

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA
EM AFUNDAMENTOS DE TENSÃO UTILIZANDO PROJETO E
ANÁLISE DE EXPERIMENTOS (DOE)**

Marco Antônio Silva Nunes Júnior

Itajubá, Setembro de 2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

MARCO ANTONIO SILVA NUNES JÚNIOR

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA
EM AFUNDAMENTOS DE TENSÃO UTILIZANDO PROJETO E
ANÁLISE DE EXPERIMENTOS (DOE)**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

ORIENTAÇÃO: Dr. José Maria de Carvalho Filho

CO-ORIENTAÇÃO: Dr. Thiago Clé de Oliveira

Setembro de 2012
Itajubá - MG

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

N972a

Nunes Júnior, Marco Antônio Silva

Análise de sensibilidade das variáveis de influência em afundamentos de tensão utilizando projeto e análise de experimentos (DOE) / Marco Antônio Silva Nunes Júnior. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2012.

130 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. José Maria de Carvalho Filho

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Clé de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Afundamentos de tensão. 2. Qualidade da energia. 3. DOE. 4. Planejamento e análise de experimentos. I. Carvalho Filho, José Maria, orient. II. Oliveira, Thiago Clé, coorient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

MARCO ANTONIO SILVA NUNES JÚNIOR

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA
EM AFUNDAMENTOS DE TENSÃO UTILIZANDO PROJETO E
ANÁLISE DE EXPERIMENTOS (DOE)**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 14 de setembro de 2012, conferindo ao autor o título de ***Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.***

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Maria de Carvalho Filho (Orientador)

Prof. Dr. Thiago Clé de Oliveira (Co-orientador)

Prof. Dr. Roberto Chouhy Leborgne

Prof. Dr. Anderson Paulo de Paiva

Itajubá

2012

DEDICATÓRIA

*A Deus, pela graça de me
permitir concluir este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais, Rosângela e Marco Antonio pelo grande apoio em todos os momentos;
- Aos meus irmãos, Luciana, Letícia e Matheus pela amizade e companheirismo;
- A minha madrinha Márcia, Tio Miro, Paulo Henrique, Felipe e Mariana, minha família itajubense pelo apoio desde os tempos de faculdade;
- Ao professor Thiago Clé pela co-orientação e principalmente pelo apoio e amizade durante esta árdua jornada de desenvolvimento desta dissertação;
- Ao professor José Maria pela orientação e todas as oportunidades oferecidas durante este processo;
- A toda minha família (primos, tios e avós) pela confiança depositada durante este período;
- Aos companheiros de república pela amizade e momentos de diversão;
- Aos amigos de Itajubá e de Varginha pelo companheirismo de muitos anos;
- Aos profissionais da EDP Escelsa e Bandeirante pela parceria no P&D que proporcionou minha experiência pessoal e profissional vivida durante o processo de desenvolvimento deste trabalho;
- Ao professor Anderson Paulo de Paiva pelas orientações acerca do assunto DOE;
- Aos funcionários do Instituto de Engenharia Elétrica, da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e do Departamento de Registro Acadêmico, pela generosa colaboração.
- Aos demais colegas e professores do GQEE, pelos momentos de trabalho e descontração vividos juntos;
- À CAPES e ao GQEE, pelo apoio financeiro;

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	II
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	IX
RESUMO.....	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. RELEVÂNCIA DO TEMA.....	1
1.2. ESTADO DA ARTE	2
1.3. OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	5
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
2. AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	8
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	8
2.2. DEFINIÇÕES E CONCEITOS	8
2.3. PARÂMETROS DE ANÁLISE DE AFUNDAMENTOS	9
2.4. AGREGAÇÃO DE FASES E AGREGAÇÃO TEMPORAL.....	10
2.4.1. <i>Agregação de fases</i>	10
2.4.2. <i>Agregação Temporal</i>	14
2.5. PRINCIPAIS CAUSAS DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	14
2.6. SENSIBILIDADE DE PROCESSOS E EQUIPAMENTOS FRENTE A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	15
2.6.1. <i>Equipamentos Sensíveis a Afundamentos de Tensão</i>	15
2.6.2. <i>Sensibilidade dos Sistemas de Suprimento de Energia em Instalações Industriais</i>	16
2.7. VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA	17
2.7.1. <i>Tipo de Falta</i>	17
2.7.2. <i>Localização da Falta</i>	18
2.7.3. <i>Resistência de Falta</i>	19
2.7.4. <i>Tensão Pré-Falta</i>	20
2.7.5. <i>Conexão dos Transformadores</i>	20
2.7.6. <i>Sistemas de Religamento</i>	21
2.7.7. <i>Sistemas de Proteção</i>	21
2.8. INDICADORES PARA AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	22
2.8.1. <i>Índice SARFI</i>	22
2.8.2. <i>Tabelas para Afundamentos de Tensão</i>	22
2.9. SIMULAÇÃO DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	25
2.9.1. <i>Simulação de Forma de Onda</i>	26
2.9.2. <i>Simulação Dinâmica</i>	26
2.9.3. <i>Simulação de Faltas</i>	26
2.9.4. <i>Métodos de Cálculo para Afundamentos de Tensão</i>	27
2.10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	31

3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE SOBRE A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS ALEATÓRIAS	33
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	33
3.2. CONCEITOS E TERMOS FUNDAMENTAIS DA ANÁLISE DE EXPERIMENTOS.....	34
3.3. INTRODUÇÃO AO PROJETO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS – <i>DOE (DESIGN OF EXPERIMENTS)</i>	36
3.4. ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM <i>DOE</i>	37
3.5. TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS	39
3.5.1. <i>Planejamento Fatorial Completo</i>	39
3.5.2. <i>Arranjo Fatorial Fracionado (2^{k-p})</i>	46
3.5.3. <i>Metodologia da Superfície de Resposta</i>	47
3.6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – APLICAÇÃO DE DOE EM ENGENHARIA ELÉTRICA	50
3.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE SOBRE A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS ALEATÓRIAS EM AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	52
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	52
4.2. DADOS DE MEDIÇÃO – CASO I – CEMIG.....	52
4.2.1. <i>Dados do Sistema Elétrico – CEMIG</i>	52
4.2.2. <i>Registradores Digitais de Perturbação</i>	54
4.2.3. <i>Fatores de Entrada</i>	55
4.2.4. <i>Variável de Saída</i>	60
4.2.5. <i>Análise dos Resultados</i>	61
4.3. DADOS DE SIMULAÇÃO – CASO II – CEMIG.....	68
4.3.1. <i>Fatores de Entrada</i>	71
4.3.2. <i>Variável de Saída</i>	73
4.3.3. <i>Análise dos Resultados</i>	74
4.4. DADOS DE SIMULAÇÃO – CASO III – CEMAT	82
4.4.1. <i>Dados do Sistema Elétrico – CEMAT</i>	83
4.4.2. <i>Fatores de Entrada</i>	84
4.4.3. <i>Variável de Saída</i>	86
4.4.4. <i>Análise dos Resultados</i>	86
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
5. CONCLUSÕES	95
5.1. CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES	95
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	97
5.3. PUBLICAÇÕES.....	97
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
APÊNDICE A	102
<i>Exemplo de cálculo do Quadro ANOVA</i>	102
APÊNDICE B.....	108
<i>Matriz Experimental para o Caso I</i>	108
<i>Matriz Experimental para o Caso II – Variável de saída SARFI-85 – BARRA 1 a BARRA 20</i>	111
<i>Matriz Experimental para o Caso II – Variável de saída SARFI-85 – BARRA 21 a BARRA 40</i>	114

<i>Matriz Experimental para o Caso II – Variável de saída SARFI-85 – BARRA 41 a</i>	
<i>BARRA 58.....</i>	<i>117</i>
<i>Matriz Experimental para o Caso III – Variável de saída SARFI-50</i>	<i>120</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Tensão eficaz durante a ocorrência do afundamento de tensão	9
Figura 2.2 - Tensão eficaz nas três fases durante um afundamento de tensão.....	10
Figura 2.3 - Caracterização de Afundamentos de Tensão segundo a metodologia do EPRI/ELECTROTEK[14].....	12
Figura 2.4 - Caracterização de Afundamento de Tensão segundo a NRS-048	13
Figura 2.5 – Caracterização de afundamentos de tensão segundo a UNIPEDE [14]	13
Figura 2.6 - Exemplo de Localização do Ponto de Falta.....	19
Figura 2.7 - Diagrama Unifilar - Método do Curto Deslizante.....	28
Figura 2.8 – Diagrama esquemático do método das Posições de Falta	29
Figura 3.1 - Modelo Geral de um Processo ou Sistema [31].....	33
Figura 3.2 – Regiões de aceitação e rejeição de H_0 [32]	43
Figura 3.3 – Exemplo de uma Superfície de Resposta não plana [48]	49
Figura 4.1 - Diagrama Unifilar Simplificado - Sistema de Transmissão da CEMIG	53
Figura 4.2 - Características dos AMTs para os quatro anos de medição.....	55
Figura 4.3 - Distribuição das Faltas por classe de Tensão	56
Figura 4.4 - Relação da quilometragem das linhas por nível de tensão.....	56
Figura 4.5 – Distribuição dos Tipos de Falta	57
Figura 4.6 - Distribuição das Causas de Falta	58
Figura 4.7 - Distribuição das Faltas em Relação à Estação do Ano	58
Figura 4.8 - Distribuição das Faltas de Acordo com o Período do Dia.....	59
Figura 4.9 - Histograma da Resistências de Falta	60
Figura 4.10 - Curva de Carga mostrando o Período quando ocorre um AMT.....	61
Figura 4.11 – Gráfico dos Efeitos Principais	63
Figura 4.12 – Gráfico dos Efeitos das Interações entre os Fatores	64
Figura 4.13 - Quadro ANOVA	65
Figura 4.14 – Gráfico dos Efeitos Principais para a segunda análise	66
Figura 4.15 - Quadro ANOVA para a segunda análise	67
Figura 4.16 - Efeito das Interações para a segunda análise	67
Figura 4.17 – Quadro utilizado para escolha do número de réplicas	70
Figura 4.18 – Representação de Faltas FT, FFT e FFFT	72
Figura 4.19 – Representação das faltas com $R_f = \text{“inf”}$	72
Figura 4.20 - Efeito Individual da Variável Faltas por Ano para alguns índices SARFI	76
Figura 4.21 - Efeito Individual da Variável Tipo de Falta para alguns índices SARFI	77
Figura 4.22 - Efeito Individual da Variável Resistência de Falta para alguns índices SARFI	79
Figura 4.23 - Efeito das Interações na Barra 15 para o SARFI-85.....	82
Figura 4.24 - Diagrama Unifilar Simplificado do Sistema CEMAT.....	83
Figura 4.25 – Poder do Teste para o Caso III	87
Figura 4.26 - Efeito Individual da Variável Resistência de Falta para alguns índices SARFI na Barra 1.....	88
Figura 4.27 - Efeito Individual da Variável Tipo de Falta para alguns índices SARFI na Barra 6	89

Figura 4.28 - Efeito Individual da Variável Número de Faltas para alguns índices
SARFI na Barra 7..... 89

Figura 4.29 - Efeito das Interações na Barra 1 para o SARFI-85..... 93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Mínimo de Monitoração e Erro Desejado.....	3
Tabela 2.1 - Taxa de Falta em Linhas de Transmissão nos EUA	18
Tabela 2.2 - Taxa de Falta em linhas de Transmissão no Brasil.....	18
Tabela 2.3 - Tabela recomendada pela UNIPEDE [24].....	23
Tabela 2.4 - Tabela recomendada pela IEC 61000-4-11 [24]	23
Tabela 2.5 - Tabela proposta pela IEC 61000-2-8 [24]	24
Tabela 2.6 - Proposta de Tabela da NRS 048	24
Tabela 3.1 – Matriz de Experimentos para 3 fatores.....	40
Tabela 3.2 – Erros Tipo I e Tipo II [9].....	42
Tabela 3.3 – Quadro ANOVA [31].....	44
Tabela 3.4 – Exemplo de um Quadro ANOVA obtido pelo MINITAB	45
Tabela 3.5 - Exemplo de Matriz Experimental para um Fatorial Fracionado.....	47
Tabela 4.3 - Fatores de Entrada para o Caso II	73
Tabela 4.4 - <i>P-values</i> da variável Faltas por Ano.....	75
Tabela 4.5 - <i>P-values</i> da variável Tipo de Falta	77
Tabela 4.6 - <i>P-values</i> da variável Resistência de Falta	78
Tabela 4.7 - <i>P-values</i> da interação Faltas por Ano x Tipo de Falta.....	80
Tabela 4.8 - <i>P-values</i> da interação Faltas por Ano x Resistência de Falta	81
Tabela 4.9 - Fatores de Entrada para o Caso III	86
Tabela 4.10 - <i>P-values</i> da variável Resistência de Falta	88
Tabela 4.11 - <i>P-values</i> da variável Regime de Carga	90
Tabela 4.12 - <i>P-values</i> da Interação “Resistência de Falta x Número de Faltas por Ano”	91
Tabela 4.13 - <i>P-values</i> da Interação “Número de Faltas x Tipo de Falta”	91
Tabela 4.14 - <i>P-values</i> da Interação “Resistência de Falta x Regime de Carga” ...	92
Tabela 4.15 - <i>P-values</i> da Interação “Número de Faltas x Regime de Carga”	92
Tabela 4.16 - <i>P-values</i> da Interação “Tipo de Falta x Regime de Carga”	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AMT	Afundamento Momentâneo de Tensão
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBEMA	<i>Computer and Business Equipment Manufactures Association</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
ELECTROTEK	Electrotek Concepts, Inc.
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
ENS	Energia não suprida
FT	Curto-circuito do tipo fase-terra
FF	Curto-circuito do tipo fase-fase
FFT	Curto-circuito do tipo fase-fase-terra
FFF	Curto-circuito do tipo trifásico
FFFT	Curto-circuito do tipo trifásico-terra
GQEE	Grupo de Estudos em Qualidade de Energia Elétrica
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LT	Linha de Transmissão
MSR	Método da Superfície de Resposta
ONS	Operador Nacional do Sistema
p.u.	por unidade
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
RMS	<i>Root Mean Square</i> (valor eficaz)
SARFI	<i>System Average RMS Variation Frequency Index</i>
SE	Subestação
UNIPED	<i>Union of International Producers and Distributors of Electrical Energy</i>
VTCD	Variação de Tensão de Curta Duração

RESUMO

Esta dissertação apresenta uma análise de sensibilidade de variáveis aleatórias nos distúrbios de afundamentos de tensão utilizando-se a Metodologia de Planejamento e Análise de experimentos conhecida como DOE – *Design of experiments*.

O DOE permite analisar a significância de fatores de entrada e suas interações em determinado processo. Neste contexto, este trabalho aplica esta metodologia na análise de sensibilidade das variáveis de influência nos parâmetros de afundamentos de tensão.

A análise é feita no sistema de transmissão de duas importantes concessionárias brasileiras: CEMIG e CEMAT.

No caso da CEMIG, a análise é feita com base em dados tanto de medição, quanto de simulação e no caso da CEMAT as conclusões são feitas baseando-se em dados de simulação.

Algumas conclusões, que antes eram intuitivas, foram demonstradas utilizando-se o DOE. Por exemplo, viu-se que faltas trifásicas são as faltas mais severas assim como o índice SARFI-X é muito influenciado pelo número de faltas.

ABSTRACT

This dissertation presents a sensitivity analysis of voltage sags random variables using the methodology Design of Experiments (DOE).

DOE allows analyzing the significance of input factors and their interactions in a determined process. In this context, this study applies this methodology in the sensitivity analysis of the variables that influencing the parameters of voltage sags.

The analysis is based on the transmission system of two major Brazilian utilities: CEMIG and CEMAT.

In the case of CEMIG, analysis is made based on measurement data and simulations. In the case of CEMAT conclusions are made based just on simulation data.

Some conclusions, which were intuitive, were demonstrated using DOE. For example, it has found that three-phase faults are the faults most severe as well as the index SARFI-X is very influenced by the number of faults.

1. INTRODUÇÃO

1.1. RELEVÂNCIA DO TEMA

Nos dias de hoje, a Qualidade da Energia Elétrica - QEE é uma grande preocupação tanto das concessionárias, tanto dos consumidores, sejam eles comerciais, residenciais ou industriais. Hoje, equipamentos eletroeletrônicos são amplamente utilizados nos diversos meios, o que faz com que essa preocupação seja explicada, uma vez que estes equipamentos têm se tornado cada vez mais propícios a apresentarem problemas perante um afundamento de tensão. Relógios digitais domésticos, linhas automatizadas de produção, entre outros vários exemplos que poderiam ser citados, demonstram a vasta aplicação da eletrônica de potência, da microeletrônica e dos microprocessadores. Com isso tem sido verificado um significativo aumento da sensibilidade dos equipamentos em relação à QEE.

Em relação à sensibilidade de cargas, pode-se destacar o aumento do número de aplicações de processos com acionamentos de velocidade variável (AVVs) e de sistemas controlados eletronicamente. Isto tem feito com que os processos industriais estejam mais vulneráveis a afundamentos seja por motivos externos ou internos à planta.

Tais distúrbios, conhecidos na literatura internacional como “voltage sags” ou “voltage dips”, e neste trabalho denominados “afundamentos de tensão” representam, atualmente, o principal desafio a ser enfrentado por empresas de energia, fornecedores de equipamentos elétricos e consumidores de um modo geral. Ocorrências de afundamentos de tensão, combinadas com a sensibilidade dos equipamentos modernos, têm resultado em um número expressivo de interrupções de processos industriais. Dentro deste contexto, citam-se algumas razões fundamentais que colocam em posição de destaque, os afundamentos de tensão, dentro do cenário da QEE [1]:

- Devido à vasta extensão e à vulnerabilidade das linhas aéreas de transmissão, subtransmissão e distribuição, estes distúrbios são inevitáveis e inerentes à operação do sistema elétrico;

- Os consumidores estão tendo prejuízos substanciais devido a interrupções de processos, quantificados pelas perdas de produção, perdas de insumos e custos associados à mão de obra e a reparos de equipamentos danificados;
- As concessionárias de energia elétrica estão tendo perda de imagem empresarial e, inevitavelmente, passarão a ter maiores custos com prováveis ressarcimentos de prejuízos aos consumidores, decorrentes de falta de qualidade da energia;
- A qualidade da energia tem se transformado em um fator determinante para a competitividade entre as empresas concessionárias de energia, sendo que as mesmas deverão, em um horizonte muito próximo, oferecer contratos diferenciados, de acordo com os requisitos de qualidade da energia exigidos pelos processos dos consumidores;
- Além deste fato, a qualidade da energia vem se tornando um fator diferencial para promover desenvolvimentos regionais, sendo analisada em conjunto com incentivos fiscais, meios de transporte, proximidade entre matéria prima e centros consumidores.

1.2. ESTADO DA ARTE

Estudos relacionados a afundamentos de tensão têm sido conduzidos, ao longo do tempo, a partir de monitoração das tensões do sistema elétrico ou através da utilização de metodologias de simulação.

A medição pode fornecer resultados representativos somente quando a frequência de ocorrência do distúrbio monitorado é alta. Para fenômenos como afundamentos de tensão o período de monitoramento deve ser de 30 anos, admitindo sua frequência de ocorrência é da ordem de um evento por mês [2].

A Tabela 1.1 mostra os períodos mínimos de monitoração admitindo um determinado erro.

Tabela 1.1 - Mínimo de Monitoração e Erro Desejado

Frequência de Ocorrência do Afundamento de Tensão	Erro de 50%	Erro de 10%
1 por dia	2 semanas	1 ano
1 por semana	4 meses	7 anos
1 por mês	1 ano	30 anos
1 por ano	16 anos	400 anos

Uma alternativa viável para evitar estes longos períodos de medição é a utilização de ferramentas computacionais de simulação estocástica.

As metodologias de simulação utilizam-se de programas computacionais para calcular tensões e correntes durante uma falta, tempos de sensibilização e atuação de relés e dispositivos de proteção e ainda, dados estatísticos de faltas em linhas de transmissão e distribuição de sistemas elétricos.

Em razão de este trabalho estar diretamente ligado a processos de simulação, relata-se a seguir um levantamento, de forma resumida, das principais publicações que abordam procedimentos de simulação para estudos de afundamentos de tensão.

Em 1998, M. H. J. Bollen, M. R. Qader e R. N. Allan publicaram um artigo intitulado “*Stochastic and Statistical Assesment of Voltage Dips*” [3]. Neste artigo dois métodos de predição estocástica de afundamentos de tensão são apresentados: o método das posições de falta e o método das distâncias críticas. Os autores aplicam os dois métodos em um mesmo sistema e fazem uma comparação entre os resultados.

Em 2001, M. F. Alves, V. R. C. Fonseca, elaboraram um artigo cujo título é “*Voltage sag stochastic estimate*” [4]. O artigo é iniciado propondo uma metodologia de cálculo estocástico de afundamento de tensão, metodologia esta que engloba a estimativa da intensidade, frequência e a duração dos afundamentos de tensão que atingem certa carga. Este método é associado a um programa computacional de cálculo de curto circuito e um banco de dados relacional. Segundo os autores, a principal contribuição deste artigo é a proposta de avaliar a variação da amplitude e duração em função da posição de falta ao longo de uma linha.

Em 2003, G. Olguin, D. Karlsson e R. Leborgne com o artigo “*Stochastic Assessment of Voltage Dips (Sags): The Method of Fault Positions versus a Monte Carlo Simulation Approach*” [5] discutem o método das posições de falta no que diz respeito à adequação do mesmo para prever o desempenho de afundamentos de tensão em um ano particular, e o compara a uma análise através de simulações Monte Carlo. A simulação Monte Carlo é proposta como a que melhor descreve o desempenho do sistema. Enquanto o método das posições de falta fornece apenas termos médios em longo prazo, a simulação de Monte Carlo fornece a função distribuição completa, permitindo análises posteriores. O trabalho deixa bem claro os procedimentos para a simulação de Monte Carlo, bem como mostra que a análise das posições de falta não descreve a variabilidade do índice (SARFI).

No ano de 2006, os autores M. N. Moschakis e N. D. Hatzargyriou apresentaram à academia o artigo “*Analytical Calculation and Stochastic Assessment of Voltage Sags*” [6]. Nesta publicação, expressões analíticas para o cálculo da magnitude de afundamentos de tensão devido às faltas em qualquer ponto de uma rede malhada ou radial são demonstradas. Faltas equilibradas e desequilibradas são consideradas e o efeito de transformadores é levado em conta. Os seguintes métodos para estimativa estocástica da magnitude dos afundamentos são comparados usando estas expressões: método das distâncias críticas, método das posições de falta e método de Monte Carlo. Os números mínimos necessários de posições de falta e interações empregadas são determinados de forma a atingir resultados com precisão aceitável. Todos os métodos citados combinam a resposta do sistema a faltas com dados estocásticos. Esta resposta do sistema pode ser calculada analiticamente usando componentes simétricas ou processando simulações. Expressões simplificadas baseadas em divisores de tensão podem ser adequadas para redes radiais, porém apresentam muitas limitações para sistemas malhados.

Em 2008, o artigo “*Validation of Voltage Sags Short Term Measurements Based on Predicted Stochastic Simulation*” [7], publicado pelos autores T. C. Oliveira; J. M. de Carvalho Filho, R. C. Leborgne e de J. Abreu, apresentou um procedimento de validação de resultados de monitoramento de afundamentos de tensão baseados em avaliação estocástica. Esta metodologia, baseada em

simulação de Monte Carlo, analisa a precisão dos índices obtidos em um curto período de monitoramento. A ferramenta utilizada para estimar os índices de afundamentos neste trabalho é o cálculo de curto-circuito, pois demanda menor tempo de simulação e também a modelagem do sistema é mais simples quando comparada a outra ferramenta disponível: simulação de transitórios eletromagnéticos. Um estudo de caso baseado na avaliação de um período de monitoramento de seis meses mostra a aplicabilidade do método.

Os autores T. C. de Oliveira, J. M. de Carvalho Filho, R. C. Leborgne e M. Bollen, em 2009 publicam o trabalho intitulado “*Voltage Sags: Validating Short-Term Monitoring by Using Long-Term Stochastic Simulation*” [8], onde o objetivo principal deste trabalho é utilizar as simulações de Monte Carlo de forma a validar as características dos afundamentos de tensão obtidas por meio de medições realizadas por um pequeno período e também por simulação estocástica. A principal intenção desta validação estatística é estabelecer quanto os resultados de medição se encontram distantes do comportamento médio esperado do sistema, este último determinado pela simulação estocástica.

1.3. OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

O objetivo desta dissertação é avaliar a significância das variáveis de entrada que influenciam os parâmetros dos afundamentos de tensão, baseado tanto em dados de medição como de simulação.

O primeiro caso analisa um banco de dados de medição do sistema de transmissão da CEMIG para concluir sobre a significância das diversas variáveis de influência nos parâmetros de afundamentos de tensão. No segundo caso, para se concluir acerca desta significância, é também utilizado o mesmo sistema de transmissão da CEMIG, porém utilizando dados de simulação.

No terceiro e último caso, também são utilizados dados de simulação para concluir acerca da significância de alguns fatores de entrada dos AMTs, porém, foi utilizado o sistema da CEMAT.

É importante destacar a lacuna, hoje existente na literatura especializada nesta área, acerca da análise de sensibilidade de variáveis aleatórias nos parâmetros de AMTs utilizando uma ferramenta estatística apropriada.

Os trabalhos até então publicados utilizam-se da técnica de criação de cenários, onde ocorre a análise individual, através da variação de apenas uma variável por vez com relação a um caso de referência adotado. Em [9], o autor utiliza-se desta técnica para avaliar o grau de influência de cada variável, individualmente, sobre as características dos afundamentos de tensão. Por exemplo, quando a análise envolve o impacto da variável resistência de falta, adota-se 0 ohm para simular todas as faltas, sendo esta condição o caso de referência. Para os casos intermediários, são mantidas todas as condições de falta do caso de referência, variando-se apenas a resistência de falta em cada caso intermediário. Como dito anteriormente, estes métodos desprezam possíveis efeitos combinados de influência de duas ou mais variáveis.

Neste contexto, esta dissertação contribui para apontar se as variáveis hoje utilizadas na simulação de afundamentos são realmente importantes. Além disso, o efeito das interações entre tais variáveis também é avaliado.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente capítulo desta dissertação apresenta a introdução ao tema, descrevendo sua relevância, o estado da arte abordando as principais publicações na área, os objetivos, as contribuições e a estrutura do documento.

O segundo capítulo trata dos conceitos e definições relacionados a afundamentos de tensão, o que fornece uma base teórica necessária para o entendimento deste distúrbio abordado no estudo. Primeiramente são abordados os conceitos e parâmetros utilizados nas análises de afundamentos de tensão, suas principais causas, variáveis de influência e principais indicadores. Por fim, este capítulo apresenta os procedimentos de simulações de afundamentos de tensão, entre eles, método das posições de falta, da distância crítica e simulações de Monte Carlo.

O terceiro capítulo apresenta uma pequena definição do que é uma análise de sensibilidade e além disso, traz uma introdução à metodologia de planejamento e análise de experimentos chamada DOE (*Design of Experiments*), abordando os principais conceitos e definições relacionadas a esta metodologia. Em seguida são apresentados o arranjo fatorial completo, fatorial fracionado e método da superfície

de resposta.

No quarto capítulo, são apresentados três exemplos de aplicação para avaliar as variáveis de influência nos parâmetros dos afundamentos de tensão, sendo o primeiro baseado num banco de dados obtidos a partir de quatro anos de medição e o segundo baseado em resultados de simulações, ambos utilizando dados do sistema elétrico da Cemig. O terceiro cujos dados são resultantes de simulações, utilizando-se dados do sistema de transmissão da CEMAT.

No quinto capítulo apresentam-se as principais conclusões obtidas com a realização deste trabalho, além de apresentar algumas sugestões para execução de trabalhos futuros.

O sexto capítulo disponibiliza as referências bibliográficas utilizadas nesta dissertação.

2. AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo são abordadas as definições, os conceitos sobre afundamentos de tensão e os parâmetros para análise deste distúrbio.

Serão apresentadas ainda as causas, as variáveis de influência, os principais métodos de simulação e os indicadores para análise dos afundamentos de tensão.

2.2. DEFINIÇÕES E CONCEITOS

Em se tratando de definições e conceitos acerca de afundamentos de tensão, tem-se no Brasil a definição dada pelo ONS através do submódulo 25.6 dos Procedimentos de Rede [10], onde: “Denomina-se afundamento momentâneo de tensão (AMT) o evento em que o valor eficaz da tensão é superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u. da tensão nominal, durante um intervalo de tempo com duração superior ou igual a um ciclo (16,67 ms, na frequência de 60 Hz) e inferior ou igual a 3 (três) segundos e ainda afundamento temporário de tensão (ATT) o evento em que o valor eficaz da tensão é superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u. da tensão nominal, durante um intervalo de tempo com duração superior a 3 (três) segundos e inferior ou igual a 1 (um) minuto”.

A ANEEL, responsável pela regulação e fiscalização do setor elétrico brasileiro, através da resolução normativa 469/2011 do PRODIST, define no módulo 8 [11] que: “Variação de tensão de curta duração são desvios significativos no valor eficaz da tensão em curtos intervalos de tempo”. A definição de AMT é a mesma dada pelo ONS, já para o ATT a amplitude da tensão tem a mesma definição, mas para a duração há uma pequena diferença, sendo o intervalo de tempo no PRODIST entre 3 (três) segundos e 3 (três) minutos. De acordo com esses procedimentos, “a amplitude da VTCD é definida pelo desvio extremo do valor eficaz da tensão em relação à tensão nominal do sistema no ponto considerado, enquanto perdurar o evento. 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 do sistema no ponto considerado ultrapassa determinado

limite e o instante em que essa variável volta a cruzar esse limite”. Geralmente, o limite definido para afundamentos de tensão é 0,9 p.u.

A Figura 2.1 mostra o exemplo de um afundamento de tensão trifásico. Neste exemplo, tomando-se como base as definições do ONS e da ANEEL, tem-se um afundamento momentâneo de tensão com uma amplitude de 0,55 p.u. e uma duração de aproximadamente 0,2 segundos.

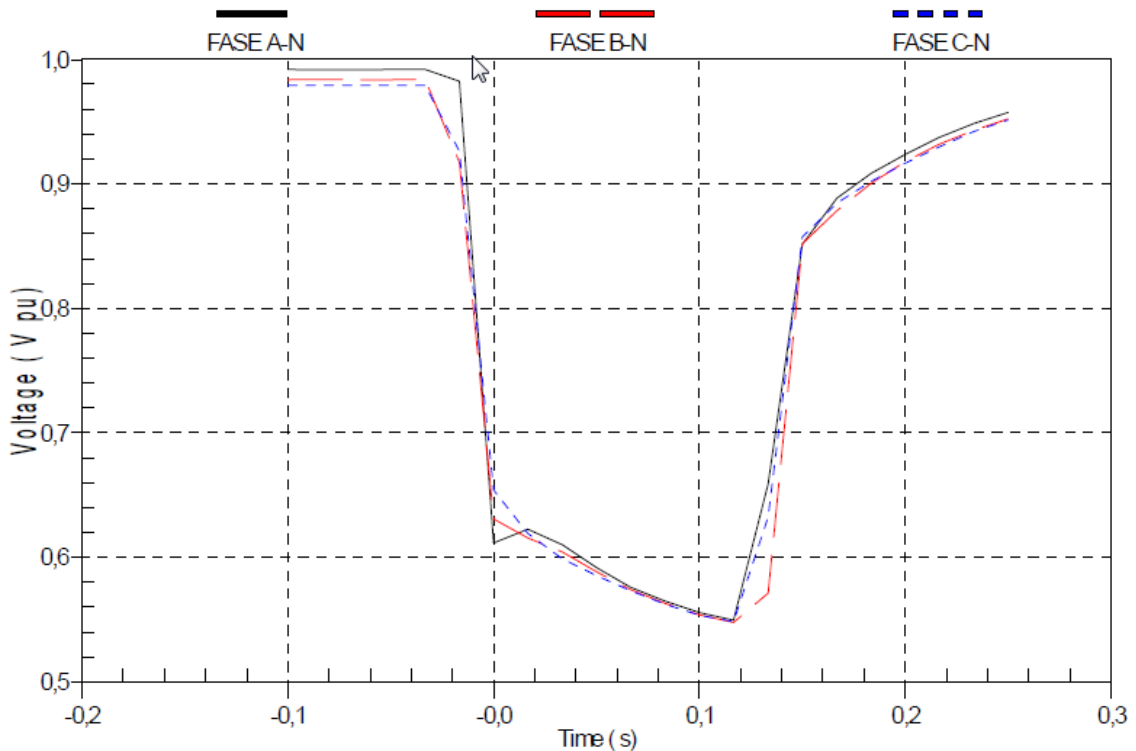


Figura 2.1 - Tensão eficaz durante a ocorrência do afundamento de tensão

2.3. PARÂMETROS DE ANÁLISE DE AFUNDAMENTOS

Os principais parâmetros que caracterizam um afundamento de tensão monofásico são a intensidade e a duração, os quais, somados à frequência de ocorrência, fornecem informações satisfatórias sobre o fenômeno [12].

Outros parâmetros podem ser acrescentados para análise, quando o afundamento for trifásico, são eles: assimetria (que se refere a ângulo) e desequilíbrio (que se refere à intensidade).

O comportamento dinâmico associado à evolução da forma de onda, também pode ser usado para caracterizar tanto os eventos trifásicos como os

monofásicos.

É importante salientar que no tratamento de eventos trifásicos, há a necessidade de utilizar um processo denominado de agregação, onde apenas um conjunto de parâmetros (intensidade, duração, etc.) é relacionado a cada evento.

2.4. AGREGAÇÃO DE FASES E AGREGAÇÃO TEMPORAL

2.4.1. Agregação de fases

Eventos ocorridos no sistema elétrico de potência podem afetar uma, duas ou as três fases. Com isso, pode acontecer das tensões resultantes em cada fase serem diferentes entre si, principalmente em sistemas de distribuição onde podem ocorrer curtos evolutivos. Na análise de afundamentos de tensão deve-se definir como os eventos trifásicos são medidos.

Analisando a Figura 2.2, onde são mostrados os valores de tensão de um evento trifásico, pode-se notar certa dificuldade na caracterização do evento. Esta dificuldade está associada aos seguintes aspectos:

- Em cada uma das fases envolvidas, a duração do afundamento é diferente;
- A intensidade da tensão nas três fases varia no tempo, tendo cada fase uma intensidade diferente da outra.

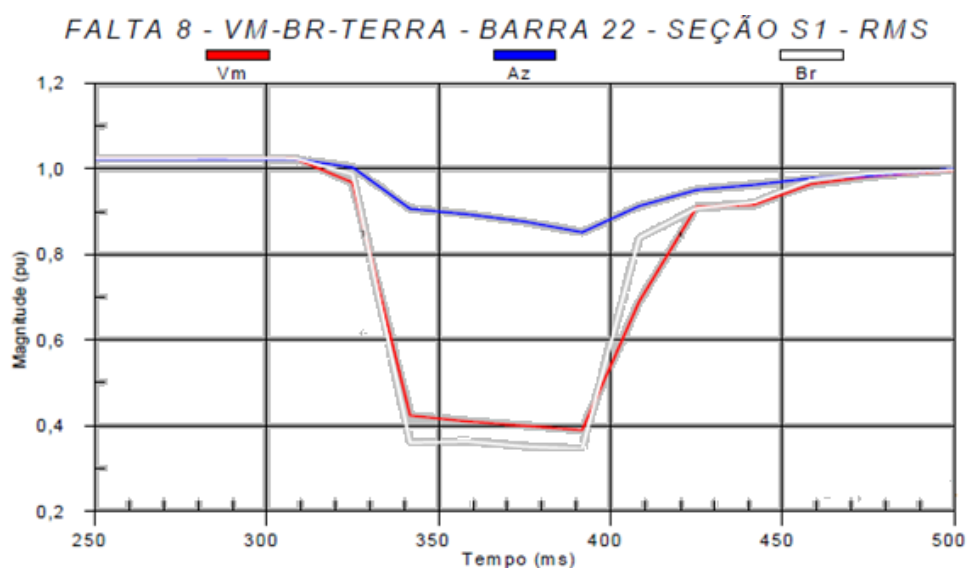


Figura 2.2 - Tensão eficaz nas três fases durante um afundamento de tensão

Assim, torna-se difícil a determinação dos parâmetros característicos de afundamentos de tensão e ainda determinar qual deles foi determinante no desligamento de uma carga, por exemplo.

