neste capítulo é apresentada a teoria necessária ao desenvolvimento do modelo proposto, mostrado no capítulo quarto, que é responsável pela ordenação das barras de sistemas elétricos em relação a QEE, face ao fenômeno dos afundamentos de tensão.

O modelo proposto está alicerçado na teoria da decisão, teoria da utilidade, particularmente na teoria da utilidade multiatributo, e nos métodos para sua medição denominados *SMARTS* (*Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings*) e *SMARTER* (*Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks*), cujos conceitos chave são apresentados a seguir.

3.1 Teoria da Decisão

No cotidiano das nossas vidas, seja no ambiente familiar ou profissional, sempre nos deparamos com a necessidade de fazer escolhas. Essas situações são caracterizadas pela existência de uma determinada quantidade de alternativas viáveis e pela incerteza quanto aos acontecimentos futuros. Tal contexto representa um problema de decisão.

A teoria da decisão pode ser conceituada como um conjunto específico de técnicas que auxiliam o tomador de decisão, decisor, a reconhecer as particularidades de seu problema e estruturá-lo, visando a adoção da melhor alternativa de solução (Keeney & Raiffa, 1976).

Ela se aplica a situações em que existe um único decisor, assim como a processos de decisão em grupo, sendo comum a presença de um analista, que auxiliará o decisor na caracterização, estruturação e resolução do problema.

Segundo Souza (2002) uma boa decisão deve ser uma consequência lógica daquilo que se quer, daquilo que se sabe e daquilo que se pode fazer:

- O que se quer, é referente às preferências que se tem pelas várias consequências das decisões, podendo ser incertas ou distribuídas no tempo.
- O que se sabe é o conhecimento das grandezas envolvidas e das relações entre elas; a informação que se traz ao processo de decisão; a percepção das circunstâncias e das leis básicas que prevalecem.
- O que se pode fazer são as alternativas disponíveis de ação, sendo necessário pelo menos duas delas.

Esses três elementos estão relacionados aos objetivos almejados no processo decisório, aos estados da natureza, que são as ocorrências futuras, que influenciarão no resultado da alternativa adotada, e finalmente, ao conjunto de ações disponíveis.

O processo de decisão, caracterizado desta forma, passa a necessitar de uma estrutura matemática que consubstancie metodologias quantitativas, que garantam a medição de seu desempenho.

A teoria da utilidade, que está descrita a seguir, é um desses processos matemáticos que dão suporte às decisões, estando diretamente relacionada ao que se quer.

3.2 Teoria da Utilidade Multiatributo

A teoria da utilidade tem por objetivo desenvolver um modelo matemático que permita representar as preferências do decisor pelos resultados que poderá obter. A idéia básica é quantificar essa desejabilidade, através da associação de valores aos objetos de avaliação, proporcionando assim um critério de escolha ao decisor.

A noção de utilidade foi descrita num artigo em 1738, por Daniel Bernoulli, como unidade para medir preferências. Outro trabalho importante foi o de Jeremy Bentham, de 1789, que associou à noção da utilidade, àquela propriedade presente em qualquer objeto, pelo qual ele tende a produzir benefício, vantagem, prazer, bem estar ou felicidade (Almeida & Costa, 2003). Entretanto, foi a publicação do trabalho intitulado, “*Theory of Games and Economic Behavior*”, em 1947, por John von Neumann e Oskar Morgenstern, que estabeleceu as bases da teoria da utilidade e o conjunto de axiomas necessários a existência da função utilidade.

Essa teoria foi bastante empregada em problemas de decisão de critério único, na área econômica, onde as conseqüências eram expressas como valor monetário, e a função utilidade representava as preferências do decisor e explicava seu comportamento em relação ao risco.

A função utilidade quando estabelecida tendo um único atributo é denominada de função utilidade unidimensional, sendo denominada de função utilidade multiatributo quando envolver mais de um atributo.

A teoria da utilidade multiatributo, referida freqüentemente por *MAUT* (*Multi-Attribute Utility Theory*), derivou da teoria da utilidade. *MAUT* incorpora à teoria da utilidade a questão do tratamento de problemas com múltiplos objetivos, que são representados pelo que é denominado de atributos (Almeida & Costa, 2003).

Conforme apresentado por Raiffa (1968), o critério fundamental presente na utilidade multiatributo, é que se qualquer coisa é valorizada no total, ela será valorada por mais de uma

razão. Desta forma, qualquer resultado de uma decisão é mais naturalmente descrito por um vetor de números que está relacionado ao valor total. Logo, a tarefa do analista que deseja usar esses números, para guiar decisões, é agregar aquele vetor num escalar que o decisor deseja maximizar. Esse número deve ser medido ao menos numa escala de intervalo.

Embora receba o nome de teoria, *MAUT*, algumas vezes é utilizada como método. Essa distinção está associada a forma como se obtém a função utilidade multiatributo. Como teoria, a determinação da função está relacionada à confirmação da relação que existe entre a estrutura axiomática da teoria e a estrutura de preferências do decisor. Como método, essa confirmação não é efetuada, pelo menos em alguns estágios do processo de análise. Podemos dizer que em alguns métodos o decisor especifica parâmetros, ou condições que influenciam no processo de decisão, de forma *ad hoc*, sem um protocolo bem estruturado e suportado por uma estrutura axiomática associada (Gomes *et alli*, 2002).

A estrutura axiomática da teoria da utilidade não será apresentada, pois utilizaremos a *MAUT*, dentro do contexto dos métodos *SMARTS* e *SMARTER*, para medição da utilidade multiatributo.

3.3 *SMARTS* e *SMARTER*

3.3.1 Introdução

Os métodos de medição para a utilidade multiatributo *SMARTS* e *SMARTER* foram desenvolvidos por Edwards & Barron (1994), baseados num procedimento de elicitação dos pesos dos atributos. Ambos são derivados da metodologia denominada de *SMART* (*Simple Multi-attribute Rating Technique*) proposta por Edwards (1977).

SMART apresentava um erro intelectual que consistia em desconsiderar o fato dos pesos elicitados refletirem sobre a faixa de valores do atributo “pesado”, assim como na sua importância. *SMARTS* remediou esse erro pelo uso de uma invenção denominada balança de pesos.

SMARTER usa a ordenação dos pesos dos atributos, em termos de importância, para determinar os seus valores e eliminar o passo de julgamento mais difícil de *SMARTS*, o que facilita bastante a sua aplicação.

Esses métodos possuem duas idéias chaves subjacentes para sua aplicação, que são o conceito de utilidade multiatributo empregado, que considera que qualquer coisa é valorizada no total por mais de uma razão e o que eles chamam de “*strategy of heroic approximation*”, estratégia de aproximação heróica.

3.3.2 Estratégia de aproximação heróica

A estratégia de aproximação heróica diz respeito a duas crenças que motivaram o desenvolvimento desses métodos. A primeira é que ferramentas mais simples são mais fáceis de usar e logo tem mais possibilidade de serem úteis. E a segunda é que a chave para apropriar métodos de seleção é se preocupar sobre o *trade-off* existente entre o erro de modelagem e o erro de elicitación. Edwards (1977), acreditava que os julgamentos de indiferença requeridos por Keeney & Raiffa (1976), entre pares de opções hipotéticas eram difíceis e instáveis. Ele acreditava que avaliações mais diretas das quantidades desejadas são mais fáceis e menos prováveis de produzirem erros de elicitación.

SMARTS usa a estratégia de aproximação heróica para justificar aproximações lineares de funções de utilidades de única dimensão e usa um modelo de agregação aditiva. *SMARTER* adiciona um terceiro uso que é a justificação da ordenação dos pesos dos atributos para a obtenção dos seus valores conforme é explicado.

Descritas as idéias chaves presentes nos métodos são detalhados a seguir os procedimentos necessários para aplicação dos mesmos.

3.3.3 Procedimentos para utilização do Método *SMARTS*

Os passos para emprego do método *SMARTS*, para a mensuração da utilidade multiatributo, conforme propõe Edwards & Barron (1994), são:

Passo 1: *Identificar o propósito da decisão e decisores*. Como primeiro passo devem ser identificados o propósito da elicitación dos valores, e o indivíduo, organização, ou organizações das quais os valores deveriam ser elicitados. Esse procedimento estará completo quando se tiver uma lista explícita e exaustiva de elicitados, ou especificar um procedimento para a identificação deles, que garanta a produção de uma lista aceitável. E ainda, preparar instruções explícitas, especificando tanto a natureza da estrutura quanto os números a serem elicitados e o modo como eles serão usados.

Passo 2: *Árvore de Valor*. Deve-se elicitatar uma estrutura ou a lista de atributos potencialmente relevante ao propósito da decisão. Se possível, todos os elicitados deveriam chegar a concordância sobre a estrutura e composição dos objetivos (sem ordenação ou pesos) relevantes. É sugerida a redução do número de atributos para menos de 12, pela combinação de atributos relacionados e pela eliminação daqueles que receberiam baixo peso relativo.

Passo 3: *Objetos de Avaliação, Identificação de Alternativas*. Se o propósito da elicitación não determinou os objetos de avaliação, isto é, as alternativas, usa-se a estrutura de

atributos do passo 2 para defini-las. Se alternativas reais não estão disponíveis, alternativas hipotéticas devem cobrir toda a faixa de valores que poderão ser encontrados. Uma faixa extensa é preferível a uma estreita.

Passo 4: *Matriz de objetos de avaliação por atributos*. Formular uma matriz de objetos de avaliação, alternativas, por atributos. Suas entradas devem ser pontuadas com valores relativos a medições físicas, caso seja possível. Se medições físicas não são possíveis, medidas subjetivas podem ser usadas, com suas entradas sendo julgadas utilidades de única dimensão.

Passo 5: *Opções dominadas*. Deve-se eliminar ordinalmente as opções dominadas. As alternativas dominadas ordinalmente geralmente são reconhecidas por inspeção. Se por acaso é percebida uma ou mais opções dominadas cardinalmente, deve-se elimina-las também. Isto reduz o número total de opções, mas é improvável que afete a faixa de qualquer atributo. Recomenda-se checar para ter certeza que a eliminação de uma opção dominada não reduziu substancialmente quaisquer faixas de atributo. Caso a eliminação de uma opção reduza substancialmente a faixa dos valores, deve-se considerar se o atributo ainda merece ser usado. Se não, deve-se retornar ao passo 2 para eliminar o atributo.

Passo 6: *Utilidades de única dimensão*. Consiste em converter as entradas da matriz de objetos por atributos, para utilidades de única dimensão. Para fazer isso, primeiro é necessário testar a linearidade das utilidades de única dimensão para cada atributo para o qual contadores físicos estão disponíveis. Se o uso da linearidade como uma aproximação é justificado, usa-se as faixas dos contadores, ou uma faixa mais larga, se a verdadeira faixa parece pequena demais e a lista completa de objetos de avaliação não está disponível para especificar o limite superior e o limite inferior para as funções de utilidades de única dimensão. Calcule utilidades de única dimensão por equações lineares para essas funções ou aproxime-as como gráficos de leituras pontuais.

Se nenhuma medida física relevante para o atributo esta disponível, esse passo (ou sua equivalência no passo 4) irá requerer elicitación.

Os valores resultantes desse passo são utilidades cardinais de única dimensão, não valores físicos. A utilidade cardinal de única dimensão está numa escala de intervalo, representando uma medida do valor, ou da desejabilidade de um determinado resultado para o decisor. A diferença entre uma utilidade cardinal e uma ordinal, é que a primeira está numa escala de intervalo de valor, ou utilidade, onde diferenças numericamente iguais em magnitude representam diferenças iguais em valor, ou utilidade. Uma utilidade de única dimensão não precisa ser uma função de qualquer quantidade física, ou de julgamento, mas

geralmente é. Tal função relaciona a utilidade, ou valor, ou desejabilidade de alguma quantidade física, ou de julgamento, $u(x)$, a sua magnitude, x .

Edwards & Barron (1994), invocam a estratégia de aproximação heróica para tratar as funções de utilidade como lineares em x , pois, argumentam que a elicitação dos detalhes de funções de utilidade podem ser tediosas e bastante custosas. E a contribuição desses detalhes para escolhas mais sensatas, ou valiosas, é geralmente insignificante.

Quando a aproximação linear pode ser empregada, a tarefa de elicitação de utilidades de única dimensão para funções de utilidade monotônicas crescentes ou decrescentes, se reduz a avaliar dois valores extremos de x , seu máximo e mínimo no contexto em estudo.

Quanto maior a curvatura da função, menos satisfatória será a aproximação linear. A tarefa final nesse passo é testar a monotonicidade condicional. Se ela existe, então um modelo aditivo deverá ser uma aproximação aceitável. Se não, modelos não lineares devem ser usados.

De posse da função $u(x)$ para cada atributo, devemos determinar como agregar o vetor dos valores $u(x)$ num escalar de modo a completar o procedimento descrito por Raiffa (1968). De longe o modelo mais fácil de usar e mais familiar para tais agregações é o modelo aditivo. Se h ($h = 1, 2, \dots, H$) é um índice de identificação dos objetos de avaliação e k ($k = 1, 2, \dots, K$) é um índice das dimensões de valor, atributos, então esse modelo diz que

$$U_h = \sum_{k=1}^K w_k u_h(x_{hk}). \quad (3.1)$$

Onde:

U_h - utilidade multiatributo do objeto de avaliação h ;

w_k - peso do atributo de ordem k ;

$u_h(x_{hk})$ - utilidade de única dimensão do atributo k , do objeto de avaliação h .

Na Equação (3.1), os valores de $u_h(x_{hk})$ são as utilidades de única dimensão discutidas e os w_k são os pesos, um para cada dimensão de valor; por convenção eles somam 1. Modelos aditivos podem ser boas aproximações, apesar de não precisamente corretos. Entretanto, eles podem ser péssimos até como aproximações. Felizmente, um teste fácil pode ser realizado para verificar quase todos os exemplos nos quais um modelo aditivo seria realmente ruim. Ele consiste em verificar para um determinado nível do valor do atributo x , que mais do atributo y é melhor do que menos, enquanto em outro nível de x , menos de y é melhor do que mais. Tais violações da monotonicidade condicional geralmente fáceis de detectar por julgamento significam que modelos aditivos não devem ser usados. Se todas as dimensões de valor para um problema de utilidade multiatributo são condicionalmente monotônicas umas com relação as outras, Edwards & Barron (1994), tem pouca hesitação a respeito do uso de modelos

aditivos. Segundo Keeney (1992), se a independência aditiva é violada você provavelmente não tem o conjunto apropriado de objetivos fundamentais. O inverso é tão importante quanto preciso. Se você realmente tem um conjunto apropriado de objetivos fundamentais, expressos pelos atributos, para o contexto de uma decisão, a independência aditiva é provavelmente uma suposição bastante razoável.