O procedimento conhecido como agregação de fases é utilizado para melhor caracterizar este tipo de situação. Esta agregação consiste em atribuir um único conjunto de parâmetros (intensidade e duração) a uma ocorrência que registra diferentes valores de duração e intensidade para cada fase.

O critério de agregação de fases, ainda está em discussão e apresenta diversas metodologias de agregação.

2.4.1.1. Metodologia EPRI/ELECTROTEK (EUA)

Esta metodologia, proposta pelo EPRI/ELECTROTEK [13], diz que a intensidade dos distúrbios, que possuam formas retangulares, é caracterizada pela menor tensão remanescente registrada durante o evento e que a duração, corresponde ao período de tempo em que a tensão RMS viola um limite específico de tensão indicado para avaliar o afundamento de tensão.

Nos casos em que não é possível a obtenção de uma forma de onda retangular, esta metodologia atribui durações diferentes para limiares específicos. Com isso, para um mesmo evento pode ser atribuído mais de um valor de duração. Para ilustrar esta abordagem considere o evento da Figura 2.3, sendo que a duração do evento é avaliada segundo três limiares. Os valores T80%, T50% e T10% representam as durações para afundamentos onde suas intensidades atingem 80%, 50% e 10% respectivamente.

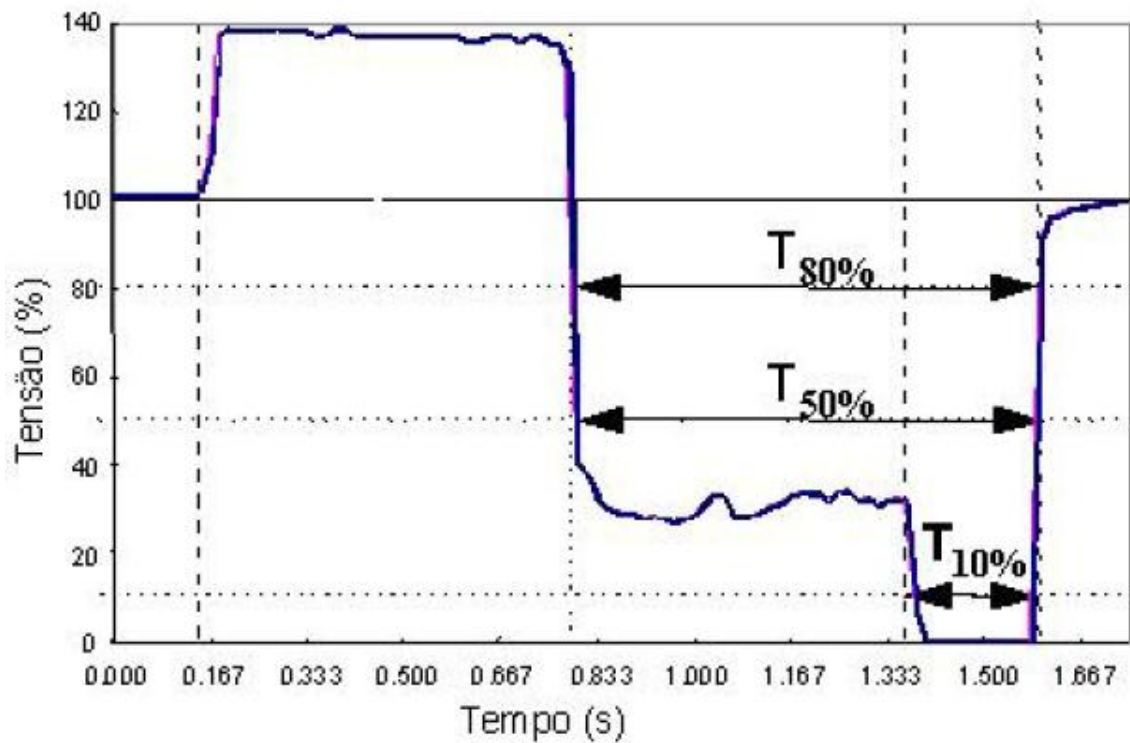


Figura 2.3 - Caracterização de Afundamentos de Tensão segundo a metodologia do EPRI/ELECTROTEK [14]

2.4.1.2. Metodologia da NRS-048 (África do Sul)

A intensidade de um afundamento de tensão trifásico é definida como a menor tensão remanescente ocorrida dentre as três fases, relacionadas a uma tensão declarada, seja ela a nominal ou a tensão operativa do sistema. A duração é definida como sendo a duração associada à pior fase afetada em cada evento registrado. O exemplo é demonstrado na Figura 2.4.

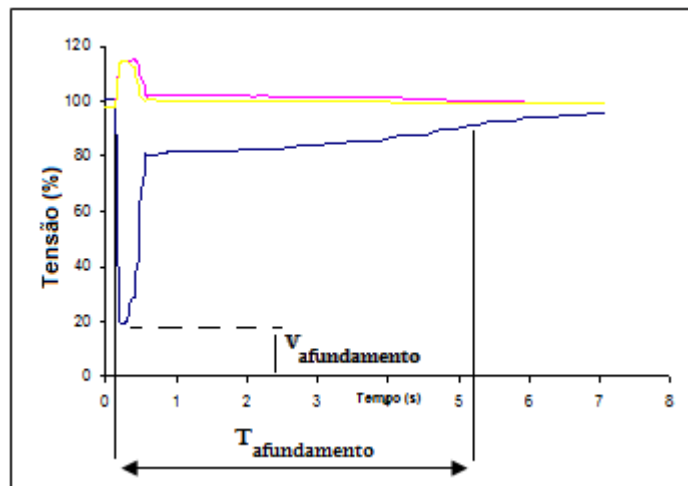


Figura 2.4 - Caracterização de Afundamento de Tensão segundo a NRS-048

2.4.1.3. Metodologia UNPEDE (Europa)

Esta metodologia, conforme ilustrado na Figura 2.5, define a intensidade como sendo a menor tensão remanescente ocorrida nas três fases, sendo os desvios percentuais relacionados à tensão nominal do sistema. A duração, por sua vez, é definida pelo período de tempo que compreende o instante em que a tensão de uma das fases fica inferior ao limite de 0,90 p.u. até o instante em que a tensão de todas as fases são superiores a este limite.

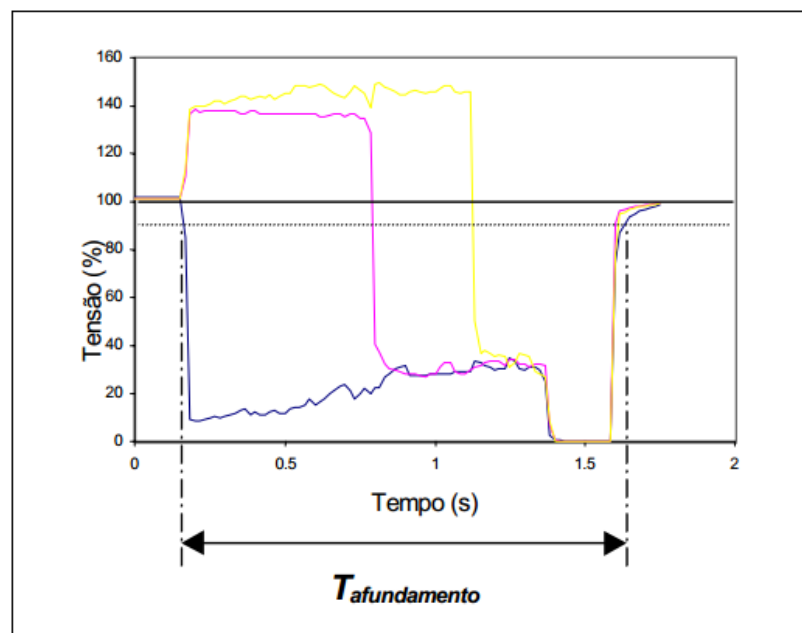


Figura 2.5 – Caracterização de afundamentos de tensão segundo a UNPEDE [14]

2.4.2. Agregação Temporal

A agregação temporal tem como objetivo agrupar todos os afundamentos sucessivos associados a uma única falta e decorrentes de ações de religamentos e assim caracterizá-los como um só evento.

Muitos equipamentos presentes nas indústrias desligam com o primeiro afundamento registrado. Uma vez parado, o processo não é mais sensibilizado pelos eventos subsequentes. Com isso, a contabilização de todos os eventos levaria a um erro estatístico na avaliação do desempenho de suprimento da concessionária, fazendo com que o número encontrado seja maior do que o número real, obtendo assim, um resultado superestimado.

Para evitar este problema é utilizada a agregação temporal com uma janela pré-definida. Embora seja possível escolher arbitrariamente o intervalo de tempo, a norma IEEE 1159-2009 [15] recomenda um intervalo de 1 minuto.

Normalmente, os parâmetros associados ao evento agregado são definidos pelas características do evento mais severo, em geral, aquele que apresenta a menor tensão remanescente.

2.5. PRINCIPAIS CAUSAS DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

A origem dos afundamentos de tensão são: partidas de grandes motores [16], energização de transformadores e ocorrência de curto-circuitos [17], [18] e [19].

Entretanto a principal causa de afundamentos de tensão são as faltas no sistema elétrico. Isso se deve à existência de milhares de quilômetros de linhas aéreas de transmissão e de distribuição que acabam sujeitas aos fenômenos naturais. Com menor frequência, podem ocorrer curto-circuitos em subestações terminais de linhas e em sistemas industriais [14].

As linhas aéreas estão muito expostas às descargas atmosféricas, que são responsáveis pela maioria absoluta de registros de curto-circuitos [20]. Nos sistemas de distribuição o problema é mais crítico, pois geralmente são desprovidos de cabos guarda. Com isso, pode-se analisar a ocorrência de afundamentos de tensão relacionando o nível cerâmico da região em que as

linhas aéreas estão dispostas. É necessário ressaltar que não são todas as descargas atmosféricas que resultam em afundamentos de tensão, pois os sistemas são projetados para suportar cerca de 95% das sobretensões de origem atmosférica e as linhas aéreas, principalmente as de transmissão, são providas de cabos guarda. As outras causas de curto-circuitos nos sistemas elétricos são vendavais, animais e aves em contato com equipamentos do sistema elétrico, queimadas em plantações, contaminação de isoladores, falhas humanas, entre outras [14].

O afundamento de tensão transcorre durante o tempo de permanência da falta, ou seja, desde o instante inicial do defeito até a sua completa eliminação pelos sistemas de proteção.

2.6. SENSIBILIDADE DE PROCESSOS E EQUIPAMENTOS FRENTE A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

Nos dias de hoje, as concessionárias de energia têm enfrentado um aumento significativo no número de queixas relacionadas qualidade de energia devido aos afundamentos de tensão. Há várias razões para isso, sendo que o motivo principal é que os consumidores em todos os setores (residencial, comercial e industrial) viram suas cargas ficarem mais sensíveis. A grande utilização de computadores e outros tipos de controle digital são os grandes causadores deste aumento significativo de cargas sensíveis. Processos controlados digitalmente tendem a ser mais complexos e a perder memória, fazendo com que o tempo de retomada do processo seja mais demorado [21]. Por exemplo, uma linha de produção que é desligada devido aos efeitos de um afundamento de tensão, tende a demorar horas para se reestabelecer e voltar a produzir. Isto representa perda de produtividade, que ocasiona perdas econômicas. Ou seja, um afundamento pode ocasionar consideráveis impactos econômicos.

2.6.1. Equipamentos Sensíveis a Afundamentos de Tensão

Equipamentos dentro de uma planta industrial podem ter diferentes características de sensibilidade a afundamentos de tensão. A sensibilidade destes equipamentos é muito dependente do tipo de carga e do processo envolvido.

Consequentemente é difícil identificar quais características de um dado afundamento que apresentam maior risco de causar o desligamento de uma carga. Geralmente, os parâmetros intensidade e duração do afundamento são as características mais usadas. Segundo [21], a sensibilidade de equipamentos podem ser divididas em três categorias:

- Sensibilidade frente à intensidade do afundamento: este grupo inclui dispositivos como os relés de subtensão, controladores de processos, unidades de controles de motores, e muitos tipos de dispositivos automatizados (como por exemplo, equipamentos com semicondutores). Os dispositivos deste grupo são sensíveis a um valor mínimo de tensão ocasionado na ocorrência de um afundamento. A duração nestes casos é de importância secundária.

- Sensibilidade frente à intensidade e a duração do afundamento: Este grupo inclui todos os equipamentos que usam fontes advindas da eletrônica de potência. Tais equipamentos param de funcionar quando a tensão de saída da fonte cai abaixo de valores especificados. Com isso, além da intensidade do afundamento, o tempo em que a tensão rms fica abaixo de um limiar especificado torna-se uma característica importante.

- Sensibilidade frente a características diferentes de intensidade do afundamento: alguns dispositivos são afetados por outras características dos afundamentos de tensão como: o desequilíbrio de tensão entre fases, a oscilação transitória ocorrida durante o distúrbio e o salto de ângulo. Entretanto essas características são mais sutis, tornando difícil generalizar seus impactos.

2.6.2. Sensibilidade dos Sistemas de Suprimento de Energia em Instalações Industriais

É importante entender o desempenho do sistema de suprimento perante um afundamento de tensão de modo que as instalações possam ser projetadas para assegurar um desempenho ótimo das linhas de produções. A seguir, segundo [21] é apresentado um procedimento geral para que consumidores industriais garantam uma compatibilidade entre o sistema de suprimento e o funcionamento da instalação:

- 1- Determinar a quantidade e as características dos afundamentos de

tensão resultantes de faltas no sistema de transmissão;

2- Determinar a quantidade e as características dos afundamentos de tensão resultantes de faltas no sistema de distribuição (para instalações que são alimentadas por sistemas de distribuição);

3- Determinar a sensibilidades de equipamentos frente a afundamentos de tensão. Isto vai determinar o real desempenho da produção baseado nos desempenhos observados em 1 e 2.

4- Avaliação econômica das diferentes soluções que podem melhorar o desempenho tanto nos sistemas de alimentação (menos afundamentos de tensão) quanto dentro das instalações (maior imunidade dos equipamentos frente a afundamentos de tensão).

2.7. VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA

A grande diversidade de fatores que influenciam nos afundamento de tensão, associada a grande aleatoriedade destes, torna uma análise deste distúrbio complexa [12]. As principais variáveis de influência são:

- Tipo de falta;
- Localização da falta;
- Resistência da falta;
- Tensão pré-falta;
- Conexão dos transformadores entre o ponto de falta e a carga;
- Desempenho do sistema de proteção;
- Sistemas de religamento;
- Taxas de falta de linhas de transmissão e distribuição.

2.7.1. Tipo de Falta

Esta variável é dividida em cinco tipos de faltas existentes, são elas:

- Fase-terra (FT);
- Bifásicas (FF);
- Bifásicas a terra (FFT);

- Trifásicas (FFF);
- Trifásicas a terra (FFFT).

As faltas fase-terra são as que apresentam a maior frequência de ocorrência, porém, em geral, são as menos severas, gerando afundamentos de tensão desequilibrados e assimétricos.

As faltas bifásicas, bifásicas a terra, trifásicas e trifásicas a terra são menos comuns, porém, geralmente, são mais severas.

As faltas trifásicas são simétricas, gerando assim, afundamentos de tensão também simétricos.

Conforme já citado, as linhas de transmissão e distribuição, por sua maior exposição à natureza (vendavais, descargas atmosféricas, queimadas, etc.) são os componentes do sistema elétrico mais susceptíveis à ocorrência de curto circuitos.

As tabelas Tabela 2.1 e Tabela 2.2 apresentam as estatísticas de taxas médias de faltas em linhas de transmissão obtidas nos EUA [17] e em uma concessionária do Brasil [18].

Tabela 2.1 - Taxa de Falta em Linhas de Transmissão nos EUA

Nível de Tensão	Taxa de Falta	FT	FFT	FF	FFF e FFFT
345 kV	2,31	91%	7%	1%	1%
230 kV	1,68	80%	17%	1,5%	1,5%
138 kV	2,98	73%	17%	6%	4%
69 kV	6,15	65%	22%	7%	6%

Tabela 2.2 - Taxa de Falta em linhas de Transmissão no Brasil

Nível de Tensão	Taxa de Falta	FT	FF e FFT	FFF e FFFT
500 kV	2,09	94,24%	5,04%	0,72%
345 kV	1,10	92,65%	7,35%	0%
230 kV	1,90	79,65%	18,18%	2,27%

(*) n.º de ocorrências/ano/100 km de linha

2.7.2. Localização da Falta

As faltas no sistema de transmissão e subtransmissão geralmente afetam

um número maior de consumidores, uma vez que estes sistemas são malhados e abrangem uma grande área geográfica.

Já faltas nos sistemas de distribuição, normalmente afetam menos consumidores, uma vez que estes são do tipo radiais e mais concentrados geograficamente. Ou seja, um curto-circuito nos ramais de uma subestação de distribuição causa, normalmente, impacto apenas nos consumidores alimentados pelos ramais adjacentes e, dificilmente provocarão afundamentos de tensão significativos nos sistemas de subtransmissão e transmissão.

A Figura 2.6 ilustra esse fato. Quando ocorre uma falta no ponto A, geralmente, todo o sistema perceberá o afundamento de tensão. Já uma falta no ponto B, apenas o sistema de distribuição irá perceber o distúrbio, sem afetar a transmissão/subtransmissão e, em muitos casos, também sem afetar os ramais de distribuição alimentados pelo outro transformador da mesma subestação, quando a interligação estiver aberta.

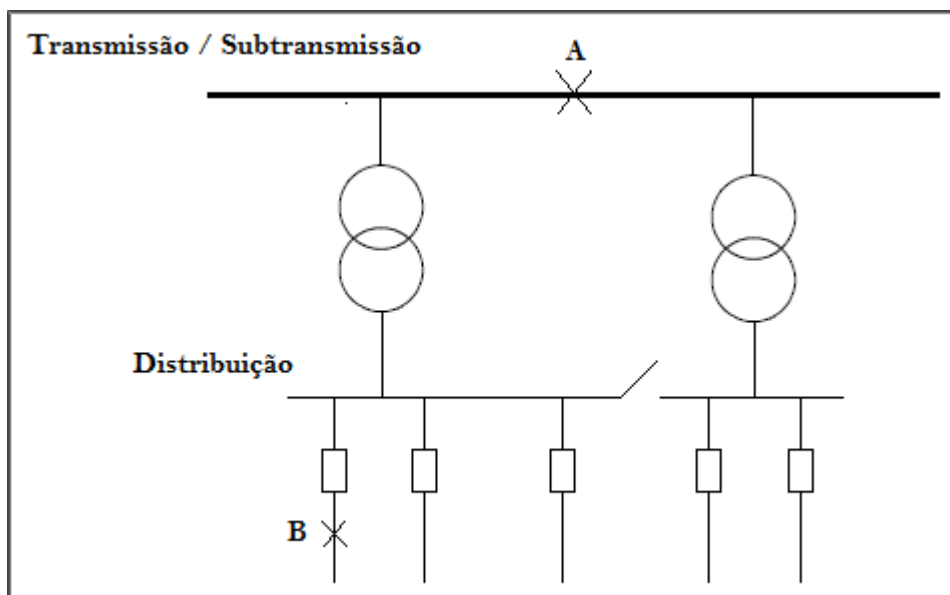


Figura 2.6 - Exemplo de Localização do Ponto de Falta

2.7.3. Resistência de Falta

Raramente os curto-circuitos possuem resistência de falta nula. Normalmente eles ocorrem através da impedância de falta que é constituída pela associação dos seguintes elementos:

- Resistência do arco elétrico entre a terra e o condutor (defeitos envolvendo terra);
- Resistência do arco elétrico entre dois ou mais condutores (defeitos entre as fases);
- Resistência do pé de torre (eventos envolvendo a terra);
- Resistência de contato devido à oxidação no local da falta.

Com isso, pode-se afirmar que desprezar a resistência de falta pode acabar gerando uma análise sobrestimada, ou seja, obter valores de afundamento de tensão mais severos.

2.7.4. Tensão Pré-Falta

As concessionárias de energia buscam suprir seus consumidores com tensões operativas dentro dos limites normalizados (0,95 a 1,05 p.u.).

O perfil de tensão do sistema segue a variação da curva de carga, onde para períodos de carga leve apresenta um certo aumento no valor eficaz da tensão e para períodos de carga pesada apresentam redução de tensão.

Os estudos de curto-circuito em sistemas elétricos, geralmente, adotam a tensão pré-falta igual a 1 p.u. Estudos mostram que isso pode ocasionar em erros de até 26% no número esperado de afundamentos [22]. Nos sistemas de distribuição, segundo os autores, os valores das tensões podem ser muito diferentes de 1 p.u.

2.7.5. Conexão dos Transformadores

Na análise e no cálculo dos afundamentos de tensão, o tipo de conexão dos transformadores que existem entre o ponto de falta e o barramento do consumidor pode influenciar nas características do distúrbio visto pela carga. Os transformadores podem ser agrupados em três categorias, segundo [23]:

- 1ª categoria: categoria composta por transformadores do tipo $Y-\Delta$, $\Delta-Y$, $Y_{\text{aterrado}}-\Delta$, $\Delta-Y_{\text{aterrado}}$. Estes transformadores além de filtrarem a componente de sequência zero da tensão de frequência fundamental, introduzem defasamento angular nas componentes de sequência positiva e negativa;

- 2ª categoria: são transformadores que não introduzem defasamento angular nas tensões de sequência positiva e negativa. Eles apenas filtram as componentes de sequência zero da tensão de frequência fundamental. São eles: Y-Y, Δ - Δ , Y_{aterrado} -Y, Y- Y_{aterrado} ;

- 3ª categoria: são transformadores que não filtram as componentes de sequência zero e não introduzem defasamento angular nas demais sequências. Pertencem a esta categoria os transformadores com conexões do tipo Y_{aterrado} - Y_{aterrado} , Y_{aterrado} - Δ - Y_{aterrado} ;

Os valores de afundamentos de tensão, visto pela carga, em decorrência de um curto-circuito no sistema elétrico, dependem da combinação da forma de conexão tanto do transformador quanto da carga [12].

2.7.6. Sistemas de Religamento

A existência de sistemas de religamentos associados aos tipos de curto-circuitos (temporários ou permanentes), influenciam diretamente na frequência de ocorrência de afundamentos de tensão.

Para contabilizar os eventos, duas metodologia são citadas: a primeira contabiliza todos os afundamentos registrados, levando a um resultado sobreestimado de eventos e a segunda leva em consideração o procedimento de agregação temporal, conforme apresentado em 2.4.2. Com este tipo de agregação, todos os eventos ocorridos na janela de tempo adotada, são contabilizados como um só evento.

2.7.7. Sistemas de Proteção

A duração do evento está diretamente ligada ao tempo de resposta do sistema de proteção. O tempo de sensibilização e de atuação dos relés somado ao tempo de abertura e extinção de arco dos disjuntores, caracterizam a duração do afundamento de tensão.

O tempo de atuação dos relés é função de suas características de resposta (distância, tempo dependente, tempo definido, etc.), bem como da filosofia adotada para se obter a seletividade. Já o tempo de abertura e extinção de arco dos disjuntores é função das características físicas destes dispositivos.

2.8. INDICADORES PARA AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

O IEEE, através de uma força tarefa [24], propôs alguns índices para avaliação de afundamentos de tensão. Com isso torna-se possível o agrupamento de todos os eventos registrados em um determinado período, geralmente, um ano. Entre eles destacam-se: índice SARFI, tabelas de afundamentos de tensão.

2.8.1. Índice SARFI

É o índice associado à contagem de eventos (afundamentos) ocorridos em um determinado sistema durante um período pré-determinado. Basicamente, este índice relata com que frequência a magnitude da tensão esteve abaixo de um limiar estabelecido. Existem dois tipos de SARFI: o SARFI-X e o SARFI-Curve.

2.8.1.1. SARFI-X

Corresponde à contagem de ocorrência dos afundamentos de tensão que ficaram fora dos limites estabelecidos. Por exemplo, SARFI-90 corresponde à contagem dos afundamentos de tensão cuja tensão remanescente foi menor que 90% ou 0,90 p.u. da tensão de referência, num referido período de tempo.

2.8.1.2. SARFI-CURVE

Corresponde à contagem de afundamentos de tensão que ficaram abaixo da curva de suportabilidade de um determinado equipamento. Por exemplo, o SARFI-CBEMA contabiliza todos os eventos que ficaram abaixo da curva CBEMA, ou seja, aqueles eventos que ficaram na área correspondente ao não-funcionamento do equipamento.

2.8.2. Tabelas para Afundamentos de Tensão

O comportamento de um determinado sistema frente a afundamentos de tensão pode ser apresentado em forma de tabelas, onde as linhas representam a magnitude do distúrbio e as colunas representam as durações.

2.8.2.1. Tabela UNIPEDA

A tabela proposta pela UNIPEDA, apresentada na força tarefa em IEEE P1564TM/D13 [24], recomenda a divisão das magnitudes em cinco níveis e as durações em seis níveis. A Tabela 2.3 ilustra o exposto.

Tabela 2.3 - Tabela recomendada pela UNIPEDA [24]

Tensão Remanescente	Duração do Afundamento						
	< 1 ciclo	1 ciclo - 0,1s	0,1 - 0,5s	0,5 - 1s	1 - 3s	3 - 20s	20 - 60s
85 - 90%							
70 - 85%							
40 - 70%							
10 - 40%							
<10%							

2.8.2.2. IEC 61000-4-11

A tabela da IEC 61000-4-11, também apresentada no *draft* da força tarefa do IEEE [24], propõe que tanto a magnitude quanto a duração sejam divididas em 5 níveis. É importante observar que esta tabela contempla apenas afundamentos de tensão cuja tensão remanescente é menor que 80% ou 0,80 p.u. da tensão de referência. Isto é explicado pelo fato que esta tabela é recomendada para testes de equipamentos expostos a afundamentos de tensão, onde raramente estes apresentam problemas para tensões remanescentes maiores que 80%.

Tabela 2.4 - Tabela recomendada pela IEC 61000-4-11 [24]

Tensão Remanescente	Duração do Afundamento				
	< 1 ciclo	1 ciclo - 200ms	0,2 - 0,5ms	0,5 - 5s	≥5s
70 - 80%					
40 - 70%					
10 - 40%					
≤10%					

2.8.2.3. IEC 61000-2-8

O documento preliminar da IEC 61000-2-8, apresenta uma tabela mais

ampla, pois discrimina as magnitudes em faixas menores se comparada a UNIPEDA ou a IEC 61000-4-11. A faixa de variação da magnitude é de 10% em 10%. A duração apresenta também uma coluna destinada a eventos entre 1 minuto e 5 minutos.

Tabela 2.5 - Tabela proposta pela IEC 61000-2-8 [24]

Tensão Remanescente	Duração do Afundamento							
	< 0,1s	0,1 - 0,25s	0,25 - 0,5s	0,5 - 1 s	1 - 3s	3 - 20s	20 - 60s	1 - 5min
80 - 90%								
70 - 80%								
60 - 70%								
50 - 60%								
40 - 50%								
30 - 40%								
20 - 30%								
10 - 20%								
<10%								

2.8.2.4. NRS 048 – (África do Sul)

A norma sul-africana propõe uma tabela um pouco diferente das demais, onde as faixas são denominadas por letras, cada qual com seu significado. A Tabela 2.6 mostra a proposta da NRS 048 [25].

Tabela 2.6 - Proposta de Tabela da NRS 048

Faixa de Tensão Remanescente - U_r	Duração t			
	$20 < t \leq 150$ ms	$150 < t \leq 600$ ms	$0,6 < t \leq 3s$	
$90 > U_r \geq 85$	Y			
$85 > U_r \geq 80$				
$80 > U_r \geq 70$	X1	S	Z1	
$70 > U_r \geq 60$			X2	Z2
$60 > U_r \geq 40$				
$40 > U_r \geq 0$	T			

De forma geral pode-se resumir a Tabela 2.6 da seguinte forma: a região Y, a maioria da carga suporta os seus efeitos; a região X, os defeitos tiveram origem na rede básica; a região S, os defeitos tiveram origem na sub-transmissão ou distribuição; a região Z, seus eventos são caracterizados por longas durações e a região T, seus eventos são caracterizados por pequenas tensões residuais com alta probabilidade de interrupção do processo do consumidor.

A caracterização apresentada foi baseada na filosofia de que:

- As concessionárias devem gerenciar o desempenho dos sistemas de proteção de modo que ocorra mais afundamentos do tipo X que do tipo S;
- As concessionárias devem dar ênfase no gerenciamento de afundamentos que ocorrem próximo aos consumidores, por exemplo, a soma de afundamentos do tipo T de ser menor que do tipo X ou S;
- Os consumidores devem especificar a sensibilidade de seus equipamentos para que as concessionárias possam planejar as devidas ações de mitigação para garantir o atendimento dentro dos limites estabelecidos para a barra.

2.9. SIMULAÇÃO DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

Devido à aleatoriedade dos afundamentos de tensão [10], a alternativa para se determinar parâmetros deste distúrbio é a simulação. Isso evita o gasto de grandes recursos financeiros com a implantação de sistemas de monitoramento e o longo período de monitoração necessária para se obter parâmetros confiáveis, como visto em 1.2.

Neste contexto, serão apresentados neste item os principais métodos utilizados para a simulação de afundamentos de tensão.

As ferramentas computacionais utilizadas para se determinar os parâmetros e as estatísticas dos afundamentos de tensão, podem ser agrupadas em três classes [26]:

- Simulação de forma de onda;
- Simulação dinâmica;
- Simulação de faltas.

2.9.1. Simulação de Forma de Onda

Para este tipo de simulação, geralmente são utilizados programas desenvolvidos para cálculos de transitórios eletromagnéticos. Esta simulação é feita no domínio do tempo e resulta na oscilografia do afundamento de tensão.

A grande vantagem deste tipo de simulação é que se obtém um resultado com precisão adequada e a obtenção de quase todos os parâmetros de interesse para análise dos afundamentos de tensão, entre eles, a evolução do valor da tensão eficaz em função do tempo, podendo assim obter a tensão remanescente e a duração, sendo possível escolher a forma de agregação a ser feita.

2.9.2. Simulação Dinâmica

A simulação dinâmica é indicada para simular afundamentos de tensão provenientes da partida de grandes motores, perda de geração e entrada de grandes blocos de carga.

Os programas para este tipo de simulação utilizam a modelagem no domínio da frequência e os resultados são representados como curvas de variações do valor RMS da tensão durante e após o distúrbio.

2.9.3. Simulação de Faltas

O método de simulação de faltas é o mais indicado para o estudo de afundamentos de tensão, uma vez que a maior causa destes distúrbios são os curto-circuitos provocados por faltas no sistema elétrico. Este método fornece a intensidade do afundamento de tensão nas barras sob análise, mas não possibilita a visualização da evolução do valor RMS durante a falta. Sendo assim, a duração deve ser estimada baseando-se no sistema de proteção do sistema em análise.

Os elementos mais utilizados no processo de avaliação de desempenho de um sistema frente a afundamentos de tensão são as linhas de transmissão e distribuição. Estes elementos estão mais susceptíveis a faltas, pois estão mais expostos quando comparados com os demais equipamentos como geradores, transformadores e as barras.

2.9.4. Métodos de Cálculo para Afundamentos de Tensão

Independentemente do tipo de simulação utilizado, pode-se realizar o cálculo dos parâmetros dos afundamentos de tensão através de alguns métodos. Os métodos mais comuns para o cálculo da magnitude são: Método das Posições de Falta, Distância Crítica e Método de Monte Carlo.

2.9.4.1. Método das Distâncias Críticas

Este método é adequado para sistemas de distribuição e transmissão que apresentem características radiais. Seu princípio está baseado na determinação da posição de falta no alimentador que vai gerar um valor pré-determinado de afundamento de tensão numa barra de interesse. Esta posição é denominada distância crítica, sendo que os afundamentos de tensão mais severos, aqueles cuja tensão remanescente é muito baixa, estarão associados à ocorrência de curto-circuitos aquém da distancia crítica.

Para grandes redes, malhadas, vale ressaltar que este tipo de cálculo não é aconselhável.

2.9.4.2. Método das Posições de Falta

Por contemplar sistemas malhados e sistemas radiais este método tem sido amplamente utilizado para estudos de afundamentos de tensão. Consiste em simular faltas em diversas posições diferentes, principalmente em linhas de transmissão e de distribuição. Isto permite que seja avaliada a influência da posição da falta na amplitude do afundamento de tensão. A Figura 2.7 apresenta um desenho esquemático deste método. Pode-se perceber diversos pontos de simulação na linha LT2. Neste caso, deseja-se conhecer a tensão na barra do consumidor X à medida que o ponto de defeito é deslocado.

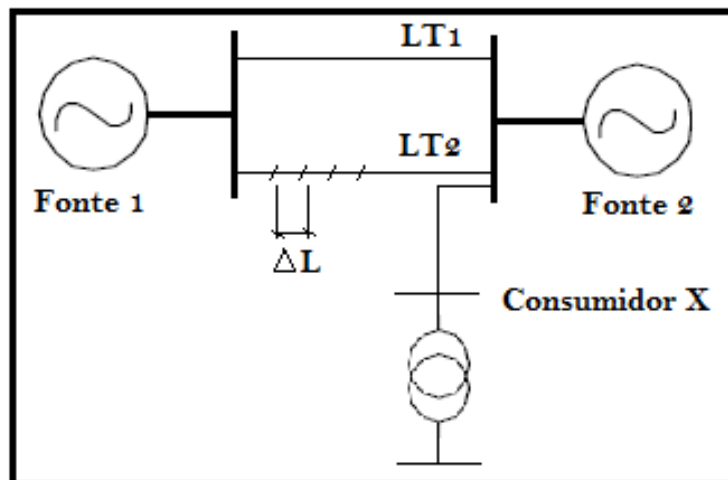


Figura 2.7 - Diagrama Unifilar - Método do Curto Deslizante

Para defeitos trifásicos, a magnitude do afundamento de tensão na barra do consumidor X, assim como qualquer outra barra do sistema é calculada utilizando-se a equação 2.1:

$$E_{X,k} = E_X^P - \frac{E_k^P}{Z_{k,k} + Z_f} \cdot Z_{X,k} \quad (2.1)$$

Onde:

- $E_{X,k}$ – tensão remanescente na barra X devido a um curto-circuito na barra k;
- E_X^P – tensão pré falta na barra X;
- E_k^P – tensão pré falta na barra k;
- $Z_{X,k}$ – impedância de transferência entre as barras X-k;
- $Z_{k,k}$ – impedância própria da barra k;
- Z_f – impedância de falta.

Analisando-se a equação 2.1 pode-se notar a influência de algumas variáveis na amplitude do afundamento de tensão, citadas em 2.7:

- Impedância de falta Z_f ;
- Tensões pré falta - $E_{i,k}$ e ;
- Posição relativa entre o ponto de falta e a barra monitorada $Z_{X,k}$;

Para faltas fase-terra, fase-fase e fase-fase-terra, utilizam-se equações equivalentes à expressão, mas a diferença é que são introduzidas as tensões e impedâncias de sequência positiva, negativa e zero.

O fluxograma apresentado pela Figura 2.8, mostra o procedimento deste método, segundo [27].

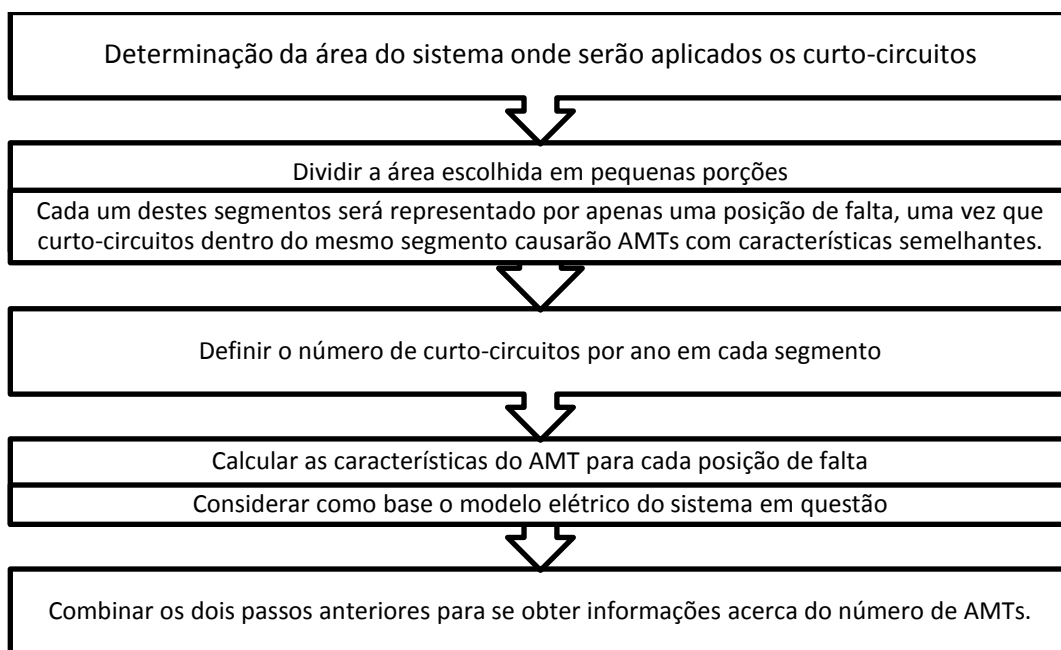


Figura 2.8 – Diagrama esquemático do método das Posições de Falta

Alguns erros podem acontecer com o uso desta metodologia. Dois fatores podem contribuir para que resultados errôneos aconteçam: distância entre as posições de falta e a extensão da área de aplicação das faltas.

Uma alternativa para que se obtenha a “área ótima”, ou seja, o quão longe se precisa ir com a aplicação das faltas no sistema elétrico mantendo-se a precisão dos cálculos, mas sem desperdício de tempo de processamento, é iniciar a aplicação de faltas próximo à carga, em uma área restrita, observando-se as magnitudes dos afundamentos nos barramentos da área de fronteira. Caso as magnitudes sejam inferiores a 90%, esta área deve ser expandida.

Para o caso da distância entre as posições de falta, a escolha de apenas uma posição a representar um conjunto de possíveis faltas, parte do pressuposto que a magnitude do afundamento para todo o conjunto é igual àquele correspondente à posição escolhida. Para faltas perto da barra monitorada é

necessário que a distância entre os pontos de faltas seja menor que em pontos remotos.

2.9.4.3. Método de Monte Carlo

O método das posições de falta fornece apenas valores médios em longo prazo que são extremamente úteis como indicadores do desempenho do sistema contra os quais a sensibilidade de equipamentos pode ser comparada. Contudo, valores médios não fornecem qualquer informação sobre a variabilidade do índice. Adicionalmente, divergências são encontradas quando o método das posições de falta é comparado com medições reais [28].

Por outro lado, a distribuição de frequência de tal indicador fornece o espectro completo dos possíveis resultados, de onde os valores médios podem ser facilmente extraídos. Também fornece informações importantes acerca de certos eventos que, mesmo ocorrendo muito raramente, podem ocasionar sérios impactos na carga sensível [4] e [29].

De modo a obter a função distribuição de qualquer parâmetro de afundamentos de tensão, a abordagem via Simulações de Monte Carlo deve ser utilizada. A ideia principal é a criação de resultados que levam em conta tantas incertezas quantas for possível. Em outras palavras, um comportamento hipotético em longo prazo é criado para que diversos fatores de incerteza sejam levados em consideração [4] e [29].

A Simulação de Monte Carlo é um método numérico poderoso para a exploração e solução de problemas matemáticos através da modelagem de variáveis aleatórias. Em geral, este método fornece soluções aproximadas para um problema, realizando experimentos computacionais de amostragem estatística.

Visto que Monte Carlo resulta em soluções aproximadas, o erro associado nunca é nulo, mas pode ser reduzido com o aumento do número de simulações.

Normalmente, um programa computacional é desenvolvido para realizar a repetição dos testes de maneira independente e os resultados finais são manipulados estatisticamente [30].

O fator chave da Simulação de Monte Carlo é a utilização de números

aleatórios (ou, sendo mais exato, pseudo-aleatórios) para modelar o comportamento de variáveis estocásticas. Ao invés de utilizar apenas o valor médio para modelar certas variáveis, a função densidade de probabilidade é usada para descrever suas características. Certamente, esta modelagem necessita de mais informações acerca do desempenho histórico do sistema [29].

Um algoritmo para o cálculo de AMTs segundo este procedimento pode seguir os seguintes passos:

- Selecionar o(s) ponto(s) de monitoração;
- Determinar o número de simulações desejado, normalmente em anos de observação do sistema;
- Para cada variável aleatória considerada (taxas de falta, tensão pré-falta, linha ou barramento sob falta, posição, tipo e resistência de falta), realiza-se a geração de um número aleatório e a conversão deste em uma condição de cada variável de acordo com cada função densidade de probabilidades;
- Calcular as tensões remanescentes em cada ponto monitorado para a falta determinada segundo as características do passo anterior (para o cálculo pode ser utilizado *softwares* como ANAFAS, ATP, etc.);
- Repetir os dois passos anteriores até que o número de simulações seja atingido;
- Executar a agregação de fases, calculando a magnitude dos afundamentos de tensão;
- Contabilizar o número de eventos abaixo de determinados limites de magnitude, determinando a frequência de eventos em cada faixa;
- Tratar estatisticamente os resultados de cada simulação: distribuição em frequência, intervalo de confiança, média, desvio padrão, etc.

2.10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou os principais conceitos relacionados aos afundamentos de tensão, seus principais parâmetros (intensidade, duração e frequência de ocorrência), sensibilidade de equipamentos e processos, indicadores e os principais fatores de influência.

É importante ressaltar que dentre os fatores de influência, alguns são variáveis aleatórias, como por exemplo, tipo de falta, localização da falta, resistência de falta e tensão pré-falta.

Em função da aleatoriedade de AMTs, viu-se que os métodos de simulação, apresentam-se como uma boa alternativa para se obter, estatisticamente, os seus parâmetros, em vez de aguardar longos períodos de medição.

Para completar a base teórica necessária ao entendimento da aplicação realizada no capítulo 4, o próximo capítulo apresenta uma metodologia de análise de sensibilidade de variáveis aleatórias, conhecida como DOE (*Design of Experiments*).

3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE SOBRE A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS ALEATÓRIAS

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Análise de sensibilidade pode ser definida como uma técnica que permite observar o efeito de variáveis em um determinado processo, a fim de se obter conclusões acerca da influência destes fatores de entrada na variável de saída do processo em estudo. Isto permite constatar tendências e anomalias. De modo geral, a análise de sensibilidade é utilizada para tomar melhores decisões, por exemplo, quais dados estimados devem ser refinados antes de tomar uma decisão final, além de fazer com que a conclusão seja feita concentrando-se principalmente nos fatores críticos.

A Figura 3.1 mostra um modelo geral de um sistema ou processo.

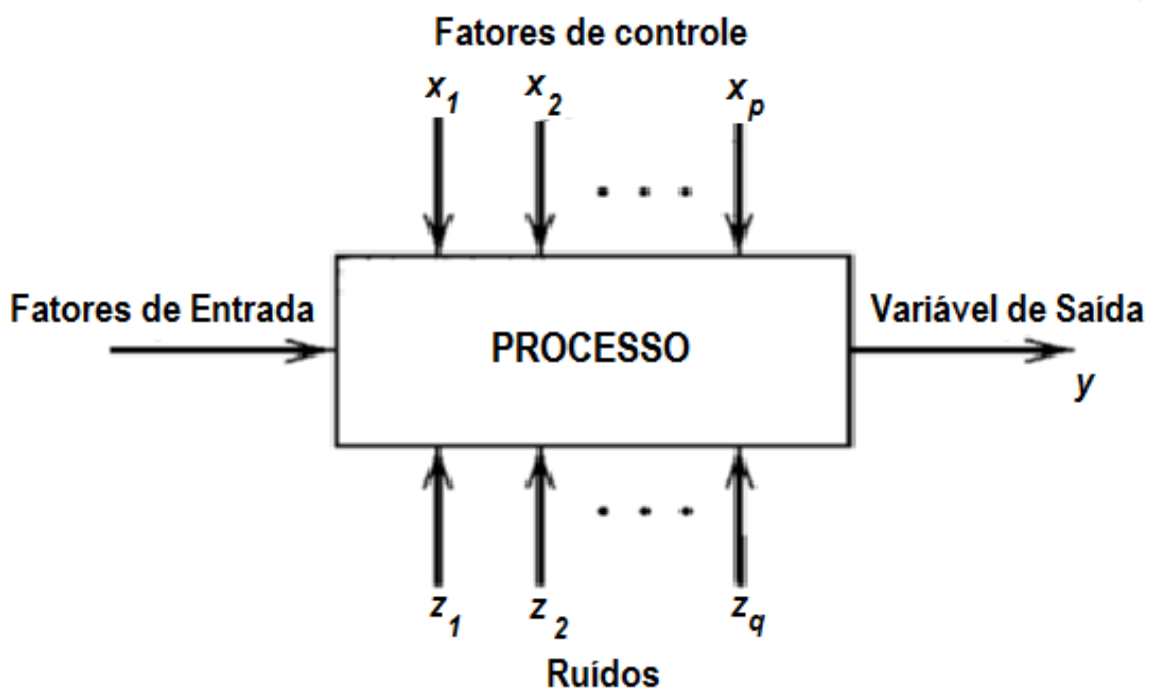


Figura 3.1 - Modelo Geral de um Processo ou Sistema [31]

Os métodos tradicionais de análise são considerados eficientes nas análises de sensibilidades individuais, ou em situações de variações conjuntas

(cenários), porém nestes métodos a interação entre as variáveis não é levada em consideração, sendo que não se pode tirar muitas conclusões em processos reais, observando apenas variações individuais, assim, os resultados podem levar a conclusões errôneas, de baixa confiabilidade. Pode existir uma grande relação de dependência entre variáveis, o que torna necessária a busca por métodos mais eficientes para sua modelagem.

3.2. CONCEITOS E TERMOS FUNDAMENTAIS DA ANÁLISE DE EXPERIMENTOS

i. Fatores de Controle: são os fatores que podem ser alterados durante o experimento. Essas alterações visam avaliar o efeito produzido nas variáveis de resposta e, com isso poder determinar os principais fatores do processo. Estes fatores podem ser divididos em quantitativos (temperatura, corrente, tensão, etc.) e qualitativos (diferentes máquinas, sim / não, liga / desliga etc.).

ii. Variáveis de saída: são as variáveis que dependem dos estímulos causados nos fatores de controle, ou seja, sofrem algum efeito nos testes, quando estímulos são dados intencionalmente nos fatores de controle do determinado processo em estudo. Podem existir uma ou mais variáveis de resposta (y).

iii. Ruídos: são os fatores, conhecidos ou não, que influenciam nas variáveis de saída do experimento. Devem ser tomados cuidados especiais na hora de realizar os testes com esses fatores, pois, é importante evitar que os ruídos se misturem com os fatores de controle.

iv. Níveis dos fatores: são as condições de operação dos fatores de controle investigados nos experimentos.

v. Tratamentos: é a combinação dos níveis de fatores de controle, isto significa que cada uma das combinações do experimento representará um

tratamento [32].

vi. Efeito principal: é a diferença média observada na resposta quando se muda o nível do fator de controle investigado.

vii. Efeito de interação: ocorre quando são estudados dois ou mais fatores, considerando-se as combinações entre os fatores.

viii. Matriz de experimentos: é a matriz construída para a realização dos experimentos. Nela estão incluídos os fatores de controle, os níveis e tratamentos do experimento.

ix. Aleatorização: a ordem dos tratamentos da matriz experimental é dada através de sorteios aleatórios ou por limitações específicas dos testes. Esse conceito também se refere ao processo de alocação do material e equipamento às diferentes condições de experimentação. A aleatorização nos experimentos é realizada para balancear os efeitos produzidos pelos fatores não-controláveis nas respostas analisadas e para se atender aos requisitos dos métodos estatísticos, os quais exigem que os componentes do erro experimental sejam variáveis aleatórias independentes [33].

x. Replicação: é a repetição de cada combinação dos fatores sob as mesmas condições de experimentação. Segundo [31], este conceito permite encontrar uma estimativa do erro experimental, que é utilizado para determinar se as diferenças observadas entre os dados são estatisticamente significativas.

xi. Blocagem: é a técnica utilizada para controlar e avaliar a variabilidade produzida pelos fatores perturbadores (controláveis ou não-controláveis) dos experimentos. Com esta técnica procura-se criar um experimento (grupo ou unidades experimentais balanceadas) mais homogêneo e aumentar a precisão das

respostas que são analisadas.

3.3. INTRODUÇÃO AO PROJETO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS – DOE (DESIGN OF EXPERIMENTS)

A metodologia do Projeto e Análise de Experimentos (DOE) representa um conjunto de ensaios estabelecidos com critérios científicos e estatísticos, com o objetivo de determinar a influência de diversas variáveis nos resultados de um dado sistema ou processo [34].

Desta forma, é possível a obtenção de resultados mais precisos que os obtidos com a metodologia tradicional. Neste item será realizada uma breve introdução à metodologia DOE para um melhor entendimento do trabalho aqui apresentado.

A experimentação sistemática é crucial para investigar os fatores que influenciam resultados [34]. Os objetivos do experimento podem incluir a determinação de quais variáveis são mais influentes na resposta, determinação de valores às variáveis influentes de modo a otimizar os resultados, atribuição de valores às variáveis influentes de modo a minimizar a variabilidade dos resultados ou ainda, definição de valores para as variáveis influentes de modo a minimizar o efeito das variáveis incontroláveis.

Usualmente, os experimentos muitas vezes incluem diversos fatores de entrada. O objetivo do profissional que conduz o experimento, geralmente, é avaliar a influência que estes fatores têm na resposta do procedimento. A abordagem geral de planejamento e condução do experimento é chamada de Estratégia de Experimentação.

A seguir, destacam-se alguns benefícios da utilização das técnicas estatísticas de planejamento experimental [34]:

- i. Redução do número de ensaios sem prejuízo da qualidade da informação;
- ii. Estudo simultâneo de diversas variáveis, separando seus efeitos;
- iii. Determinação da confiabilidade dos resultados;

- iv. Realização da pesquisa em etapas, num processo iterativo de acréscimo de novos ensaios;
- v. Seleção das variáveis que influem num processo com número reduzido de ensaios;
- vi. Representação do processo estudado através de expressões matemáticas;
- vii. Elaboração de conclusões a partir de resultados qualitativos.

3.4. ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM *DOE*

Para a utilização da abordagem estatística, [31] afirma que é necessário que toda equipe envolvida no processo de experimentação tenha uma clara ideia sobre o que será estudado, como os dados serão conduzidos, e pelo menos um conhecimento qualitativo de como estes dados devem ser analisados. O autor destaca os passos principais para o procedimento experimental [31].

1. Conhecimento e caracterização do problema;

O primeiro passo consiste em um levantamento de informações sobre o problema a ser analisado. Pode parecer um ponto óbvio, mas nem sempre é simples perceber a experimentação ideal requerida pelo problema. É necessária também neste passo a escolha de uma equipe apropriada.

2. Seleção das variáveis de resposta;

A variável de resposta escolhida deve prover informações suficientes para a correta análise e solução do problema em questão. Podem existir uma ou mais variáveis de resposta que são importantes para a avaliação e análise do problema.

3. Escolha dos fatores (variáveis de controle ou entrada) e níveis (faixas de valores das variáveis de controle);

Esta etapa deve ser considerada não só o conhecimento técnico da equipe experimentadora, bem como o conhecimento prático. Nesta etapa são escolhidas as variáveis de entrada bem como seus níveis de controle para o estudo.

4. Escolha de um modelo experimental;

Para [31] se os três passos anteriores forem feitos corretamente, esta etapa se torna fácil. Neste passo são definidos o número de réplicas, seleção de uma ordem de execução adequada para os ensaios experimentais, as restrições dos experimentos e as possíveis interações que possam vir a ocorrer entre os fatores que estão sendo avaliados. Algumas das técnicas de planejamento de experimentos que podem ser utilizadas nesta fase são descritas na seção 3.5.

5. Realização do experimento;

É o processo de coleta de dados, onde devem ser realizados os experimentos com a presença de toda a equipe qualificada para que se possa evitar erros experimentais.

6. Análise estatística dos dados;

Os conceitos estatísticos são aplicados nos resultados de um experimento para a análise do comportamento das variáveis de controle, para estimar os efeitos produzidos na resposta e para analisar a relação entre as variáveis. Ainda, a análise estatística permite tomar decisões quanto a aceitar ou rejeitar as hipóteses formuladas na primeira etapa dos experimentos [35]. Para estas análises estatísticas vários softwares estão à disposição no mercado.

7. Conclusões e recomendações.

Esta etapa finaliza todo o experimento. É neste passo que toda equipe é responsável pela elaboração de um parecer cujo objetivo é expor os resultados e conclusões observados após a análise dos dados, além de propor ações de melhoria do processo.

3.5. TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS

Dentre as técnicas mais utilizadas para a realização do projeto e análise de experimentos destacam-se as seguintes:

- 1) Planejamento Fatorial Completo 2^K ;
- 2) Planejamento Fatorial Fracionado 2^{K-P} ;
- 3) Método da Superfície de Resposta.

Estas técnicas são descritas nos itens que seguem.

3.5.1. Planejamento Fatorial Completo

O Planejamento ou experimento fatorial é utilizado quando se deseja analisar o efeito de dois ou mais fatores e suas interações na resposta do sistema . Este planejamento é aquele no qual todas as possíveis combinações dos fatores de entrada são pesquisadas. Se o fator de entrada A possui x níveis e o fator B possui y níveis, então tem-se um total de xy tratamentos. Caso tenham fatores controláveis que não se deseja analisar, é importante salientar que estes devem, necessariamente, se manterem constantes durante a execução do experimento. Para que os efeitos dos fatores não-controláveis sejam balanceados entre todas as medidas é necessário o uso da aleatorização. A aleatorização evita que sejam cometidos erros tendenciosos [31].

Para ilustrar esta técnica será considerado um experimento fatorial onde serão considerados três fatores de entrada, sendo cada fator representado por dois níveis, nível alto (+1) e nível baixo (-1). Este exemplo é utilizado por diversos autores como [31], [32] e [36]. A matriz de experimentos para este arranjo é dado na Tabela 3.1, lembrando que a ordem de realização deve ser aleatória, como descrito anteriormente.

Tabela 3.1 – Matriz de Experimentos para 3 fatores

Teste	Ordem do Teste	Fatores de Entrada			Variável de Saída
		x_1	x_2	x_3	
1	1	+1	+1	+1	y_1
2	2	-1	+1	+1	y_2
3	3	+1	-1	+1	y_3
4	4	-1	-1	+1	y_4
5	5	+1	+1	-1	y_5
6	6	-1	+1	-1	y_6
7	7	+1	-1	-1	y_7
8	8	-1	-1	-1	y_8

A matriz genérica do experimento 2^k , (a ordem dos experimentos, na maioria das vezes deve ser aleatorizada), deve seguir o seguinte procedimento [36]:

- para x_1 a matriz deve seguir a seguinte combinação dos níveis: +1, -1, +1, -1, +1, ... , ou seja, nesta coluna o sinal varia de uma em uma linha, em grupos de $2^0=1$;

- para x_2 a matriz deve seguir a seguinte combinação dos níveis: +1, +1, -1, -1, +1, ... , ou seja, nesta coluna o sinal varia de duas em duas linhas, em grupos de $2^1=2$;

- para x_3 a matriz deve seguir a seguinte combinação dos níveis: +1, +1, +1, +1, -1, ... , ou seja, nesta coluna o sinal varia de quatro em quatro linhas, em grupos de $2^2=4$;

- o procedimento se repete para os k fatores, sendo então que, para x_k , o sinal varia de $2^{(k-1)}$ em $2^{(k-1)}$ linhas.

O modelo estatístico do experimento fatorial 2^3 , segundo [31], é dado pela equação 3.1:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_1 x_2 + \beta_5 x_2 x_3 + \beta_6 x_1 x_3 + \beta_7 x_1 x_2 x_3 \quad (3.1)$$

Onde:

- ✓ x_1 , x_2 e x_3 são os fatores de entrada
- ✓ $x_1 x_2$ é a interação entre os fatores 1 e 2
- ✓ $x_2 x_3$ é a interação entre os fatores 2 e 3
- ✓ $x_1 x_3$ é a interação entre os fatores 1 e 3
- ✓ $x_1 x_2 x_3$ é a interação entre os fatores 1, 2 e 3
- ✓ β_0 é a constante
- ✓ β_1 é o coeficiente do fator de entrada x_1
- ✓ β_2 é o coeficiente do fator de entrada x_2
- ✓ β_3 é o coeficiente do fator de entrada x_3
- ✓ β_4 é o coeficiente da interação entre os fatores 1 e 2
- ✓ β_5 é o coeficiente da interação entre os fatores 2 e 3
- ✓ β_6 é o coeficiente da interação entre os fatores 1 e 3
- ✓ β_7 é o coeficiente da interação entre os fatores 1, 2 e 3.

3.5.1.1. Análise de Variância dos Efeitos do Experimento Fatorial 2^K

Informações obtidas de experimentos realizados e conceitos matemáticos de estatística é o princípio básico das técnicas estatísticas de experimentos.

Hipóteses formuladas pela equipe responsável pelo experimento podem ser aceitas ou rejeitadas quando os dados são analisados matematicamente e os testes são planejados corretamente. Esse processo, segundo [37], é chamado de inferência estatística.

As hipóteses formuladas devem seguir alguns passos, propostos por [31], [36] e [38].

1) Formulação das Hipóteses: a equipe que realiza o experimento deve se basear em duas hipóteses, sendo que a primeira parte do princípio que não existe diferença significativa entre os fatores em análise de uma população. Esta hipótese é chamada de hipótese nula (H_0) e será sempre a hipótese testada. A segunda hipótese, chamada hipótese alternativa (H_1) será verdadeira caso a hipótese nula seja considerada falsa.

2) Determinação do valor crítico da estatística de teste: com a formulação de hipóteses do experimento, torna-se necessário que seja calculada uma estatística, com base em um determinado resultado da amostra. A análise do P-value é a estatística mais comum utilizada nos estudos de planejamento e análise de experimentos.

3) Riscos associados à tomada de decisão: quando a decisão é tomada baseada em uma estatística, dois erros podem ocorrer. O primeiro é o chamado erro do tipo I, onde se rejeita a hipótese nula quando ela é verdadeira. O erro do tipo II ocorre quando não se rejeita a hipótese nula, sendo ela falsa. A Tabela 3.2 resume estes tipos de erros.

Tabela 3.2 – Erros Tipo I e Tipo II [9]

		ESTADO VERDADEIRO	
		H ₀ é verdadeira	H ₀ é falsa
Decisão	Rejeitar H ₀	Erro tipo I	Decisão Certa
	Aceitar H ₀	Decisão Certa	Erro tipo II

Para que a probabilidade de ocorrência destes erros seja minimizada, a equipe pode estimar alguns parâmetros, como [38]:

- Nível de significância (α): este parâmetro está associado à probabilidade de cometer o erro do tipo I. Ele é representado pela análise do *P-value*. Geralmente, a equipe pode controlar a probabilidade de ocorrência do erro tipo I decidindo o nível de risco (*P-value*) que é tolerável. Os autores da literatura de planejamento e análise de experimentos recomendam a seleção dos níveis de *P-value* em 0,1 ou menos. Selecionado o valor de α pode-se então determinar o tamanho da região de rejeição da hipótese nula. Com isto, os valores críticos que dividem as regiões de tomada de decisão (rejeição ou não da hipótese nula) podem ser determinados. A Figura 3.2 apresenta estas regiões, para a estatística F.

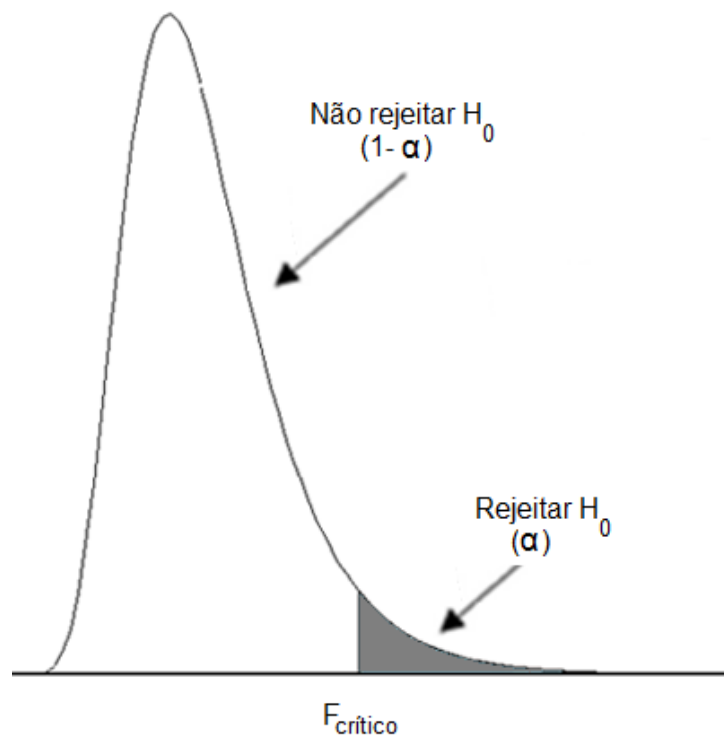


Figura 3.2 – Regiões de aceitação e rejeição de H_0 [32]

- Coeficiente de segurança: Este coeficiente é o complemento da probabilidade de um erro do tipo I, identificado como $(1-\alpha)$ e quando multiplicado por 100%, simboliza o nível de confiança do experimento.

- Poder do Teste: é definido como a probabilidade de se rejeitar H_0 quando esta é realmente falsa. Isso pode ser interpretado como a chance de detectar uma real diferença entre as médias, ou seja, detectar a diferença se ela realmente existir.

Considerando-se estes fatores, a técnica de Análise de Variância, denominada ANOVA (*Analysis of Variance*) é utilizada para a análise dos resultados.

Segundo [31] e [36], o objetivo desta técnica é analisar a variação média dos resultados dos testes e demonstrar quais são os fatores que realmente produzem efeitos (principais e de interação) significativos nas respostas de um sistema. A análise de variância é utilizada para aceitar ou rejeitar, estatisticamente, as hipóteses investigadas com os experimentos industriais [32].

O quadro ANOVA é facilmente construído com auxílio de softwares da área de Estatística (MINITAB, EXCEL, etc.). A Tabela 3.3 [31] mostra o exemplo geral de um quadro ANOVA, gerado para um experimento com dois fatores e dois níveis cada.

Tabela 3.3 – Quadro ANOVA [31]

Fonte	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média Quadrática	F
Fator A	$a-1$	SS_A	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
Fator B	$b-1$	SS_B	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interação AB	$(a-1)(b-1)$	SS_{AB}	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Erro	$ab(n-1)$	SS_E	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Total	$abn-1$	SS_T		

A primeira coluna é responsável por apresentar o grau de liberdade de cada fator e das interações. Nos *softwares* estatísticos essa coluna é denominada DF (*degrees of freedom*). O grau de liberdade é dado por $k-1$, onde k é o número de níveis da referida variável. Por exemplo, para um fator com três níveis o DF associado a este fator será igual a 2.

A segunda coluna apresenta a soma dos quadrados (na literatura e em softwares denominada SS) dos fatores individuais A e B, das interações, do erro e do total, respectivamente. As equações (3.2) a (3.5) trazem as fórmulas correspondentes para SS_A , SS_B , SS_{AB} , SS_E e SS_T .

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{si}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} \quad (3.2)$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^b y_{sc}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} \quad (3.3)$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{s_{cel}}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} \quad (3.4)$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} \quad (3.5)$$

Onde:

- ✓ *a* é a quantidade de níveis do fator A;
- ✓ *b* é a quantidade de níveis do fator B;
- ✓ *n* é o número de réplicas;

A terceira coluna traz a média quadrática (na literatura e em softwares denominada MS) dos fatores individuais e de suas interações e ainda a média quadrática do erro. As fórmulas necessárias para o cálculo destas médias estão descritas na Tabela 3.3.

A última coluna apresenta a estatística de teste F, que é usada para o cálculo do *p-value*, como explicado anteriormente.

Devido à complexidade dos cálculos envolvidos, principalmente, na obtenção dos valores das somas dos quadrados (SS), o Apêndice A traz um exemplo onde são calculadas estas somas.

A Tabela 3.4 traz um exemplo de um quadro ANOVA obtido através do *software* MINITAB.

Tabela 3.4 – Exemplo de um Quadro ANOVA obtido pelo MINITAB

Analysis of Variance for Y (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperatura °C	1	6972.2	6972.2	6972.2	8.13	0.015
Pressão (PSI)	1	12882.2	12882.2	12882.2	15.02	0.002
Temperatura °C*Pressão (PSI)	1	1722.2	1722.2	1722.2	2.01	0.182
Residual Error	12	10291.0	10291.0	857.6		
Pure Error	12	10291.0	10291.0	857.6		
Total	15	31867.7				

A análise deste quadro, a fim de se obterem resultados acerca da significância dos efeitos principais e suas interações se dá da seguinte forma:

- A equipe seleciona o valor do Nível de Significância (α), que como dito anteriormente, é indicado que este valor seja menor ou igual a 0,1.

- Após a escolha de α , compara-se o valor de P (última coluna do quadro) com o nível de significância escolhido. Caso o valor de P seja menor que α , este fator ou interação é significativo. Caso contrário este fator não apresenta significância para o processo.

No caso da Tabela 3.4 temos que os fatores temperatura e pressão são significativos, já a interação entre eles não apresenta significância.

Algumas observações devem ser feitas quando se usa a técnica ANOVA na inferência estatística:

- quando a interação é significativa, todos os fatores envolvidos nesta interação são, também, significativos, mesmo que avaliados individualmente não apresentem significância;

- os fatores de ruídos não são investigados. Quando necessário, outras técnicas devem ser utilizadas para esta investigação.

3.5.2. Arranjo Fatorial Fracionado (2^{k-p})

O arranjo fatorial fracionado é utilizado quando se necessita estudar os efeitos de vários fatores de entrada ao mesmo tempo, situação que pode impossibilitar o uso do fatorial completo, pois como dito anteriormente, quanto mais fatores analisados, maior é o número de experimentos. Isso pode possibilitar que os custos e o tempo de realização dos ensaios sejam significativamente reduzidos.

Segundo [31] é possível, realizando-se apenas uma parte do teste, analisar os efeitos sobre uma resposta de interesse, de k fatores com dois níveis cada um, sendo o número de combinações iguais a 2^{k-p} . Tem-se então que para p igual um, é realizado apenas metade do experimento, para p igual a dois é realizado um quarto do experimento e assim por diante.

A equipe responsável pelo experimento, quando se utilizar dessa técnica do fatorial fracionado, deve assumir que o efeito das interações de ordem superior são desprezíveis [39].

Três ideias principais que justificam a utilização do fatorial fracionado, segundo [31]:

- É provável que o processo analisado seja influenciado apenas por alguns fatores principais e de interações de ordem inferior. Isto é chamado de Dispersão dos efeitos;
- Denominada de propriedade de projeção, os experimentos fatoriais fracionados podem ser planejados em matrizes maiores, que podem ser construídas a partir de um subconjunto de fatores significativos [39];
- Por último, a experimentação sequencial, onde é possível unir as combinações de dois ou mais experimentos fatoriais fracionados.

A Tabela 3.5 traz um exemplo de uma matriz experimental genérica para um fatorial fracionado 2^{k-p} , com três fatores de entrada, utilizando-se a meia fração, ou seja, onde p é igual a 1 e apenas a metade das combinações entre os fatores é experimentada.

Tabela 3.5 - Exemplo de Matriz Experimental para um Fatorial Fracionado

	A	B	C	Y
1	+1	+1	+1	Y_1
2	-1	+1	-1	Y_2
3	+1	-1	-1	Y_3
4	-1	-1	+1	Y_4

Pode-se notar que a coluna $C=A*B$.

Softwares estatísticos como o MINITAB [40] podem ser usados para construir este tipo de matriz.

É importante ressaltar que a análise estatística e descritiva dos efeitos principais e das interações segue o mesmo princípio apresentado para o fatorial completo.

3.5.3. Metodologia da Superfície de Resposta

Esta metodologia é utilizado na modelagem matemática de respostas. Foi desenvolvido por George Box, da Universidade Princeton – Estados Unidos, com a

colaboração de outros autores, na década de 1950. A maior motivação destes estudiosos foi a necessidade de se desenvolver uma forma de se encontrar níveis ótimos para os fatores de entrada que controlam determinado processo [41].

A indústria americana e japonesa foram as primeiras a aplicar a metodologia da superfície de resposta (MSR) na década de 1980 [39]. Este método é utilizado para aumentar a produtividade, melhoria da qualidade dos processos e redução do tempo de desenvolvimento de produtos [42].

Esta ferramenta é muito usada nas áreas de Física, Economia, Pesquisas Operacionais, Indústrias em geral e etc. Essas áreas foram motivadas pelo sucesso obtido pelos japoneses e americanos na década de 1980.

Analisando-se a literatura da área observa-se que a maioria dos estudos são voltados para a modelagem onde se analisam apenas uma variável de resposta, mas é importante ressaltar que estudos com múltiplas saídas podem ser realizados [41]. Estes estudos com mais de uma variável de saída tem sido facilitado com o desenvolvimento dos softwares voltados para a área estatística.

Em [43] são descritas as principais razões para o estudo da MSR:

- 1) Determinação das condições dos fatores de entrada que determinam o melhor valor para a saída;
- 2) O conhecimento da função resposta aproximada das condições reais de operação é muito importante para que se possa aumentar o controle sobre o processo, sem aumentar os custos de produção;
- 3) Conhecimento da interação entre os fatores e a resposta.

Em [44] é descrita a função matemática da superfície de resposta conforme equação 3.6.

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon \quad (3.6)$$

Onde:

- x_1, x_2, x_k são os fatores de entrada;
- ε é o resíduo ou erro experimental, ou seja, é a dispersão dos resultados em torno da função matemática aproximada aos pontos [39].

Na literatura de projeto e análise de experimentos é possível encontrar algumas funções objetivo utilizadas por alguns autores [45] [46] e [47], uma vez que, geralmente, não é possível o conhecimento da função matemática que descreve o relacionamento entre os fatores de entrada e a saída. A média e a variância das repetições de cada combinação experimental são os aspectos mais importantes considerados por estes modelos no processo de otimização.

No processo de otimização utilizando-se o MSR, é necessário encontrar uma função matemática que modele a relação entre os fatores de entrada e a variável de saída. Segundo [41], os polinômios algébricos são utilizados para uma aproximação da região de resposta. A literatura aponta para uma dependência do grau de aproximação da função e o grau do polinômio.