Passo 7: Balança de pesagem. Esse passo é responsável pela obtenção da ordem de importância dos atributos, em relação aos seus pesos. Edwards & Barron (1994), descrevem a utilização da balança de pesos como requerendo dois passos de julgamento, um fácil (Passo 7) e outro difícil (Passo 8). Esse processo é realizado propondo-se a seguinte questão ao decisor: “Imagine uma nova alternativa que tenha o pior resultado possível, em todas as dimensões de valor, ou seja, a pior alternativa que poderia existir. Você pode melhorar uma única dimensão do pior para o melhor valor. Qual dos atributos k você melhoraria?” O decisor selecionaria um dos objetivos k . A próxima indagação seria qual das dimensões entre as restantes, seria a preferida para mudar do pior para o melhor valor. Isso continuaria até que todos os atributos fossem escolhidos. O objetivo, atributo, mais importante será o escolhido primeiro na operação da balança, enquanto que o selecionado por último será o menos importante.

Passo 8: Cálculo dos Pesos da Balança. Neste passo devem ser elicitados os pesos da balança. Existem vários métodos para realização deste passo. O método via estimativas diretas da magnitude dos pesos corresponde a atribuir a dimensão de valor mais importante, por exemplo, 100 pontos. E depois, para cada um dos atributos restantes determinar pontuações nesta escala, de 0 a 100 pontos. A normalização dos pontos atribuídos a cada dimensão de valor corresponderá aos pesos.

Uma outra forma de obter a valoração dos pesos das dimensões de valor é através de julgamentos de indiferença entre as alternativas. Nesse método usa-se como alternativa base, a pior alternativa possível, aquela em que o valor da utilidade de todas dimensões é o valor mínimo, melhorada na dimensão menos importante, para o valor máximo. Então, é perguntado ao decisor quanto a pior alternativa precisa melhorar em alguma outra dimensão de valor para se tornar equivalente a alternativa base. Esses julgamentos são realizados entre a alternativa base e cada outra alternativa, considerada equivalente pela melhoria no valor de apenas uma outra dimensão. Ao final desse processo os pesos podem ser obtidos através da relação entre os valores atribuídos para equivalência das alternativas comparadas.

Existem ainda outros métodos de comparação que podem ser utilizados para obtenção dos valores dos pesos. Entretanto, a maioria dos decisores prefere e tem mais confiança no resultado de procedimentos baseados em estimativas diretas da magnitude dos pesos, que

naqueles resultantes do julgamento de indiferenças, pois, tanto são mais fáceis para explicar, quanto para realizar (Edwards & Barron, 1994). O resultado de ambos os procedimentos deve ser o mesmo.

Passo 9: *Decisão*. Calcula-se o valor da utilidade multiatributo para cada alternativa, através da Equação (3.1), obtendo-se uma lista ordenada das mesmas.

3.3.4 Procedimentos para utilização do Método *SMARTER*

Os passos do 1° ao 7°, bem como o 9°, para o emprego do método *SMARTER*, na mensuração da utilidade multiatributo, são equivalentes aos respectivos de *SMARTS*, conforme proposto por Edwards & Barron (1994).

Já o Passo 8, Cálculo dos Pesos da Balança, é realizado de um modo muito mais rápido, pois, não necessita de nenhuma elicitación. Os pesos são obtidos diretamente a partir da ordem de importância dos atributos. Como um dos pressupostos básicos Edwards & Barron (1994), consideram que a maioria da informação útil obtida utilizando a balança de pesos é obtida no passo 7. Onde são realizados julgamentos muito mais fáceis que os do passo 8, especialmente se não é desejado utilizar a estimação direta de magnitude. Stillwell *et alli* (1981), cientes da literatura dos pesos iguais, propuseram uma ordenação de pesos, que representam melhor as preferências do decisor, comparada a utilização de pesos iguais e não requerem o passo 8.

O desenvolvimento de uma solução formalmente justificável de Barron & Barrett (1996) para a tarefa de transformar a ordenação de pesos, em pesos, e ainda mais sua demonstração da qualidade do resultado é a razão pela definição *SMARTER*. Eles chamam seus pesos de *Rank Order Centroid (ROC)*, ou pesos *ROC*. As idéias-chaves são completamente simples. Se nada fosse sabido sobre os pesos, exceto sua soma, definida como 1 por convenção, então o conjunto de possíveis vetores de pesos, não negativos, seria qualquer um que tivesse essa soma. Se você não tem uma razão *a priori*, para preferir um vetor de pesos a outro, seria natural usar pesos iguais. O ponto que descreve pesos iguais na hiper-superfície (simplex) de todos os pesos possíveis é o seu centróide. Tudo o que saber a ordem de importância dos pesos faz para o argumento do procedimento anterior é mudar a descrição geométrica do conjunto de pesos viáveis – o simplex. Isso especifica diretamente os pontos do canto do menor simplex consistente com saber a ordenação dos pesos, e a partir deles especificar seu centróide. Além disso, as equações para cálculo dos pesos *ROC* tem uma forma computacional conveniente. Se $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_K$, então tem-se:

$$w_1 = (1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/K) / K$$

$$w_2 = (0 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/K) / K$$

$$w_3 = (0 + 0 + 1/3 + \dots + 1/K) / K$$

$$w_K = (0 + 0 + 0 + \dots + 1/K) / K.$$

Mais genericamente, para um número K de atributos, o peso ROC do atributo de ordem k é:

$$w_k = (1/K) \sum_{i=k}^K (1/i). \quad (3.2)$$

Onde, w_k é o valor peso ROC do atributo de ordem k .

Outros valores de pesos baseados na ordenação dos atributos segundo sua importância podem ser obtidos através dos pesos denominados *rank-sum* (RS) e dos pesos calculados pelo valor recíproco da ordem dos atributos, denominados *reciprocal rank* (RR). Considerando a ordem de importância dos atributos e respectivamente os valores dos pesos como sendo, $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_K$, tem-se:

$$- \text{ Para os pesos denominados } RS: w_i(RS) = \frac{n+1-i}{\sum_{i=1}^n 1} = \frac{2(n+1-i)}{n(n+1)}, i = 1, \dots, n. \quad (3.3)$$

$$- \text{ Para os pesos denominados } RR: w_i(RR) = \frac{1/i}{\sum_{i=1}^n 1/i}, i = 1, \dots, n. \quad (3.4)$$

A Tabela 3.1 mostra os valores dos pesos dos atributos calculados utilizando os métodos de ROC , RS e RR , para o caso da consideração de 4 atributos para o objeto de avaliação.

Tabela 3.1 - Pesos calculados segundo os diferentes métodos.

Designação	Peso RS	Peso RR	Peso ROC
w_1	0,4000	0,4800	0,5208
w_2	0,3000	0,2400	0,2708
w_3	0,2000	0,1600	0,1458
w_4	0,1000	0,1200	0,0625

Barron & Barrett (1996 após revisão) mostraram através de um conjunto de 10.000 simulações, onde foram comparados os resultados da adoção de alternativas obtidas do cálculo da utilidade multiatributo utilizando os pesos ROC , RS , RR e pesos iguais, que a adoção dos pesos ROC , quando existe uma ordenação dos atributos segundo sua importância, conduz claramente aos resultados mais eficazes, pois escolheram a melhor alternativa

(definida assumindo os pesos *SMARTS* como verdadeiros) de 75 a 87% da quantidade total de simulações, dependendo dos detalhes de tais simulações. Porém, o fator mais importante foi a perda de utilidade, obtida pela escolha utilizando pesos *ROC* selecionar uma alternativa diferente da melhor, que resultou em valores de perdas menores que 1,1%. Estas foram as principais razões para Edwards & Barron (1994), recomendarem esse procedimento para uso de modo rotineiro. Desta forma, o passo 9, corresponde ao cálculo da utilidade multiatributo através da Equação (3.1), para cada alternativa utilizando os valores dos pesos *ROC*, calculados de acordo com a quantidade total de atributos e sua respectiva ordem de importância (Equação 3.2).

4 MODELO PROPOSTO

A construção de qualquer modelo formal de apoio à decisão deve definir claramente as regras de trabalho a serem utilizadas, qual o problema a ser resolvido, quais métodos serão empregados, qual o objetivo almejado, como utilizar as informações disponíveis e como explicitar as preferências dos decisores e sua visão do problema em estudo.

Como tal, os métodos de mensuração da utilidade multiatributo *SMARTS* e *SMARTER*, escolhidos para resolução do problema de ordenação em análise, preceituam inequivocamente essas necessidades. Sendo assim, a seguir descreve-se os condicionantes relativos ao problema em questão e o modelo proposto para sua resolução.

4.1 Delimitação do Problema

A monitoração da qualidade da energia elétrica (QEE) das redes gera uma grande quantidade de dados relativos aos mais diversos fenômenos eletromagnéticos, que por sua vez necessitam de tratamentos posteriores para serem transformados em informações úteis ao gestor do sistema.

Dentre os fenômenos que estão presentes nas redes elétricas, um se destaca como sendo o maior responsável pelos problemas relacionados a qualidade do produto energia elétrica, as variações de tensão de curta duração, particularmente, os afundamentos de tensão que são responsáveis por mais de 90% dos desligamentos de cargas.

Uma característica importante relativa aos afundamentos de tensão é que embora existam várias maneiras consagradas para sua contabilização, essas parametrizações não prescrevem um modo de agregação para compor um indicador único. Além disso, a simples contagem dos afundamentos de tensão presentes em determinado barramento do sistema elétrico não determina o nível de QEE associado àquele ponto, pois tal mensuração depende do tipo de carga alimentada, mais precisamente da sua sensibilidade aos afundamentos.

Essas características tornam complexa a tarefa da avaliação do nível de QEE relativa aos afundamentos de tensão, pois além de requererem uma grande quantidade de dados provenientes do sistema de monitoração, requerem uma descrição detalhada da carga conectada ao barramento, além do registro do impacto de cada afundamento gravado pelo sistema de monitoração nas cargas alimentadas, que é feito de modo manual para todas as cargas e pelo cliente respectivo.

Diante disto, será proposto um modelo para ordenação das barras do sistema elétrico, baseado no nível de QEE, relativa aos afundamentos de tensão, que terá como objetivo ordenar as barras, conforme a sua maior importância para a realização dos estudos técnicos de melhoria e mitigação dos problemas de QEE, advindos dos afundamentos de tensão.

As principais contribuições deste modelo são a possibilidade de redução na quantidade de pontos elétricos a terem estudos de melhoria da QEE realizados, reduzindo o volume de dados necessários e contribuindo para a realização de trabalhos técnicos mais focados. Além disso, a própria mensuração do nível de QEE presentes nas barras monitoradas, em relação aos afundamentos de tensão, representa um ganho, pois dá condições para a elaboração de políticas específicas para administração do sistema elétrico.

A ordenação das barras será realizada utilizando as metodologias *SMARTS* e *SMARTER*, conforme proposto por Edwards & Barron (1994). Elas são consideradas convenientes a tal aplicação, por utilizarem mecanismos que reduzem a dificuldade da explicitação das preferências do gestor da QEE, e a conseqüente transformação em valores de utilidades dos atributos relacionados aos afundamentos de tensão, além de construírem um critério de síntese único através da agregação aditiva.

Outra característica adequada presente na metodologia *SMARTER* é a facilidade introduzida pela utilização de pesos para os atributos, obtidos pela minimização dos erros introduzidos por um conjunto viável qualquer de pesos que somem 1, resultando nos pesos denominados *ROC*. Esses pesos correspondem ao centróide da hiper-superfície definida pela ordem de importância dos atributos no espaço dos pesos, especificado através da descrição geométrica do conjunto de pesos compatíveis com a ordenação dos atributos. Esse método de cálculo dos pesos introduz uma simplificação bastante grande, pois dispensa a segunda parte da balança de pesos, passo 8, que é a estimação pelo decisor dos valores numéricos dos pesos dos atributos. Segundo Edwards & Barron (1994) a maioria da informação numérica útil é obtida no passo 7, que corresponde a ordenação dos atributos segundo sua importância.

A utilização das duas metodologias de mensuração da utilidade multiatributo, *SMARTS* e *SMARTER*, pelo modelo proposto, visa possibilitar a comparação entre os resultados obtidos, servindo para discutir a solução encontrada.

4.2 Definição dos Atributos

Os afundamentos de tensão, objetivos da avaliação do modelo de ordenação em desenvolvimento, são os eventos mais importantes e comuns ao sistema elétrico, pois, diferentemente dos outros fenômenos possuem uma abrangência geral, sendo transmitidos

através de toda a rede elétrica de forma global. Eles decorrem de eventos do cotidiano do sistema elétrico, tais como, curto circuitos em locais remotos, manobras e energização de cargas que demandem correntes elétricas de valores elevados. Desta forma, seu efeito se espalha sobre as barras da rede em grandes áreas elétricas, não correspondendo a um evento local.

A caracterização dos afundamentos de tensão para utilização no modelo proposto, através da definição dos atributos relevantes ao problema em análise, constitui-se num passo fundamental, pois todo tratamento subsequente depende da qualidade desses descritores. Tais atributos devem descrever completamente os objetos de avaliação, possibilitando a medição de todos os valores relevantes para a ordenação dos pontos monitorados segundo o nível de QEE relativos aos afundamentos. Além disso, os atributos definidos devem atender as condições necessárias, previstas por Edwards & Barron (1994), para a aplicação dos métodos *SMARTS* e *SMARTER*.

Desta forma, é necessário que a medição vinculada a cada atributo considerado isoladamente deva, preferivelmente, não apresentar ambigüidades, assim como ter independência condicional, quando considerados dois a dois. Além disso, a função utilidade de única dimensão associada a cada atributo deve ser monotônica e não apresentar uma grande curvatura, para que a aproximação linear seja apropriada. Essas qualidades permitem a utilização da agregação aditiva para o cálculo da utilidade multiatributo. Outra característica desejável aos atributos é a sua mensuração através de valores relativos a medições físicas (Edwards & Barron, 1994).

Tendo em mente os condicionantes expostos acima, são criados três atributos para caracterizar os afundamentos de tensão que se desdobram num total de nove, como está mostrado a seguir. Esses atributos são construídos a partir dos arquivos gravados pelos registradores digitais de perturbação referentes aos afundamentos de tensão, que tiveram os registros dos valores da tensão eficaz da barra medida processados por um programa desenvolvido no *Microsoft Access 2000*, da *Microsoft Corporation*, para cálculo dos seus respectivos valores.

Os atributos propostos atendem todas as condições exigidas para aplicação dos métodos *SMARTS* e *SMARTER*. Entretanto é necessário evidenciar a adequação da aproximação linear, no que diz respeito a curvatura da função utilidade de única dimensão, referente aos atributos duração relativa e valor médio dos afundamentos de tensão. Notadamente para esses atributos uma mesma variação de valores da duração relativa poderia ter um impacto diferente em relação a utilidade do valor médio dos afundamentos de tensão, dependendo do ponto da

escala desta utilidade onde tal variação fosse considerada, caso estivesse em análise a consequência dos afundamentos de tensão sobre a carga alimentada no ponto monitorado. Contudo, como o objetivo do modelo é mensurar o nível de QEE, relativa aos afundamentos de tensão, e prover a ordenação dos pontos monitorados segundo a perspectiva do desvio em relação à qualidade tida como ideal, o modelo linear é perfeitamente adequado, pois não é influenciado pela característica descrita acima.