De acordo com [31], é indicado que a variação da resposta em função dos fatores seja modelada por uma superfície não plana, ou seja, não é indicado que os polinômios sejam de primeiro grau. A Figura 3.3 mostra o exemplo de uma superfície de resposta não plana e a equação 3.7 apresenta o modelo mais utilizado para ajustar a superfície de resposta, segundo [44].

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_i \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3.7)$$

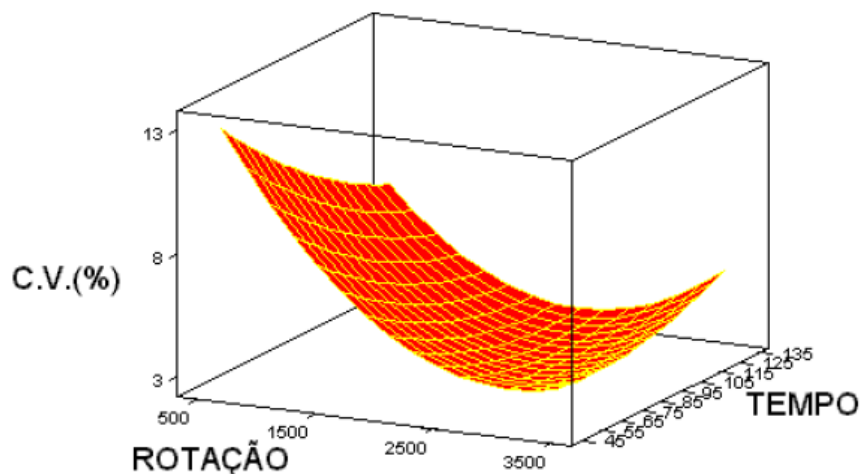


Figura 3.3 – Exemplo de uma Superfície de Resposta não plana [48]

3.6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – APLICAÇÃO DE DOE EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Este item tem como objetivo demonstrar alguns recentes trabalhos realizados na área de Engenharia Elétrica que se utilizam da Metodologia de Planejamento e Análise de Experimentos. Estes trabalhos apresentados nesta sessão foram retirados do sitio do “*IEEE Library*”.

Em [49], os autores M. D’Arco, M. Liccardo e N. Pasquino utilizam-se da técnica ANOVA para avaliar o desempenho de conversores, onde o objetivo é avaliar a INL (não-linearidade). Erros de linearidade e intermodulação levam a erros de calibração e interações indesejáveis entre fontes de corrente dentro do DAC (Conversor Digital-Analógico). O artigo apresenta as conclusões onde é mostrado se a variância em medições de não-linearidade são relacionadas a ruídos ou não.

Em [50], M. Gardi, J. Levinson, S.B. Ferraro e J.A. Jimenez utilizam os experimentos fatoriais para caracterizar a linha da arma SCL para o máximo desempenho de velocidade de saída, pico de velocidade e eficiência. Um experimento fatorial completo é feito de forma a estudar a significância dos fatores e das interações entre eles. Um dos resultados apresentados mostrou que os três fatores analisados eram significativos para o pico de velocidade e eficiência. Conseguiu-se também uma otimização, com a maximização do pico de velocidade, velocidade final e eficiência.

M. D. Curry e A. H. Register [51] fazem uma abordagem para comparação paramétrica e estatística de modelos de sensores similares. Eles ressaltam que quando se trabalha em simulação ou em um projeto específico vários modelos do mesmo sensor podem ser criados. A abordagem apresentada pode ser estendida a aplicações onde os modelos tenham parâmetro que não sejam possíveis controlar ou manipular diretamente.

No caso de [52], os autores utilizam-se da metodologia DOE para projetar um estator e rotor a fim de reduzir a flutuação do torque.

Como pode ser visto os trabalhos relacionados com a técnica de

Planejamento e Análise de experimentos, apresentada neste capítulo tem sido utilizada por pesquisadores nas diversas áreas da Engenharia Elétrica, com exceção na área de qualidade de energia, objetivo deste trabalho de dissertação.

3.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo 3 teve o objetivo de apresentar uma noção geral sobre DOE, sem realizar grande aprofundamento teórico no assunto.

Foi descrito o procedimento para análise da influência de variáveis aleatórias e suas interações em um determinado processo. Este método possibilita, estatisticamente, elencar as variáveis e interações que realmente influenciam uma variável de resposta, podendo assim, por exemplo, em casos de simulações com muitas variáveis de entrada, eliminar algumas variáveis que não apresentarem significância.

Uma pequena abordagem bibliográfica foi apresentada para mostrar as diferentes possibilidades de utilização do DOE em engenharia elétrica.

No próximo capítulo serão aplicados os conceitos apresentados para a análise das variáveis de influência na área afundamentos de tensão.

4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE SOBRE A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS ALEATÓRIAS EM AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo visa apresentar os resultados da análise da significância dos fatores de entrada que influenciam os afundamentos de tensão. Este procedimento será feito utilizando-se a metodologia do DOE apresentada no Capítulo 3.

Foram adotadas duas formas para analisar algumas variáveis de influência – a primeira é através de um banco de dados de medição, obtido junto a CEMIG, a segunda através de dados obtidos de um processo de simulação utilizando tanto o sistema CEMIG como o sistema CEMAT.

4.2. DADOS DE MEDIÇÃO – CASO I – CEMIG

Este item apresenta a análise de sensibilidade das variáveis de influência em AMTs, com base num banco de dados de medição da rede básica da CEMIG, correspondentes aos eventos registrados durante quatro anos.

4.2.1. Dados do Sistema Elétrico – CEMIG

Composto por linhas em 138, 230, 345 e 500 kV, o sistema de transmissão da CEMIG é interligado a rede de transmissão do sistema interligado nacional, conforme o diagrama mostrado na Figura 4.1.

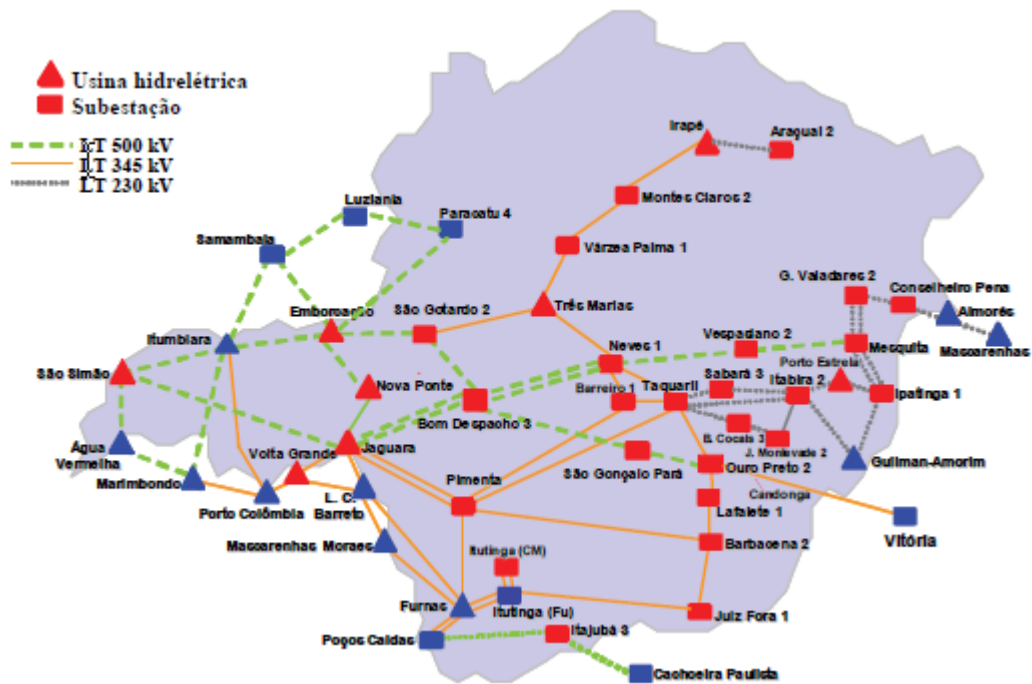


Figura 4.1 - Diagrama Unifilar Simplificado - Sistema de Transmissão da CEMIG

A Tabela 4.1 mostra a extensão total das linhas de transmissão em cada uma das classes de tensão.

Tabela 4.1 - Comprimento das LTs da CEMIG por Classe de Tensão

Linhas de Transmissão – CEMIG	
Nível de Tensão	Comprimento (km)
138 kV	5.110,3
230 kV	1.022,2
345 kV	2.490,3
500 kV	2.845,4

Devido à sua estratégica posição elétrica e geográfica, o sistema de transmissão da CEMIG tem grande importância para o sistema interligado nacional. Portanto, é necessário que se disponha de ferramentas e recursos para análises de distúrbios, rápida e exata localização de faltas e avaliação precisa de fenômenos de qualidade de energia, sobretudo de afundamentos de tensão [9].

Foram selecionados 22 pontos para serem avaliados, levando-se em conta, além da posição geográfica no sistema de transmissão da CEMIG, algumas características específicas, tais como: proximidade com regiões de concentração

de consumidores, presença de consumidores sensíveis, proximidade dos centros de geração e as diferentes classes de tensão (138, 230, 345 e 500 kV).

4.2.2. Registradores Digitais de Perturbação

Todos os eventos registrados pelos diversos Registradores Digitais de Perturbações (RDPs) são transmitidos para o departamento de planejamento da operação, que é responsável pela análise das ocorrências de distúrbios e eventos de proteção de todo o sistema de transmissão da CEMIG. Os RDPs registram as correntes, tensões e vários sinais digitais quando ocorre uma redução da tensão para abaixo de 90% da nominal.

Os arquivos contendo os sinais das três tensões foram fornecidos no formato Comtrade e necessitaram de um tratamento para cálculo do valor eficaz. Estes valores eficazes foram calculados através de uma janela de meio ciclo. Cada arquivo Comtrade fornecido contém valores das tensões instantâneas fase-neutro durante 2,5 segundos, aproximadamente.

Após o cálculo dos valores eficazes, o procedimento da agregação de fases foi realizado, obedecendo a proposta da norma NRS-048, conforme 2.4.1.2.

Após estes procedimentos, um total de 777 curtos-circuitos foi selecionado durante quatro anos de observação do sistema. Estes curtos-circuitos foram responsáveis pelo registro de 2614 afundamentos de tensão em 64 RDPs. A representação gráfica dos afundamentos é mostrada na Figura 4.2. Pode-se observar que existem alguns AMTs muito severos, com magnitude inferior a 0,50 p.u. e com duração acima de 500 ms. É esperado que estes eventos tenham grande impacto sobre as cargas dos consumidores.

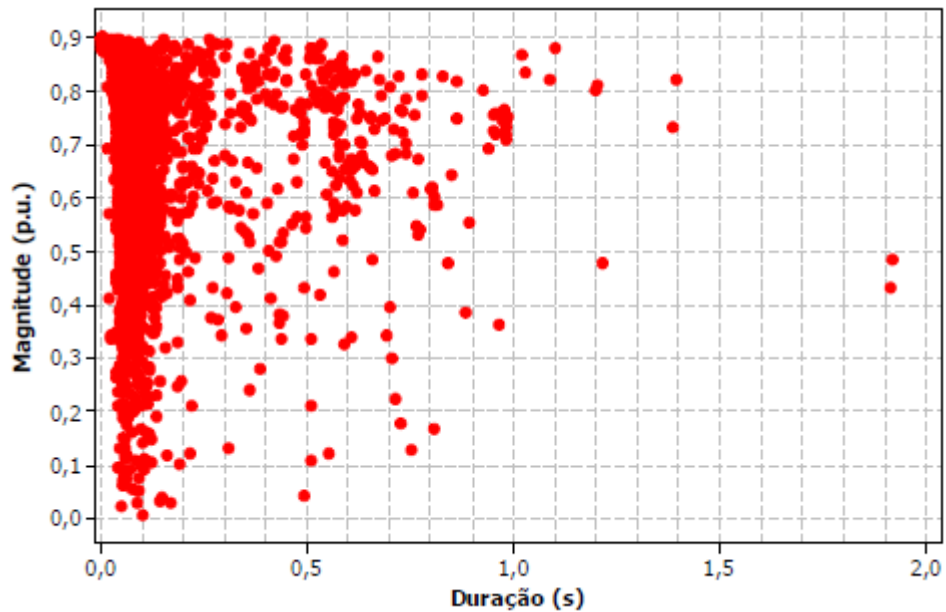


Figura 4.2 - Características dos AMTs para os quatro anos de medição

4.2.3. Fatores de Entrada

Baseando-se nas informações das faltas registradas pelos RDPs, foi possível escolher diversos fatores de entrada. São eles:

- Nível de Tensão;
- Tipo de Falta;
- Causa da Falta;
- Estação do Ano;
- Hora do Dia;
- Resistência de Falta.

Estas características foram relacionadas em cada falta registrada pelos RDPs. Os níveis destes fatores foram escolhidos baseando-se num tratamento estatístico feito após a obtenção do banco de dados.

4.2.3.1. Nível de Tensão

Foi verificado que a maioria das faltas, aproximadamente 47%, ocorreu em linhas com nível de tensão de 138 kV. O tamanho total das linhas pode explicar

essa tendência, uma vez que comprimento das linhas de 138 kV é bem maior que as outras, tendo assim uma exposição maior. Os gráficos expostos na Figura 4.3 e na Figura 4.4 resumem estas estatísticas.

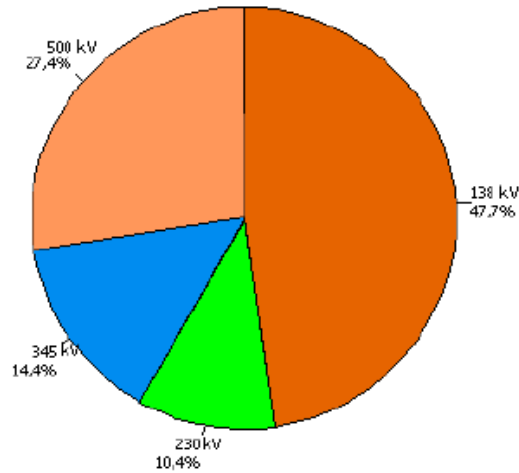


Figura 4.3 - Distribuição das Faltas por classe de Tensão

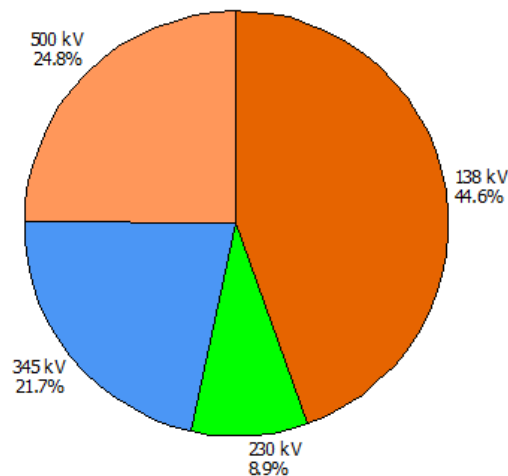


Figura 4.4 - Relação da quilometragem das linhas por nível de tensão

Para a escolha dos níveis desta variável foi adotado o critério em que um nível é a classe de tensão em que houve mais faltas (138 kV) e o outro nível é o restante das classes de tensão (230, 345 e 500 kV).

4.2.3.2. Tipo de Falta

No caso desta variável, o gráfico da Figura 4.5 mostra que o tipo de falta fase-terra (FT) é predominante (73,5% das ocorrências). Como se sabe, apesar de ser mais frequente, a falta fase-terra é a menos severa. As faltas bifásicas e trifásicas, apesar de aparecerem apenas com 26,5% (considerando-se FFF, FFFT, FF e FFT) são as mais severas. Esta variável foi dividida em três níveis relacionados à quantidade de fases envolvidas na falta.

- Monofásica (FT);
- Bifásica (contemplando as faltas FF e FFT);
- Trifásica (contemplando as faltas FFF e FFFT).

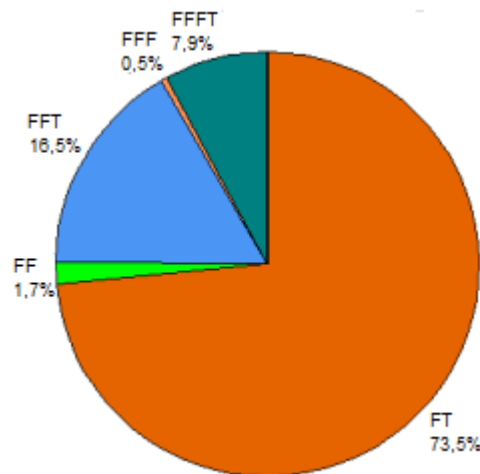


Figura 4.5 – Distribuição dos Tipos de Falta

4.2.3.3. Causa da Falta

Novamente, verifica-se uma tendência quando são analisados os registros apresentados na Figura 4.6. Observa-se que a grande maioria das faltas foi ocasionada por descargas atmosféricas, sendo 378 de 777 (48,6%) ocorrências. Com isso os níveis escolhidos foram:

- Descargas Atmosféricas;
- Outras.

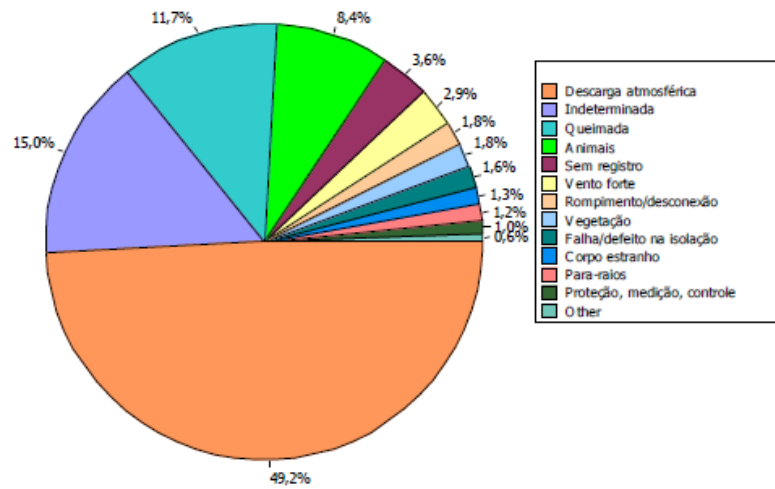


Figura 4.6 - Distribuição das Causas de Falta

4.2.3.4. Estação do Ano

Esta variável também foi agrupada em dois níveis. Um sendo a maioria das ocorrências (Primavera e Verão) e outro sendo a minoria das ocorrências (Outono e Inverno). No gráfico da Figura 4.7 pode-se perceber essa tendência.

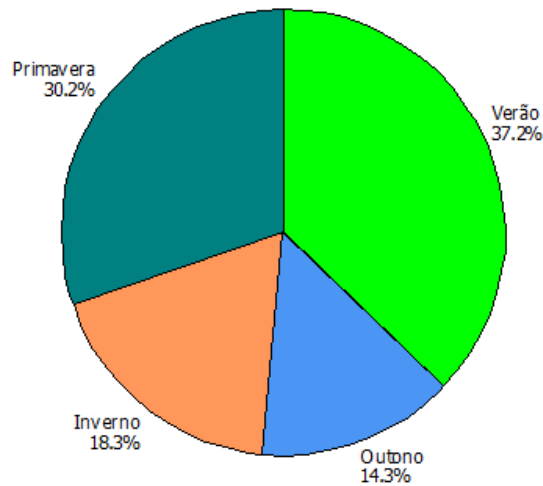


Figura 4.7 - Distribuição das Faltas em Relação à Estação do Ano

4.2.3.5. Hora do Dia

Com uma forte tendência das faltas ocorrerem nos períodos da tarde e da

noite conforme mostrado na Figura 4.8, foram selecionados dois níveis:

- 00:00 até 11:59 (agrupando os eventos ocasionados de manhã e de madrugada);
- 12:00 até 23:59 (agrupando os eventos ocasionados à tarde e à noite).

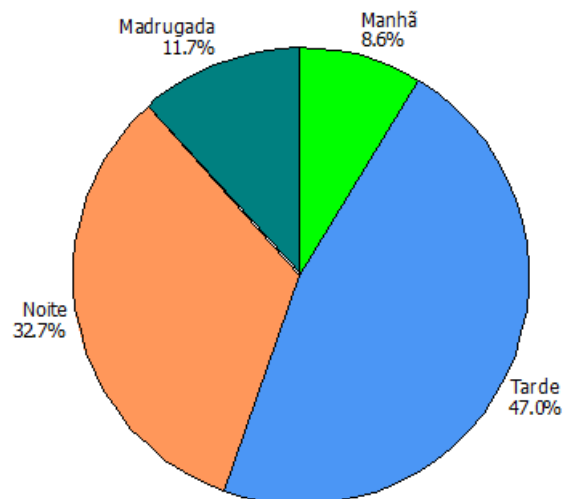


Figura 4.8 - Distribuição das Faltas de acordo com o Período do Dia

4.2.3.6. Resistência de Falta

O histograma da Figura 4.9 mostra a distribuição das impedâncias de faltas estimadas para as ocorrências registradas. A maioria das faltas possuem impedância menor que 5 ohms, o que levou a escolha de dois níveis:

- $\leq 5\Omega$ (menor ou igual a 5 ohms);
- $> 5\Omega$ (maior que 5 ohms).

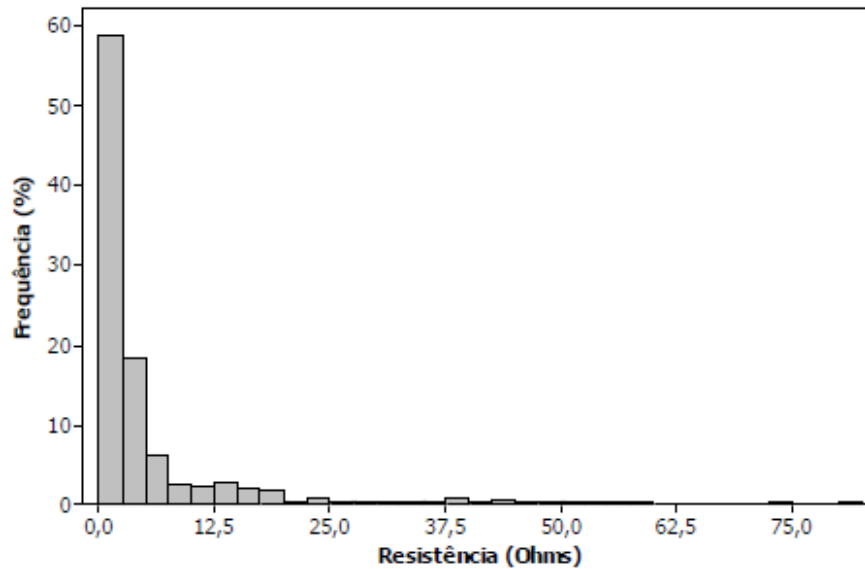


Figura 4.9 - Histograma da Resistências de Falta

Finalmente, a Tabela 4.2 resume todos os fatores de entrada com seus respectivos níveis.

Tabela 4.2 - Tabela Resumo dos Fatores de Entrada

Fator	Número de Níveis	Níveis adotados
Nível de Tensão	2	138 e 230/345/500 kV
Tipo da Falta	3	Monofásica, Bifásica e Trifásica
Causa da Falta	2	Descargas atmosféricas e Outros
Estação do ano	2	Primavera/Verão e Outono/Inverno
Hora do Dia	2	00:00 até 11:59 e 12:00 até 23:59
Resistência de Falta	2	$\leq 5 \Omega$ e $>5 \Omega$

4.2.4. Variável de Saída

A variável de saída adotada para as análises deste caso foi a energia não suprida – ENS (MWh). Esta energia, representada pela região sombreada na Figura 4.10, é estimada pelo cálculo da área entre as curvas registrada e estimada. É uma análise visual a partir de uma descontinuidade anormal na curva de carga esperada. Neste trabalho, o cálculo será aproximado pelo produto entre a perda de carga média e a duração desta perda, conforme mostra a equação 4.1.

$$ENS = \Delta P_{media} \times \Delta t \quad (4.1)$$

Onde: ΔP_{media} é perda de carga média (MW),

Δt é a duração da perda de carga (h);

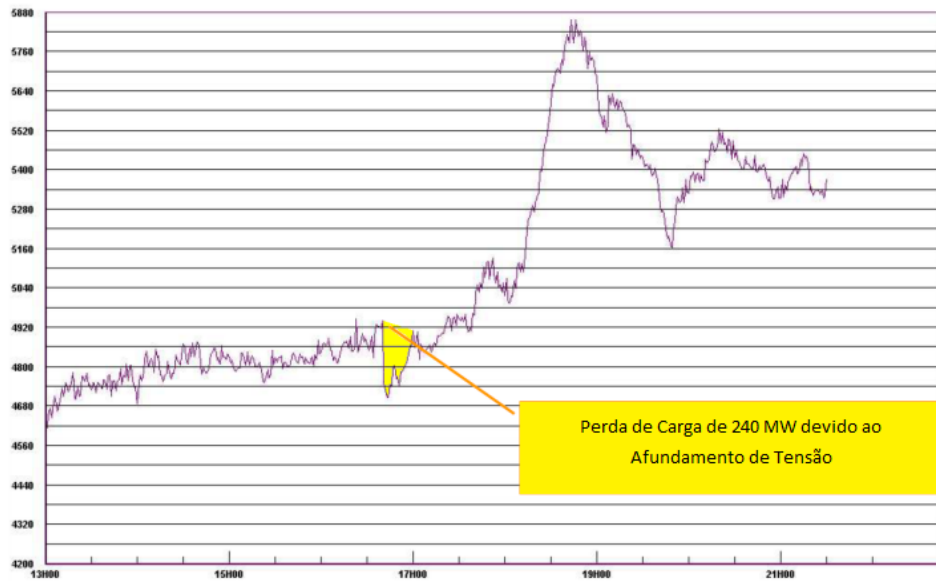


Figura 4.10 - Curva de Carga mostrando o Período quando ocorre um AMT

É importante salientar que algumas combinações são mais frequentes e por isso foram observadas mais de uma vez. Por exemplo, se eventos monofásicos ocorridos em linhas de 138 kV, provocados por descargas atmosféricas na primavera/verão, à tarde e com resistência de falta menor que 5 ohms, foram registrados várias vezes durante os 4 anos de medição, o valor de energia não suprida considerado para esta combinação foi a média dos valores de ENS registrados.

4.2.5. Análise dos Resultados

Com os fatores de entrada e a variável de saída definida e, além disso, de posse de todos os eventos registrados, pode-se obter a matriz de experimentos do caso em estudo, conforme Tabela B. 1 (Apêndice B).

O arranjo utilizado nesta análise é o Arranjo Fatorial Completo, pois é o

arranjo ideal para se analisar os efeitos individuais de cada variável e também as interações entre elas.

É importante salientar que foram analisadas apenas interações de segunda ordem, ou seja, apenas combinações de dois em dois fatores.

Em resumo, o DOE para este caso é composto por:

- 5 fatores de entrada com 2 níveis (nível de tensão, causa da falta, estação do ano, hora do dia e resistência de falta);

- 1 fator de entrada com 3 níveis (Tipo de Falta);

- 1 variável de saída (ENS – Energia não suprida).

Por consequência, o número de experimentos é a combinação de todos os níveis destes fatores, ou seja, 96 experimentos:

$$3 \times 2^5 = 96 \text{ experimentos}$$

Pode-se perceber a partir da Tabela B. 1, apresentada no Apêndice B, que para um total de vinte e oito combinações não foram obtidos registros de medição. Este número representa aproximadamente 29%, o que não interfere na análise proposta.

A Figura 4.11 mostra os efeitos individuais das variáveis e a , os efeitos das interações. Os efeitos mais significativos são aqueles cujas retas apresentam maior inclinação. Todos estes gráficos foram gerados utilizando-se o *software* MINITAB [40].

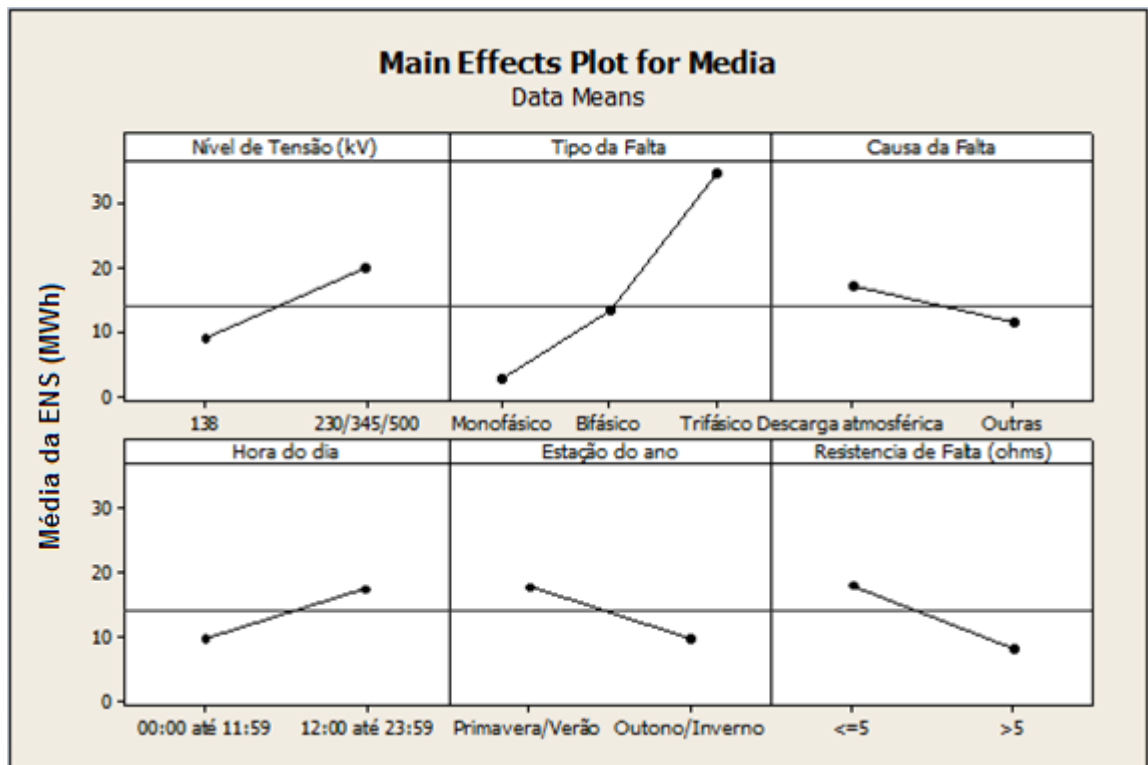


Figura 4.11 – Gráfico dos Efeitos Principais

É possível se observar na Figura 4.11 que o Tipo de Falta pode ser uma variável com influência significativa, pois as médias da ENS para cada um de seus níveis (Monofásica, Bifásica, Trifásica) apresentam grandes diferenças. Agregando conclusões semelhantes a esta, pode-se afirmar que, em média, os maiores níveis de ENS são observados para faltas trifásicas, em linhas de tensão acima de 138 kV, causadas por descargas atmosféricas, que ocorrem entre meio-dia e meia-noite, durante a primavera/verão e com resistência de falta inferior a 5 Ω .

Graficamente, a partir da Figura 4.12, pode-se notar certo paralelismo entre as interações, com exceção das interações entre o Nível de Tensão/Tipo da Falta e Tipo de Falta/Estação do ano. Com isso pode-se concluir qualitativamente que apenas estas interações são significativas. Entretanto, estatisticamente, é necessário realizar a análise de variância, conforme resultados apresentados na Figura 4.13.

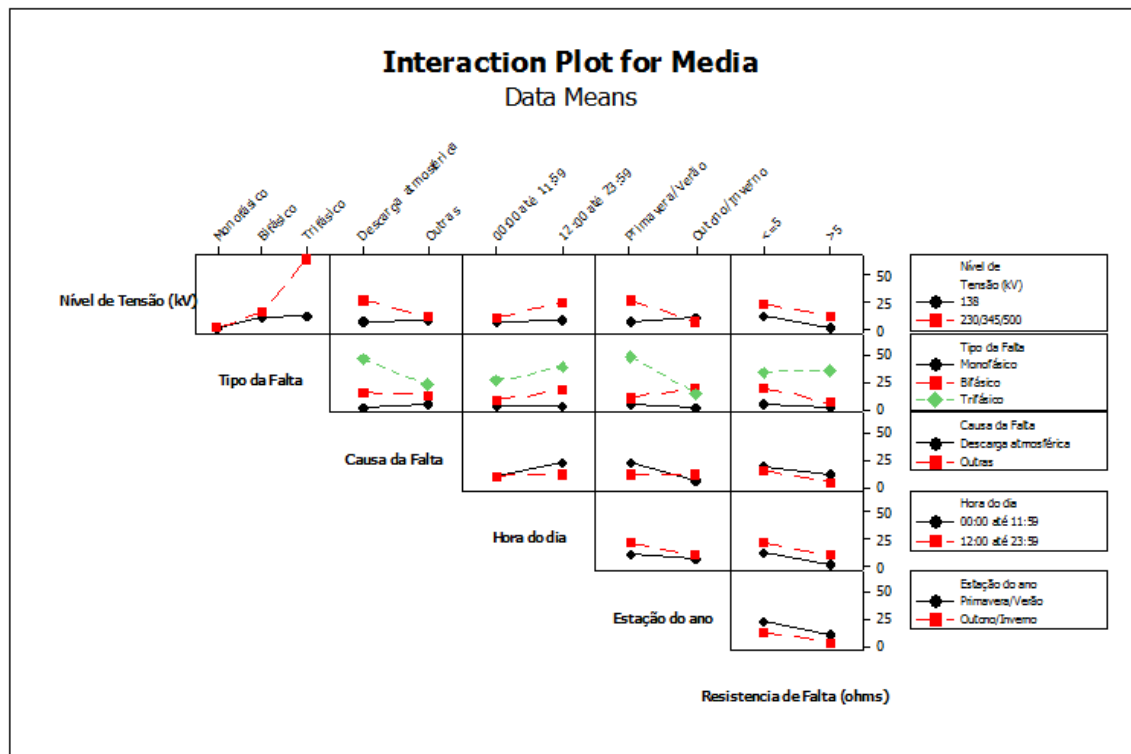


Figura 4.12 – Gráfico dos Efeitos das Interações entre os Fatores

Factor	Type	Levels	Values
Nível de Tensão (kV)	fixed	2	138; 230/345/500
Tipo da Falta	fixed	3	Monofásico; Bifásico; Trifásico
Causa da Falta	fixed	2	Descarga atmosférica; Outras
Hora do dia	fixed	2	00:00 até 11:59; 12:00 até 23:59
Estação do ano	fixed	2	Primavera/Verão; Outono/Inverno
Resistencia de Falta (ohms)	fixed	2	<=5; >5

Analysis of Variance for Media, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Nível de Tensão (kV)	1	2079,1	2470,3	2470,3	9,48	0,004
Tipo da Falta	2	12315,6	5397,4	2698,7	10,36	0,000
Causa da Falta	1	543,6	241,8	241,8	0,93	0,341
Hora do dia	1	556,1	106,1	106,1	0,41	0,527
Estação do ano	1	597,6	427,5	427,5	1,64	0,208
Resistencia de Falta (ohms)	1	773,4	57,7	57,7	0,22	0,640
Nível de Tensão (kV)*Tipo da Falta	2	6349,3	4612,2	2306,1	8,85	0,001
Nível de Tensão (kV)*Causa da Falta	1	745,8	593,8	593,8	2,28	0,139
Nível de Tensão (kV)*Hora do dia	1	51,3	330,1	330,1	1,27	0,267
Nível de Tensão (kV)*Estação do ano	1	873,7	1053,8	1053,8	4,05	0,051
Nível de Tensão (kV)* Resistencia de Falta (ohms)	1	504,4	173,0	173,0	0,66	0,420
Tipo da Falta*Causa da Falta	2	1474,5	1037,0	518,5	1,99	0,150
Tipo da Falta*Hora do dia	2	329,6	235,7	117,9	0,45	0,639
Tipo da Falta*Estação do ano	2	2681,4	1920,4	960,2	3,69	0,034
Tipo da Falta* Resistencia de Falta (ohms)	2	578,6	362,7	181,4	0,70	0,504
Causa da Falta*Hora do dia	1	172,8	112,4	112,4	0,43	0,515
Causa da Falta*Estação do ano	1	349,0	325,5	325,5	1,25	0,270
Causa da Falta* Resistencia de Falta (ohms)	1	10,9	2,1	2,1	0,01	0,930
Hora do dia*Estação do ano	1	142,6	202,4	202,4	0,78	0,383
Hora do dia* Resistencia de Falta (ohms)	1	245,9	245,9	245,9	0,94	0,337
Estação do ano* Resistencia de Falta (ohms)	1	21,3	21,3	21,3	0,08	0,776
Error	40	10419,3	10419,3	260,5		
Total	67	41815,7				

Figura 4.13 - Quadro ANOVA

Adotando-se um α de 0,05, pode-se afirmar então, de acordo com o quadro ANOVA, que os fatores significativos são: nível de tensão e tipo de falta. As interações significativas são o nível de tensão/tipo de falta e tipo de falta/estação do ano.

Pode-se destacar também o valor de P da interação entre os fatores nível de tensão x estação do ano. Neste caso o *p-value* de 0,051, valor muito próximo do nível de significância (α), o que não nos deixa concluir acerca da significância desta interação.

Uma vez feita esta primeira análise, a próxima etapa é avaliar novamente a significância das variáveis eliminando um dos fatores que tiveram *P-value* maior que 0,05. No caso será excluída da análise a resistência de falta, pois foi o fator que apresentou o maior *P-value*.

Novamente, a partir da Figura 4.14, pode-se notar que, mesmo sem o fator resistência de falta, os fatores individuais significantes continuam os mesmos: nível de tensão e tipo da falta.

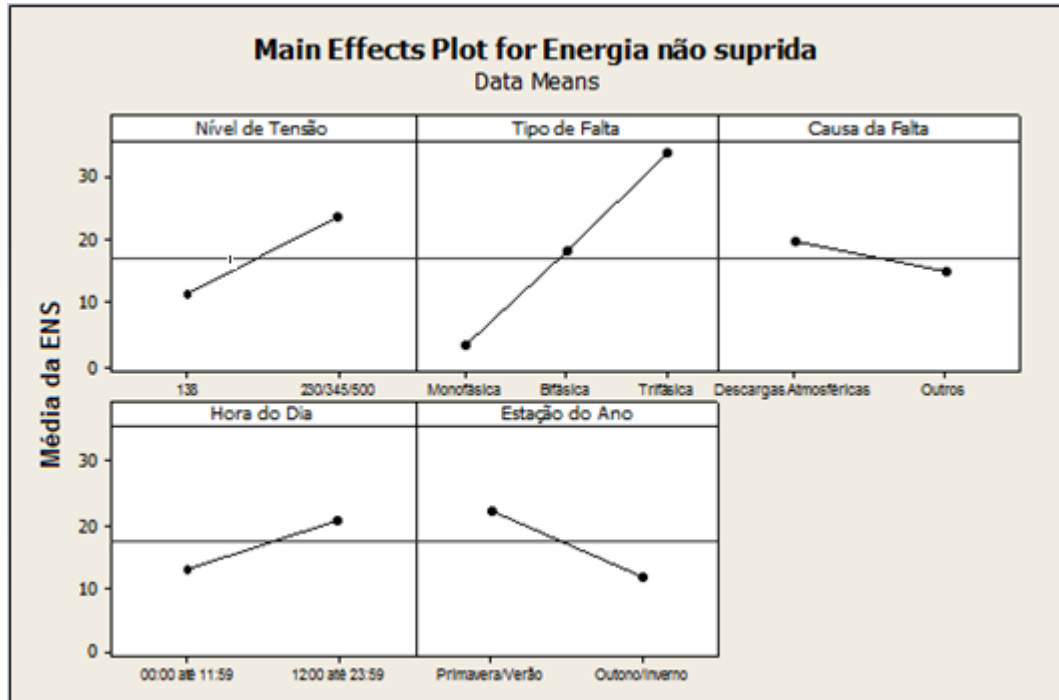


Figura 4.14 – Gráfico dos Efeitos Principais para a segunda análise

É possível inferir a partir da Figura 4.14 que as conclusões são semelhantes a da primeira análise, pois faltas trifásicas, em linhas de tensão acima de 138 kV, causadas por descargas atmosféricas, que ocorrem entre meio-dia e meia-noite e durante a primavera ou verão, em média, causam os maiores níveis de ENS.

Já para a análise das interações, é necessário observar o *P-value* no quadro Anova apresentado na Figura 4.15, pois apenas observando os gráficos da Figura 4.16, não é possível concluir acerca da significância das interações entre os fatores. Os maiores valores de ENS apresentados na Figura 4.14 são para faltas em 230/345/500 kV, trifásicas, causadas por Descargas atmosféricas, no período de 12:00 as 23:59h, na Primavera/Verão.

Factor	Type	Levels	Values
Nível de Tensão	fixed	2	138; 230/345/500
Tipo de Falta	fixed	3	Monofásica; Bifásica; Trifásica
Causa da Falta	fixed	2	Descargas Atmosféricas; Outros
Hora do Dia	fixed	2	00:00 até 11:59; 12:00 até 23:59
Estação do Ano	fixed	2	Primavera/Verão; Outono/Inverno

Analysis of Variance for Energia não suprida, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Nível de Tensão	1	1480,4	1347,9	1347,9	4,55	0,045
Tipo de Falta	2	6844,7	5206,2	2603,1	8,78	0,002
Causa da Falta	1	217,2	313,0	313,0	1,06	0,316
Hora do Dia	1	315,4	456,6	456,6	1,54	0,228
Estação do Ano	1	864,9	713,7	713,7	2,41	0,136
Nível de Tensão*Tipo de Falta	2	3272,0	2023,5	1011,7	3,41	0,052
Nível de Tensão*Causa da Falta	1	969,8	761,4	761,4	2,57	0,124
Nível de Tensão*Hora do Dia	1	13,4	114,7	114,7	0,39	0,541
Nível de Tensão*Estação do Ano	1	1216,8	1321,3	1321,3	4,46	0,047
Tipo de Falta*Causa da Falta	2	761,2	605,4	302,7	1,02	0,377
Tipo de Falta*Hora do Dia	2	244,7	326,6	163,3	0,55	0,585
Tipo de Falta*Estação do Ano	2	2043,7	1598,2	799,1	2,70	0,091
Causa da Falta*Hora do Dia	1	89,6	62,9	62,9	0,21	0,650
Causa da Falta*Estação do Ano	1	437,4	449,1	449,1	1,51	0,232
Hora do Dia*Estação do Ano	1	120,7	120,7	120,7	0,41	0,530
Error	21	6226,3	6226,3	296,5		
Total	41	25118,1				

Figura 4.15 - Quadro ANOVA para a segunda análise

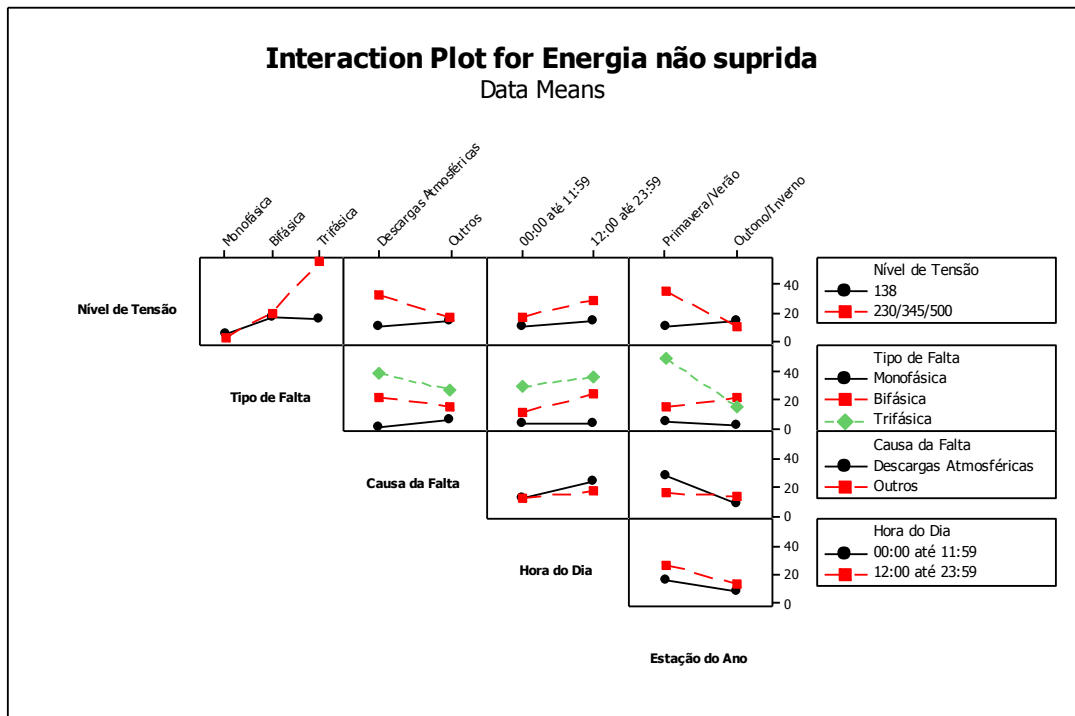


Figura 4.16 - Efeito das Interações para a segunda análise

O resultado desta segunda análise mostra que a interação Nível de Tensão/Tipo de Falta tem um *P-value* ligeiramente maior que 0,05, ou seja, esta interação está no limite entre a área de aceitação ou de rejeição da hipótese nula (H_0), e a interação Nível de Tensão/Estação do ano, que na análise anterior estava em uma região de incerteza, torna-se significativa.

4.3. DADOS DE SIMULAÇÃO – CASO II – CEMIG

Neste item apresenta-se a análise das variáveis de influência em AMTs, com base num processo de simulação da rede básica da CEMIG. O sistema utilizado para as simulações é o mesmo apresentado no item 4.2.1.

O processo de simulação proporciona a facilidade de se obter dados para um longo período de tempo, ou seja, é possível simular 100 anos ou mais.

Para que as simulações fossem conduzidas, foi estabelecida uma sequência de procedimentos, sendo utilizados os seguintes softwares com suas respectivas funções:

- Matlab [53]: este software auxiliou no desenvolvimento de uma rotina para a realização do sorteio das posições das faltas. Além disso, era necessário que as informações da falta a serem simuladas fossem formatadas no padrão conveniente;
- Anafas [54]: este programa realiza cálculos de curto-circuitos. Para cada falta simulada, este software retorna as três tensões fase-neutro em cada um dos pontos monitorados;
- Novamente, o Matlab é utilizado para filtrar as informações contidas nos arquivos de saída de resultados do ANAFAS e executar as agregações de fases, a fim de determinar as magnitudes e frequências dos AMTs, observados em cada ponto de monitoração;
- No MINITAB [40], foram feitas as análises estatísticas, através dos quadros ANOVA gerados por este software. Gráficos também foram obtidos com a utilização deste programa.

Algumas considerações devem ser expostas a fim de elucidar todo o

processo utilizado para as simulações:

I. Período de Simulação

Foi simulado um período de operação equivalente a 100 anos.

II. Posições de Falta

No início do processo de simulação, as posições de falta foram aleatoriamente determinadas e então fixadas para que fossem utilizadas as mesmas posições durante toda a simulação. Quando foi necessário diminuir o número de faltas simuladas, foi realizado um processo de reamostragem.

III. Número de Réplicas

O número de réplicas foi calculado utilizando-se a ferramenta “*Power and Sample Size*” do *software* MINITAB. As considerações para este cálculo foram:

- 3 fatores (um com quatro níveis e dois com três níveis);
- Nível de significância (α) igual a 0,05;
- Poder de Teste ($1-\beta$) igual a 0,85;
- Desvio padrão igual a 1.

O termo “poder do teste” é definido em 3.5.1 como sendo a probabilidade de se rejeitar a hipótese nula (H_0) quando esta é realmente falsa. Isso pode ser interpretado como a chance de detectar uma real diferença entre as médias, ou seja, detectar a diferença se ela realmente existir.

No quadro apresentado na Figura 4.17 (obtido com a ajuda do *software* MINITAB) tem-se o número de réplicas (*Reps*) sugerido associado à máxima diferença proposta, para um poder de teste desejado de 0,85.

Como pode ser visto, admitindo que uma unidade seja uma diferença significativa para este caso, ou seja, para que o valor da hipótese nula seja considerado diferente do valor real, basta que eles sejam diferentes em uma unidade, será utilizado o número de réplicas igual a três, conseguindo assim um poder de teste real de 0,865.

Power and Sample Size				
General Full Factorial Design				
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 1				
Factors: 3 Number of levels: 4, 3, 3				
Include terms in the model up through order: 3				
Not including blocks in model.				
Maximum	Total	Target	Actual	
Difference	Reps	Runs	Power	Power
0.5	12	432	0.85	0.88063
1.0	3	108	0.85	0.86462
5.0	2	72	0.85	1.00000

Figura 4.17 – Quadro utilizado para escolha do número de réplicas

Simular réplicas para o caso das simulações deste trabalho ocasionaria em obter os mesmos resultados na variável de saída. Com isto, era necessário mudar o ponto de partida a fim de obter uma variação na saída. Esta mudança no ponto de partida deve ser sutil para que as variações ocorridas na saída sejam pequenas a ponto de representarem apenas “erros experimentais”.

Sendo assim, as réplicas dos experimentos foram feitas utilizando-se as seguintes situações – a primeira réplica é a posição de falta original sorteada, a segunda réplica é feita variando-se a posição de falta original em 1% a mais da original e a terceira réplica realizada no experimento é feita variando-se a posição de falta em 1% a menos. Por exemplo, a posição de falta sorteada foi na linha X a 80%, então na segunda réplica a posição de falta simulada é na mesma linha X, mas a 81% e a terceira réplica é realizada novamente na mesma linha, só que a 79%.

IV. Ordem dos experimentos

Por se tratar de simulações, não foi utilizada a ordem do experimento aleatorizada, uma vez que a aleatorização dos experimentos está diretamente ligada com o problema de se executar experimentos no mundo real, necessária para que sejam balanceados os efeitos de fatores não controláveis.

Com estas premissas, os experimentos foram realizados a fim de se obter

resultados acerca das variáveis que influenciam nas características dos AMTs.

4.3.1. Fatores de Entrada

Os fatores de entrada escolhidos para análise neste Caso II foram três:

- Tipo de Falta;
- Resistência de Falta;
- Número de Faltas;

4.3.1.1. Tipo de Falta

Foram escolhidos três tipos de faltas.

- Monofásica, considerando faltas fase-terra (FT);
- Bifásica, considerando-se faltas bifásicas-terra (FFT);
- Trifásica, considerando-se faltas trifásicas-terra (FFFT).

4.3.1.2. Resistência de Falta

Baseado em um período de medição de quatro anos, Figura 4.9, foi possível estimar alguns valores de resistência de falta. Sendo quatro o número de níveis utilizados.

- 0 Ω ;
- 5 Ω ;
- 25 Ω ;
- Inf.

A Figura 4.18 mostra a representação dos três tipos de falta escolhidos em 4.3.1.1.

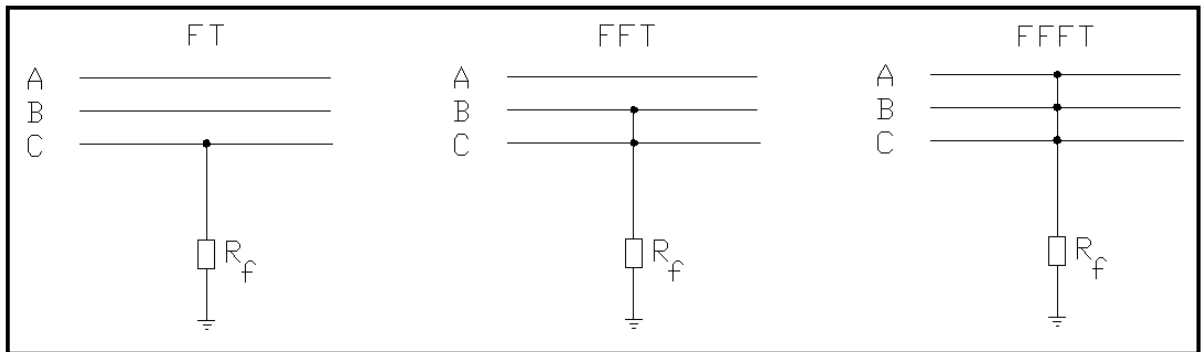


Figura 4.18 – Representação de Falhas FT, FFT e FFFT

O nível de resistência igual a “inf” foi criado com o objetivo de representar experimentalmente as faltas sem o envolvimento do terra. Quando o valor de R_f é igual a “inf”, considera-se um circuito aberto entre a fase/fases faltosas e terra conforme mostra a Figura 4.19. Com isso, nas faltas FFT com resistência infinita foram simuladas faltas FF e nas faltas FFFT com resistência infinita foram simuladas faltas FFF. No caso da FT com resistência infinita, não foi possível realizar a simulação, uma vez que neste caso é representada uma falta fase-terra (FT) em um sistema isolado, ou seja, sem conexão do neutro à terra.

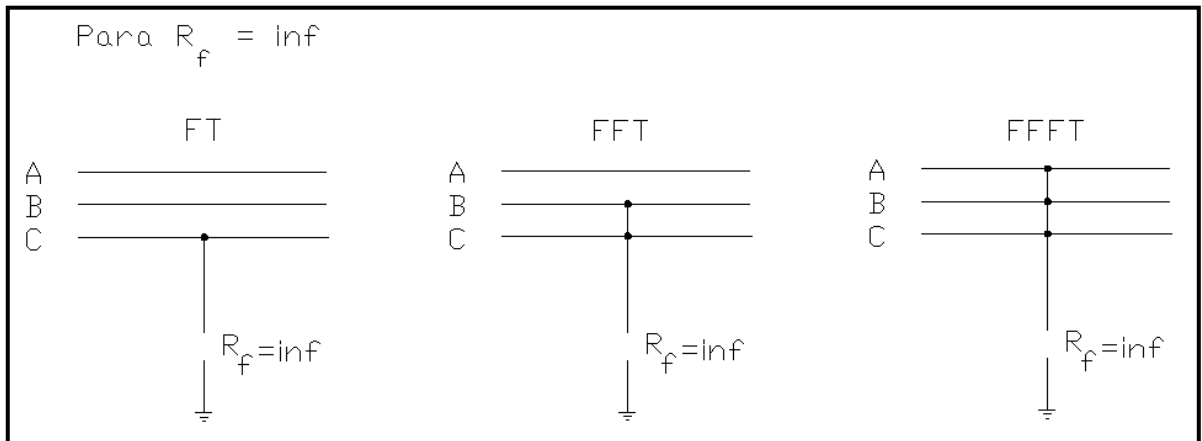


Figura 4.19 – Representação das faltas com $R_f = \text{“inf”}$

4.3.1.3. Número de Faltas por Ano

A quantidade de faltas por ano está ligada a fatores, principalmente naturais, os quais sofrem alterações consideráveis a cada período de observação da rede.

Para este sistema em estudo, CEMIG, os níveis escolhidos para este fator

foram baseados no estudo realizado em [9], que são:

- 205 faltas por ano;
- 235 faltas por ano;
- 265 faltas por ano.

Portanto, a Tabela 4.3 resume todos os fatores de entrada escolhidos e seus respectivos níveis.

Tabela 4.3 - Fatores de Entrada para o Caso II

Fator	Número de Níveis	Níveis adotados
Tipo de falta	3	Monofásica, Bifásica e Trifásica
Resistência de Falta	4	0, 5, 25Ω e inf
Número de faltas	3	205, 235 e 265 faltas/ano

4.3.2. Variável de Saída

Ao contrário do Caso I, nesta análise não será escolhida a ENS (Energia não suprida) como variável de saída, uma vez que através deste processo de simulação é difícil estimar a quantidade de perda de carga do sistema devido à ocorrência de AMTs.

Com isso, a variável SARFI-X, que como explicado em 2.8.1.1, é a contagem de ocorrência dos afundamentos de tensão que ficaram abaixo de limites estabelecidos, foi utilizada como variável de saída. Os indicadores considerados foram: SARFI-30, SARFI-50, SARFI-70 e SARFI-85.

Há de se destacar que o valor utilizado na coluna destinada a variável de saída corresponde à média dos SARFI-X dos cem anos simulados para cada barra. Essa estatística foi escolhida uma vez que foi aplicado o teste de normalidade de Anderson-Darling em todas as distribuições resultantes dos cem anos de todas as barras monitoradas, e concluiu-se que eram distribuições normais, o que faz a estatística média ser um bom parâmetro para análise da distribuição da variável de saída.

4.3.3. Análise dos Resultados

Com os fatores de entrada e a variável de saída definida e, além disso, de posse de todos os resultados de simulações, foi possível construir a matriz experimental para cada uma das variáveis de saída. O Apêndice B (Tabela B. 2, Tabela B. 3 e Tabela B. 4) apresenta a matriz de experimentos para o indicador SARFI-85..

O arranjo utilizado nesta análise é o Arranjo Fatorial Completo, por se tratar do arranjo ideal para se analisar os efeitos individuais de cada variável e também as interações entre elas.

É importante salientar que apenas as interações de segunda ordem foram analisadas.

Em resumo, o DOE para este caso é composto por:

- 2 fatores de entrada com 3 níveis (Tipo de Falta e Número de Faltas por ano);
- 1 fator de entrada com 4 níveis (resistência de falta);
- 1 variável de saída (SARFI-X).

Por consequência, o número de experimentos é a combinação de todos os níveis destes fatores, ou seja, 36 experimentos:

$$3^2 \times 4 = 36 \text{ experimentos}$$

Três réplicas foram feitas, fazendo com que a quantidade total de experimentos fosse de 108 experimentos.

Em alguns casos, como pode-se perceber na tabela apresentada no Apêndice B, não foi possível simular a falta. Esses foram os casos em que a falta era monofásica e a resistência de falta era “inf”, o que corresponde a uma falta fase terra em um sistema isolado.

A análise dos resultados destas simulações será feita baseadas em tabelas onde serão expostos os resultados de *valores* obtidos dos quadros ANOVA gerados no software MINITAB. Nestas tabelas são apresentados os valores de *P-value* para diversas barras e para diferentes níveis de SARFI. Entretanto, é

possível observar que em alguns casos não foi possível obter o *P-value*, e então será representado por um asterisco (*). Isso se deu, por exemplo, pelo fato de que em algumas barras não foi obtido nenhum afundamento de tensão abaixo de certo limite, o que faz com que o índice SARFI-X correspondente seja zero em todas as combinações, não sendo possível observar variação nos resultados e consequentemente obter o *P-value*.

A primeira variável analisada será a quantidade de faltas por ano (“Faltas por Ano”), que como pode ser visto na Tabela 4.4, tem *P-value* igual à zero para quase todas as barras e para diferentes níveis de SARFI, ou seja, pode-se concluir que esta variável apresenta significância, conforme esperado.

Tabela 4.4 - *P-values* da variável Faltas por Ano

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	*	0.000	0.006	0.007
SARFI-30	0.000	0.000	0.004	0.009	0.011	0.008	0.001	0.000	*	0.004	0.053	0.001
	BARRA 13	BARRA 14	BARRA 15	BARRA 16	BARRA 17	BARRA 18	BARRA 19	BARRA 20	BARRA 21	BARRA 22	BARRA 23	BARRA 24
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.003	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
SARFI-30	0.016	0.003	0.003	0.011	0.014	0.488	0.000	0.011	0.004	0.001	0.008	0.000
	BARRA 25	BARRA 26	BARRA 27	BARRA 28	BARRA 29	BARRA 30	BARRA 31	BARRA 32	BARRA 33	BARRA 34	BARRA 35	BARRA 36
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.008	0.001	0.000	0.001	0.000
	BARRA 37	BARRA 38	BARRA 39	BARRA 40	BARRA 41	BARRA 42	BARRA 43	BARRA 44	BARRA 45	BARRA 46	BARRA 47	BARRA 48
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	*
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.004	0.027	0.000	*	*	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.003
SARFI-30	0.005	0.000	*	*	*	0.013	0.000	0.021	0.000	0.017	0.001	0.004
	BARRA 49	BARRA 50	BARRA 51	BARRA 52	BARRA 53	BARRA 54	BARRA 55	BARRA 56	BARRA 57	BARRA 58		
SARFI-85	*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.006	0.000	0.014	0.000		
SARFI-30	0.000	0.000	0.018	0.001	0.018	*	*	0.000	0.008	0.000		

A Figura 4.20 mostra os gráficos para esta variável, com base nos resultados obtidos na Barra 1, por exemplo. Como já era esperado, quanto maior o número de faltas simuladas por ano, maior é o número de afundamentos, nos diferentes índices SARFI analisados.

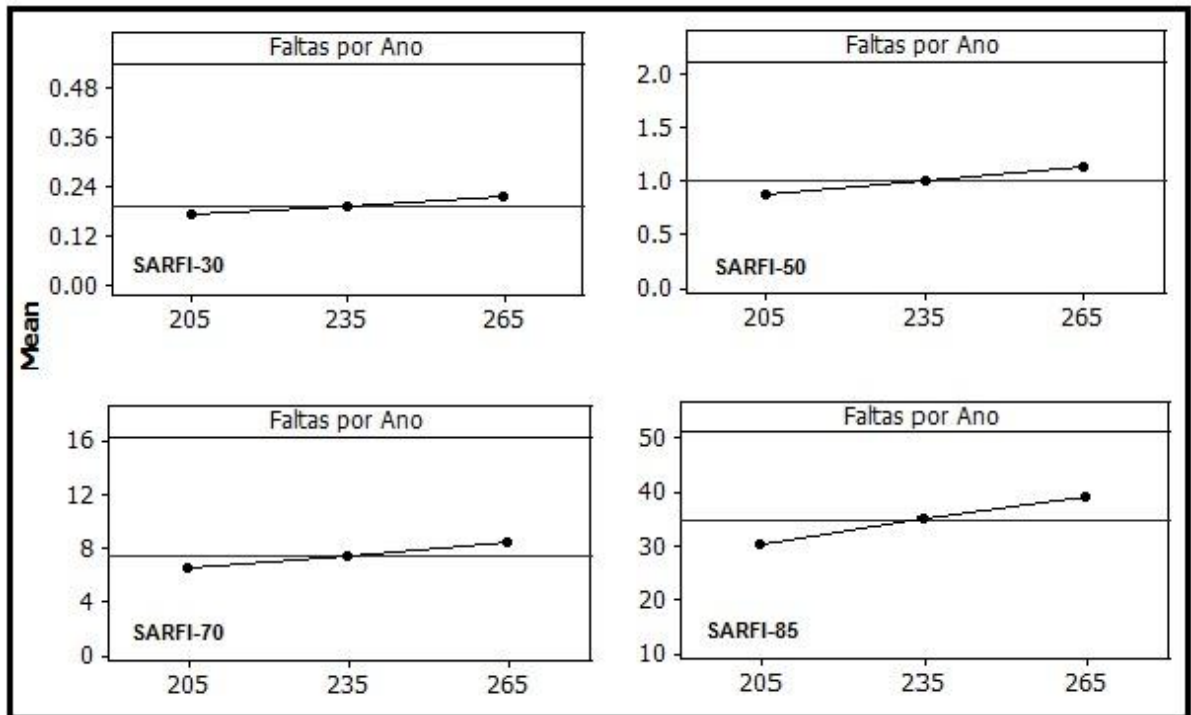


Figura 4.20 - Efeito Individual da Variável Faltas por Ano para alguns índices SARFI

No caso do fator “Tipo de falta”, tem-se que, excetuando-se os casos em que não foram possíveis obter o valor de P, todos os *P-values* foram iguais a zero o que nos leva a concluir que esta variável também é importante para o processo de simulação de AMTs, apresentando significância em todos os casos. A Tabela 4.5 apresenta estes resultados e a Figura 4.21 apresenta gráficos para o efeito individual deste fator para os diferentes níveis de SARFI, para a barra 30. Pode-se perceber por estes gráficos que a falta trifásica é a responsável pelo maior número de afundamentos.

Tabela 4.5 - *P-values* da variável Tipo de Falta

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	*	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	*	0.000	0.000	0.000

	BARRA 13	BARRA 14	BARRA 15	BARRA 16	BARRA 17	BARRA 18	BARRA 19	BARRA 20	BARRA 21	BARRA 22	BARRA 23	BARRA 24
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	BARRA 25	BARRA 26	BARRA 27	BARRA 28	BARRA 29	BARRA 30	BARRA 31	BARRA 32	BARRA 33	BARRA 34	BARRA 35	BARRA 36
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	BARRA 37	BARRA 38	BARRA 39	BARRA 40	BARRA 41	BARRA 42	BARRA 43	BARRA 44	BARRA 45	BARRA 46	BARRA 47	BARRA 48
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	*
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000		*	*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	*	*	*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	BARRA 49	BARRA 50	BARRA 51	BARRA 52	BARRA 53	BARRA 54	BARRA 55	BARRA 56	BARRA 57	BARRA 58
SARFI-85	*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	*	*	0.000	0.000	0.000

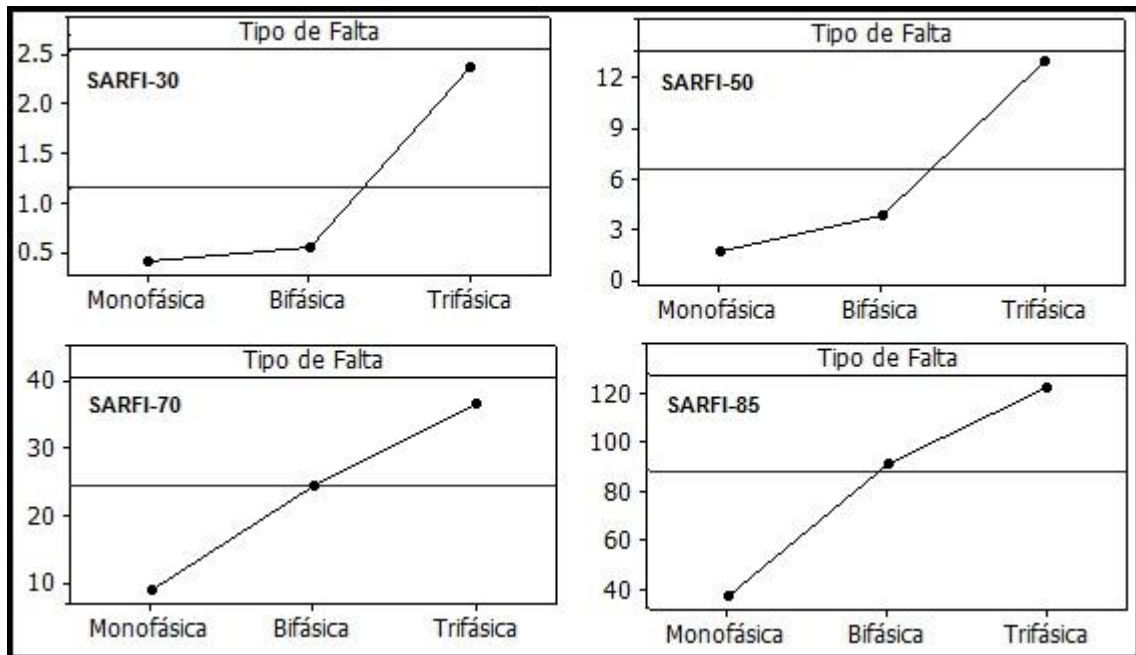


Figura 4.21 - Efeito Individual da Variável Tipo de Falta para alguns índices SARFI

Para a variável “resistência de falta” observa-se que a maioria dos *P-values* foi menor que o nível de significância, como pode ser visto na Tabela 4.6, podendo-se afirmar assim que este fator também é um fator significativo. Apenas os casos destacados na cor azul na Tabela 4.6 apresentam valores de P maior que 0,05, ou seja, são os casos:

- Da barra 9, para o índice SARFI-70
- Da barra 18, para o índice SARFI-30
- Da barra 55, para o índice SARFI-50

Tabela 4.6 - *P-values* da variável Resistência de Falta

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	*	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	BARRA 13	BARRA 14	BARRA 15	BARRA 16	BARRA 17	BARRA 18	BARRA 19	BARRA 20	BARRA 21	BARRA 22	BARRA 23	BARRA 24
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	BARRA 25	BARRA 26	BARRA 27	BARRA 28	BARRA 29	BARRA 30	BARRA 31	BARRA 32	BARRA 33	BARRA 34	BARRA 35	BARRA 36
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	BARRA 37	BARRA 38	BARRA 39	BARRA 40	BARRA 41	BARRA 42	BARRA 43	BARRA 44	BARRA 45	BARRA 46	BARRA 47	BARRA 48
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	*
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	*	*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	*	*	*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	BARRA 49	BARRA 50	BARRA 51	BARRA 52	BARRA 53	BARRA 54	BARRA 55	BARRA 56	BARRA 57	BARRA 58
SARFI-85	*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.107	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	*	*	0.000	0.000	0.000

A título de ilustração, a Figura 4.22 mostra os gráficos para a variável resistência de falta nos diferentes valores de SARFI para a barra 58.

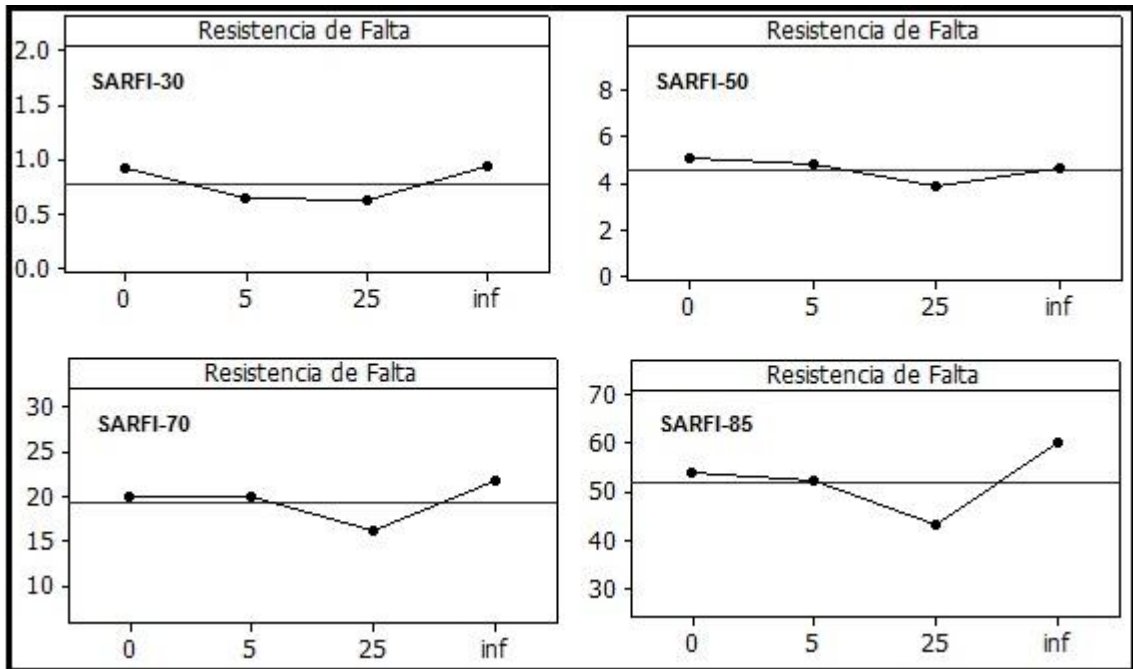


Figura 4.22 - Efeito Individual da Variável Resistência de Falta para alguns índices SARFI

Apenas duas interações foram possíveis de serem analisadas: Falhas por Ano x Tipo de Falta e Falhas por Ano x Resistência de Falta. A interação Tipo de Falta x Resistência de Falta não foi possível analisar pelo fato de que para as simulações de faltas trifásicas obteve-se o mesmo resultado para qualquer valor de resistência de falta, não observando, portanto, variabilidade nos resultados.