O cálculo dos valores dos atributos se baseia na desagregação de cada um dos afundamentos de tensão. Conforme foi explicado no capítulo 2, desagregação se refere à forma de contabilização dos afundamentos, onde cada evento registrado é desdobrado, em tantos quanto forem os períodos comuns de tempo, por quantidades de fases que sofreram efetivamente afundamento. Desta forma, para cada evento de afundamento registrado, são contadas as durações e amplitudes máximas, de cada período de tempo em que 1, 2 ou 3 das fases apresentaram valores de tensão maiores ou iguais a 0,1 pu e menores que 0,9 pu, simultaneamente.

A desagregação dos afundamentos de tensão é um modo conveniente para sua valoração visando à mensuração da QEE, pois, contabiliza de uma maneira mais fiel todos os desvios provocados por tais fenômenos em relação a qualidade tida como ideal. É importante destacar que essa forma de contagem dos afundamentos de tensão não corresponde à maneira corriqueira de contabilização desses eventos.

4.2.1 Quantidade Relativa de Afundamentos por Fases Afetadas

O primeiro atributo proposto é a quantidade relativa de afundamentos por fases afetadas, sendo obtido a partir da contagem total desses eventos por quantidade de fases afetadas. Seu valor é calculado para cada ponto monitorado pela relação entre a quantidade de afundamentos registrados no local, e o total de afundamentos gravados, considerando todos os pontos monitorados, apurados separadamente para 1, 2, ou 3 fases afetadas, no período de tempo correspondente.

Seu objetivo principal é avaliar as quantidades relativas de afundamentos, por fases afetadas, em cada ponto monitorado, medindo assim o desvio em relação ao nível da QEE tida como ideal, no que diz respeito ao número de afundamentos verificados. Além disso, eles possibilitam uma ordenação consistente das barras monitoradas.

4.2.2 Duração Relativa dos Afundamentos por Fases Afetadas

O segundo atributo proposto, duração relativa dos afundamentos, é obtido pelo cálculo da relação entre o total das durações dos afundamentos de tensão no ponto e o total das durações em todos os pontos do sistema de monitoração, calculado para cada quantidade de fases afetadas.

Esse atributo afere o desvio no nível da QEE em relação à qualidade ideal no que diz respeito a duração dos afundamentos de tensão, possibilitando também uma ordenação consistente das barras monitoradas.

4.2.3 Valor Médio dos Afundamentos por Fases Afetadas

O terceiro e último atributo é o valor médio dos afundamentos de tensão, que é obtido pelo cálculo da média aritmética das diferenças entre o nível de tensão considerado normal, sem afundamento, 0,9 pu, e o menor valor de tensão registrado durante cada afundamento, para cada ponto monitorado e separado por quantidade de fases afetadas. Os valores são calculados considerando as tensões expressas em por unidade (pu).

Seu objetivo principal é medir com relação à amplitude dos afundamentos de tensão o desvio da qualidade em relação a QEE ideal.

4.3 Objetos de Avaliação

Os objetos de avaliação ou alternativas, como mais comumente são designados, correspondem ao conjunto de barras do sistema elétrico que possuem monitoração relativa aos afundamentos de tensão, que se deseja avaliar. Esse conjunto terá a abrangência ditada pelo objetivo do estudo em desenvolvimento, sendo assim, o modelo de ordenação proposto poderá ser utilizado tanto para pequenas, como para grandes regiões elétricas.

4.4 Utilidades de Única Dimensão

A transformação dos valores de todos atributos do modelo proposto, medidas físicas, relativas aos objetos de avaliação, em utilidades cardinais de única dimensão será feita de modo direto através da função identidade, conforme mostra a Equação (4.1),

$$u_k(x_{hk}) = x_{hk} \quad (4.1)$$

Onde: $u_k(x_{hk})$ - utilidade de única dimensão do atributo k , do objeto de avaliação h ;

x_{hk} - valor do atributo k , da alternativa h .

A utilização da função identidade para transformação dos valores dos atributos em utilidades de única dimensão é baseada, conforme preceitua a metodologia apresentada na base conceitual, no atendimento as condições de monotonicidade crescente, verificada em todos os atributos do modelo, bem como na consideração de linearidade como uma aproximação válida para todos eles. Além disso, a medição de todos os atributos resultará em valores compreendidos no intervalo entre zero e um, escala considerada adequada para exprimir essas utilidades de única dimensão.

A preferência do decisor por quantidades maiores dos atributos diz respeito ao maior interesse na realização de estudos técnicos em pontos do sistema elétrico considerados mais degradados em relação a QEE ideal.

4.5 Utilidade Multiatributo

O modelo utilizará a agregação aditiva para cálculo da utilidade multiatributo, mensurada pelos métodos *SMARTS* e *SMARTER*, pois todos os atributos são condicionalmente monotônicos um com relação aos outros. Além disso, os atributos satisfazem a condição de independência aditiva em utilidade, pois, a preferência por um determinado atributo, não depende de um nível particular de outro, quando considerado que o modelo de ordenação proposto busca captar o nível de QEE presente nos pontos monitorados, não a conseqüência dos afundamentos de tensão em relação às cargas supridas a partir do ponto. Desta forma a utilidade multiatributo é calculada conforme a Equação (4.2),

$$U_h = \sum_{k=1}^K w_k u_h(x_{hk}). \quad (4.2)$$

Onde: U_h - utilidade multiatributo do objeto de avaliação, alternativa, h ;

$u_h(x_{hk})$ - utilidade de única dimensão do atributo k , do objeto de avaliação h ;

x_{hk} - valor do atributo k , da alternativa h ;

w_k - peso do atributo de ordem k .

4.6 O Grau de Importância dos Atributos

A ordem de importância dos atributos, dos afundamentos de tensão, será elicitada do gestor da área de QEE da CELPE, responsável pela monitoração do sistema elétrico, através do detalhamento dos condicionantes presentes nas metodologias de mensuração da utilidade multiatributo *SMARTS* e *SMARTER*.

A estimativa dos valores dos pesos dos atributos, para uso na metodologia *SMARTS*, será obtida pela elicitacão direta de seus valores, através da mensuração de sua importância

pela atribuição de pontos numa escala que varia de zero a cem, que a seguir terão seus valores normalizados.

5 ESTUDO DE CASO

O presente capítulo objetiva apresentar o estudo de aplicação do modelo proposto para ordenação das barras monitoradas, através do nível de QEE relacionado aos afundamentos de tensão, baseado nas metodologias para mensuração da utilidade multiatributo *SMARTS* e *SMARTER*, utilizado numa rede elétrica do sistema da CELPE.

Descreve-se a seguir a rede elétrica analisada, o cálculo da utilidade multiatributo pelas metodologias *SMARTS* e *SMARTER*, a análise de sensibilidade realizada, bem como se apresentam considerações sobre o estudo de caso realizado.

5.1 Rede Elétrica

A Figura 5.1 mostra um diagrama unifilar simplificado do sistema elétrico da CELPE onde é aplicado o modelo de ordenação proposto. Essa rede supre uma parte industrializada da Região Metropolitana do Recife.

Como pode ser visto na Figura 5.1 as barras que possuem registradores digitais de perturbação instalados encontram-se indicadas conforme a legenda adotada. É importante destacar que foram suprimidas algumas barras do sistema elétrico para simplificação da representação, no entanto sem prejudicar a análise, e que as designações das barras foram codificadas, visando à manutenção da confidencialidade das informações consideradas estratégicas pela empresa.

5.2 Aplicação da Metodologia *SMARTS*

A seguir descreve-se passo a passo a aplicação da metodologia *SMARTS*, conforme proposto por Edwards & Barron (1994).

- Passo 1: Propósito do Modelo e Decisor. O modelo tem como propósito ordenar o conjunto de barras que possuam monitoração da QEE, da rede elétrica mostrada na Figura 5.1, com relação aos afundamentos de tensão, de acordo com o nível da qualidade mensurada, visando dar suporte ao decisor para a escolha dos pontos mais adequados para a realização de estudos técnicos de engenharia para melhoria da QEE, assim como, para auxiliá-lo na definição de políticas para gestão do sistema elétrico. O decisor neste contexto é o gestor da área de QEE da CELPE, que é o responsável pela monitoração do sistema elétrico.

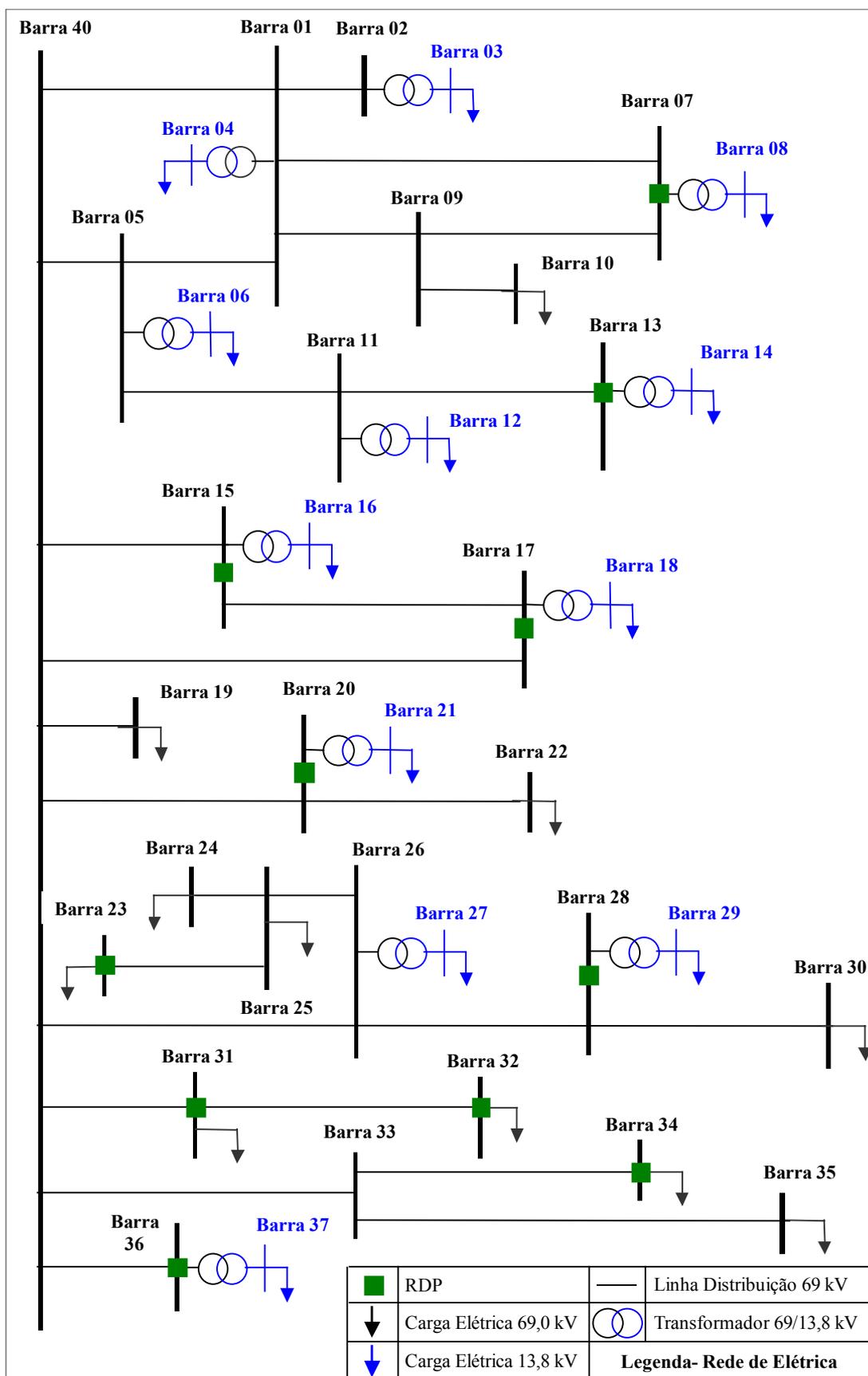


Figura 5.1 - Diagrama Unifilar Simplificado do Sistema Elétrico utilizado para aplicação do modelo.

- Passo 2: Árvore de valor. São considerados como atributos relevantes para valoração dos afundamentos de tensão, a quantidade relativa de afundamentos, sua duração relativa e seu valor médio, para cada quantidade de fases afetadas.

- Passo 3: Objetos de Avaliação, Alternativas. Os objetos de avaliação correspondem às barras do sistema elétrico, utilizado para aplicação do modelo proposto, com monitoração dos afundamentos de tensão (veja a Figura 5.1).

- Passo 4: Matriz de Objetos de Avaliação por Atributos. A Tabela 5.1 mostra a quantidade de ocorrências registradas em cada registrador digital de perturbação, nos pontos monitorados, e os atributos oriundos da quantidade relativa de afundamentos de tensão. Eles são calculados pela relação entre a quantidade de afundamentos do local e a quantidade total de afundamentos no sistema elétrico, para cada quantidade de fases afetadas.

Tabela 5.1 - Quantidade total e relativa de afundamentos de tensão por número de fases afetadas.

Ponto de Monitoração	Quantidade de Afundamentos de Tensão por Fases Afetadas				Quantidade Relativa de Afundamentos de Tensão por Fases Afetadas		
	Número de Fases Afetadas			Total	Número de Fases Afetadas		
	1	2	3		1	2	3
Barra 07	32	10	5	47	0,2078	0,1538	0,1563
Barra 13	18	3	2	23	0,1169	0,0462	0,0625
Barra 15	23	13	7	43	0,1494	0,2000	0,2188
Barra 17	29	12	4	45	0,1883	0,1846	0,1250
Barra 20	4	3	1	8	0,0260	0,0462	0,0313
Barra 23	5	3	2	10	0,0325	0,0462	0,0625
Barra 28	6	2	2	10	0,0390	0,0308	0,0625
Barra 31	5	3	2	10	0,0325	0,0462	0,0625
Barra 32	6	5	3	14	0,0390	0,0769	0,0938
Barra 34	7	5	3	15	0,0455	0,0769	0,0938
Barra 36	19	6	1	26	0,1234	0,0923	0,0313
Total Geral	154	65	32	251	----	----	----

A seguir mostra-se na Tabela 5.2, a duração total dos afundamentos de tensão e os valores dos atributos devidos a duração relativa destes eventos, que são calculados pela relação entre a duração total de todos os afundamentos do ponto e a duração total de todos os afundamentos de todos os pontos monitorados, calculados para 1, 2 e 3 fases.

A Tabela 5.3 mostra a tensão média e o afundamento médio resultantes, registrados nos locais monitorados, por quantidade de fases afetadas. Os valores dos atributos dos afundamentos médios representam a diferença entre a tensão considerada normal, sem afundamento das barras (0,9 pu), e a menor tensão registrada em cada afundamento de tensão,

medidos em por unidade (pu). A matriz de objetos de avaliação com todos os valores dos atributos calculados está mostrada na Tabela 5.4.