A primeira interação analisada é entre os fatores Falhas por Ano e Tipo de Falta. Pode-se perceber que cerca de 60% dos valores de P obtidos são menores que 0,05, ou seja, apresentam significância, conforme resultados apresentados na Tabela 4.7. Os casos que apresentam *P-value* maior que 0,05 estão destacados na cor azul na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - *P-values* da interação Faltas por Ano x Tipo de Falta

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000	0.277	0.000	0.000	0.000	0.143	0.000	0.016
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.466	0.272	0.029	0.047	0.162	0.006	0.000	0.330	0.009
SARFI-50	0.013	0.002	0.017	0.027	0.328	0.227	0.339	0.012	*	0.027	0.810	0.416
SARFI-30	0.000	0.000	0.025	0.273	0.251	0.177	0.245	0.019	*	0.076	0.591	0.007

	BARRA 13	BARRA 14	BARRA 15	BARRA 16	BARRA 17	BARRA 18	BARRA 19	BARRA 20	BARRA 21	BARRA 22	BARRA 23	BARRA 24
SARFI-85	0.002	0.331	0.001	0.005	0.013	0.000	0.001	0.001	0.002	0.006	0.000	0.121
SARFI-70	0.000	0.000	0.136	0.003	0.011	0.000	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.056
SARFI-50	0.024	0.270	0.455	0.005	0.608	0.000	0.143	0.067	0.050	0.001	0.000	0.258
SARFI-30	0.409	0.156	0.308	0.070	0.410	0.534	0.001	0.073	0.029	0.002	0.109	0.126

	BARRA 25	BARRA 26	BARRA 27	BARRA 28	BARRA 29	BARRA 30	BARRA 31	BARRA 32	BARRA 33	BARRA 34	BARRA 35	BARRA 36
SARFI-85	0.029	0.004	0.047	0.049	0.000	0.000	0.000	0.008	0.031	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.006	0.000	0.138	0.001	0.000	0.000	0.003	0.028	0.391	0.097
SARFI-50	0.067	0.153	0.013	0.000	0.000	0.006	0.121	0.009	0.013	0.565	0.001	0.001
SARFI-30	0.048	0.026	0.000	0.435	0.000	0.024	0.000	0.040	0.068	0.116	0.002	0.000

	BARRA 37	BARRA 38	BARRA 39	BARRA 40	BARRA 41	BARRA 42	BARRA 43	BARRA 44	BARRA 45	BARRA 46	BARRA 47	BARRA 48
SARFI-85	0.007	0.003	0.003	0.000	0.000	0.055	0.088	0.003	0.007	0.022	0.095	*
SARFI-70	0.449	0.267	0.081	0.000	0.000	0.140	0.002	0.005	0.007	0.001	0.000	0.086
SARFI-50	0.639	0.349	0.047	*	*	0.009	0.005	0.175	0.033	0.007	0.042	0.659
SARFI-30	0.316	0.040	*	*	*	0.298	0.001	0.501	0.000	0.149	0.337	0.236

	BARRA 49	BARRA 50	BARRA 51	BARRA 52	BARRA 53	BARRA 54	BARRA 55	BARRA 56	BARRA 57	BARRA 58
SARFI-85	*	0.000	0.000	0.164	0.004	0.003	0.000	0.103	0.018	0.074
SARFI-70	0.019	0.004	0.004	0.000	0.006	0.000	0.032	0.000	0.022	0.000
SARFI-50	0.002	0.001	0.000	0.002	0.078	0.061	0.018	0.058	0.680	0.001
SARFI-30	0.000	0.000	0.115	0.013	0.271	*	*	0.000	0.644	0.000

A interação entre os fatores Faltas por Ano x Resistência de Falta não é significativa, pois como pode ser visto em Tabela 4.8 em apenas dois casos obteve-se valores de P menores que 0,05, conforme destacado na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - *P-values* da interação Faltas por Ano x Resistência de Falta

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.993	0.994	0.990	0.978	0.885	0.997	0.894	0.926	0.413	0.997	0.761	0.972
SARFI-70	0.596	0.791	0.711	0.997	0.999	0.976	0.859	0.988	1.000	0.889	0.930	0.975
SARFI-50	0.555	0.386	0.794	0.824	0.959	0.952	0.848	0.863	*	0.812	0.883	0.641
SARFI-30	0.189	0.119	0.767	0.362	0.410	0.445	0.397	0.350	*	0.401	0.498	0.248

	BARRA 13	BARRA 14	BARRA 15	BARRA 16	BARRA 17	BARRA 18	BARRA 19	BARRA 20	BARRA 21	BARRA 22	BARRA 23	BARRA 24
SARFI-85	0.995	0.997	0.990	0.958	0.991	0.857	0.987	0.927	0.968	0.977	0.817	0.996
SARFI-70	0.797	0.862	0.994	0.951	0.922	0.379	0.960	0.946	0.804	0.829	0.983	0.983
SARFI-50	0.705	0.884	0.933	0.313	0.942	0.158	0.720	0.663	0.669	0.312	0.205	0.965
SARFI-30	0.248	0.263	0.404	0.100	0.471	1.000	0.359	0.335	0.187	0.152	0.246	0.475

	BARRA 25	BARRA 26	BARRA 27	BARRA 28	BARRA 29	BARRA 30	BARRA 31	BARRA 32	BARRA 33	BARRA 34	BARRA 35	BARRA 36
SARFI-85	0.980	0.926	0.973	0.989	0.964	0.872	0.700	0.983	0.991	0.916	0.708	0.962
SARFI-70	0.951	0.880	0.861	0.908	0.986	0.946	0.955	0.540	0.971	0.910	0.996	0.982
SARFI-50	0.920	0.824	0.778	0.438	0.816	0.638	0.841	0.401	0.168	0.990	0.803	0.875
SARFI-30	0.478	0.261	0.149	0.291	0.347	0.404	0.207	0.365	0.164	0.392	0.930	0.373

	BARRA 37	BARRA 38	BARRA 39	BARRA 40	BARRA 41	BARRA 42	BARRA 43	BARRA 44	BARRA 45	BARRA 46	BARRA 47	BARRA 48
SARFI-85	0.982	0.990	0.993	0.717	0.130	0.990	0.989	0.925	0.973	0.992	0.987	*
SARFI-70	0.996	0.994	0.981	0.676	0.672	0.970	0.890	0.947	0.790	0.778	0.336	0.999
SARFI-50	0.968	0.751	0.390	*	*	0.703	0.742	0.747	0.410	0.361	0.892	0.983
SARFI-30	0.423	0.057	*	*	*	0.424	0.082	0.498	0.434	0.127	0.423	0.511

	BARRA 49	BARRA 50	BARRA 51	BARRA 52	BARRA 53	BARRA 54	BARRA 55	BARRA 56	BARRA 57	BARRA 58
SARFI-85	*	0.913	0.935	0.994	0.942	0.995	0.989	0.994	0.950	0.990
SARFI-70	0.995	0.960	0.927	0.520	0.945	0.898	0.928	0.852	0.876	0.889
SARFI-50	0.959	0.548	0.297	0.613	0.567	0.685	0.989	0.417	0.987	0.732
SARFI-30	0.769	0.132	0.131	0.193	0.331	0.000	0.000	0.216	0.482	0.076

Na Figura 4.23 é possível ver o gráfico do efeito das interações para a Barra 15, considerando o indicador SARFI-85.

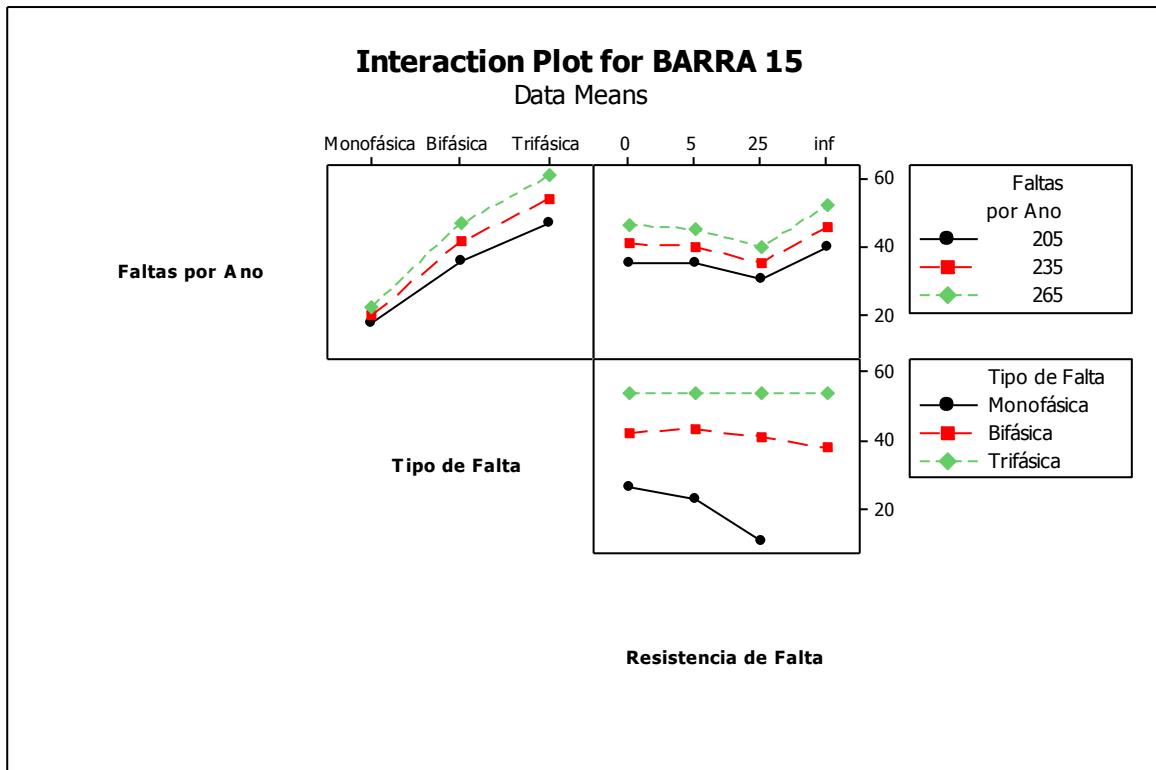


Figura 4.23 - Efeito das Interações na Barra 15 para o SARFI-85

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que, para este sistema e as barras monitoradas, não se pode descartar as variáveis resistência de falta, tipo de falta e o número de faltas por ano. Percebe-se também que quanto maior o número de faltas por ano, maiores são os indicadores SARFI-X, o que já era esperado. As faltas trifásicas são as responsáveis pela ocorrência dos maiores valores dos indicadores SARFI-X.

4.4. DADOS DE SIMULAÇÃO – CASO III – CEMAT

Este item apresenta a análise das variáveis de influência em AMTs, com base num processo de simulação da rede básica da CEMAT, Centrais Elétricas Matogrossenses.

Para a execução das simulações foi utilizada a mesma sequência de procedimentos apresentada em 4.3.

4.4.1. Dados do Sistema Elétrico – CEMAT

Utilizou-se parte do sistema elétrico de suprimento do Estado de Mato Grosso, cuja configuração considerada neste trabalho constitui-se de 67 linhas de transmissão nas tensões de 138 e 230 kV e 160 barras nas tensões 230, 138, 34,5 e 13,8 kV.

Este sistema elétrico é dotado de características específicas: existência de linhas longas e subcompensadas nos níveis de tensão 230 e 138 kV, elevadas distâncias entre os centros de carga e geração, parque de geração constituído de usinas hidro e termoelétricas a gás natural e bagaço de cana. A Figura 4.24 mostra o diagrama unifilar simplificado do sistema. Foram escolhidos ao todo doze pontos para monitoração de afundamentos de tensão, nos níveis de 230, 138, 34.5 e 13.8 kV, distribuídos geograficamente no sistema, conforme pode ser observado na Figura 4.24. Os pontos estão localizados em regiões estratégicas, escolhidas de forma a contemplar algumas características especiais da rede, tais como: topologia, concentração de consumidores, presença de consumidores especiais, proximidade de centros de geração, regiões com elevado nível de curto-circuito e distintas conexões de transformadores. Desta forma, garante-se que estes pontos retratem o comportamento da rede sob o enfoque de afundamentos de tensão.

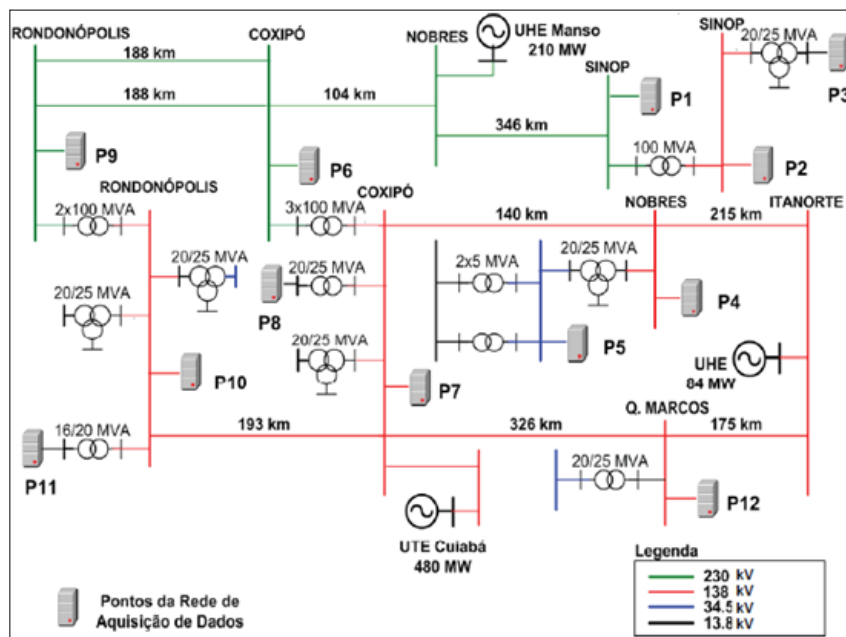


Figura 4.24 - Diagrama Unifilar Simplificado do Sistema CEMAT

Constituído de 93 subestações de transformação, com 2.076 MVA de potência instalada, 6.619 Km de linhas de transmissão em 230 e 138 kV, este sistema ainda possui um parque gerador composto por diversos concessionários, autoprodutores e produtores independentes, com aproximadamente 1.643 MVA de capacidade de geração.

A demanda considerada do sistema é de 690 MW, com fator de carga bastante elevado, devido à existência de grande quantidade de consumidores provenientes de atividades do “agronegócio” tais como: armazenagem e secagem de grãos, irrigação e indústria de transformação. Esses consumidores utilizam a energia em quase todos os períodos da curva de carga, proporcionando um perfil de consumo bastante equilibrado e constante no decorrer da jornada diária operacional.

Na configuração utilizada o sistema de transmissão exporta o excedente da energia produzida na região centro-oeste para a região sudeste do país, sendo as subestações de Rio Verde e Itumbiara, ambas localizadas no Estado de Goiás, os pontos de conexão com o sistema interligado brasileiro [1] [55].

4.4.2. Fatores de Entrada

Os fatores de entrada escolhidos para análise foram quatro:

- Resistência de Falta;
- Número de Falta;
- Tipo de Falta;
- Regime de Carga.

4.4.2.1. Resistência de Falta

Foram considerados cinco patamares de resistência de falta a saber:

- 0 Ω ;
- 5 Ω ;
- 25 Ω ;
- 40 Ω ;

- Inf.

O nível “inf” foi criado pelo motivo exposto em 4.3.1.2.

4.4.2.2. Número de Faltas

A quantidade de faltas por ano está ligada a fatores, principalmente naturais, os quais sofrem alterações consideráveis a cada período de observação da rede.

Para este sistema os níveis escolhidos para este fator foram baseados no estudo realizado em [9], que são:

- 133 faltas por ano;
- 157 faltas por ano;
- 181 faltas por ano.

4.4.2.3. Tipo de Falta

Foram escolhidos três tipos de faltas.

- Monofásica (FT);
- Bifásica (FF);
- Trifásica (FFF).

4.4.2.4. Regime de Carga

Os regimes de carga têm influência direta nas tensões pré-falta utilizadas como ponto de partida para os cálculos de curto-circuito. Os três níveis escolhidos foram:

- Leve;
- Média;
- Pesada.

É importante salientar que, os valores das tensões, em módulo e ângulo, em todas as barras modeladas do sistema foram obtidos após o processamento de estudos de fluxo de potência.

A Tabela 4.9 resume todos os fatores de entrada escolhidos e seus

respectivos níveis.

Tabela 4.9 - Fatores de Entrada para o Caso III

Fator	Número de Níveis	Níveis adotados
Resistência de Falta	5	0, 5, 25, 40Ω e inf
Número de faltas	3	133, 157 e 181 faltas/ano
Tipo de falta	3	Monofásica, Bifásica e Trifásica
Regime de Carga	3	Leve, Média e Pesada

4.4.3. Variável de Saída

A variável de saída escolhida para este Caso III é a mesma do caso II, descrita em 4.3.2, ou seja, SARFI-X considerando os patamares de 30, 50, 70 e 85%.

4.4.4. Análise dos Resultados

A matriz experimental deste projeto de experimentos, para o indicador SARFI-50, é apresentada no Apêndice B (Tabela B. 5).

O arranjo utilizado nesta análise, assim como em 4.3 é o Arranjo Fatorial Completo.

Novamente, é importante salientar que apenas interações de segunda ordem foram consideradas.

O DOE para este caso é composto por:

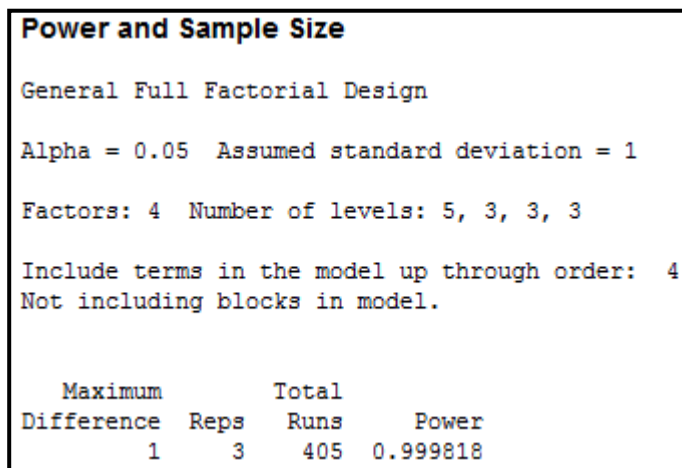
- 3 fatores de entrada com 3 níveis (Regime de Carga, Tipo de Falta e Número de Faltas por ano);
- 1 fator de entrada com 5 níveis (resistência de falta);
- 1 variável de saída (SARFI-X).

Por consequência, o número de experimentos é a combinação de todos os níveis destes fatores, ou seja, 135 experimentos:

$$3^3 \times 5 = 135 \text{ experimentos}$$

Três réplicas foram feitas, fazendo com que a quantidade total de

experimentos seja 405. O número de réplicas escolhido foi o mesmo do estudo feito em 4.3.3. Como o número de fatores deste caso é diferente do caso anterior, foi feito um estudo para se obter o “poder do teste” para três réplicas, admitindo uma máxima diferença de uma unidade. Como pode ser visto na Figura 4.25, tem-se que o poder do teste neste estudo é de 0.9998.



```
Power and Sample Size
General Full Factorial Design
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 1
Factors: 4 Number of levels: 5, 3, 3, 3
Include terms in the model up through order: 4
Not including blocks in model.

Maximum      Total
Difference  Repls  Runs   Power
      1      3    405  0.999818
```

Figura 4.25 – Poder do Teste para o Caso III

Em alguns casos, como pôde-se perceber na Tabela B. 5 (Apêndice B), não foi possível simular a falta. Esses casos ocorreram quando a falta era monofásica e a resistência de falta era “inf”.

A análise dos resultados destas simulações será feita baseada em tabelas onde serão expostos os resultados de *P-values* obtidos dos quadros ANOVA gerados no software MINITAB.

A primeira variável avaliada será a resistência de falta, que como pode ser visto na Tabela 4.10, tem *P-value* igual a zero para todas as barras e para diferentes níveis de SARFI, ou seja, pode-se concluir que esta variável apresenta significância perante o modelo simulado.

Tabela 4.10 - *P-values* da variável Resistência de Falta

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

A título de exemplo a Figura 4.26 mostra os gráficos para esta variável, com base nos resultados obtidos para a Barra 1.

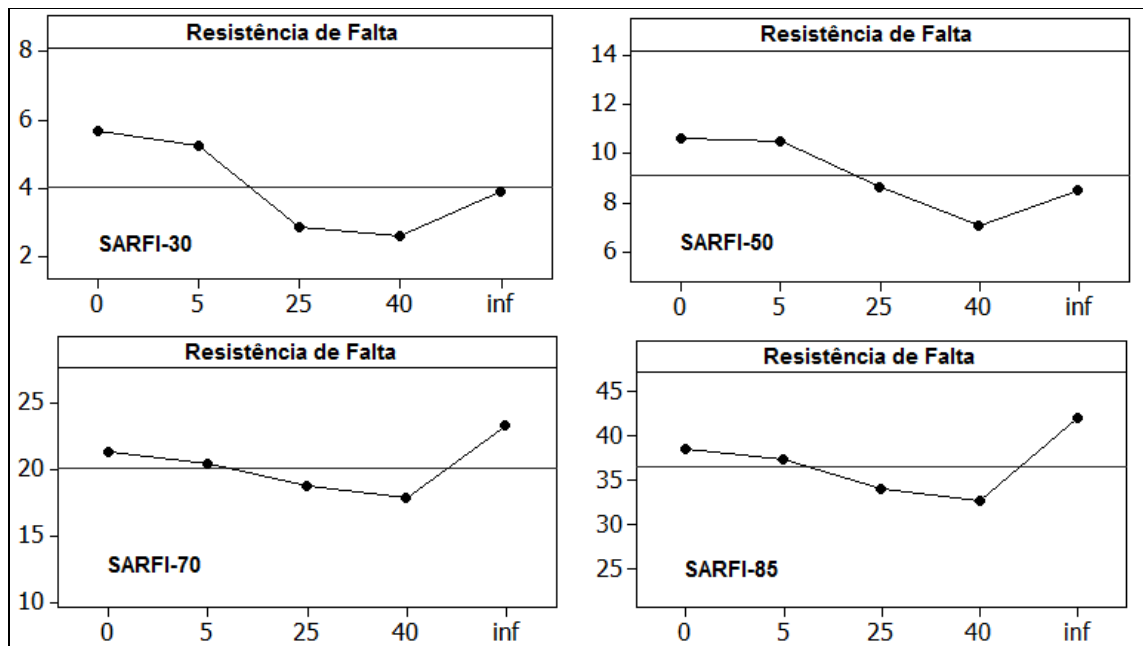


Figura 4.26 - Efeito Individual da Variável Resistência de Falta para alguns índices SARFI na Barra 1

As variáveis “Número de Faltas por Ano” e “Tipo de Falta” apresentaram tabelas semelhantes a da variável resistência de falta, onde todos os valores de *P* foram zero, concluindo-se que essas três variáveis são significantes para o sistema simulado.

A Figura 4.27 e a Figura 4.28 mostram os gráficos dos efeitos individuais desses fatores. A Figura 4.27 mostra o efeito individual do “Tipo de Falta” na Barra 6 e a Figura 4.28 mostra o efeito individual do “Número de Faltas por Ano” na Barra 7

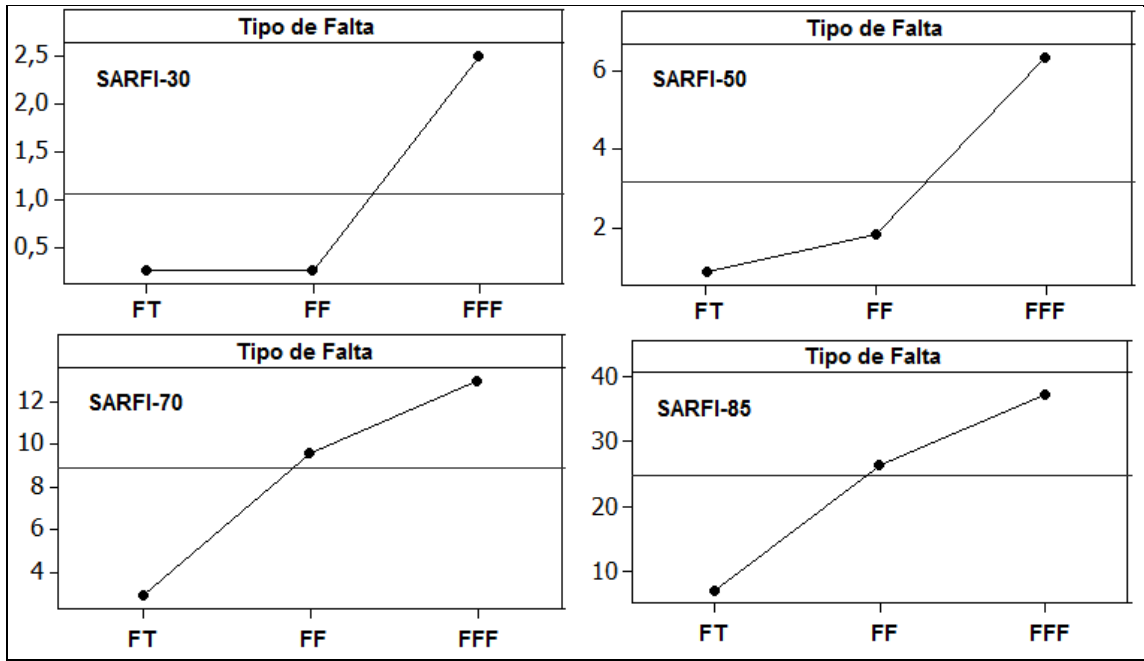


Figura 4.27 - Efeito Individual da Variável Tipo de Falta para alguns índices SARFI na Barra 6

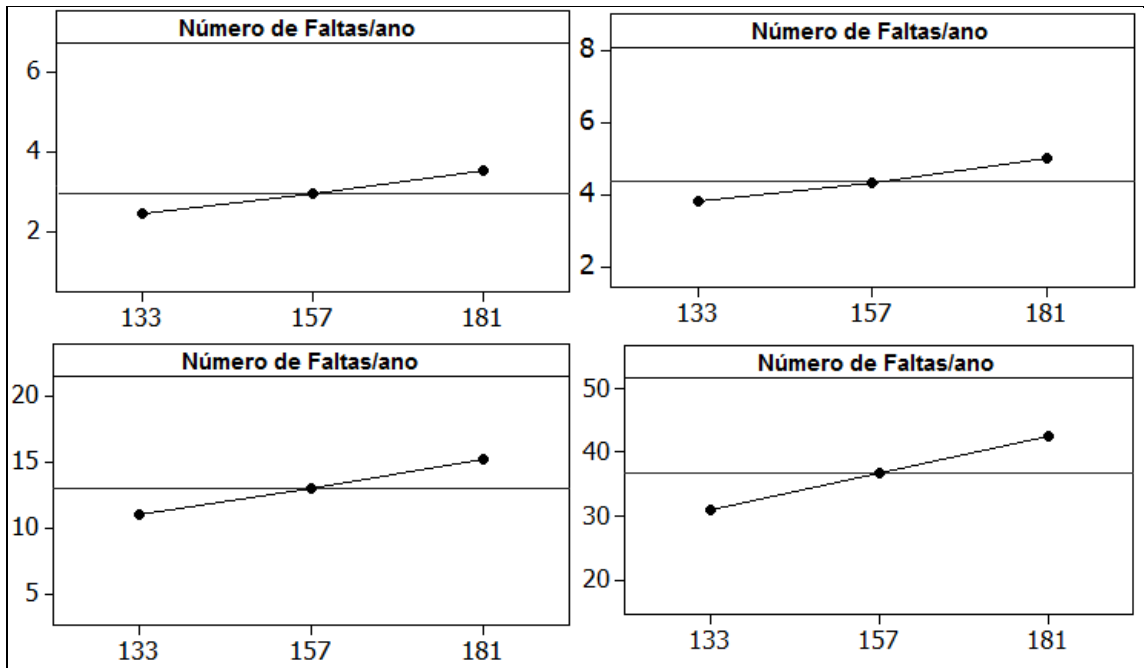


Figura 4.28 - Efeito Individual da Variável Número de Faltas para alguns índices SARFI na Barra 7

Já para “Regime de Carga”, como pode ser visto na Tabela 4.11, é possível notar que:

- Para as barras 2, 4, 5, 10 e 12 e para qualquer valor do SARFI, este fator é significativo;
- Para as barras 1 e 9, o fator deixa de ser significativo para o SARFI-50 e SARFI-30;
- Para a barra 7, ao contrário das barras 1 e 9, o fator não apresenta significância para os indicadores SARFI-85 e SARFI-70;
- Para barra 3 apenas para o SARFI-85, “Regime de carga” é significativo;
- Para barra 6, tem-se que o valor de P é menor que 0,05 (α) para os índices SARFI-85 e SARFI-30;

A Tabela 4.11 apresenta os *P-values* citados.

Tabela 4.11 - *P-values* da variável Regime de Carga

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6
SARFI-85	0.000	0.000	0.017	0.027	0.001	0.009
SARFI-70	0.000	0.015	0.161	0.000	0.000	0.255
SARFI-50	0.469	0.000	0.342	0.001	0.000	0.313
SARFI-30	0.398	0.000	0.412	0.009	0.000	0.011

	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.190	0.560	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.084	0.001	0.005	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.005	0.000	0.156	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.012	0.001	0.296	0.000	0.052	0.000

A análise das interações será conduzida da mesma forma feita para os efeitos individuais.

A primeira interação analisada é “Resistência de Falta x Número de Faltas por Ano”. Pode-se notar pela Tabela 4.12 que em nenhuma barra, para quaisquer indicadores, o valor de P foi menor que o nível de significância, ou seja, esta interação não é significativa.

Tabela 4.12 - *P-values* da Interação “Resistência de Falta x Número de Faltas por Ano”

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6
SARFI-85	0.361	0.842	0.682	0.733	0.682	0.521
SARFI-70	0.155	0.789	0.423	0.458	0.919	0.540
SARFI-50	0.484	0.924	0.207	0.176	0.720	0.204
SARFI-30	0.101	0.990	0.103	0.102	0.971	0.060

	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.590	0.564	0.628	0.567	0.539	0.517
SARFI-70	0.182	0.574	0.443	0.429	0.560	0.405
SARFI-50	0.115	0.208	0.440	0.162	0.356	0.620
SARFI-30	0.311	0.696	0.109	0.727	0.585	0.710

A interação “Número de Faltas x Tipo de Falta” apresentou significância para todas as barras e todos os índices SARFI, como pode ser visto na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - *P-values* da Interação “Número de Faltas x Tipo de Falta”

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
SARFI-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003

Na Tabela 4.14, pode-se notar que “Resistência de Falta x Regime de Carga”, é uma interação que em geral não apresenta significância, exceto nos casos:

- Da barra 8, para os índices SARFI-50 e SARFI-30;
- Das barras 10 e 11, para o SARFI-30;
- E da barra 12 para os SARFI-85 e SARFI-30.

Tabela 4.14 - *P-values* da Interação “Resistência de Falta x Regime de Carga”

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6
SARFI-85	0.963	0.998	0.998	0.999	0.997	0.975
SARFI-70	0.002	1.000	0.901	0.886	1.000	0.980
SARFI-50	0.984	0.999	0.861	0.410	0.840	0.642
SARFI-30	0.992	0.983	0.998	0.489	0.561	0.749

	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.993	0.935	0.998	0.990	0.954	0.003
SARFI-70	0.221	0.319	0.691	0.839	0.571	0.718
SARFI-50	0.112	0.001	0.808	0.289	0.949	0.591
SARFI-30	0.204	0.000	0.960	0.000	0.000	0.003

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 4.15, observa-se que não há significância na interação entre as variáveis “Número de Faltas” e “Regime de Carga”, na maioria dos casos, exceto para:

- SARFI-30, nos casos das barras 2 e 5;
- SARFI-85 nos casos das barras 10 e 12;
- E ainda para o caso da barra 10, nos SARFI-70 e SARFI-50.

Tabela 4.15 - *P-values* da Interação “Número de Faltas x Regime de Carga”

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6
SARFI-85	0.901	0.974	0.999	0.995	0.947	0.990
SARFI-70	0.889	0.997	0.996	0.969	0.998	0.994
SARFI-50	0.998	0.244	0.991	0.975	0.804	0.965
SARFI-30	0.981	0.000	0.983	0.986	0.000	0.992

	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.999	0.989	0.858	0.000	0.590	0.001
SARFI-70	0.974	0.954	0.957	0.047	0.822	0.427
SARFI-50	0.964	0.909	0.994	0.038	0.992	0.970
SARFI-30	0.980	0.980	0.969	0.233	0.998	0.978

A última interação analisada é entre os fatores “Tipo de Falta” e “Regime de Carga”. A Tabela 4.16 apresenta os resultados, onde pode-se notar significância nas barras 8, 10, 11 e 12, para qualquer um dos SARFI analisados.

As barras 2 e 5 apresentam significância da interação apenas para o SARFI-

50 e SARFI-30. Nas barras 1 e 9 esta interação é significativa para os indicadores SARFI-50 e SARFI-30.

Para as barras 4 e 7 apenas para o SARFI-50 houve um valor de P menor que 5%.

Na barra 6 apenas o SARFI-50 apresenta significância e para finalizar a barra 3 não apresenta nenhum valor significativo.

Tabela 4.16 - *P-values* da Interação “Tipo de Falta x Regime de Carga”

	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6
SARFI-85	0.003	0.997	0.170	0.514	0.735	0.140
SARFI-70	0.017	0.891	0.414	0.100	0.266	0.695
SARFI-50	0.965	0.000	0.462	0.008	0.000	0.166
SARFI-30	0.979	0.000	0.994	0.295	0.000	0.040

	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
SARFI-85	0.368	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
SARFI-70	0.353	0.005	0.024	0.000	0.000	0.000
SARFI-50	0.008	0.000	0.434	0.000	0.016	0.000
SARFI-30	0.638	0.000	0.521	0.000	0.000	0.000

A Figura 4.29 mostra graficamente as interações entre os diversos fatores de entrada, para a barra 1, considerando o indicador SARFI-85.

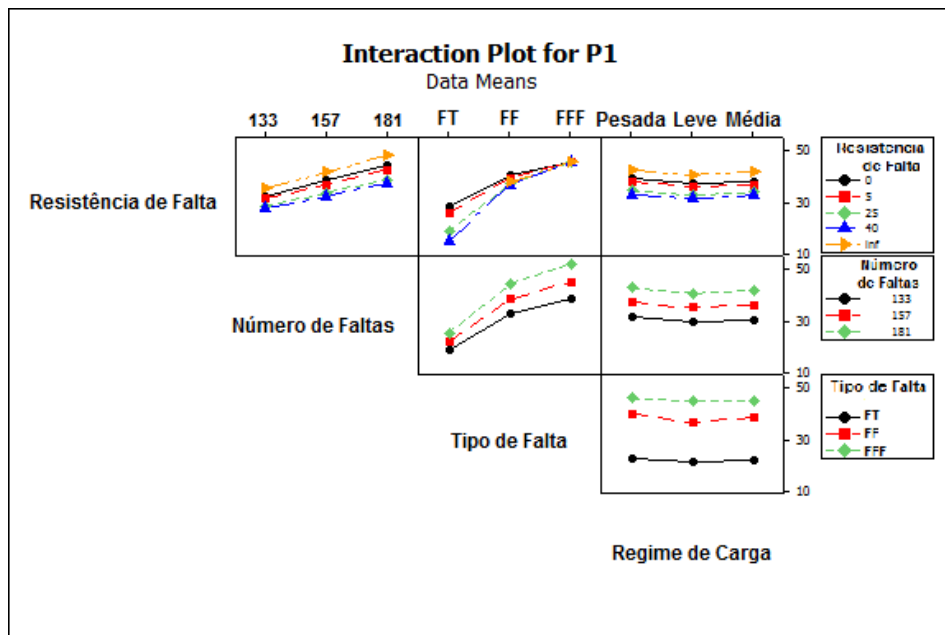


Figura 4.29 - Efeito das Interações na Barra 1 para o SARFI-85

As conclusões obtidas para o Caso III são semelhantes ao do caso II, tais como a necessidade de se considerar as variáveis resistência de falta, tipo de falta e o número de faltas por ano. Pôde-se notar também que as faltas trifásicas, são as responsáveis pelos maiores valores do indicador SARFI-X, conforme esperado.

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados de medição (Caso I), pode-se concluir que faltas trifásicas ocorridas em 138 kV são as responsáveis pelos maiores valores de energia não suprida. As descargas atmosféricas são a causa principal de energia não suprida (ENS), sobretudo aquelas no período da tarde/noite nas estações da primavera e verão.

Para os dois sistemas simulados verificou-se que resistência de falta, tipo de falta e o número de faltas por ano são variáveis que de fato devem ser consideradas no processo de simulação, pois apresentaram significância em todos os casos analisados.

Pôde-se concluir também que, como no caso da medição, as faltas trifásicas são as mais severas conforme esperado.

O fator regime de carga, avaliado no caso III, não possibilitou uma conclusão mais genérica. Isto pode ter ocorrido devido a localização distinta de cada uma das barras. Por exemplo, uma barra próxima da geração pode apresentar comportamento diferente de uma outra localizada longe de unidades geradoras. Nestes casos, a análise de sensibilidade deve ser realizada individualmente por barra.

5. CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES

Devido à aleatoriedade dos afundamentos de tensão, as técnicas de simulação tornam-se uma boa alternativa para evitar longos períodos de medição. Supondo a ocorrência de 1 afundamento de tensão por mês numa determinada barra, demanda-se cerca de 30 anos de monitoração tendo como objetivo obter um grau de confiança de 90% nos resultados.

Dentre as técnicas de simulação de afundamentos de tensão destaca-se o método de simulação de Monte Carlo, utilizado neste trabalho, que permite sortear as diversas variáveis de entrada, destacando-se: tipo de falta, resistência de falta, tensão pré-falta e número de faltas por ano.

A análise de sensibilidade dos parâmetros de afundamentos de tensão em relação aos fatores de entrada tem sido realizada utilizando-se da técnica de criação de cenários, onde ocorre a análise individual, através da variação de apenas uma variável por vez, desprezando o efeito de interação entre elas.

Neste contexto, este trabalho aplica de forma inédita a técnica denominada DOE na área de qualidade da energia, o que permite identificar os fatores de influência mais importantes e suas interações nos processos de simulação de afundamentos de tensão.

As principais conclusões obtidas por este trabalho, analisando individualmente cada um dos casos testes utilizados são:

Caso I – Neste caso foi analisado um período de medição de 4 anos no sistema da CEMIG, utilizando como variável de saída a ENS e pôde-se perceber que os fatores nível de tensão e tipo de falta apresentaram significância. As interações significativas foram o nível de tensão/tipo de falta e tipo de falta/estação do ano. Em uma segunda análise, onde a variável resistência de falta foi descartada por apresentar o maior *P-value* entre os fatores individuais, foi visto que os fatores individuais nível de tensão e tipo de falta e a interação nível de tensão/tipo de falta continuaram significativas e a interação nível de tensão/estação do ano que não apresentou significância inicialmente passa a ser significativa. Nas

duas análises foi possível constatar que os maiores valores de ENS foram encontrados para faltas trifásicas ocorridas na transmissão (230, 345 ou 500 kV) devido a ocorrência de descargas atmosféricas, na primavera ou verão e no período do dia entre 12:00 e 23:59h.

Caso II – Novamente foi utilizado o sistema CEMIG, mas ao contrário do Caso I, esta análise é baseada em dados de simulação. Para este sistema e as barras monitoradas e tomando como variável de saída o indicador SARFI-X, pode-se concluir que não se pode descartar nenhuma das variáveis avaliadas: resistência de falta, tipo de falta e o número de faltas por ano. Percebe-se também que quanto maior o número de faltas por ano, maiores são os indicadores SARFI-X, o que já era esperado. As faltas trifásicas são as responsáveis pela ocorrência dos maiores valores dos indicadores SARFI-X.

Caso III – Este terceiro caso utiliza-se de dados advindos do processo de simulação do sistema de transmissão da CEMAT. As conclusões obtidas para este caso são semelhantes ao do Caso II, tais como a verificação da necessidade de se considerar as variáveis resistência de falta, tipo de falta e número de faltas por ano no processo de simulação. Pôde-se notar também que as faltas trifásicas são as responsáveis pelos maiores valores do indicador SARFI-X, conforme esperado.

Após a análise dos três casos, duas observações devem ser feitas. A primeira é em relação ao fator regime de carga, avaliado no Caso II que não possibilitou uma conclusão genérica, explicado pelo fato da localização distinta de cada uma das barras. Por exemplo, uma barra próxima da geração pode apresentar comportamento diferente de uma outra localizada longe de unidades geradoras, concluindo então que nestes casos, a análise de sensibilidade deve ser realizada individualmente por barra e não de forma conjunta.

A segunda observação é em relação a incongruência observada entre o Caso I e Caso II em relação ao fator resistência de falta, lembrando que ambos os casos utilizaram o sistema CEMIG. No primeiro caso, a resistência de falta foi um fator que não apresentou significância, sendo que no segundo caso este fator foi significativo. Isto pode ser explicado devido a escolha distinta da variável de saída, no primeiro caso a ENS e no segundo o SARFI-X.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando dar continuidade ao trabalho realizado nesta dissertação, bem como às pesquisas acerca do tema, afundamentos de tensão, são apresentadas na sequência algumas sugestões para futuros trabalhos:

- Simulação e aplicação do DOE em outros sistemas de transmissão com características diferentes do sistema da CEMIG e da CEMAT;
- Aplicação do DOE realizando simulações em sistemas de distribuição;
- Avaliação do fator posição de falta, pois sabe-se que é uma importante variável de influência na análise de afundamentos de tensão, mas a investigação da sua significância não fez parte do escopo deste trabalho;
- Investigar a aplicação do MSR tanto em sistemas de transmissão como distribuição.

5.3. PUBLICAÇÕES

As publicações geradas a partir da elaboração desta dissertação estão indicadas abaixo.

- Artigo Publicado:

Nunes Júnior, M. A. S.; Oliveira, T. C; Carvalho Filho, J. M e Oliveira, R. R.; “*Variáveis de Influência nas Perdas de Carga por Afundamentos de Tensão*”, IX Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica – CBQEE. Cuiabá – MT, 31 de julho a 03 de agosto de 2011.

- Artigo Aceito:

Nunes Júnior, M. A. S.; Oliveira, T. C; Carvalho Filho, J. M e Abreu, J. P. G.; “*Design of Experiments for Sensitivity Analysis of Voltage Sags Variables*”, 15th IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power – ICHQP 2012, Hong Kong, 17 – 20 de junho de 2012.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NOVAES, É. G. C. **Validação de Ferramentas de Simulação de Fundamentos de Tensão através de Medições**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2007. (Dissertação de Mestrado).
2. BOLLEN, M. H. J. **Understanding Power Quality Problems-Voltage Sags and Interruptions**. New York: IEEE Press Series on Power Engineering, 1999.
3. BOLLEN, M. H. J.; QADER, M. R.; ALLAN, R. N. Stochastic and Statistical Assessment of Voltage Dips. **IEEE Colloquium on Tools and Techniques for Dealing with Uncertainty (Digest No. 1998/200)**, p. 5/1-5/4, 1998.
4. ALVES, M. F.; FONSECA, V. R. C. **Voltage sag stochastic estimate**. Conference Record of the 2001 Thirty-Sixth IAS Annual Meeting - IEEE Industry Applications Conference. [S.l.]: [s.n.]. 2001. p. 1665-1669.
5. OLGUIN, G.; KARLSSON, D.; C., L. R. **Stochastic Assessment of Voltage Dips (Sags): The Method of Fault Positions versus a Monte Carlo Simulation Approach**. Power Tech Conference Proceedings. Bologna: [s.n.]. 2003.
6. MOSCHAKIS, M.; HATZIARGYRIOU, N. D. Analytical Calculation and Stochastic Assessment of Voltage Sags. **IEEE Transactions on Power Delivery**, July 2006. 1727-1734.
7. DE OLIVEIRA, T. C. et al. **Validation of Voltage Sags Short Term Measurements Based on Predicted Stochastic Simulation**. Proceedings of the 10th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems. Singapura: [s.n.]. 2008. p. 1 - 8.
8. DE OLIVEIRA, T. C. et al. Voltage Sags: Validating Short-Term Monitoring by Using Long-Term Stochastic Simulation. **Power Delivery, IEEE Transactions on Volume: 24**, 2009. 1344 - 1351.
9. DE OLIVEIRA, T. C. **Afundamentos de Tensão: Avaliação estatística de resultados de medição com base em simulações**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2008. (Tese de Doutorado).
10. PROCEDIMENTOS DE REDE - ONS. **Submódulo 25.6 (Indicadores de qualidade de energia elétrica – frequência e tensão)**. Operador Nacional do Sistema - Resolução 395/09. Brasil. 2009.
11. PRODIST - ANEEL. **Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica**. Agencia Nacional de Energia Elétrica - Resolução Normativa 469/2011. Brasil. 02/2012.
12. CARVALHO FILHO, J. M. **Uma Contribuição à Avaliação do Atendimento a Consumidores com cargas Sensíveis - Proposta de Novos Indicadores**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Itajubá-MG. 2000.

13. SABIN, D.; GREBE, T. E.; SUNDARAM, A. **RMS Voltage Variation Statistical Analysis for a Survey of Distribution System Power Quality Performance.** [S.l.]. May, 2001.
14. LEBORGNE, R. C. **Uma Contribuição à Caracterização da Sensibilidade de Processos Industriais frente a Afundamento de Tensão.** Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2003.
15. IEEE. **IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.** IEEE Standard 1159. [S.l.]. 2009.
16. BOLLEN, M. H. J. **The Influence of Motor Reacceleration on Voltage sags.** IEEE Transactions on Industry Applications. [S.l.]. May/June 1994.
17. AYELLO, F. P.; CARVALHO FILHO, J. M.; ET AL. **Influência do Sistema de Proteção na Qualidade de Energia.** III CONLADIS - Congresso Latino Americano de Distribuição de Energia Elétrica. USP - SP: [s.n.]. 1999.
18. CONRAD, L.; LITTLE, K.; GRIGG, C. Predicting and Preventing Problems Associated with Remote Fault - Clearing Voltage Dips. **IEEE Transactions on Industry Applications**, Jan/Feb 1991. 167-172.
19. ORTMEYER, T. H.; HIYAMA, T.; SALEHFAR, H. Power Quality Effects of Distribution System Faults. **Electrical Power & Energy Systems**, 1996. 323-329.
20. DE OLIVEIRA, T. C. et al. **Analysis of the relation between voltage sags severity and fault characteristics.** Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010 14th International Conference on. [S.l.]: [s.n.]. 2010.
21. DUNGAN, R. C. et al. **Electrical power system quality.** 2^a. ed. New York: MacGraw-Hill, v. I, 2003.
22. MILANOVIC, J. V.; GNATIV, R.; CHOW, K. W. M. **The Influence of loading conditions and network topology on voltage sags.** Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power. [S.l.]: [s.n.]. Oct. 2000. p. 757-762.
23. BOLLEN, M. H. J. **Characterization of Voltage Sags Experienced by Three-Phase Adjustable-Speed Drive.** IEEE Transactions on Industry. [S.l.]: [s.n.]. October 1997. p. 1667-1671.
24. PREPARED BY VOLTAGE SAG INDICES TASK FORCE OF THE TRANSMISSION AND DISTRIBUTION COMMITTEE. **IEEE P1564/D13 - Draft Guide for Voltage Sag Indices.** IEEE. New York. 2010.
25. NRS-048. **Electricity Supply - Quality of supply standards.** NRS-048. [S.l.]. 2010.
26. XU, W. **Component Modeling Issues for Power Quality Assessment.** IEEE Power Engineering Review. [S.l.]. Novembro, 2001.
27. BOLLEN, M. H. J. Understanding Power Quality Problems. **IEEE Press**, 2000.

28. SIKES, D. L. Comparison between power quality monitoring results and predicted stochastic assessment of voltage sags – “real” reliability for the customer. **IEEE Transactions on Industry Applications**, March/April 2000.
29. OLGUIN, G. **Voltage dip (sag) estimation in power system based on stochastic assessment and optimal monitoring**. Chalmers Univ. of Tech. Gothenburg, Sweden. 2005. (Tese de Doutorado).
30. FISHMAN, G. S. **Monte Carlo: Concepts, Algorithms and Applications**. [S.l.]: Springer-Verlag New York, 1995.
31. MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 5th. ed. New York: John Wiley & Sons, 2009.
32. COLOMBARI, R. R. **Aplicação de Delineamento de Experimentos para o Processo de Solda à Projecção**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2004.
33. CHEW, V. **Experimental designs in industry**. New York: John Wiley & Sons, 1957.
34. SANCHES, A. L. et al. Análise de Sensibilidade na Avaliação de Investimentos por "DOE" Simulado. **SEGet - Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, Brasil, 20-22 Outubro 2008.
35. REY, L. **Planejar e Redigir Trabalhos Científicos**. 3rd. ed. São Paulo: São Paulo, 2011.
36. DEVOR, R. E.; CHANG, T.; SUTHERLAND, J. W. **Statistical Quality Design and Control - Contemporary Concepts and Methods**. New Jersey: Prentice Hall, 1992.
37. BARKER, T. B. **Quality by Experimental Design**. New York: Marcel Dekker, 1985.
38. LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Estatística - Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998.
39. GALDÁMEZ, E. V. C. **Aplicação das Técnicas de Planejamento e Análise de Experimentos na Melhoria da Qualidade de um Processo de Fabricação de Produtos Plásticos**. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 121. 2002.
40. MINITAB INC. **Minitab Statistical Software, Release 16.1.0.0**. State College. USA. 2010.
41. MYERS, R. H.; KHURY, A. I.; CARTER JR, W. H. **Response Surface Methodology**. Technometrics. [S.l.], p. 137-157. 1989.
42. GUEDES, T. A. **Procedimentos de Otimização no Planejamento e Controle da Qualidade de Produtos e Processos**. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, SC, p. 215. 1996.
43. BOX, G. E. P.; HUNTER, J. S. **Experimental Design for the Exploration and**

- Exploitation of Response Surface.** New York: John Wiley & Sons, 1957.
44. COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental Designs.** 2nd. ed. London: John Wiley, 1957.
45. REDDY, P. B. S.; NISHINA, K.; BABU, S. A. **Taguchi's Methodology for multiresponse optimization; a case study in the Indian plastics industry.** International Journal of Quality & Reliability Management. [S.l.]: [s.n.]. 1998. p. 646-668.
46. TAGUCHI, G. **Taguchi on robust technology development: bringing quality upstream by Genichi Taguchi.** New York: ASME, 1993.
47. RIBEIRO, J. L. D.; FOGLIATTO, F. S.; T., C. C. S. **Step for Multiresponse Optimization in Product Development.** Building competencies for International Manufacturing: Perspectives for Developing Countries. Porto Alegre: [s.n.]. 2000. p. 1-8.
48. PAIVA, A. P. **Estudo da Minimização de Erro nas Medições de Concentração de Emulsões por Tritação Karl-Fischer utilizando-se Projeto de Experimentos.** Universidade Federal de Itajubá. Itajubá-MG. 2004. (Dissertação de Mestrado).
49. PASQUINO, N.; DARCO, M.; LICCARDO, M. **ANOVA-Based Approach for DAC Diagnostics.** IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT. [S.l.]. 2012.
50. GARDI, M. et al. **A Factorial Experiment to characterize the Small-Caliber Launcher.** IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE. [S.l.]. 2012.
51. CURRY, M. D.; REGISTER, A. H. **An Approach for Parametric and Statistical Comparisons of Similar Sensor Models.** IEEE. [S.l.]. 2012.
52. LEE, S.-K. et al. **Stator and Rotor Shape Designs of Interior Permanent Magnet Type Brushless DC Motor for Reducing Torque Fluctuation.** IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS. [S.l.]. 2012.
53. THE MATHWORKS, I. **Matlab, Version 7.6.0.324 (R2008a).** Natick, USA. 2008.
54. CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **ANAFAS Programa de Análise de Falhas Simultâneas, versão 4.4.** Rio de Janeiro. 2007.
55. SILVA, J. A. M. **Análise comparativa de resultados de simulação de afundamentos de tensão utilizando programas de curto-circuito e de transitórios eletromagnéticos.** Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI. Itajubá. 2004. (Dissertação de Mestrado).

APÊNDICE A

Exemplo de cálculo do Quadro ANOVA

Considerando que a matriz de experimentos apresentada na Tabela A. 1, gerada pelo MINITAB, possui as seguintes características:

- Dois fatores: Temperatura e Pressão
- Cada um dos dois fatores possuem dois níveis: Temperatura (40 e 60°C) e Pressão (25 e 35 PSI).
- Foram realizadas quatro réplicas;
- A coluna Y é a coluna que apresenta o resultado das simulações.

Tabela A. 1 – Matriz experimental do experimento proposto

Ordem Padrão	Temperatura (°C)	Pressão (PSI)	Y (Resposta)
1	40	25	130
2	60	25	150
3	40	35	34
4	60	35	136
5	40	25	155
6	60	25	188
7	40	35	40
8	60	35	122
9	40	25	74
10	60	25	159
11	40	35	80
12	60	35	106
13	40	25	180
14	60	25	126
15	40	35	75
16	60	35	115

Para facilitar os cálculos, a Tabela A. 2 agrupa as réplicas deste experimento. Pode-se notar que os números em vermelho são resultados da mesma combinação (Temperatura – 40°C e Pressão – 25 PSI). Como foram analisadas quatro réplicas, têm-se quatro resultados para esta combinação. As outras combinações seguem o mesmo procedimento adotado anteriormente.

Tabela A. 2 – Matriz experimental agrupando-se as réplicas

Temperatura	Pressão						Σ
	25 PSI			35 PSI			
40°C	130	155	539	34	40	229	768
	74	180		80	75		
60°C	150	188	623	136	122	479	1102
	159	126		106	115		
Σ	1162			708			1870

A Tabela A. 3 corresponde a Tabela A. 2, porém agora ao invés de valores, ela foi construída com o nome das variáveis, uma vez que as fórmulas são descritas genericamente.

Tabela A. 3 – Matriz experimental agrupando-se as réplicas genéricas

Temperatura	Pressão						Σ
	B ₁			B ₂			
A ₁	y _{11,1}	y _{11,2}	Σ _{i=1ⁿ} y _{11,i}	y _{12,1}	y _{12,2}	Σ _{i=1ⁿ} y _{12,i}	y _{sl1}
	y _{11,3}	y _{11,4}		y _{12,3}	y _{12,4}		
A ₂	y _{21,1}	y _{21,2}	Σ _{i=1ⁿ} y _{21,i}	y _{22,1}	y _{22,2}	Σ _{i=1ⁿ} y _{22,i}	y _{sl2}
	y _{21,3}	y _{21,4}		y _{22,3}	y _{22,4}		
Σ	y _{sc1}			y _{sc2}			y _{st}

Comparando-se as Tabelas Tabela A. 2 eTabela A. 3, obtém-se (A.1) a (A.5):

$$y_{sc1} = \sum_{i=1}^n y_{11,i} + \sum_{i=1}^n y_{21,i} \tag{A.1}$$

$$y_{sc2} = \sum_{i=1}^n y_{12,i} + \sum_{i=1}^n y_{22,i} \tag{A.2}$$

$$y_{sl1} = \sum_{i=1}^n y_{11,i} + \sum_{i=1}^n y_{12,i} \tag{A.3}$$

$$y_{sl2} = \sum_{i=1}^n y_{21,i} + \sum_{i=1}^n y_{22,i} \tag{A.4}$$

$$y_{st} = y_{sc1} + y_{sc2} = y_{sl1} + y_{sl2} \tag{A.5}$$

De posse destas variáveis calcula-se as somas dos quadrados dos efeitos individuais (SS_A e SS_B), da interação (SS_{AB}), do total (SS_T) e do erro (SS_E) de acordo com as equações (A.6) a (A.10)

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{st}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} \quad (\text{A.6})$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^b y_{sc}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} \quad (\text{A.7})$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{scl}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} \quad (\text{A.8})$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} \quad (\text{A.9})$$

$$S_E = SS_T - SS_{AB} - (SS_A + SS_B) \quad S_E = SS_T - SS_{AB} - (SS_A + SS_B) \quad (\text{A.10})$$

Portanto, os resultados obtidos para o caso exemplo, são:

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{st}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} = \frac{1}{2 \times 4} [(768)^2 + (1102)^2] - \frac{1870^2}{2 \times 2 \times 4} = 6972,25$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^b y_{sc}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} = \frac{1}{2 \times 4} [(1162)^2 + (708)^2] - \frac{1870^2}{2 \times 2 \times 4} = 12882,25$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{scl}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} - (SS_A + SS_B)$$

$$= \frac{1}{4} [(539)^2 + (623)^2 + (229)^2 + (479)^2] - 218556,25 - 19854,5 = 1722,25$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{st}^2}{abn} = [(130)^2 + (155)^2 + (74)^2 + \dots + (115)^2] - 218556,25 = 31867,75$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - (SS_A + SS_B) = 10291,25$$

A partir da Tabela A. 4 é possível facilmente calcular os outros termos facilmente, uma vez que já se obteve as somas dos quadrados. A Tabela A. 5 apresenta os resultados obtidos.

Tabela A. 4 – Quadro ANOVA [31]

Fonte	Graus de Liberdade (DF)	Soma dos Quadrados (SS)	Média Quadrática (MS)	F
Fator A	$a-1$	SS_A	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
Fator B	$b-1$	SS_B	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interação AB	$(a-1)(b-1)$	SS_{AB}	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Erro	$ab(n-1)$	SS_E	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Total	$abn-1$	SS_T		

Onde:

- ✓ a é a quantidade de níveis do fator A;
- ✓ b é a quantidade de níveis do fator B;
- ✓ n é o número de réplicas;

Tabela A. 5 – Quadro ANOVA calculado

Fonte	Graus de Liberdade (DF)	Soma dos Quadrados (SS)	Média Quadrática (MS)	F
Fator A	1	6972,25	$MS_A = \frac{6972,25}{1} = 6972,25$	$F_0 = 8,13$
Fator B	1	12882,25	$MS_B = \frac{12882,25}{1} = 12882,25$	$F_0 = 15,02$
Interação AB	1	1722,25	$MS_{AB} = \frac{1722,25}{1 \times 1} = 1722,25$	$F_0 = 2,01$
Erro	12	10291,25	$MS_E = \frac{10291,25}{2 \times 2 \times 3} = 857,6$	
Total	15	31867,75		

Através do *software* MINITAB, utilizando-se os mesmo dados deste projeto de experimentos, obtém-se a Tabela A. 6 gerada pelo *software*. Comparando-se as Tabelas A.5 e A.6, pode-se notar que os resultados são iguais.

Tabela A. 6 – Quadro ANOVA obtido através do MINITAB

Analysis of Variance for Y (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperatura °C	1	6972.2	6972.2	6972.2	8.13	0.015
Pressão (PSI)	1	12882.2	12882.2	12882.2	15.02	0.002
Temperatura °C*Pressão (PSI)	1	1722.2	1722.2	1722.2	2.01	0.182
Residual Error	12	10291.0	10291.0	857.6		
Pure Error	12	10291.0	10291.0	857.6		
Total	15	31867.7				

Pode-se observar, na última coluna da Tabela A. 6, os valores de P para os efeitos individuais e para a interação entre o fator Temperatura e o fator Pressão. Tais valores são utilizados para avaliar as significâncias tanto dos efeitos individuais quanto de suas interações. Para este exemplo, admitindo o nível de significância (α) igual a 0,05, tem-se que os fatores de entrada Temperatura e Pressão são efeitos significativos, visto que os *P-values* apresentados correspondentes são menores que α . Já a interação entre eles não apresentou

significância, pois seu *P-value* foi maior que 0,05.

Nota: Este exemplo foi tirado das notas de aula do Professor Anderson Paulo de Paiva, quando este ministrou a disciplina de Projeto e Análise de Experimentos, no curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá, no ano de 2010.

APÊNDICE B

Matriz Experimental para o Caso I

Tabela B. 1 - Matriz Experimental para o caso I – Variável de Saída ENS (Energia não suprida)

StdOrder	RunOrder	Nível de Tensão (kV)	Tipo da Falta	Causa da Falta	Hora do dia	Estação do ano	Resistencia de Falta (ohms)	Media de ENS
55	1	230/345/500	Monofásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	4.591
65	2	230/345/500	Bifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	*
69	3	230/345/500	Bifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	72.801
59	4	230/345/500	Monofásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	0.195
61	5	230/345/500	Monofásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	8.795
54	6	230/345/500	Monofásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	0.000
34	7	138	Trifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	*
30	8	138	Bifásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	0.000
79	9	230/345/500	Bifásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	19.877
58	10	230/345/500	Monofásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	12.091
22	11	138	Bifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	3.539
50	12	230/345/500	Monofásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	0.000
4	13	138	Monofásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	*
91	14	230/345/500	Trifásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	*
12	15	138	Monofásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	*
51	16	230/345/500	Monofásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	0.000
33	17	138	Trifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	0.450
74	18	230/345/500	Bifásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	0.000
3	19	138	Monofásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	0.000
43	20	138	Trifásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	14.450
11	21	138	Monofásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	4.157
40	22	138	Trifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	*
89	23	230/345/500	Trifásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	30.600
78	24	230/345/500	Bifásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	14.467

82	25	230/345/500	Trifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	*
9	26	138	Monofásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	20.527
32	27	138	Bifásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	0.000
60	28	230/345/500	Monofásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	0.227
70	29	230/345/500	Bifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	0.000
64	30	230/345/500	Monofásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	0.451
5	31	138	Monofásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	1.317
63	32	230/345/500	Monofásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	4.747
47	33	138	Trifásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	0.600
53	34	230/345/500	Monofásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	1.671
81	35	230/345/500	Trifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	91.800
76	36	230/345/500	Bifásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	*
8	37	138	Monofásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	0.000
39	38	138	Trifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	20.967
37	39	138	Trifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	33.900
94	40	230/345/500	Trifásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	*
52	41	230/345/500	Monofásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	0.000
17	42	138	Bifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	0.000
77	43	230/345/500	Bifásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	1.778
28	44	138	Bifásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	*
31	45	138	Bifásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	31.438
93	46	230/345/500	Trifásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	53.878
36	47	138	Trifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	*
66	48	230/345/500	Bifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	*
15	49	138	Monofásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	1.222
38	50	138	Trifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	15.942
87	51	230/345/500	Trifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	4.500
72	52	230/345/500	Bifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	*
24	53	138	Bifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	*
25	54	138	Bifásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	1.050
19	55	138	Bifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	*
95	56	230/345/500	Trifásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	42.708
27	57	138	Bifásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	39.211
26	58	138	Bifásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	6.417
21	59	138	Bifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	7.408
85	60	230/345/500	Trifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	107.545

46	61	138	Trifásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	0.000
23	62	138	Bifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	25.827
1	63	138	Monofásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	1.656
84	64	230/345/500	Trifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	*
75	65	230/345/500	Bifásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	4.584
13	66	138	Monofásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	5.729
41	67	138	Trifásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	*
56	68	230/345/500	Monofásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	0.000
42	69	138	Trifásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	*
83	70	230/345/500	Trifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	*
29	71	138	Bifásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	15.292
14	72	138	Monofásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	0.000
71	73	230/345/500	Bifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	*
96	74	230/345/500	Trifásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	*
48	75	138	Trifásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	*
2	76	138	Monofásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	0.000
44	77	138	Trifásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	2.567
73	78	230/345/500	Bifásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	15.767
68	79	230/345/500	Bifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	*
57	80	230/345/500	Monofásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	0.000
92	81	230/345/500	Trifásico	Outras	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	*
35	82	138	Trifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	14.450
20	83	138	Bifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	>5	*
90	84	230/345/500	Trifásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	*
80	85	230/345/500	Bifásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	25.517
6	86	138	Monofásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	2.347
49	87	230/345/500	Monofásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	<=5	0.000
62	88	230/345/500	Monofásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	2.456
45	89	138	Trifásico	Outras	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	<=5	32.576
7	90	138	Monofásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	<=5	1.214
18	91	138	Bifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	0.000
10	92	138	Monofásico	Outras	00:00 até 11:59	Primavera/Verão	>5	*
88	93	230/345/500	Trifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	*
67	94	230/345/500	Bifásico	Descarga atmosférica	00:00 até 11:59	Outono/Inverno	<=5	8.800
16	95	138	Monofásico	Outras	12:00 até 23:59	Outono/Inverno	>5	0.787
86	96	230/345/500	Trifásico	Descarga atmosférica	12:00 até 23:59	Primavera/Verão	>5	122.867

Matriz Experimental para o Caso II – Variável de saída SARFI-85 – BARRA 1 a BARRA 20

Tabela B. 2 – Matriz de experimentos Caso II – SARFI-85 – BARRA 1 a BARRA 20

Ordem Padrão	Faltas por Ano	Tipo de Falta	Resistencia de Falta	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12	BARRA 13	BARRA 14	BARRA 15	BARRA 16	BARRA 17	BARRA 18	BARRA 19	BARRA 20
1	205	Monofásica	0	18.48	18.01	14.31	6.29	14.75	20.41	36.85	34.89	1.93	19.98	33.99	52.94	16.45	40.84	23.2	53.33	26.41	12.06	19.55	52.39
2	205	Monofásica	5	15.1	14.84	11.23	5.55	14.17	19.78	29.31	27.56	1.05	17.19	27.12	39.97	13.33	36.03	19.6	38.33	23.25	7.87	17.14	35
3	205	Monofásica	25	1.65	1.54	1.63	1.4	10	7.08	16.71	16	0	5.06	12.46	10.55	2.01	9.93	9.29	8.37	6.09	1	6.97	18.98
4	205	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	205	Bifásica	0	33.15	32.67	29.82	13.24	26.24	25.88	63.66	59.18	5.82	28.42	65.72	86.39	31.65	49.93	36.95	91.11	45.61	28.13	34.48	78.17
6	205	Bifásica	5	32.94	32.8	29.88	13.45	26.41	26.01	62.53	58.45	5.24	28.57	59.72	81.08	31.56	48.54	37.59	89.88	45.85	26.7	33.58	76.17
7	205	Bifásica	25	31.67	31.41	28.51	12.35	23.96	25.22	57.95	54.7	4.55	28.02	56.13	78.79	30.5	47.95	35.7	82.31	43.77	24.76	32.73	71.74
8	205	Bifásica	inf	30.48	30.11	26.17	9.62	20.36	24.1	55.01	50.14	5.05	26.08	53.01	77.43	29.48	47.38	32.93	81.04	39.65	24.76	32.75	69.11
9	205	Trifásica	0	42.79	42.02	38.4	21.74	29.21	31.69	84.84	79.52	11.6	32.59	75.55	102.39	40.37	60.98	46.73	113.16	56.26	35.34	41.87	99.18
10	205	Trifásica	5	42.79	42.02	38.4	21.74	29.21	31.69	84.84	79.52	11.6	32.59	75.55	102.39	40.37	60.98	46.73	113.16	56.26	35.34	41.87	99.18
11	205	Trifásica	25	42.79	42.02	38.4	21.74	29.21	31.69	84.84	79.52	11.6	32.59	75.55	102.39	40.37	60.98	46.73	113.16	56.26	35.34	41.87	99.18
12	205	Trifásica	inf	42.79	42.02	38.4	21.74	29.21	31.69	84.84	79.52	11.6	32.59	75.55	102.39	40.37	60.98	46.73	113.16	56.26	35.34	41.87	99.18
13	235	Monofásica	0	21.19	20.7	16.35	7.27	17.07	23.42	42.42	40.23	2.16	22.89	39.26	60.75	18.86	46.97	26.61	61.27	30.65	13.82	22.39	60.14
14	235	Monofásica	5	17.31	17.04	12.87	6.43	16.35	22.68	33.93	31.92	1.2	19.86	31.45	45.89	15.31	41.49	22.45	44.09	26.92	9.02	19.59	40.27
15	235	Monofásica	25	1.83	1.72	1.81	1.64	11.64	8.2	19.29	18.49	0	5.78	14.48	11.95	2.25	11.37	10.52	9.58	7.01	1.1	7.96	21.9
16	235	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
17	235	Bifásica	0	38.12	37.59	34.27	14.99	30.32	29.92	72.76	67.63	6.71	32.85	75.44	98.97	36.36	57.24	42.57	104.49	52.46	32.35	39.61	89.67
18	235	Bifásica	5	37.91	37.76	34.35	15.24	30.52	30.1	71.55	66.86	6.04	33.02	68.85	93	36.27	55.66	43.32	103.07	52.76	30.65	38.56	87.34
19	235	Bifásica	25	36.36	36.07	32.83	14.02	27.66	29.15	66.36	62.57	5.2	32.38	64.87	90.43	35.1	54.93	41.2	94.39	50.38	28.43	37.62	82.27
20	235	Bifásica	inf	35.06	34.67	30.08	11.03	23.62	27.81	63	57.44	5.84	30.03	61.15	88.96	33.96	54.34	37.92	92.91	45.71	28.41	37.62	79.27
21	235	Trifásica	0	48.97	48.14	44.07	24.99	33.73	36.54	96.97	90.86	13.46	37.71	86.67	117.11	46.32	70.01	53.77	129.48	64.8	40.64	48.15	113.66
22	235	Trifásica	5	48.97	48.14	44.07	24.99	33.73	36.54	96.97	90.86	13.46	37.71	86.67	117.11	46.32	70.01	53.77	129.48	64.8	40.64	48.15	113.66
23	235	Trifásica	25	48.97	48.14	44.07	24.99	33.73	36.54	96.97	90.86	13.46	37.71	86.67	117.11	46.32	70.01	53.77	129.48	64.8	40.64	48.15	113.66
24	235	Trifásica	inf	48.97	48.14	44.07	24.99	33.73	36.54	96.97	90.86	13.46	37.71	86.67	117.11	46.32	70.01	53.77	129.48	64.8	40.64	48.15	113.66
25	265	Monofásica	0	23.8	23.21	18.42	8.37	19.32	26.61	48.02	45.48	2.4	26.01	44.06	68.1	21.2	52.56	30.12	69.28	34.64	15.68	25.41	67.75
26	265	Monofásica	5	19.49	19.19	14.55	7.43	18.52	25.75	38.17	35.99	1.34	22.53	35.32	51.31	17.3	46.42	25.45	49.67	30.47	10.3	22.36	45.33
27	265	Monofásica	25	2.05	1.92	2.03	1.86	13.17	9.38	21.6	20.7	0	6.59	16.45	13.49	2.53	12.93	11.89	10.84	7.86	1.23	9.01	24.41
28	265	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
29	265	Bifásica	0	42.88	42.31	38.53	16.98	34.46	33.87	82.11	76.36	7.6	37.12	84.54	111.04	40.89	64.48	48.11	117.76	59.05	36.17	44.43	101.11
30	265	Bifásica	5	42.63	42.47	38.63	17.31	34.68	34.05	80.75	75.45	6.82	37.3	77.03	104.41	40.79	62.64	49.02	116.26	59.36	34.3	43.3	98.45
31	265	Bifásica	25	40.9	40.55	36.88	15.87	31.43	33.02	74.95	70.48	5.88	36.57	72.56	101.58	39.44	61.79	46.51	106.52	56.66	31.85	42.22	92.61
32	265	Bifásica	inf	39.41	38.96	33.63	12.6	26.87	31.52	71.13	64.93	6.62	33.93	68.37	100.02	38.06	61.07	42.86	104.85	51.39	31.83	42.2	89.19
33	265	Trifásica	0	55.1	54.14	49.6	28.24	38.48	41.16	109.26	102.51	15.44	42.48	97.21	131.54	52.14	78.85	60.79	145.8	73	45.65	54.08	128.29
34	265	Trifásica	5	55.1	54.14	49.6	28.24	38.48	41.16	109.26	102.51	15.44	42.48	97.21	131.54	52.14	78.85	60.79	145.8	73	45.65	54.08	128.29
35	265	Trifásica	25	55.1	54.14	49.6	28.24	38.48	41.16	109.26	102.51	15.44	42.48	97.21	131.54	52.14	78.85	60.79	145.8	73	45.65	54.08	128.29