Tabela 5.2 - Duração total e relativa dos afundamentos de tensão por número de fases afetadas.

Ponto de Monitoração	Duração Total dos Afundamentos de Tensão por Fases Afetadas (ciclo)				Duração Relativa dos Afundamentos de Tensão por Fases Afetadas		
	Número de Fases Afetadas			Total	Número de Fases Afetadas		
	1	2	3		1	2	3
Barra 07	265	93	105	463	0,2169	0,1255	0,2011
Barra 13	46	87	3	136	0,0376	0,1174	0,0057
Barra 15	254	124	21	399	0,2079	0,1673	0,0402
Barra 17	282	115	19	416	0,2308	0,1552	0,0364
Barra 20	42	9	87	138	0,0344	0,0121	0,1667
Barra 23	28	52	3	83	0,0229	0,0702	0,0057
Barra 28	58	47	4	109	0,0475	0,0634	0,0077
Barra 31	46	40	88	174	0,0376	0,0540	0,1686
Barra 32	59	51	92	202	0,0483	0,0688	0,1762
Barra 34	51	64	99	214	0,0417	0,0864	0,1897
Barra 36	91	59	1	151	0,0745	0,0796	0,0019
Total Geral	1222	741	522	2485	----	----	----

Tabela 5.3 - Tensão Média Resultante e Afundamento de Tensão Médio por número de fases afetadas.

Ponto de Monitoração	Tensão Média Resultante por Fases Afetadas (pu)			Afundamento Médio de Tensão por Fases Afetadas (pu)		
	Número de Fases Afetadas			Número de Fases Afetadas		
	1	2	3	1	2	3
Barra 07	0,8666	0,8375	0,7491	0,0334	0,0625	0,1509
Barra 13	0,8706	0,8202	0,7391	0,0294	0,0798	0,1609
Barra 15	0,8477	0,8138	0,7620	0,0523	0,0862	0,1380
Barra 17	0,8530	0,8247	0,7844	0,0470	0,0753	0,1156
Barra 20	0,8041	0,8394	0,6613	0,0959	0,0606	0,2387
Barra 23	0,8800	0,8232	0,7632	0,0200	0,0768	0,1368
Barra 28	0,8841	0,8244	0,7813	0,0159	0,0756	0,1187
Barra 31	0,8171	0,8007	0,6901	0,0829	0,0993	0,2099
Barra 32	0,8285	0,8163	0,7434	0,0715	0,0837	0,1566
Barra 34	0,8313	0,8369	0,7248	0,0687	0,0631	0,1752
Barra 36	0,8337	0,8189	0,6684	0,0663	0,0811	0,2316

- Passo 5: Opções Dominadas. Pela inspeção nos valores dos atributos da Tabela 5.4, não é identificada nenhuma alternativa dominada, bem como nenhuma alternativa que seja dominante, para todos os atributos considerados.

Tabela 5.4 - Matriz de Valores dos Objetos de Avaliação (Alternativas) por Atributos.

Ponto de Monitoração	Atributos dos Afundamentos de Tensão								
	Quantidade Relativa dos Afundamentos por Fases Afetadas			Duração Relativa dos Afundamentos por Fases Afetadas			Afundamento Médio por Fases Afetadas		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Barra 07	0,2078	0,1538	0,1563	0,2169	0,1255	0,2011	0,0334	0,0625	0,1509
Barra 13	0,1169	0,0462	0,0625	0,0376	0,1174	0,0057	0,0294	0,0798	0,1609
Barra 15	0,1494	0,2000	0,2188	0,2079	0,1673	0,0402	0,0523	0,0862	0,1380
Barra 17	0,1883	0,1846	0,1250	0,2308	0,1552	0,0364	0,0470	0,0753	0,1156
Barra 20	0,0260	0,0462	0,0313	0,0344	0,0121	0,1667	0,0959	0,0606	0,2387
Barra 23	0,0325	0,0462	0,0625	0,0229	0,0702	0,0057	0,0200	0,0768	0,1368
Barra 28	0,0390	0,0308	0,0625	0,0475	0,0634	0,0077	0,0159	0,0756	0,1187
Barra 31	0,0325	0,0462	0,0625	0,0376	0,0540	0,1686	0,0829	0,0993	0,2099
Barra 32	0,0390	0,0769	0,0938	0,0483	0,0688	0,1762	0,0715	0,0837	0,1566
Barra 34	0,0455	0,0769	0,0938	0,0417	0,0864	0,1897	0,0687	0,0631	0,1752
Barra 36	0,1234	0,0923	0,0313	0,0745	0,0796	0,0019	0,0663	0,0811	0,2316

- Passo 6: Utilidades Unidimensionais. Os valores das utilidades de única dimensão, ou seja, os valores das utilidades para cada atributo serão considerados numericamente iguais aos valores dos atributos, pois como explicado anteriormente será utilizada a função identidade para transformação dos valores dos atributos em utilidades unidimensionais (veja a Tabela 5.4), de acordo com a “estratégia de aproximação heróica”, apresentada por Edwards & Barron (1994).

- Passo 7: Balança de Pesagem. Esse passo se constitui na obtenção da ordem de importância dos atributos, de acordo com o julgamento de decisor. Conforme procedimento descrito por Edwards & Barron (1994) é realizada uma entrevista de elicitação com o decisor. Nesta entrevista é pedido primeiramente ao decisor que imagine um ponto de monitoração que tenha valor zero em todos os atributos dos afundamentos de tensão. Depois lhe é perguntado qual dos atributos ele escolheria para passar do valor zero para o valor máximo, de modo a tornar este ponto de monitoração interessante para a realização dos estudos técnicos de melhoria da QEE. O decisor escolheu o afundamento médio com 3 fases afetadas. De modo a varrer todos os atributos é repetida a pergunta ao decisor que deve sempre escolher um atributo ainda não selecionado. A ordem de escolha dos atributos corresponde a seqüência representativa de sua ordem de importância no problema em análise. Para o modelo em aplicação, o decisor julga mais importantes os atributos relacionados ao valor do

afundamento médio, depois os relativos a duração, e por fim, os relacionados à quantidade. Sendo sempre mais importantes os que afetam mais fases, para cada atributo.

- Passo 8: Balança de Pesagem. A segunda parte da balança de pesagem consiste na valoração dos pesos dos atributos. Partindo da ordem de importância dos atributos obtida no passo anterior são elicitados do decisor os valores dos pesos dos atributos. Esses valores foram obtidos utilizando-se o método das estimativas diretas, pontuados numa escala compreendida entre 0 e 100 pontos. Nesse método o decisor fixa como valor do peso do atributo mais importante, afundamento médio com 3 fases afetadas, o valor 100, e então atribui valores dentro dessa escala para todos os outros pesos dos atributos, segundo sua ordem de importância. O resultado dessa elicitação está resumido na Tabela 5.5, que mostra os atributos por ordem de importância, os valores das magnitudes dos pesos e seus valores normalizados.

Tabela 5.5 - Valores dos pesos dos atributos, ordenados segundo sua importância.

Atributo	Peso		
	Variável Representativa	Magnitude	Valor Normalizado
Afundamento Médio de Tensão com 3 Fases Afetadas	w_1	100	0,3333
Afundamento Médio de Tensão com 2 Fases Afetadas	w_2	57	0,1900
Afundamento Médio de Tensão com 1 Fase Afetada	w_3	40	0,1333
Duração Relativa dos Afundamentos com 3 Fases Afetadas	w_4	34	0,1133
Duração Relativa dos Afundamentos com 2 Fases Afetadas	w_5	23	0,0767
Duração Relativa dos Afundamentos com 1 Fase Afetada	w_6	17	0,0567
Quantidade Relativa dos Afundamentos com 3 Fases Afetadas	w_7	14	0,0467
Quantidade Relativa dos Afundamentos com 2 Fases Afetadas	w_8	9	0,0300
Quantidade Relativa dos Afundamentos com 1 Fase Afetada	w_9	6	0,0200

- Passo 9: Decisão. Elicitados os valores dos pesos dos atributos, procede-se o cálculo da utilidade multiatributo para cada ponto de monitoração. Para ilustrar o procedimento calcula-se através da Equação (4.2) o valor da utilidade multiatributo da barra 23 ($U_{barra23}$), que é dado por:

$$U_{Barra23} = \left(0,0325 \cdot 0,02 + 0,0462 \cdot 0,03 + 0,0625 \cdot 0,0467 + 0,0229 \cdot 0,0567 + 0,0702 \cdot 0,0767 + \right. \\ \left. + 0,0057 \cdot 0,1133 + 0,02 \cdot 0,1333 + 0,0768 \cdot 0,19 + 0,1368 \cdot 0,3333 \right)$$

$$U_{Barra23} = 0,0751.$$

Os valores das utilidades multiatributo calculados para todos os barramentos monitorados estão mostrados na Tabela 5.6, onde pode ser observada a ordenação obtida.

Além disso, o ponto de monitoração com maior valor da utilidade multiatributo corresponde a barra 31, apresentando-se desta forma, como o ponto mais degradado em termos do nível de qualidade referente aos afundamentos de tensão e destacando-se como o ponto mais indicado para a realização dos estudos técnicos de melhoria da QEE.

Tabela 5.6 - Valores das utilidades multiatributos calculadas através do método SMARTS.

Ponto de Monitoração	Utilidade Multiatributo
Barra 31	0,1302
Barra 20	0,1290
Barra 07	0,1274
Barra 36	0,1187
Barra 15	0,1177
Barra 34	0,1176
Barra 32	0,1131
Barra 17	0,1033
Barra 13	0,0911
Barra 23	0,0751
Barra 28	0,0691

5.3 Aplicação da Metodologia SMARTER

Os procedimentos adotados para aplicação da metodologia SMARTER são idênticos aos realizados no método SMARTS para os primeiros sete passos, pois são válidos os mesmos condicionantes. Sendo assim, se faz necessário apenas calcular os valores dos pesos dos atributos e da utilidade multiatributo que correspondem aos passos 8 e 9.

- Passo 8: Balança de Pesagem. A principal diferença para aplicação da metodologia SMARTER corresponde ao cálculo do valor dos pesos de cada atributo, que são obtidos a partir da quantidade total de atributos e da sua ordem de importância, não necessitando de elicitação. Os chamados de pesos ROC são calculados através da Equação (3.2) para cada atributo, como se segue:

$$w_1 = (1/1 + 1/2 + 1/3 + 1/4 + 1/5 + 1/6 + 1/7 + 1/8 + 1/9) \cdot (1/9) = 0,3143;$$

$$w_2 = (1/2 + 1/3 + 1/4 + 1/5 + 1/6 + 1/7 + 1/8 + 1/9) \cdot (1/9) = 0,2032;$$

$$w_3 = (1/3 + 1/4 + 1/5 + 1/6 + 1/7 + 1/8 + 1/9) \cdot (1/9) = 0,1477;$$

$$w_4 = (1/4 + 1/5 + 1/6 + 1/7 + 1/8 + 1/9) \cdot (1/9) = 0,1106;$$

$$w_5 = (1/5 + 1/6 + 1/7 + 1/8 + 1/9) \cdot (1/9) = 0,0828;$$

$$w_6 = (1/6 + 1/7 + 1/8 + 1/9) \cdot (1/9) = 0,0606;$$

$$w_7 = (1/7 + 1/8 + 1/9) \cdot (1/9) = 0,0421;$$

$$w_8 = (1/8 + 1/9) \cdot (1/9) = 0,0262 \text{ e } w_9 = (1/9)(1/9) = 0,0123.$$

A Tabela 5.7 mostra os valores dos pesos *ROC* para cada atributo relativo aos afundamentos de tensão.

Tabela 5.7 - Valores dos pesos *ROC* dos atributos, ordenados segundo sua importância.

Atributo	Peso <i>ROC</i>	
	Variável Representativa	Valor
Afundamento Médio de Tensão com 3 Fases Afetadas	w_1	0,3143
Afundamento Médio de Tensão com 2 Fases Afetadas	w_2	0,2032
Afundamento Médio de Tensão com 1 Fase Afetada	w_3	0,1477
Duração Relativa dos Afundamentos com 3 Fases Afetadas	w_4	0,1106
Duração Relativa dos Afundamentos com 2 Fases Afetadas	w_5	0,0828
Duração Relativa dos Afundamentos com 1 Fase Afetada	w_6	0,0606
Quantidade Relativa dos Afundamentos com 3 Fases Afetadas	w_7	0,0421
Quantidade Relativa dos Afundamentos com 2 Fases Afetadas	w_8	0,0262
Quantidade Relativa dos Afundamentos com 1 Fase Afetada	w_9	0,0123

- Passo 9: Decisão. Os valores das utilidades multiatributo calculados utilizando os pesos *ROC* são mostrados na Tabela 5.8, onde pode ser observado que o barramento mais degradado em relação aos afundamentos de tensão também é a barra 31. As ordenações obtidas pela aplicação dos dois métodos, *SMARTS* e *SMARTER*, são similares, pois apresentam uma única inversão entre a 4ª e a 5ª barra mais indicada aos estudos técnicos de QEE.

Tabela 5.8 - Valores das utilidades multiatributos calculadas com os pesos *ROC*, através do método *SMARTER*.

Ponto de Monitoração	Utilidade Multiatributo
Barra 31	0,1280
Barra 20	0,1259
Barra 07	0,1241
Barra 15	0,1158
Barra 36	0,1157
Barra 34	0,1152
Barra 32	0,1113
Barra 17	0,1019
Barra 13	0,0891
Barra 23	0,0736
Barra 28	0,0679

5.4 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade consistirá na variação dos valores dos pesos elicitados do decisor para cada atributo, utilizado no cálculo da utilidade multiatributo pelo método *SMARTS*, e tem como objetivo verificar o impacto sobre a ordenação obtida dos pontos monitorados. A alteração nos valores dos pesos dos atributos será realizada tanto para mais, quanto para menos, sendo procedida para um único atributo por vez, que tem como valores limites os pesos dos atributos subseqüentes na ordem de importância. A diferença no valor do peso do atributo alterado será compensada nos valores dos pesos dos outros atributos de acordo com seus valores relativos, de modo que a soma de todos os pesos continue perfazendo a unidade. A seguir descreve-se a análise de sensibilidade para o valor do peso do atributo afundamento médio de tensão com 3 fases afetadas e está mostrada na Tabela 5.9 um resumo com os resultados da análise para todos os pesos dos atributos.

- Afundamento médio de tensão com 3 fases afetadas: Um incremento maior que 0,52% no valor do peso desse atributo resulta numa inversão na ordenação das barras entre a 5ª e a 6ª posição. Enquanto que um decremento, além de 2,1%, no valor do peso deste atributo provoca uma inversão na ordenação das barras entre a 4ª e a 5ª posição.

Dos resultados da análise de sensibilidade apresentados na Tabela 5.9, pode-se constatar que quando são procedidas alterações na ordenação original do método *SMARTS*, provenientes de pequenas variações nos valores dos pesos, como é o caso para o atributo afundamento médio de tensão com 3 fases afetadas, essas alterações não ocorrem nas posições de topo da ordenação. As alterações na ordem dos pontos monitorados com maiores valores de utilidades multiatributo só ocorrem para variações significativas nos valores dos pesos.

5.5 Considerações sobre o Estudo de Caso

A aplicação do modelo proposto de ordenação baseado nos métodos de mensuração da utilidade multiatributo *SMARTS* e *SMARTER*, conforme proposto por Edwards & Barron (1994), resultaram em indicações similares, sobretudo pelo valor dos pesos dos atributos elicitados do decisor serem bastante próximos aos valores dos chamados pesos *ROC*, base do método *SMARTER*. A ordem determinada pelos dois métodos para os pontos de monitoração apresenta apenas uma única diferença, a inversão entre a 4ª e a 5ª barra mais indicada ao estudo de melhoria da QEE. Como está mostrado na Tabela 5.9, esta inversão na ordem das barras pode ser revertida por um decremento maior que 2,1% no valor do peso do atributo

afundamento médio de tensão com 3 fases afetadas, o que demonstra a proximidade entre os resultados obtidos pela aplicação dos dois métodos.

Tabela 5.9 - Resultados da variação dos pesos dos atributos na ordenação obtida pelo método SMARTS.

Atributo	Alteração no valor do peso	Valor	Consequência em relação a ordenação original de SMARTS
Afundamento Médio de Tensão com 3 Fases Afetadas	Incremento	> 0,52%	Inversão na ordenação das barras entre a 5ª e a 6ª posição.
	Decremento	> 2,1%	Inversão na ordenação das barras entre a 4ª e a 5ª posição.
Afundamento Médio de Tensão com 2 Fases Afetadas	Incremento	53,4%	Não apresenta nenhuma alteração na ordenação dentro dos limites dos valores dos pesos.
	Decremento	> 1,8%	Inversão na ordenação das barras entre a 5ª e a 6ª posição.
Afundamento Médio de Tensão com 1 Fase Afetada	Incremento	> 3,8%	Inversão na ordenação das barras entre a 5ª e a 6ª posição.
	Decremento	> 13,3%	Não apresenta nenhuma alteração na ordenação dentro dos limites dos valores dos pesos.
Duração Relativa dos Afundamentos com 3 Fases Afetadas	Incremento	> 0,51%	Inversão na ordenação das barras entre a 5ª e a 6ª posição.
	Decremento	> 29,7%	Não apresenta nenhuma alteração na ordenação dentro dos limites dos valores dos pesos.
Duração Relativa dos Afundamentos com 2 Fases Afetadas	Incremento	> 13,2%	Inversão na ordenação das barras entre a 4ª e a 5ª posição.
	Decremento	> 1,46%	Inversão na ordenação das barras entre a 5ª e a 6ª posição.
Duração Relativa dos Afundamentos com 1 Fase Afetada	Incremento	> 12,0%	Inversão na ordenação das barras entre a 4ª e a 5ª posição.
	Decremento	> 1,0%	Inversão na ordenação das barras entre a 5ª e a 6ª posição.
Quantidade Relativa dos Afundamentos com 3 Fases Afetadas	Incremento	> 10,5%	Inversão na ordenação das barras entre a 4ª e a 5ª posição.
	Decremento	> 1,6%	Inversão na ordenação das barras entre a 5ª e a 6ª posição.
Quantidade Relativa dos Afundamentos com 2 Fases Afetadas	Incremento	29,0%	Inversão na ordenação das barras entre a 4ª e a 5ª posição.
	Decremento	> 2,58%	Inversão na ordenação das barras entre a 5ª e a 6ª posição.
Quantidade Relativa dos Afundamentos com 1 Fase Afetada	Incremento	> 41,3%	Inversão na ordenação das barras entre a 2ª e a 3ª posição.
	Decremento	> 4,63%	Inversão na ordenação das barras entre a 5ª e a 6ª posição.

A diferença de ordenação na aplicação dos dois métodos pode ser explicada pela dificuldade no julgamento para valoração dos pesos dos atributos, que conduz a imprecisões na sua explicitação, mesmo quando se tenha utilizado procedimentos consistentes para sua obtenção, como os propostos por Edwards & Barron (1994). Sendo assim, baseado nesses condicionantes e nos resultados das simulações de Barron & Barrett (1996), se recomenda a

adoção do método *SMARTER* para mensuração da utilidade multiatributo nas futuras execuções do modelo proposto.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A qualidade da energia elétrica (QEE) fornecida aos clientes tem se tornado cada vez mais um pressuposto de grande relevância para a manutenção e ampliação do mercado das empresas distribuidoras, principalmente pela introdução de regras no mercado de energia que possibilitam aos consumidores optarem por contratar energia independentemente da conexão física.

Em outro sentido, a evolução tecnológica tem acarretado em mudanças na natureza das cargas elétricas que de modo global tornaram-se mais suscetíveis à falhas decorrentes de fenômenos relativos a QEE. Níveis anteriormente adequados de QEE passam a não ser mais satisfatórios, devido ao aumento da sensibilidade dos dispositivos elétricos.

Conforme descrito no decorrer da dissertação, o elemento essencial para a avaliação da QEE, seja objetivando a verificação dos fenômenos eletromagnéticos presentes na rede, ou para auxiliar na indicação de soluções para mitigação dos problemas relacionados a QEE, corresponde a monitoração do sistema elétrico por parte das empresas distribuidoras de energia. Entretanto, tal monitoração por si só não é capaz de mensurar o nível de QEE, principalmente no que concerne ao fenômeno mais presente e de maior abrangência, que são as variações de tensão de curta duração, dentre as quais merecem destaque os afundamentos de tensão.

Outro aspecto relevante para a análise da QEE referente aos afundamentos de tensão é a grande quantidade de dados, pois além do volume gerado pelo sistema de monitoração, são necessários dados técnicos do sistema elétrico e os dados relativos a operação elétrica diária da rede e dos clientes.

Neste contexto, a presente dissertação teve como objetivo propor um modelo de ordenação dos pontos monitorados de um sistema elétrico relativo aos afundamentos de tensão, que servisse de base ao gestor da rede para a tomada de decisão quanto aos pontos que seriam escolhidos para as análises técnicas de implementação de soluções de melhoria da QEE.

O modelo de ordenação proposto baseou-se na mensuração da utilidade multiatributo desenvolvida por Edwards & Barron (1994), através dos métodos *SMARTS* e *SMARTER*, que tem como fundamento a agregação aditiva da utilidade individual dos atributos do objeto em análise, no nosso caso os afundamentos de tensão. Assim, foram definidos os atributos relevantes para a caracterização dos afundamentos de tensão e verificada a sua consonância

com os pressupostos necessários a validade do modelo de agregação aditiva adotado nesses métodos.

A aplicação dos métodos *SMARTS* e *SMARTER*, para a ordenação dos pontos de monitoração de um sistema elétrico, segundo o nível de QEE relacionados ao fenômeno de afundamento de tensão, mostrou-se satisfatória, pois forneceram ao decisor a indicação dos pontos mais viáveis para a realização dos estudos técnicos de melhoria da QEE. Entretanto, a dificuldade no julgamento dos valores dos pesos, requerida na aplicação do método *SMARTS*, decorrente da quantidade considerável de atributos e nas imprecisões na explicitação dos valores dos pesos dos mesmos, conduziu a erros de elicitação nos valores dos pesos, gerando uma inversão entre a 4ª e 5ª posição da lista da ordenação obtida. Por isso, e baseando-se no que foi preceituado por Edwards & Barron (1994) e nos resultados das simulações de Barron & Barrett (1996), que demonstram a eficácia dos pesos *ROC*, adotar-se-á o método *SMARTER* para mensuração da utilidade multiatributo nas futuras execuções do modelo proposto.

Cabe aqui destacar que a agregação de vários atributos num único critério de síntese, através da adoção de pesos, deve ser feita em qualquer contexto de decisão com bastante cuidado e utilizando-se de métodos como os preceituados por Edwards & Barron (1994). Esses métodos adotam uma escala global para todos os valores dos pesos dos atributos e a determinação dos pesos individuais de cada atributo devem ser refletidos sobre toda a faixa dos valores individuais. Outra questão importante em problemas de vários atributos onde exista uma ordem de importância entre eles, conforme demonstrado por Barron & Barrett (1996), é a inadequação da utilização de pesos iguais para todos os atributos.

A ordenação obtida pela aplicação do modelo proposto representa uma contribuição de importância para o gestor do sistema de monitoração, sobretudo por transformar os dados dos eventos dos afundamentos de tensão, em informação útil ao gerenciamento da rede elétrica e fornecer diretrizes que podem servir de base à implementação de políticas de melhoria da QEE.

É importante frisar que a ordenação dos pontos de monitoração é relevante não só pela indicação das barras de maior utilidade à realização dos estudos de melhoria, segundo a explicitação das preferências do decisor, mas também pela indicação das de menor utilidade, pois possibilita ao gestor responsável pela monitoração do sistema elétrico ter a visão global necessária à escolha do caminho a seguir, fugindo da armadilha relacionada a grande quantidade de dados não transformados em informações úteis que impossibilitam tal visão.

O modelo de ordenação proposto atendeu aos objetivos almejados bem como forneceu uma visão global do nível de QEE dos pontos monitorados do sistema elétrico, no que se

refere aos afundamentos de tensão. Recomenda-se sua aplicação em intervalos regulares de tempo para possibilitar o levantamento da evolução do nível de QEE, dos pontos monitorados.

Como sugestão para trabalhos futuros vislumbra-se a inclusão de outros fenômenos relativos a QEE, bem como a utilização de outros métodos de apoio à decisão, sejam baseados na teoria da utilidade, sejam baseados em modelos multicritérios sem a atribuição direta de peso aos atributos.

Além disso, faz-se necessária a aplicação freqüente do método proposto para sua constante melhoria e tratamento de aspectos não observados nos dados utilizados no estudo de caso.

Salienta-se ainda que o método proposto foi aplicado utilizando dados oriundos de um sistema de monitoração de QEE de uma rede elétrica. Uma outra possibilidade de aplicação e fonte natural para futuros trabalhos diz respeito a sua utilização a partir de dados dos fenômenos elétricos oriundos de simulações digitais da rede elétrica, que forneceriam os ingredientes necessários à aplicação do modelo proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Adiel T. de; Modelagem multicritério para seleção de intervalos de manutenção preventiva baseada na teoria da utilidade multiatributo. *Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro, 25 (1): 69 - 81, jan./abr, 2005.
- ALMEIDA, A. T. de & COSTA, Ana P. C. S., org. *Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. Recife, Editora Universitária da UFPE, 2003.
- ALMEIDA, Adiel T. de & RAMOS, Francisco S., org. *Gestão da Informação na Competitividade das Organizações*. 2ª ed. Recife, Editora Universitária da UFPE, 2002.
- ARRILLAGA, J.; WATSON, Neville R.; CHEN, S. *Power System Quality Assessment*. New York, John Wiley & Sons, 2001.
- BARRON, F. Hutton & BARRETT, Bruce E. Decision Quality Using Ranked Attribute Weights. *Management Science*, 42 (11): 1515 - 1523, novembro de 1996.
- SCHLABBACH, J.; BLUME, D.; STEPHANBLOME, T. *Voltage Quality in Eletrical Power Systems*. London, 2001.
- BOLLEN, Math H. J. *Understanding Power Quality Problems - Voltage Sags and Interruptions*. New York, John Wiley & Sons, 2000.
- BROOKS, Daniel L.; DUGAN, Roger C.; WACLAWIAK, Marek; SUNDARAM, Ashok. Indices for Assessing Utility Distribution System RMS Variation Performance. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 13 (1): 254-259, janeiro de 1998.
- CAMPOS, Vanessa Ribeiro. Modelo multicritério de decisão para localização da nova cidade de Jaguariba baseado no vip analysis. Recife, 2004. 89p. (Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco).
- DUGAN, Roger C.; MCGRANAGHAN, Mark F.; SANTOSO, Surya; BEATY, H. Wayne. *Eletrical Power Systems Quality*. 2ª ed. New York, McGraw-Hill, 2002.
- EDWARDS, Ward. How to Use Multiattribute Utility Measurement for Social Decision Making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-7, 326 - 340, 1977.
- EDWARDS, Ward & BARRON, F. Hutton. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60: 306 - 325, 1994.
- FERREIRA, André Augusto. Caracterização e análise de variações de tensão de curta duração. Campinas, 2002. 132p. (Mestrado - Universidade Estadual de Campinas).

- FERNANDES, Délio Eduardo Barroso. Uma Metodologia de Gerenciamento da Qualidade da Energia Elétrica. Belo Horizonte, 1999. 124p. (Mestrado – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais).
- FONSECA, Viviane Reis de Carvalho. Cálculo Estocástico do Afundamento de Tensão. Belo Horizonte, 1999. 111p. (Mestrado – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais).
- GOMES, Luiz F.; GOMES, Carlos F. S.; ALMEIDA, Adiel T. de. *Tomada de decisão gerencial - Enfoque Multicritério*. São Paulo, Atlas, 2002.
- JURAN, J. M. & GRYNA, F. *Controle da Qualidade Handbook*. São Paulo, Makron Books, 1991. Volume 1, Conceitos Políticas e Filosofias da Qualidade.
- KEENEY, Ralph L. *Value-focused Thinking*. Cambridge, MA, Harvard University Press, 1992.
- KEENEY, Ralph L. & RAIFFA, Howard, *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. New York, John Wiley & Sons, 1976.
- LESSA, Patrícia Silva. A teoria da decisão na avaliação da qualidade da imagem médica. Recife, 2001. 191p. (Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco).
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. *Padrões de Desempenho da Rede Básica - Sub-módulo 2.2*. Versão aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica em 24/12/2002, Resolução nº 791/02. Disponível em <http://www.ons.org.br>.
- RAIFFA, Howard. *Decision Analysis*. Reading, MA, Addison-Wesley, 1968.
- SANTOS, Wider Basilio. Modelo de gestão executiva do programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico da CELPE. Recife, 2004. 99p. (Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco).
- SOUZA, Fernando M. C. de. *Decisões Racionais em Situações de Incerteza*. Recife, Editora Universitária da UFPE, 2002.
- STILLWELL, W. G.; SEAVER, D. A.; EDWARDS, Ward. A Comparison of Weight Approximation Techniques in Multiattribute Utility Decision Making. *Organizational Behavior and Human Performance*, 28: 62 - 77, 1981.
- WORKING GROUP GROUP ON MONITORING ELECTRIC POWER QUALITY. *IEEE Standard 1159-1995: Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. New York, junho de 1995.

APÊNDICE 1: Tabela com Relação de Ocorrências do Estudo de Caso.

Local	Data	Hora de Início		Fases Afetadas	Ciclo		Duração (ciclo)	Menor Tensão (pu)	Afundamento (pu)
		Hora	ms		Inicial	Final			
Barra 07	01-set-04	9:33:56	466667	A	31	31	1	0,8964	0,0036
Barra 07	01-set-04	9:33:56	466667	AB	25	30	6	0,8908	0,0092
Barra 07	01-set-04	9:33:56	466667	A	24	24	1	0,8962	0,0038
Barra 07	01-set-04	9:33:56	466667	A	4	19	16	0,8926	0,0074
Barra 07	01-set-04	9:33:58	183333	A	9	16	8	0,8830	0,0170
Barra 07	01-set-04	9:50:39	83333	AB	11	14	4	0,8839	0,0161
Barra 07	01-set-04	9:50:39	83333	A	1	10	10	0,8908	0,0092
Barra 07	01-set-04	9:50:40	566667	A	10	17	8	0,8822	0,0178
Barra 07	01-set-04	22:24:40	400000	C	10	59	50	0,6642	0,2358
Barra 07	09-set-04	3:47:19	916667	ABC	42	43	2	0,6965	0,2035
Barra 07	09-set-04	3:47:19	916667	AB	10	41	32	0,7459	0,1541
Barra 07	09-set-04	3:47:22	983333	B	65	65	1	0,8627	0,0373
Barra 07	09-set-04	3:47:22	983333	AB	12	32	21	0,8634	0,0366
Barra 07	09-set-04	3:47:22	983333	A	10	11	2	0,8714	0,0286
Barra 07	09-set-04	3:47:22	983333	A	33	63	31	0,8717	0,0283
Barra 07	09-set-04	3:47:22	983333	AB	64	64	1	0,8487	0,0513
Barra 07	10-set-04	5:48:44	666667	B	10	14	5	0,7727	0,1273
Barra 07	14-set-04	11:41:12	183333	B	10	17	8	0,8879	0,0121
Barra 07	21-set-04	8:52:15	983333	A	10	45	36	0,5559	0,3441
Barra 07	21-set-04	9:31:04	950000	B	10	13	4	0,8899	0,0101
Barra 07	21-set-04	9:31:25	283333	B	10	16	7	0,8843	0,0157
Barra 07	21-set-04	9:31:35	450000	B	10	14	5	0,8836	0,0164
Barra 07	21-set-04	15:55:14	16667	ABC	11	12	2	0,6876	0,2124
Barra 07	21-set-04	15:55:14	16667	AB	13	13	1	0,7620	0,1380
Barra 07	21-set-04	15:55:14	16667	B	10	10	1	0,8629	0,0371
Barra 07	24-set-04	11:51:54	50000	A	17	17	1	0,8936	0,0064
Barra 07	27-set-04	10:35:50	966667	B	124	124	1	0,8977	0,0023
Barra 07	27-set-04	10:35:50	966667	AB	113	116	4	0,8644	0,0356
Barra 07	27-set-04	10:35:50	966667	ABC	123	123	1	0,8795	0,0205
Barra 07	27-set-04	10:35:50	966667	BC	122	122	1	0,8698	0,0302
Barra 07	27-set-04	10:35:50	966667	B	118	121	4	0,8596	0,0404
Barra 07	27-set-04	10:35:50	966667	ABC	15	112	98	0,6166	0,2834
Barra 07	27-set-04	10:35:50	966667	AB	10	14	5	0,7624	0,1376
Barra 07	27-set-04	10:35:53	483333	B	20	20	1	0,8988	0,0012
Barra 07	27-set-04	10:35:54	150000	B	24	24	1	0,8984	0,0016
Barra 07	27-set-04	10:35:54	483333	B	17	17	1	0,8936	0,0064
Barra 07	27-set-04	10:35:54	483333	B	30	30	1	0,8987	0,0013
Barra 07	27-set-04	10:35:54	483333	A	28	28	1	0,8970	0,0030
Barra 07	27-set-04	10:35:54	483333	B	23	24	2	0,8934	0,0066
Barra 07	27-set-04	10:35:54	483333	B	4	4	1	0,8984	0,0016
Barra 07	27-set-04	10:42:42	900000	A	10	22	13	0,8784	0,0216
Barra 07	27-set-04	11:10:32	616667	AB	12	29	18	0,8839	0,0161

Tabela com Relação de Ocorrências do Estudo de Caso (continuação).

Local	Data	Hora de Início		Fases Afetadas	Ciclo		Duração (ciclo)	Menor Tensão (pu)	Afundamento (pu)
		Hora	ms		Inicial	Final			
Barra 07	27-set-04	11:10:32	616667	A	10	11	2	0,8880	0,0120
Barra 07	27-set-04	11:10:32	616667	A	30	54	25	0,8893	0,0107
Barra 07	27-set-04	11:10:48	683333	A	20	20	1	0,8992	0,0008
Barra 07	28-set-04	5:33:50	66667	ABC	10	11	2	0,8650	0,0350
Barra 07	29-set-04	12:39:19	700000	B	14	29	16	0,8972	0,0028
Barra 13	01-set-04	9:33:17	983333	A	11	16	6	0,8959	0,0041
Barra 13	01-set-04	9:49:58	883333	A	13	15	3	0,8976	0,0024
Barra 13	01-set-04	9:50:00	383333	A	11	16	6	0,8950	0,0050
Barra 13	01-set-04	16:05:52	750000	A	10	12	3	0,8364	0,0636
Barra 13	04-set-04	2:55:39	566667	B	10	10	1	0,8188	0,0812
Barra 13	07-set-04	8:39:06	700000	BC	10	10	1	0,8558	0,0442
Barra 13	09-set-04	3:46:46	233333	AB	10	41	32	0,7529	0,1471
Barra 13	09-set-04	3:46:46	233333	ABC	42	43	2	0,6582	0,2418
Barra 13	09-set-04	3:46:49	300000	A	10	10	1	0,8944	0,0056
Barra 13	09-set-04	3:46:49	300000	ABC	65	65	1	0,8200	0,0800
Barra 13	09-set-04	3:46:49	300000	AB	11	64	54	0,8519	0,0481
Barra 13	09-set-04	16:32:29	333333	C	10	10	1	0,8975	0,0025
Barra 13	09-set-04	16:49:31	233333	A	10	10	1	0,8914	0,0086
Barra 13	09-set-04	19:10:49	200000	C	10	11	2	0,8703	0,0297
Barra 13	11-set-04	10:19:14	266667	A	10	10	1	0,7745	0,1255
Barra 13	14-set-04	11:40:44	533333	B	15	17	3	0,8993	0,0007
Barra 13	18-set-04	7:25:15	183333	B	10	12	3	0,8632	0,0368
Barra 13	18-set-04	7:25:23	516667	C	10	12	3	0,8506	0,0494
Barra 13	18-set-04	7:43:54	750000	B	10	11	2	0,8655	0,0345
Barra 13	18-set-04	9:42:32	633333	C	10	12	3	0,8507	0,0493
Barra 13	18-set-04	12:14:42	83333	B	10	12	3	0,8828	0,0172
Barra 13	18-set-04	13:38:32	16667	A	10	12	3	0,8944	0,0056
Barra 13	19-set-04	17:39:13	433333	B	10	10	1	0,8933	0,0067
Barra 15	01-set-04	9:34:04	150000	ABC	17	17	1	0,7946	0,1054
Barra 15	01-set-04	9:34:04	150000	AC	13	16	4	0,8001	0,0999
Barra 15	01-set-04	9:34:04	150000	AC	18	30	13	0,7952	0,1048
Barra 15	01-set-04	9:34:04	150000	ABC	31	38	8	0,7673	0,1327
Barra 15	01-set-04	9:34:04	150000	AC	39	39	1	0,8877	0,0123
Barra 15	01-set-04	9:34:04	150000	C	10	12	3	0,7995	0,1005
Barra 15	01-set-04	9:34:05	966667	C	10	10	1	0,8724	0,0276
Barra 15	01-set-04	9:34:05	966667	AC	18	18	1	0,8094	0,0906
Barra 15	01-set-04	9:34:05	966667	ABC	15	17	3	0,7600	0,1400
Barra 15	01-set-04	9:34:05	966667	BC	11	14	4	0,7599	0,1401
Barra 15	01-set-04	9:50:46	466667	C	10	25	16	0,8006	0,0994
Barra 15	01-set-04	9:50:46	466667	AC	26	28	3	0,8072	0,0928
Barra 15	01-set-04	9:50:46	466667	C	29	31	3	0,8029	0,0971
Barra 15	01-set-04	9:50:46	466667	AC	32	33	2	0,8067	0,0933
Barra 15	01-set-04	9:50:46	466667	C	34	34	1	0,7997	0,1003
Barra 15	01-set-04	9:50:46	466667	ABC	35	40	6	0,7674	0,1326
Barra 15	01-set-04	9:50:48	350000	BC	11	16	6	0,7603	0,1397

Tabela com Relação de Ocorrências do Estudo de Caso (continuação).

Local	Data	Hora de Início		Fases Afetadas	Ciclo		Duração (ciclo)	Menor Tensão (pu)	Afundamento (pu)
		Hora	ms		Inicial	Final			
Barra 15	01-set-04	9:50:48	350000	BC	18	18	1	0,7950	0,1050
Barra 15	01-set-04	9:50:48	350000	ABC	17	17	1	0,7610	0,1390
Barra 15	01-set-04	9:50:48	350000	C	10	10	1	0,8976	0,0024
Barra 15	01-set-04	22:24:48	133333	B	10	58	49	0,8574	0,0426
Barra 15	06-set-04	9:46:44	716667	C	11	14	4	0,8487	0,0513
Barra 15	07-set-04	8:39:48	950000	AB	10	10	1	0,8727	0,0273
Barra 15	09-set-04	3:47:26	733333	AC	10	42	33	0,7467	0,1533
Barra 15	09-set-04	3:47:26	733333	AB	44	44	1	0,8706	0,0294
Barra 15	09-set-04	3:47:26	733333	ABC	43	43	1	0,6672	0,2328
Barra 15	09-set-04	3:47:29	800000	ABC	65	65	1	0,8164	0,0836
Barra 15	09-set-04	3:47:29	800000	AC	11	64	54	0,8679	0,0321
Barra 15	09-set-04	17:10:49	716667	B	10	34	25	0,8735	0,0265
Barra 15	10-set-04	21:34:44	933333	C	10	14	5	0,8160	0,0840
Barra 15	14-set-04	10:01:26	966667	B	10	13	4	0,8706	0,0294
Barra 15	14-set-04	10:01:40	316667	B	10	25	16	0,8734	0,0266
Barra 15	14-set-04	10:01:40	316667	B	27	29	3	0,8939	0,0061
Barra 15	14-set-04	10:01:57	250000	B	10	29	20	0,8698	0,0302
Barra 15	14-set-04	11:40:47	83333	A	12	13	2	0,8981	0,0019
Barra 15	14-set-04	11:41:09	483333	A	11	17	7	0,8911	0,0089
Barra 15	14-set-04	11:41:18	450000	A	10	17	8	0,8810	0,0190
Barra 15	14-set-04	12:14:53	316667	A	13	13	1	0,8994	0,0006
Barra 15	14-set-04	12:15:03	400000	A	16	16	1	0,8990	0,0010
Barra 15	14-set-04	12:15:14	650000	A	15	17	3	0,8985	0,0015
Barra 15	20-set-04	13:17:43	616667	A	11	33	23	0,8843	0,0157
Barra 15	21-set-04	8:51:42	800000	C	10	45	36	0,5425	0,3575
Barra 15	26-set-04	8:20:33	350000	C	10	31	22	0,8281	0,0719
Barra 17	01-set-04	9:33:34	916667	C	10	16	7	0,8085	0,0915
Barra 17	01-set-04	9:33:34	916667	BC	17	17	1	0,8032	0,0968
Barra 17	01-set-04	9:33:34	916667	C	18	30	13	0,8037	0,0963
Barra 17	01-set-04	9:33:34	916667	C	39	39	1	0,8904	0,0096
Barra 17	01-set-04	9:33:34	916667	ABC	31	38	8	0,7956	0,1044
Barra 17	01-set-04	9:33:36	733333	C	10	11	2	0,7798	0,1202
Barra 17	01-set-04	9:33:36	733333	BC	12	17	6	0,7713	0,1287
Barra 17	01-set-04	9:33:36	733333	C	18	18	1	0,8141	0,0859
Barra 17	01-set-04	9:50:17	216667	ABC	35	40	6	0,7890	0,1110
Barra 17	01-set-04	9:50:17	216667	C	10	34	25	0,8092	0,0908
Barra 17	01-set-04	9:50:17	216667	C	41	41	1	0,8922	0,0078
Barra 17	01-set-04	9:50:19	116667	BC	10	17	8	0,7716	0,1284
Barra 17	01-set-04	9:50:19	116667	C	18	18	1	0,8900	0,0100
Barra 17	01-set-04	22:24:18	350000	B	11	58	48	0,8657	0,0343
Barra 17	06-set-04	9:46:11	66667	C	10	13	4	0,8367	0,0633
Barra 17	09-set-04	3:46:51	16667	ABC	42	43	2	0,6884	0,2116
Barra 17	09-set-04	3:46:51	16667	AC	10	41	32	0,7498	0,1502
Barra 17	09-set-04	3:46:54	83333	AC	49	49	1	0,8927	0,0073
Barra 17	09-set-04	3:46:54	83333	A	65	65	1	0,8777	0,0223

Tabela com Relação de Ocorrências do Estudo de Caso (continuação).

Local	Data	Hora de Início		Fases Afetadas	Ciclo		Duração (ciclo)	Menor Tensão (pu)	Afundamento (pu)
		Hora	ms		Inicial	Final			
Barra 17	09-set-04	3:46:54	83333	C	50	63	14	0,8881	0,0119
Barra 17	09-set-04	3:46:54	83333	C	43	48	6	0,8856	0,0144
Barra 17	09-set-04	3:46:54	83333	AC	64	64	1	0,8433	0,0567
Barra 17	09-set-04	3:46:54	83333	AC	11	42	32	0,8663	0,0337
Barra 17	09-set-04	3:46:54	83333	C	10	10	1	0,8823	0,0177
Barra 17	09-set-04	17:10:13	566667	B	10	34	25	0,8718	0,0282
Barra 17	10-set-04	21:34:07	933333	AC	10	13	4	0,8828	0,0172
Barra 17	14-set-04	11:40:09	83333	A	11	18	8	0,8892	0,0108
Barra 17	14-set-04	18:36:03	116667	B	10	10	1	0,8882	0,0118
Barra 17	14-set-04	18:36:03	116667	B	12	13	2	0,8878	0,0122
Barra 17	17-set-04	15:19:23	850000	C	10	10	1	0,8990	0,0010
Barra 17	20-set-04	13:12:52	633333	A	10	33	24	0,8884	0,0116
Barra 17	21-set-04	8:46:50	983333	C	10	45	36	0,5438	0,3562
Barra 17	26-set-04	8:15:36	433333	AC	26	27	2	0,8685	0,0315
Barra 17	26-set-04	8:15:36	433333	C	20	25	6	0,8595	0,0405
Barra 17	26-set-04	8:15:36	433333	C	14	14	1	0,8611	0,0389
Barra 17	26-set-04	8:15:36	433333	AC	11	13	3	0,8203	0,0797
Barra 17	26-set-04	8:15:36	433333	C	28	31	4	0,8708	0,0292
Barra 17	26-set-04	8:15:36	433333	C	10	10	1	0,8922	0,0078
Barra 17	26-set-04	8:15:36	433333	AC	15	19	5	0,8622	0,0378
Barra 17	27-set-04	11:05:16	800000	C	10	28	19	0,8948	0,0052
Barra 17	28-set-04	5:28:17	366667	ABC	10	12	3	0,8646	0,0354
Barra 17	29-set-04	12:33:31	383333	A	10	36	27	0,8447	0,0553
Barra 17	29-set-04	12:33:45	583333	AC	11	30	20	0,7650	0,1350
Barra 17	29-set-04	12:33:45	583333	A	10	10	1	0,8767	0,0233
Barra 17	29-set-04	12:33:45	583333	A	31	31	1	0,8452	0,0548
Barra 20	21-set-04	8:52:27	416667	A	10	45	36	0,5706	0,3294
Barra 20	27-set-04	10:36:30	233333	BC	109	110	2	0,8887	0,0113
Barra 20	27-set-04	10:36:30	233333	AB	11	16	6	0,7646	0,1354
Barra 20	27-set-04	10:36:30	233333	B	111	111	1	0,8971	0,0029
Barra 20	27-set-04	10:36:30	233333	B	105	108	4	0,8708	0,0292
Barra 20	27-set-04	10:36:30	233333	A	10	10	1	0,8780	0,0220
Barra 20	27-set-04	10:36:30	233333	ABC	17	103	87	0,6613	0,2387
Barra 20	27-set-04	10:36:30	233333	AB	104	104	1	0,8650	0,0350
Barra 23	01-set-04	22:27:07	950000	C	25	39	15	0,8931	0,0069
Barra 23	07-set-04	8:42:07	133333	C	10	10	1	0,8891	0,0109
Barra 23	09-set-04	3:49:44	383333	AB	10	41	32	0,7583	0,1417
Barra 23	09-set-04	3:49:44	383333	ABC	42	42	1	0,6599	0,2401
Barra 23	09-set-04	3:49:44	383333	BC	43	43	1	0,8289	0,0711
Barra 23	09-set-04	3:49:47	450000	A	30	39	10	0,8894	0,0106
Barra 23	09-set-04	3:49:47	450000	AB	11	29	19	0,8826	0,0174
Barra 23	09-set-04	3:49:47	450000	A	10	10	1	0,8999	0,0001
Barra 23	09-set-04	3:49:47	450000	B	64	64	1	0,8287	0,0713
Barra 23	28-set-04	5:31:22	383333	ABC	11	12	2	0,8665	0,0335
Barra 28	01-set-04	22:24:25	183333	C	45	52	8	0,8943	0,0057

Tabela com Relação de Ocorrências do Estudo de Caso (continuação).

Local	Data	Hora de Início		Fases Afetadas	Ciclo		Duração (ciclo)	Menor Tensão (pu)	Afundamento (pu)
		Hora	ms		Inicial	Final			
Barra 28	01-set-04	22:24:25	183333	C	10	43	34	0,8853	0,0147
Barra 28	07-set-04	8:39:26	483333	C	10	10	1	0,8898	0,0102
Barra 28	09-set-04	3:47:04	450000	ABC	42	43	2	0,6948	0,2052
Barra 28	09-set-04	3:47:04	450000	AB	10	41	32	0,7645	0,1355
Barra 28	09-set-04	3:47:07	516667	A	11	12	2	0,8924	0,0076
Barra 28	09-set-04	3:47:07	516667	B	64	65	2	0,8524	0,0476
Barra 28	09-set-04	3:47:07	516667	A	28	38	11	0,8902	0,0098
Barra 28	09-set-04	3:47:07	516667	AB	13	27	15	0,8842	0,0158
Barra 28	28-set-04	5:33:00	566667	ABC	11	12	2	0,8678	0,0322
Barra 31	09-set-04	3:47:07	616667	ABC	43	43	1	0,7076	0,1924
Barra 31	09-set-04	3:47:07	616667	AB	11	42	32	0,7377	0,1623
Barra 31	09-set-04	3:47:07	616667	A	10	10	1	0,8776	0,0224
Barra 31	09-set-04	3:47:10	683333	B	64	65	2	0,8595	0,0405
Barra 31	21-set-04	8:51:31	900000	A	11	45	35	0,5673	0,3327
Barra 31	27-set-04	10:35:00	800000	ABC	17	103	87	0,6726	0,2274
Barra 31	27-set-04	10:35:00	800000	AB	104	104	1	0,8953	0,0047
Barra 31	27-set-04	10:35:00	800000	A	105	111	7	0,8895	0,0105
Barra 31	27-set-04	10:35:00	800000	AB	10	16	7	0,7693	0,1307
Barra 31	28-set-04	5:35:08	566667	A	12	12	1	0,8916	0,0084
Barra 32	01-set-04	22:24:57	400000	C	30	34	5	0,8961	0,0039
Barra 32	09-set-04	3:47:41	566667	AB	10	41	32	0,7734	0,1266
Barra 32	09-set-04	3:47:41	566667	ABC	42	42	1	0,6897	0,2103
Barra 32	09-set-04	3:47:41	566667	BC	43	43	1	0,7877	0,1123
Barra 32	09-set-04	3:47:44	633333	A	13	15	3	0,8938	0,0062
Barra 32	09-set-04	3:47:44	633333	AB	16	21	6	0,8908	0,0092
Barra 32	09-set-04	3:47:44	633333	A	22	31	10	0,8935	0,0065
Barra 32	09-set-04	3:47:44	633333	B	64	65	2	0,8556	0,0444
Barra 32	21-set-04	8:51:46	233333	A	10	45	36	0,5612	0,3388
Barra 32	27-set-04	10:35:25	233333	ABC	17	105	89	0,6583	0,2417
Barra 32	27-set-04	10:35:25	233333	AB	106	111	6	0,8672	0,0328
Barra 32	27-set-04	10:35:25	233333	B	112	114	3	0,8710	0,0290
Barra 32	27-set-04	10:35:25	233333	AB	11	16	6	0,7625	0,1375
Barra 32	28-set-04	5:35:11	983333	ABC	11	12	2	0,8824	0,0176
Barra 34	09-set-04	3:49:58	533333	AB	11	42	32	0,7638	0,1362
Barra 34	09-set-04	3:49:58	533333	ABC	43	43	1	0,6681	0,2319
Barra 34	09-set-04	3:49:58	533333	BC	44	44	1	0,8934	0,0066
Barra 34	09-set-04	3:49:58	533333	A	10	10	1	0,8665	0,0335
Barra 34	09-set-04	3:50:01	600000	B	64	65	2	0,8243	0,0757
Barra 34	09-set-04	3:50:01	600000	A	35	40	6	0,8935	0,0065
Barra 34	09-set-04	3:50:01	600000	AB	11	34	24	0,8832	0,0168
Barra 34	14-set-04	11:43:56	383333	B	17	17	1	0,8999	0,0001
Barra 34	21-set-04	8:51:28	500000	A	10	45	36	0,5620	0,3380
Barra 34	27-set-04	10:35:25	350000	AB	10	15	6	0,7597	0,1403
Barra 34	27-set-04	10:35:25	350000	ABC	16	111	96	0,6459	0,2541
Barra 34	27-set-04	10:35:25	350000	BC	112	112	1	0,8844	0,0156

Tabela com Relação de Ocorrências do Estudo de Caso (continuação).

Local	Data	Hora de Início		Fases Afetadas	Ciclo		Duração (ciclo)	Menor Tensão (pu)	Afundamento (pu)
		Hora	ms		Inicial	Final			
Barra 34	27-set-04	10:35:25	350000	B	120	123	4	0,8805	0,0195
Barra 34	28-set-04	5:34:00	900000	A	10	10	1	0,8920	0,0080
Barra 34	28-set-04	5:34:00	900000	ABC	11	12	2	0,8604	0,0396
Barra 36	06-set-04	21:38:36	416667	C	10	10	1	0,8969	0,0031
Barra 36	07-set-04	8:41:01	700000	C	10	10	1	0,8662	0,0338
Barra 36	07-set-04	12:37:04	400000	C	10	13	4	0,8689	0,0311
Barra 36	07-set-04	12:37:13	16667	BC	12	20	9	0,8616	0,0384
Barra 36	07-set-04	12:37:13	16667	C	10	11	2	0,8674	0,0326
Barra 36	07-set-04	12:37:13	16667	AC	21	21	1	0,8639	0,0361
Barra 36	07-set-04	12:37:18	283333	C	10	16	7	0,8243	0,0757
Barra 36	08-set-04	2:03:07	450000	C	11	11	1	0,8995	0,0005
Barra 36	09-set-04	3:48:41	150000	BC	43	43	1	0,7983	0,1017
Barra 36	09-set-04	3:48:41	150000	AB	10	41	32	0,7714	0,1286
Barra 36	09-set-04	3:48:41	150000	ABC	42	42	1	0,6684	0,2316
Barra 36	09-set-04	3:48:44	216667	B	64	65	2	0,8450	0,0550
Barra 36	09-set-04	3:48:44	216667	AB	14	22	9	0,8962	0,0038
Barra 36	09-set-04	3:48:44	216667	B	23	23	1	0,8996	0,0004
Barra 36	13-set-04	7:31:13	583333	C	10	10	1	0,8728	0,0272
Barra 36	14-set-04	11:42:07	500000	B	10	14	5	0,7666	0,1334
Barra 36	14-set-04	11:42:29	883333	B	10	19	10	0,7628	0,1372
Barra 36	14-set-04	11:42:38	850000	B	19	19	1	0,7928	0,1072
Barra 36	14-set-04	11:42:38	850000	AB	12	18	7	0,7220	0,1780
Barra 36	14-set-04	11:42:38	850000	B	11	11	1	0,7278	0,1722
Barra 36	14-set-04	12:16:13	783333	B	10	14	5	0,7655	0,1345
Barra 36	14-set-04	12:16:23	850000	B	11	19	9	0,7673	0,1327
Barra 36	14-set-04	12:16:35	116667	B	10	18	9	0,7663	0,1337
Barra 36	18-set-04	3:00:26	866667	B	10	13	4	0,8690	0,0310
Barra 36	21-set-04	8:51:32	833333	C	16	41	26	0,8882	0,0118
Barra 36	24-set-04	17:19:47	933333	C	10	10	1	0,8928	0,0072

APÊNDICE 2: Arquivo de Afundamento de Tensão Gravado pelo RDP.

```
# **HEADER**
# DatabaseVersion,$Name: pqfw-r17 $
# UUID,4b70c24b-0b32-4e80-86d5-57fb3a8a8ac6
# ProtocolIdentification,Trigger
# MeasureIdentification,Vtcd Event Evaluation
# EquipamentName,Barra 31
# EquipamentModel,RQEII-R3-P
# OwnerFullName,Cia Energetica de Pernambuco
# OwnerShortName,CELPE
# EquipmentSerialNumber,14852
# CircuitName,circuit A
# CircuitIndex,0
# CircuitTypeIdentification,Voltage
# CircuitModeIdentification,Three Trafos
# Ratio,+600.00,+600.00,+600.00,+600.00
# NominalValue,+69000.00,+69000.00,+69000.00,+69000.00
# Circuit Coefficient C0,-010.97,-011.32,-012.14,-010.92
# Circuit Coefficient C1,-000.02,-000.02,-000.02,-000.02
# Circuit Coefficient C2,-000.00,+000.00,+000.00,+000.01
# CircuitName,circuit B
# CircuitIndex,1
# CircuitTypeIdentification,Current
# CircuitModeIdentification,Two Trafos
# Ratio,+030.00,+030.00,+030.00,+030.00
# NominalValue,+16384.00,+16384.00,+16384.00,+16384.00
# Circuit Coefficient C0,+026.90,+028.24,+026.92,+028.67
# Circuit Coefficient C1,-000.00,-000.00,-000.00,-000.00
# Circuit Coefficient C2,+000.00,+000.00,-000.00,-000.00
# Clamp Coefficient C0,+000.00,+000.00,+000.00,+000.00
# Clamp Coefficient C1,+000.00,+000.00,+000.00,+000.00
# Clamp Coefficient C2,+010.00,+001.00,+010.00,+001.00
# DigitalIndex,0
# DigitalName,digital 0
# DigitalIndex,1
# DigitalName,digital 1
# DigitalIndex,2
# DigitalName,digital 2
# DigitalIndex,3
# DigitalName,digital 3
# DigitalIndex,4
# DigitalName,digital 4
# DigitalIndex,5
# DigitalName,digital 5
# DigitalIndex,6
# DigitalName,digital 6
# DigitalIndex,7
# DigitalName,digital 7
# DigitalIndex,8
# DigitalName,digital 8
# DigitalIndex,9
# DigitalName,digital 9
# DigitalIndex,10
# DigitalName,digital 10
# DigitalIndex,11
# DigitalName,digital 11
# DigitalIndex,12
```

```

# DigitalName,digital 12
# DigitalIndex,13
# DigitalName,digital 13
# DigitalIndex,14
# DigitalName,digital 14
# DigitalIndex,15
# DigitalName,digital 15
# Timestamp,2004-Sep-27 10:35:00.800000 -0300 S
# PhasorPreSamples,9
# PhasorPostSamples,9
# CyclePreSamples,9
# CyclePostSamples,120
# TriggerHigh,+001.05
# TriggerLow,+000.95
# TriggerReference,+40591.87,+41253.27,+41165.00
# **PHASOR**
# Timestamp,2004-Sep-27 10:35:00.800000 -0300 S
# CircuitIndex,0
# record,A[V],A[rad],B[V],B[rad],C[V],C[rad],N[V],N[rad]
000000,+40632.14,+002.70,+41304.23,+000.58,+41204.27,+004.76,+1032.83,+004.72
000001,+40638.20,+002.70,+41310.04,+000.58,+41233.39,+004.76,+1044.52,+004.71
000002,+40656.38,+002.70,+41320.48,+000.58,+41236.27,+004.76,+1031.30,+004.70
000003,+40627.39,+002.69,+41309.04,+000.58,+41222.96,+004.76,+1026.57,+004.71
000004,+40624.67,+002.69,+41306.44,+000.58,+41239.73,+004.76,+1030.82,+004.71
000005,+40650.32,+002.69,+41310.20,+000.58,+41241.98,+004.76,+1035.36,+004.71
000006,+40643.66,+002.69,+41295.92,+000.58,+41223.31,+004.76,+1030.46,+004.71
000007,+40610.77,+002.69,+41289.29,+000.58,+41198.30,+004.76,+1029.90,+004.71
000008,+40614.54,+002.69,+41300.72,+000.58,+41218.87,+004.76,+1023.68,+004.71
000009,+33628.65,+002.58,+34347.52,+000.69,+40547.48,+004.75,+844.27,+004.48
000010,+33291.71,+002.55,+33670.54,+000.65,+39949.07,+004.73,+825.84,+004.48
000011,+32675.89,+002.53,+32865.93,+000.64,+39266.28,+004.71,+812.07,+004.44
000012,+32084.45,+002.51,+32247.84,+000.63,+38573.99,+004.70,+803.54,+004.43
000013,+31627.94,+002.51,+31715.84,+000.62,+37986.69,+004.70,+793.73,+004.44
000014,+31235.57,+002.50,+31268.70,+000.62,+37498.44,+004.70,+783.61,+004.44
000015,+30839.85,+002.49,+30645.76,+000.61,+36853.36,+004.69,+764.90,+004.45
000016,+30429.80,+002.48,+29886.72,+000.57,+35712.16,+004.67,+769.89,+004.44
000017,+29962.77,+002.46,+29577.63,+000.54,+34931.18,+004.65,+757.62,+004.38
000018,+29502.17,+002.45,+29057.45,+000.53,+34369.12,+004.64,+732.63,+004.40
000019,+29075.72,+002.44,+28558.46,+000.53,+33880.95,+004.64,+720.99,+004.40
000020,+28736.74,+002.44,+28117.46,+000.53,+33503.86,+004.64,+719.01,+004.41
000021,+28374.00,+002.45,+27732.39,+000.54,+33141.34,+004.65,+696.75,+004.41
000022,+28226.35,+002.45,+27556.81,+000.54,+33031.84,+004.65,+705.62,+004.43
000023,+28083.05,+002.45,+27334.83,+000.55,+32883.69,+004.66,+704.48,+004.44
000024,+27947.23,+002.46,+27139.34,+000.56,+32711.51,+004.66,+704.65,+004.44
000025,+27838.73,+002.46,+26976.06,+000.57,+32593.37,+004.67,+704.29,+004.45
000026,+27810.53,+002.47,+26906.30,+000.58,+32548.06,+004.68,+699.78,+004.47
000027,+27812.83,+002.49,+26858.88,+000.59,+32533.42,+004.70,+694.66,+004.48
000028,+27811.96,+002.50,+26795.56,+000.60,+32537.79,+004.71,+698.24,+004.51
000029,+27866.81,+002.51,+26812.41,+000.61,+32585.58,+004.73,+706.39,+004.52
000030,+27931.88,+002.52,+26815.94,+000.63,+32645.46,+004.74,+722.32,+004.54
000031,+28029.40,+002.54,+26857.64,+000.64,+32720.20,+004.76,+715.67,+004.55
000032,+28131.74,+002.55,+26909.19,+000.66,+32803.89,+004.77,+727.79,+004.56
000033,+28241.94,+002.57,+26952.00,+000.67,+32869.73,+004.79,+720.29,+004.58
000034,+28371.40,+002.59,+27022.76,+000.69,+32962.47,+004.81,+726.55,+004.59
000035,+28577.76,+002.61,+27057.95,+000.71,+33061.39,+004.83,+738.09,+004.60
000036,+29038.29,+002.65,+26941.42,+000.72,+32778.56,+004.87,+728.46,+004.67
000037,+30852.48,+002.66,+29511.15,+000.63,+32608.79,+004.82,+782.93,+004.69
000038,+31657.83,+002.67,+30314.65,+000.63,+33350.16,+004.82,+800.22,+004.71
000039,+32006.96,+002.68,+30698.29,+000.63,+33576.37,+004.83,+803.84,+004.72
000040,+32283.16,+002.69,+30922.25,+000.64,+33751.96,+004.84,+809.07,+004.73
000041,+32544.36,+002.70,+31138.05,+000.65,+33930.04,+004.85,+817.56,+004.75
000042,+33382.12,+002.68,+32761.55,+000.62,+34846.61,+004.80,+867.54,+004.70
000043,+33528.54,+002.61,+33903.81,+000.54,+35154.61,+004.70,+847.32,+004.56
000044,+33385.25,+002.45,+33102.19,+000.37,+34478.49,+004.56,+841.89,+004.50
000045,+33303.14,+002.39,+33001.53,+000.30,+34272.83,+004.50,+835.33,+004.48

```

000046,+33001.18,+002.34,+32658.98,+000.26,+33924.20,+004.45,+813.46,+004.44
000047,+32769.43,+002.30,+32446.81,+000.22,+33673.80,+004.41,+807.84,+004.40
000048,+32606.84,+002.26,+32279.77,+000.17,+33466.16,+004.37,+816.51,+004.37
000049,+32512.58,+002.22,+32162.10,+000.13,+33369.75,+004.32,+815.88,+004.31
000050,+32481.81,+002.17,+32111.11,+000.08,+33309.96,+004.28,+806.81,+004.27
000051,+32428.72,+002.12,+32027.76,+000.03,+33223.98,+004.23,+811.50,+004.23
000052,+32356.90,+002.07,+31945.29,+006.26,+33115.68,+004.18,+807.98,+004.17
000053,+32260.60,+002.01,+31836.47,+006.21,+32973.74,+004.12,+795.83,+004.11
000054,+32131.01,+001.96,+31715.18,+006.15,+32810.65,+004.06,+788.73,+004.05
000055,+32021.50,+001.90,+31613.64,+006.09,+32669.99,+004.01,+783.82,+003.99
000056,+31889.85,+001.84,+31516.50,+006.03,+32537.50,+003.95,+780.29,+003.94
000057,+31793.92,+001.78,+31439.29,+005.97,+32405.84,+003.89,+766.95,+003.88
000058,+31692.89,+001.72,+31362.29,+005.91,+32293.06,+003.83,+762.88,+003.81
000059,+31644.38,+001.67,+31346.03,+005.85,+32247.83,+003.77,+772.67,+003.77
000060,+31622.46,+001.61,+31346.10,+005.80,+32207.26,+003.71,+765.93,+003.73
000061,+31646.52,+001.56,+31368.63,+005.74,+32197.35,+003.66,+770.39,+003.66
000062,+31689.52,+001.50,+31450.60,+005.69,+32243.40,+003.60,+776.09,+003.61
000063,+31779.91,+001.45,+31560.69,+005.63,+32330.13,+003.55,+779.29,+003.55
000064,+31910.16,+001.40,+31718.43,+005.58,+32463.37,+003.50,+786.36,+003.51
000065,+32040.46,+001.35,+31843.60,+005.53,+32588.53,+003.44,+797.86,+003.45
000066,+32181.89,+001.29,+32022.34,+005.48,+32718.83,+003.39,+792.58,+003.40
000067,+32333.57,+001.24,+32192.80,+005.42,+32878.68,+003.34,+794.65,+003.34
000068,+32500.96,+001.19,+32374.40,+005.37,+33044.46,+003.28,+808.95,+003.29
000069,+32639.33,+001.13,+32535.15,+005.31,+33186.37,+003.23,+811.04,+003.22
000070,+32755.10,+001.08,+32680.25,+005.26,+33307.68,+003.17,+823.49,+003.17
000071,+32857.06,+001.02,+32814.86,+005.20,+33411.97,+003.11,+813.64,+003.10
000072,+32919.12,+000.96,+32907.12,+005.14,+33480.63,+003.05,+810.19,+003.03
000073,+32956.21,+000.89,+32982.21,+005.07,+33547.79,+002.98,+818.57,+002.97
000074,+32967.84,+000.82,+33034.56,+005.00,+33583.21,+002.91,+811.42,+002.89
000075,+32930.00,+000.75,+33032.71,+004.94,+33595.23,+002.84,+816.85,+002.83
000076,+32863.52,+000.68,+33003.68,+004.86,+33562.59,+002.77,+820.73,+002.75
000077,+32772.71,+000.61,+32947.02,+004.79,+33529.91,+002.70,+809.10,+002.67
000078,+32574.15,+000.53,+32766.67,+004.71,+33341.30,+002.61,+796.90,+002.59
000079,+32547.97,+000.44,+32849.17,+004.62,+33438.00,+002.52,+801.33,+002.51
000080,+32318.21,+000.35,+32599.80,+004.54,+33297.30,+002.44,+799.68,+002.40
000081,+32014.53,+000.26,+32353.66,+004.45,+33078.09,+002.35,+785.64,+002.33
000082,+31696.25,+000.17,+31999.17,+004.36,+32784.58,+002.26,+781.35,+002.24
000083,+31119.63,+000.08,+31597.51,+004.28,+32387.20,+002.16,+757.47,+002.09
000084,+31463.47,+006.26,+31538.89,+004.18,+32652.36,+002.08,+807.93,+002.12
000085,+30949.42,+006.18,+31184.53,+004.09,+32143.26,+001.99,+775.29,+001.97
000086,+30637.67,+006.09,+30828.59,+004.00,+31797.85,+001.90,+758.42,+001.89
000087,+30085.59,+005.99,+30286.50,+003.91,+31308.53,+001.80,+747.40,+001.80
000088,+30807.27,+005.86,+31359.95,+003.78,+32210.45,+001.66,+789.41,+001.62
000089,+31953.66,+005.76,+31890.51,+003.68,+32980.59,+001.58,+802.79,+001.58
000090,+31761.33,+005.66,+31792.47,+003.58,+32950.89,+001.48,+807.83,+001.47
000091,+31985.93,+005.56,+31816.53,+003.48,+33032.96,+001.38,+804.00,+001.37
000092,+32103.64,+005.46,+31860.02,+003.38,+33094.06,+001.28,+812.47,+001.28
000093,+32285.07,+005.36,+31969.26,+003.28,+33192.08,+001.18,+810.78,+001.18
000094,+32475.85,+005.26,+32076.23,+003.17,+33305.68,+001.09,+813.49,+001.07
000095,+32762.19,+005.16,+32303.76,+003.07,+33495.49,+000.98,+819.10,+000.97
000096,+33104.03,+005.05,+32611.45,+002.96,+33802.52,+000.88,+828.69,+000.86
000097,+33554.53,+004.95,+32996.36,+002.85,+34131.37,+000.77,+830.48,+000.76
000098,+33995.71,+004.84,+33404.01,+002.74,+34456.97,+000.66,+838.63,+000.64
000099,+34446.64,+004.72,+33879.80,+002.62,+34793.18,+000.55,+840.83,+000.53
000100,+34861.22,+004.60,+34350.95,+002.50,+35127.27,+000.42,+859.22,+000.40
000101,+35246.50,+004.48,+34837.09,+002.37,+35459.21,+000.29,+869.40,+000.28
000102,+35569.00,+004.35,+35272.88,+002.24,+35753.53,+000.16,+873.60,+000.13
000103,+35797.39,+004.21,+35665.86,+002.10,+36032.30,+000.02,+892.15,+006.27
000104,+35820.09,+004.07,+35941.86,+001.95,+36057.34,+006.14,+890.07,+006.11
000105,+35830.29,+003.90,+36137.02,+001.79,+36354.80,+005.98,+907.11,+005.94
000106,+35801.11,+003.73,+36288.18,+001.62,+36550.12,+005.81,+892.54,+005.76
000107,+35640.67,+003.56,+36263.54,+001.46,+36706.55,+005.64,+907.62,+005.59
000108,+35515.39,+003.38,+36159.90,+001.29,+36843.56,+005.46,+908.68,+005.41
000109,+35434.66,+003.19,+36022.69,+001.11,+37028.36,+005.28,+909.39,+005.23
000110,+35746.93,+003.00,+35995.30,+000.92,+37393.46,+005.09,+926.69,+004.99

000111,+36493.57,+002.83,+36621.31,+000.75,+37898.18,+004.92,+964.79,+004.74
000112,+36981.08,+002.64,+36679.21,+000.58,+38677.09,+004.75,+934.62,+004.56
000113,+37378.30,+002.49,+37073.73,+000.43,+39213.32,+004.61,+965.11,+004.43
000114,+38585.20,+002.36,+37938.10,+000.29,+40054.93,+004.47,+984.68,+004.26
000115,+39223.36,+002.17,+38171.35,+000.09,+40318.50,+004.29,+980.82,+004.07
000116,+39771.50,+001.97,+38407.10,+006.17,+40415.20,+004.09,+994.65,+003.85
000117,+38747.21,+001.69,+37291.02,+005.88,+38821.36,+003.81,+908.32,+003.56
000118,+38628.61,+001.43,+37439.33,+005.59,+38136.18,+003.53,+915.89,+003.30
000119,+38145.53,+001.18,+37579.38,+005.34,+37721.14,+003.27,+916.36,+003.05
000120,+37761.96,+000.95,+37760.50,+005.10,+37652.36,+003.02,+898.03,+002.80
000121,+37326.76,+000.70,+37842.10,+004.87,+37747.59,+002.77,+919.19,+002.58
000122,+37620.60,+000.47,+38278.66,+004.64,+38457.00,+002.54,+945.15,+002.34
000123,+37660.22,+000.24,+38514.23,+004.43,+39094.01,+002.31,+950.71,+002.10
000124,+38153.29,+006.28,+38904.68,+004.20,+39923.80,+002.08,+968.02,+001.87
000125,+38583.46,+006.04,+39063.29,+003.97,+40636.85,+001.85,+1000.92,+001.66
000126,+39083.64,+005.79,+38904.09,+003.73,+40974.31,+001.62,+988.71,+001.39
000127,+39616.52,+005.54,+38742.86,+003.47,+41065.80,+001.37,+1007.27,+001.15
000128,+40107.74,+005.28,+38666.29,+003.20,+40893.73,+001.12,+965.28,+000.91
000129,+40475.41,+005.02,+38742.27,+002.93,+40531.74,+000.87,+983.37,+000.65
000130,+40673.81,+004.77,+39121.33,+002.65,+40125.88,+000.60,+926.79,+000.40
000131,+40615.65,+004.51,+39629.22,+002.38,+39811.71,+000.32,+925.96,+000.13
000132,+40323.92,+004.25,+40047.73,+002.11,+39671.42,+000.04,+982.97,+006.12
000133,+39877.39,+003.98,+40430.03,+001.85,+39784.34,+006.04,+982.60,+005.83
000134,+39397.89,+003.70,+40583.14,+001.58,+40145.48,+005.75,+990.27,+005.57
000135,+39077.21,+003.41,+40454.07,+001.31,+40668.93,+005.47,+1003.58,+005.28
000136,+38956.27,+003.12,+40063.48,+001.04,+41148.48,+005.19,+1012.56,+004.97
000137,+39126.77,+002.82,+39539.86,+000.75,+41470.99,+004.91,+1020.41,+004.70
000138,+39618.46,+002.52,+39053.92,+000.46,+41516.02,+004.64,+1012.55,+004.42
000139,+40174.86,+002.22,+38766.87,+000.15,+41251.35,+004.36,+989.15,+004.14
000140,+40638.35,+001.94,+38726.32,+006.13,+40732.48,+004.07,+973.37,+003.86
000141,+40853.08,+001.65,+39098.73,+005.82,+40162.18,+003.77,+943.75,+003.56
000142,+40739.68,+001.36,+39692.33,+005.51,+39728.14,+003.46,+951.38,+003.25
000143,+40314.41,+001.07,+40244.25,+005.21,+39555.65,+003.14,+974.77,+002.92
000144,+39720.81,+000.77,+40605.27,+004.91,+39726.63,+002.81,+978.53,+002.60

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)