36	265	Trifásica	inf	55.1	54.14	49.6	28.24	38.48	41.16	109.26	102.51	15.44	42.48	97.21	131.54	52.14	78.85	60.79	145.8	73	45.65	54.08	128.29
37	205	Monofásica	0	18.56	18.08	14.34	5.95	15.01	20.15	36.51	34.66	1.77	19.74	33.65	52.34	16.58	40.74	22.77	52.94	25.95	12.13	19.57	51.89
38	205	Monofásica	5	18.56	18.08	14.34	5.95	15.01	20.15	36.51	34.66	1.77	19.74	33.65	52.34	16.58	40.74	22.77	52.94	25.95	12.13	19.57	51.89
39	205	Monofásica	25	1.67	1.55	1.63	1.42	10.17	7.03	16.7	15.95	0	4.98	12.65	10.62	2.07	10.08	9.34	8.51	6.11	1.03	6.93	19.04
40	205	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
41	205	Bifásica	0	31.41	31.19	28.32	12.09	24.27	24.88	57.66	54.47	4.42	27.68	55.99	78.53	30.35	47.56	35.57	81.68	43.41	24.88	32.77	71.09
42	205	Bifásica	5	32.63	32.46	29.49	13.24	26.47	25.69	61.82	58.05	5.12	28.17	59.55	80.81	31.24	48.04	37.49	89.27	45.45	26.45	33.6	75.44
43	205	Bifásica	25	31.41	31.19	28.32	12.09	24.27	24.88	57.66	54.47	4.42	27.68	55.99	78.53	30.35	47.56	35.57	81.68	43.41	24.88	32.77	71.09
44	205	Bifásica	inf	30.26	29.96	26.07	9.4	20.79	23.66	54.72	50.12	4.89	25.73	52.79	77.07	29.18	47	32.58	80.75	39.22	24.87	32.73	68.51
45	205	Trifásica	0	42.35	41.57	38.02	21.64	29.2	31.29	84.45	79.08	11.53	32.2	74.93	102.14	39.99	60.75	46.45	112.62	56.05	34.88	41.78	98.52
46	205	Trifásica	5	42.35	41.57	38.02	21.64	29.2	31.29	84.45	79.08	11.53	32.2	74.93	102.14	39.99	60.75	46.45	112.62	56.05	34.88	41.78	98.52
47	205	Trifásica	25	42.35	41.57	38.02	21.64	29.2	31.29	84.45	79.08	11.53	32.2	74.93	102.14	39.99	60.75	46.45	112.62	56.05	34.88	41.78	98.52
48	205	Trifásica	inf	42.35	41.57	38.02	21.64	29.2	31.29	84.45	79.08	11.53	32.2	74.93	102.14	39.99	60.75	46.45	112.62	56.05	34.88	41.78	98.52
49	235	Monofásica	0	21.26	20.79	16.43	6.9	17.36	23.09	42.08	39.97	1.98	22.63	38.87	60.16	19.04	46.89	26.13	60.82	30.15	13.85	22.43	59.57
50	235	Monofásica	5	17.51	17.22	12.97	5.97	16.72	22.45	33.53	31.69	1.1	19.82	31.37	45.6	15.45	41.45	22.17	43.92	26.33	8.93	19.62	39.9
51	235	Monofásica	25	1.87	1.73	1.83	1.67	11.81	8.17	19.28	18.44	0	5.68	14.66	12.05	2.31	11.53	10.58	9.73	7.03	1.13	7.91	21.95
52	235	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
53	235	Bifásica	0	37.67	37.08	33.8	14.74	30.3	29.51	72.25	67.07	6.49	32.45	74.5	98.54	35.89	56.83	42.28	103.43	52.07	32.09	39.6	89.07
54	235	Bifásica	5	37.54	37.3	33.92	15	30.57	29.7	70.77	66.42	5.9	32.53	68.67	92.67	35.92	55.03	43.16	102.39	52.35	30.38	38.6	86.53
55	235	Bifásica	25	36.07	35.85	32.58	13.72	28.03	28.77	66.04	62.37	5.03	32	64.69	90.15	34.89	54.52	41.04	93.76	49.98	28.55	37.67	81.49
56	235	Bifásica	inf	34.79	34.46	29.99	10.79	24.1	27.29	62.63	57.32	5.63	29.63	60.96	88.45	33.61	53.88	37.49	92.55	45.26	28.52	37.6	78.68
57	235	Trifásica	0	48.53	47.65	43.67	24.87	33.71	36.07	96.59	90.33	13.41	37.26	86	116.76	45.88	69.76	53.45	128.93	64.55	40.1	48.07	112.94
58	235	Trifásica	5	48.53	47.65	43.67	24.87	33.71	36.07	96.59	90.33	13.41	37.26	86	116.76	45.88	69.76	53.45	128.93	64.55	40.1	48.07	112.94
59	235	Trifásica	25	48.53	47.65	43.67	24.87	33.71	36.07	96.59	90.33	13.41	37.26	86	116.76	45.88	69.76	53.45	128.93	64.55	40.1	48.07	112.94
60	235	Trifásica	inf	48.53	47.65	43.67	24.87	33.71	36.07	96.59	90.33	13.41	37.26	86	116.76	45.88	69.76	53.45	128.93	64.55	40.1	48.07	112.94
61	265	Monofásica	0	23.88	23.31	18.52	7.95	19.65	26.22	47.61	45.22	2.2	25.69	43.62	67.38	21.39	52.45	29.63	68.74	34.12	15.74	25.46	67.15
62	265	Monofásica	5	19.71	19.39	14.65	6.92	18.97	25.47	37.7	35.72	1.22	22.5	35.24	51	17.45	46.38	25.13	49.46	29.78	10.24	22.39	44.89
63	265	Monofásica	25	2.1	1.93	2.06	1.9	13.37	9.34	21.59	20.63	0	6.47	16.65	13.62	2.59	13.13	11.97	11.01	7.88	1.27	8.96	24.49
64	265	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
65	265	Bifásica	0	42.36	41.73	38.02	16.71	34.43	33.42	81.56	75.76	7.34	36.71	83.44	110.53	40.36	63.99	47.8	116.62	58.63	35.85	44.4	100.39
66	265	Bifásica	5	42.21	41.96	38.13	17.03	34.74	33.62	79.98	74.96	6.67	36.79	76.74	104.01	40.39	61.89	48.82	115.41	58.9	33.98	43.33	97.54
67	265	Bifásica	25	40.57	40.33	36.56	15.58	31.87	32.59	74.64	70.29	5.7	36.17	72.33	101.23	39.18	61.32	46.32	105.77	56.26	31.98	42.25	91.79
68	265	Bifásica	inf	39.09	38.69	33.49	12.32	27.42	30.89	70.72	64.79	6.38	33.48	68.19	99.41	37.64	60.51	42.38	104.41	50.84	31.96	42.18	88.55
69	265	Trifásica	0	54.6	53.57	49.17	28.08	38.45	40.69	108.82	101.88	15.37	41.99	96.41	131.17	51.55	78.53	60.43	145.14	72.68	45.02	53.96	127.45
70	265	Trifásica	5	54.6	53.57	49.17	28.08	38.45	40.69	108.82	101.88	15.37	41.99	96.41	131.17	51.55	78.53	60.43	145.14	72.68	45.02	53.96	127.45
71	265	Trifásica	25	54.6	53.57	49.17	28.08	38.45	40.69	108.82	101.88	15.37	41.99	96.41	131.17	51.55	78.53	60.43	145.14	72.68	45.02	53.96	127.45
72	265	Trifásica	inf	54.6	53.57	49.17	28.08	38.45	40.69	108.82	101.88	15.37	41.99	96.41	131.17	51.55	78.53	60.43	145.14	72.68	45.02	53.96	127.45
73	205	Monofásica	0	18.37	17.94	14.2	6.54	14.47	20.75	37.09	34.92	2.02	20.19	34.17	53.57	16.34	40.9	23.4	53.82	26.61	11.96	19.56	52.97
74	205	Monofásica	5	15.03	14.7	11.21	5.79	13.82	19.97	29.56	27.92	1.14	17.3	27.21	40.16	13.18	36	19.87	38.26	23.65	7.96	17.14	35.35
75	205	Monofásica	25	1.58	1.53	1.58	1.37	9.82	7.12	16.71	16.04	0	5.2	12.43	10.44	1.98	9.76	9.22	8.22	6.1	0.96	6.99	18.87
76	205	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
77	205	Bifásica	0	31.81	31.63	28.7	12.54	23.68	25.62	58.1	54.78	4.67	28.39	56.22	79.07	30.73	48.3	36.07	82.8	44.13	24.6	32.68	72.49
78	205	Bifásica	5	33.39	33.16	30.12	13.65	26.44	26.42	63.12	58.55	5.35	28.89	60.01	81.34	31.89	49.02	37.84	90.36	46.12	26.93	33.55	76.96
79	205	Bifásica	25	31.81	31.63	28.7	12.54	23.68	25.62	58.1	54.78	4.67	28.39	56.22	79.07	30.73	48.3	36.07	82.8	44.13	24.6	32.68	72.49
80	205	Bifásica	inf	30.77	30.36	26.28	9.9	20.06	24.42	55.12	50.25	5.28	26.39	53.14	77.83	29.77	47.73	33.25	81.55	39.87	24.65	32.72	69.63
81	205	Trifásica	0	43.14	42.42	38.9	21.98	29.16	32.05	85.26	79.86	11.61	33.08	75.93	102.53	40.74	61.21	46.97	113.91	56.19	35.58	41.95	99.97
82	205	Trifásica	5	43.14	42.42	38.9	21.98	29.16	32.05	85.26	79.86	11.61	33.08	75.93	102.53	40.74	61.21	46.97	113.91	56.19	35.58	41.95	99.97
83	205	Trifásica	25	43.14	42.42	38.9	21.98	29.16	32.05	85.26	79.86	11.61	33.08	75.93	102.53	40.74	61.21	46.97	113.91	56.19	35.58	41.95	99.97
84	205	Trifásica	inf	43.14	42.42	38.9	21.98	29.16	32.05	85.26	79.86	11.61	33.08	75.93	102.53	40.74	61.21	46.97	113.91	56.19	35.58	41.95	99.97

85	235	Monofásica	0	21.05	20.62	16.25	7.6	16.73	23.76	42.73	40.26	2.27	23.17	39.5	61.46	18.79	47.03	26.9	61.79	30.93	13.73	22.36	60.89
86	235	Monofásica	5	17.21	16.86	12.83	6.7	15.96	22.92	34.18	32.39	1.3	19.97	31.51	46.14	15.13	41.46	22.74	43.95	27.4	9.14	19.58	40.69
87	235	Monofásica	25	1.76	1.7	1.76	1.6	11.41	8.24	19.3	18.53	0	5.93	14.45	11.82	2.22	11.18	10.44	9.41	7.02	1.06	8	21.79
88	235	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
89	235	Bifásica	0	38.64	38.13	34.74	15.2	30.37	30.41	73.18	68.13	6.93	33.3	75.98	99.04	36.74	57.59	42.82	105.21	52.93	32.58	39.49	90.52
90	235	Bifásica	5	38.44	38.2	34.65	15.46	30.54	30.54	72.16	67.02	6.19	33.44	69.17	93.26	36.68	56.22	43.6	103.62	53.06	30.96	38.54	88.25
91	235	Bifásica	25	36.56	36.33	33.03	14.22	27.38	29.56	66.52	62.67	5.35	32.8	64.98	90.72	35.33	55.33	41.56	95	50.74	28.26	37.55	83.07
92	235	Bifásica	inf	35.36	34.92	30.23	11.33	23.27	28.16	63.1	57.52	6.09	30.36	61.36	89.38	34.26	54.74	38.3	93.45	45.91	28.28	37.59	79.87
93	235	Trifásica	0	49.39	48.58	44.64	25.23	33.64	36.99	97.47	91.36	13.47	38.23	87.11	117.23	46.66	70.21	54.04	130.37	64.74	40.86	48.26	114.52
94	235	Trifásica	5	49.39	48.58	44.64	25.23	33.64	36.99	97.47	91.36	13.47	38.23	87.11	117.23	46.66	70.21	54.04	130.37	64.74	40.86	48.26	114.52
95	235	Trifásica	25	49.39	48.58	44.64	25.23	33.64	36.99	97.47	91.36	13.47	38.23	87.11	117.23	46.66	70.21	54.04	130.37	64.74	40.86	48.26	114.52
96	235	Trifásica	inf	49.39	48.58	44.64	25.23	33.64	36.99	97.47	91.36	13.47	38.23	87.11	117.23	46.66	70.21	54.04	130.37	64.74	40.86	48.26	114.52
97	265	Monofásica	0	23.62	23.11	18.31	8.78	18.92	26.99	48.34	45.55	2.53	26.34	44.28	68.89	21.13	52.6	30.48	69.83	34.96	15.58	25.38	68.49
98	265	Monofásica	5	19.36	18.96	14.51	7.75	18.08	26.05	38.46	36.49	1.44	22.63	35.37	51.56	17.11	46.39	25.77	49.54	31.03	10.41	22.32	45.84
99	265	Monofásica	25	1.97	1.9	1.97	1.82	12.93	9.39	21.61	20.75	0	6.74	16.42	13.34	2.5	12.73	11.81	10.67	7.87	1.19	9.07	24.28
100	265	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
101	265	Bifásica	0	43.45	42.87	39.06	17.24	34.53	34.4	82.56	76.86	7.82	37.62	85.18	111.19	41.31	64.87	48.38	118.63	59.52	36.46	44.34	101.97
102	265	Bifásica	5	43.2	42.96	38.97	17.55	34.7	34.53	81.43	75.66	7	37.8	77.45	104.71	41.23	63.28	49.34	116.87	59.75	34.68	43.27	99.37
103	265	Bifásica	25	41.12	40.84	37.12	16.1	31.07	33.47	75.12	70.65	6.07	37.03	72.67	101.9	39.71	62.25	46.88	107.24	57.03	31.68	42.16	93.42
104	265	Bifásica	inf	39.77	39.22	33.85	12.92	26.44	31.97	71.26	65.05	6.89	34.31	68.59	100.4	38.42	61.55	43.3	105.49	51.65	31.67	42.19	89.87
105	265	Trifásica	0	55.58	54.63	50.29	28.5	38.38	41.66	109.86	103.12	15.48	43.02	97.74	131.74	52.56	79.12	61.13	146.78	72.99	45.94	54.22	129.28
106	265	Trifásica	5	55.58	54.63	50.29	28.5	38.38	41.66	109.86	103.12	15.48	43.02	97.74	131.74	52.56	79.12	61.13	146.78	72.99	45.94	54.22	129.28
107	265	Trifásica	25	55.58	54.63	50.29	28.5	38.38	41.66	109.86	103.12	15.48	43.02	97.74	131.74	52.56	79.12	61.13	146.78	72.99	45.94	54.22	129.28
108	265	Trifásica	inf	55.58	54.63	50.29	28.5	38.38	41.66	109.86	103.12	15.48	43.02	97.74	131.74	52.56	79.12	61.13	146.78	72.99	45.94	54.22	129.28

Matriz Experimental para o Caso II – Variável de saída SARFI-85 – BARRA 21 a BARRA 40

Tabela B. 3 – Matriz de experimentos Caso II – SARFI-85 – BARRA 21 a BARRA 40

Ordem Padrão	Faltas por Ano	Tipo de Falta	Resistencia de Falta	BARRA 21	BARRA 22	BARRA 23	BARRA 24	BARRA 25	BARRA 26	BARRA 27	BARRA 28	BARRA 29	BARRA 30	BARRA 31	BARRA 32	BARRA 33	BARRA 34	BARRA 35	BARRA 36	BARRA 37	BARRA 38	BARRA 39	BARRA 40
1	205	Monofásica	0	52.6	55.64	12.84	38.92	36.67	34.92	33.11	54	34.8	49.99	46.04	57.77	50.26	38.04	41.66	34.53	38.92	19.85	8.74	0.88
2	205	Monofásica	5	39.59	44.88	9.38	37.32	31	30.94	29.31	41.52	28.93	31.01	29.34	43	38.27	29.13	29.2	28.49	36.36	18.79	7.84	0.66
3	205	Monofásica	25	20.15	14.85	2.36	15.29	14.46	11.98	8.18	5.21	15.43	16.44	16.21	15.22	4.87	16.77	17.97	15.5	18.62	7.38	0	0
4	205	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	205	Bifásica	0	76.86	96.47	28.65	53.87	52.87	55.02	50.36	85.7	52.14	86.41	83.8	92.91	82.49	64.68	74.79	52.17	57.24	36.68	19.06	2.71
6	205	Bifásica	5	75.22	93.56	27.64	53.71	52.53	50.8	48.67	81.5	51.19	84.48	80.73	92.6	78.96	63.45	72.05	51.29	58.5	38.93	19.57	2.64
7	205	Bifásica	25	71.53	89.89	25.03	52.47	49.62	48.03	45.37	79.4	48.5	77.75	71.58	87.65	77.54	59.29	65.09	48.62	54.3	35.74	18.49	2.32
8	205	Bifásica	inf	69.51	84.13	25.12	49.33	46.72	48.53	46.07	78.25	46.74	74.27	70.42	83.85	75.76	56.6	61.97	46.74	47.17	28.07	13.28	2.19
9	205	Trifásica	0	97.82	114.59	36.03	62.58	59.69	70.9	60.76	105	71.38	107.47	108.03	112.87	102.35	83.66	92.93	71.38	69.98	47.21	27.47	3.43
10	205	Trifásica	5	97.82	114.59	36.03	62.58	59.69	70.9	60.76	105	71.38	107.47	108.03	112.87	102.35	83.66	92.93	71.38	69.98	47.21	27.47	3.43
11	205	Trifásica	25	97.82	114.59	36.03	62.58	59.69	70.9	60.76	105	71.38	107.47	108.03	112.87	102.35	83.66	92.93	71.38	69.98	47.21	27.47	3.43
12	205	Trifásica	inf	97.82	114.59	36.03	62.58	59.69	70.9	60.76	105	71.38	107.47	108.03	112.87	102.35	83.66	92.93	71.38	69.98	47.21	27.47	3.43
13	235	Monofásica	0	60.19	63.89	14.71	44.69	42.13	40.17	38.16	61.91	39.95	57.59	53.11	66.27	57.75	43.79	47.88	39.66	44.59	22.77	9.92	1.06
14	235	Monofásica	5	45.62	51.65	10.76	42.9	35.77	35.71	33.75	47.74	33.26	35.9	33.82	49.24	43.94	33.71	33.68	32.79	41.66	21.51	8.95	0.78
15	235	Monofásica	25	23.23	17.1	2.62	17.66	16.74	13.78	9.38	5.98	17.85	19.07	18.8	17.62	5.61	19.4	20.72	17.92	21.27	8.38	0	0
16	235	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
17	235	Bifásica	0	87.96	110.5	32.97	61.94	60.75	63.15	57.8	98.19	59.69	98.93	95.98	106.4	94.55	73.73	85.74	59.73	65.92	42.26	21.88	3.21
18	235	Bifásica	5	86.29	107.31	31.73	61.76	60.38	58.37	55.88	93.44	58.63	96.73	92.62	106.13	90.68	72.4	82.59	58.73	67.36	44.85	22.5	3.12
19	235	Bifásica	25	82	103.12	28.72	60.3	57.03	55.21	52.09	91.14	55.57	89.19	82.23	100.4	89.04	67.86	74.48	55.69	62.45	41.18	21.17	2.73
20	235	Bifásica	inf	79.73	96.46	28.84	56.7	53.71	55.73	52.78	89.83	53.61	85.15	80.9	96.03	87.11	64.77	70.93	53.61	54.24	32.29	15.11	2.59
21	235	Trifásica	0	112.03	131.13	41.42	71.86	68.53	81.18	69.56	119.94	81.42	123.07	123.77	129.18	117.03	95.61	106.32	81.42	80.79	54.25	31.63	4.08
22	235	Trifásica	5	112.03	131.13	41.42	71.86	68.53	81.18	69.56	119.94	81.42	123.07	123.77	129.18	117.03	95.61	106.32	81.42	80.79	54.25	31.63	4.08
23	235	Trifásica	25	112.03	131.13	41.42	71.86	68.53	81.18	69.56	119.94	81.42	123.07	123.77	129.18	117.03	95.61	106.32	81.42	80.79	54.25	31.63	4.08
24	235	Trifásica	inf	112.03	131.13	41.42	71.86	68.53	81.18	69.56	119.94	81.42	123.07	123.77	129.18	117.03	95.61	106.32	81.42	80.79	54.25	31.63	4.08
25	265	Monofásica	0	67.82	72.14	16.71	50.2	47.32	45.21	42.77	69.31	45.34	65.01	59.73	75.06	64.66	49.58	54.03	44.98	50.32	25.75	11.3	1.21
26	265	Monofásica	5	51.2	58.48	12.26	48.16	40.29	40.04	37.87	53.39	37.6	40.41	38.09	55.71	49.17	37.91	37.97	37.04	47.08	24.35	10.26	0.88
27	265	Monofásica	25	25.96	19.17	2.97	19.73	18.72	15.57	10.68	6.76	19.96	21.33	21.03	19.69	6.36	21.73	23.18	20.06	24.14	9.54	0	0
28	265	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
29	265	Bifásica	0	98.99	124.68	36.91	69.96	68.6	71.27	65.07	110.25	67.52	111.65	108.38	119.96	106.16	83.08	96.5	67.56	74.52	47.71	24.69	3.56
30	265	Bifásica	5	97.24	121	35.5	69.73	68.11	65.84	62.89	105.02	66.3	109.05	104.51	119.7	101.8	81.64	92.91	66.4	76.09	50.64	25.39	3.47
31	265	Bifásica	25	92.27	116.25	32.15	68.07	64.29	62.36	58.64	102.4	62.96	100.63	92.51	113.31	100	76.5	83.78	63.09	70.59	46.5	23.95	3.03
32	265	Bifásica	inf	89.76	108.78	32.31	64.01	60.5	62.91	59.38	100.94	60.64	96.1	91.08	108.46	97.92	73.04	79.99	60.64	61.28	36.37	17.12	2.89
33	265	Trifásica	0	126.34	147.63	46.52	81.25	77.52	91.35	78.43	134.74	91.86	138.81	139.45	145.49	131.4	107.85	119.91	91.86	91.23	61.16	35.65	4.6
34	265	Trifásica	5	126.34	147.63	46.52	81.25	77.52	91.35	78.43	134.74	91.86	138.81	139.45	145.49	131.4	107.85	119.91	91.86	91.23	61.16	35.65	4.6
35	265	Trifásica	25	126.34	147.63	46.52	81.25	77.52	91.35	78.43	134.74	91.86	138.81	139.45	145.49	131.4	107.85	119.91	91.86	91.23	61.16	35.65	4.6

35	265	Trifásica	25	126.34	147.63	46.52	81.25	77.52	91.35	78.43	134.74	91.86	138.81	139.45	145.49	131.4	107.85	119.91	91.86	91.23	61.16	35.65	4.6
36	265	Trifásica	inf	126.34	147.63	46.52	81.25	77.52	91.35	78.43	134.74	91.86	138.81	139.45	145.49	131.4	107.85	119.91	91.86	91.23	61.16	35.65	4.6
37	205	Monofásica	0	52.16	55.01	12.84	38.57	36.43	34.44	33.06	53.27	34.62	49.44	45.46	57.34	49.55	37.68	41.22	34.37	38.47	19.49	8.47	0.9
38	205	Monofásica	5	52.16	55.01	12.84	38.57	36.43	34.44	33.06	53.27	34.62	49.44	45.46	57.34	49.55	37.68	41.22	34.37	38.47	19.49	8.47	0.9
39	205	Monofásica	25	20.19	14.86	2.42	15.36	14.55	12.09	8.26	5.16	15.44	16.42	16.22	15.22	4.82	16.82	17.9	15.49	18.5	7.01	0	0
40	205	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
41	205	Bifásica	0	70.97	89.5	25.13	52.15	49.35	47.74	44.94	79.29	48.73	77.44	71.13	87.02	77.21	59.09	64.55	48.74	54.36	35.4	18.2	2.36
42	205	Bifásica	5	74.72	93.03	27.39	53.5	52.18	50.5	48.09	81.43	51.02	83.93	80.02	91.98	78.78	63.01	71.84	51.08	58.45	38.63	19.26	2.64
43	205	Bifásica	25	70.97	89.5	25.13	52.15	49.35	47.74	44.94	79.29	48.73	77.44	71.13	87.02	77.21	59.09	64.55	48.74	54.36	35.4	18.2	2.36
44	205	Bifásica	inf	69.25	83.55	25.22	49.06	46.36	48.15	45.6	77.96	46.82	73.62	69.94	83.31	75.47	56.34	61.7	46.82	46.93	27.68	13.06	2.2
45	205	Trifásica	0	97.42	113.92	35.59	61.95	59.37	70.07	60.47	104.69	70.92	106.78	107.34	112.2	102.1	83.21	92.34	70.92	69.97	47.06	27.1	3.48
46	205	Trifásica	5	97.42	113.92	35.59	61.95	59.37	70.07	60.47	104.69	70.92	106.78	107.34	112.2	102.1	83.21	92.34	70.92	69.97	47.06	27.1	3.48
47	205	Trifásica	25	97.42	113.92	35.59	61.95	59.37	70.07	60.47	104.69	70.92	106.78	107.34	112.2	102.1	83.21	92.34	70.92	69.97	47.06	27.1	3.48
48	205	Trifásica	inf	97.42	113.92	35.59	61.95	59.37	70.07	60.47	104.69	70.92	106.78	107.34	112.2	102.1	83.21	92.34	70.92	69.97	47.06	27.1	3.48
49	235	Monofásica	0	59.7	63.19	14.71	44.32	41.86	39.62	38.1	61.13	39.77	56.92	52.3	65.67	56.96	43.34	47.36	39.49	44.13	22.37	9.63	1.09
50	235	Monofásica	5	45.38	51.57	10.77	42.49	35.57	35.58	33.65	47.32	32.95	35.15	33.37	48.94	43.58	33.36	33.41	32.49	41.27	21.08	8.68	0.83
51	235	Monofásica	25	23.28	17.13	2.69	17.74	16.86	13.91	9.48	5.92	17.86	19.08	18.8	17.63	5.56	19.44	20.65	17.91	21.12	7.97	0	0
52	235	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
53	235	Bifásica	0	87.35	109.53	32.78	61.53	60.4	62.7	57.09	97.75	59.14	98.29	95.09	105.38	94.1	73.38	85.31	59.17	65.96	41.88	21.32	3.23
54	235	Bifásica	5	85.65	106.72	31.47	61.54	59.96	58.01	55.2	93.36	58.41	96.07	91.84	105.42	90.46	71.95	82.36	58.48	67.27	44.52	22.16	3.12
55	235	Bifásica	25	81.34	102.63	28.83	59.94	56.68	54.82	51.61	91.03	55.79	88.76	81.68	99.62	88.67	67.61	73.87	55.83	62.54	40.79	20.83	2.79
56	235	Bifásica	inf	79.35	95.83	28.99	56.45	53.28	55.28	52.31	89.49	53.66	84.41	80.37	95.4	86.67	64.53	70.62	53.66	53.98	31.87	14.83	2.6
57	235	Trifásica	0	111.61	130.3	40.94	71.16	68.15	80.25	69.24	119.64	80.9	122.27	123.01	128.44	116.69	95.13	105.62	80.9	80.76	54.1	31.16	4.12
58	235	Trifásica	5	111.61	130.3	40.94	71.16	68.15	80.25	69.24	119.64	80.9	122.27	123.01	128.44	116.69	95.13	105.62	80.9	80.76	54.1	31.16	4.12
59	235	Trifásica	25	111.61	130.3	40.94	71.16	68.15	80.25	69.24	119.64	80.9	122.27	123.01	128.44	116.69	95.13	105.62	80.9	80.76	54.1	31.16	4.12
60	235	Trifásica	inf	111.61	130.3	40.94	71.16	68.15	80.25	69.24	119.64	80.9	122.27	123.01	128.44	116.69	95.13	105.62	80.9	80.76	54.1	31.16	4.12
61	265	Monofásica	0	67.28	71.34	16.72	49.78	47	44.57	42.71	68.46	45.13	64.27	58.89	74.33	63.71	49.06	53.48	44.79	49.81	25.29	11	1.25
62	265	Monofásica	5	50.86	58.31	12.26	47.67	40.03	39.86	37.74	52.92	37.26	39.55	37.6	55.39	48.77	37.52	37.65	36.7	46.62	23.85	9.95	0.94
63	265	Monofásica	25	26.01	19.18	3.05	19.82	18.84	15.71	10.79	6.69	19.98	21.34	21.02	19.68	6.31	21.77	23.11	20.04	23.94	9.12	0	0
64	265	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
65	265	Bifásica	0	98.33	123.67	36.66	69.48	68.21	70.77	64.2	109.73	66.91	110.82	107.46	118.82	105.62	82.67	96.03	66.94	74.54	47.29	24.07	3.58
66	265	Bifásica	5	96.51	120.31	35.17	69.44	67.64	65.34	62.12	104.77	66.04	108.26	103.68	118.91	101.53	81.09	92.68	66.11	76	50.26	25.01	3.47
67	265	Bifásica	25	91.49	115.75	32.26	67.67	63.89	61.84	58.11	102.2	63.19	100.09	91.95	112.45	99.54	76.25	83.16	63.24	70.66	46.09	23.54	3.09
68	265	Bifásica	inf	89.33	108.07	32.47	63.68	60	62.41	58.85	100.54	60.73	95.29	90.48	107.74	97.41	72.82	79.67	60.73	61.05	35.91	16.8	2.9
69	265	Trifásica	0	125.89	146.73	45.96	80.48	77.09	90.43	78	134.38	91.32	137.96	138.6	144.66	131.03	107.28	119.15	91.32	91.18	60.97	35.12	4.64
70	265	Trifásica	5	125.89	146.73	45.96	80.48	77.09	90.43	78	134.38	91.32	137.96	138.6	144.66	131.03	107.28	119.15	91.32	91.18	60.97	35.12	4.64
71	265	Trifásica	25	125.89	146.73	45.96	80.48	77.09	90.43	78	134.38	91.32	137.96	138.6	144.66	131.03	107.28	119.15	91.32	91.18	60.97	35.12	4.64
72	265	Trifásica	inf	125.89	146.73	45.96	80.48	77.09	90.43	78	134.38	91.32	137.96	138.6	144.66	131.03	107.28	119.15	91.32	91.18	60.97	35.12	4.64
73	205	Monofásica	0	52.89	56.14	12.86	39.18	37.01	35.43	33.28	54.74	34.8	50.67	46.49	58.31	50.81	38.36	41.99	34.6	39.26	20.15	9.18	0.88
74	205	Monofásica	5	40	45.19	9.37	37.57	31.32	31.14	29.36	41.84	29.18	31.51	29.79	43.17	38.46	29.4	29.48	28.82	36.64	19.13	8.17	0.65
75	205	Monofásica	25	20.08	14.81	2.27	15.18	14.36	11.88	8.02	5.22	15.44	16.46	16.22	15.21	4.88	16.77	18.03	15.53	18.84	7.61	0	0
76	205	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
77	205	Bifásica	0	71.94	90.39	24.86	52.54	49.8	48.51	45.7	79.68	48.56	78.22	72.02	88.17	77.81	59.46	65.61	48.67	54.14	36.17	18.9	2.29
78	205	Bifásica	5	75.9	94.05	27.8	53.95	52.7	51.3	49.12	81.78	51.26	85.01	81.53	93.3	79.31	63.99	72.53	51.36	58.4	39.28	19.95	2.64
79	205	Bifásica	25	71.94	90.39	24.86	52.54	49.8	48.51	45.7	79.68	48.56	78.22	72.02	88.17	77.81	59.46	65.61	48.67	54.14	36.17	18.9	2.29
80	205	Bifásica	inf	70.01	84.53	25.01	49.73	47.12	48.98	46.41	78.53	46.72	74.75	70.99	84.3	76.26	56.79	62.32	46.72	47.42	28.35	13.57	2.17
81	205	Trifásica	0	98.41	114.94	36.23	63.09	60.02	71.62	61.06	105.22	71.72	108.12	108.71	113.68	102.43	84.07	93.41	71.72	70.01	47.55	27.85	3.42
82	205	Trifásica	5	98.41	114.94	36.23	63.09	60.02	71.62	61.06	105.22	71.72	108.12	108.71	113.68	102.43	84.07	93.41	71.72	70.01	47.55	27.85	3.42
83	205	Trifásica	25	98.41	114.94	36.23	63.09	60.02	71.62	61.06	105.22	71.72	108.12	108.71	113.68	102.43	84.07	93.41	71.72	70.01	47.55	27.85	3.42
84	205	Trifásica	inf	98.41	114.94	36.23	63.09	60.02	71.62	61.06	105.22	71.72	108.12	108.71	113.68	102.43	84.07	93.41	71.72	70.01	47.55	27.85	3.42

85	235	Monofásica	0	60.57	64.53	14.73	45.01	42.5	40.77	38.33	62.7	40.05	58.37	53.63	66.95	58.31	44.11	48.26	39.82	45	23.18	10.42	1.05
86	235	Monofásica	5	46.06	51.99	10.76	43.17	36.11	35.93	33.78	48.09	33.53	36.45	34.36	49.48	44.19	34.07	34.06	33.12	41.98	21.92	9.32	0.77
87	235	Monofásica	25	23.16	17.06	2.53	17.55	16.63	13.65	9.22	6	17.86	19.09	18.82	17.62	5.63	19.4	20.78	17.95	21.51	8.64	0	0
88	235	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
89	235	Bifásica	0	88.38	111.3	33.2	62.25	61.13	63.35	58.39	98.4	60.21	99.83	96.78	107.1	94.75	74.06	86.34	60.22	65.81	42.56	22.29	3.18
90	235	Bifásica	5	87	107.87	31.93	62.02	60.6	58.86	56.39	93.8	58.72	97.4	93.54	106.9	91	73.04	83.07	58.83	67.27	45.23	22.92	3.12
91	235	Bifásica	25	82.5	103.73	28.54	60.39	57.21	55.69	52.46	91.44	55.62	89.71	82.76	101.01	89.31	68.09	75.02	55.73	62.33	41.63	21.67	2.69
92	235	Bifásica	inf	80.3	96.96	28.71	57.19	54.13	56.29	53.17	90.13	53.54	85.75	81.55	96.52	87.63	65.02	71.33	53.54	54.51	32.61	15.4	2.57
93	235	Trifásica	0	112.74	131.55	41.62	72.39	68.87	81.92	69.87	120.3	81.86	123.76	124.55	130.08	117.06	96.15	106.86	81.86	80.8	54.61	32.06	4.08
94	235	Trifásica	5	112.74	131.55	41.62	72.39	68.87	81.92	69.87	120.3	81.86	123.76	124.55	130.08	117.06	96.15	106.86	81.86	80.8	54.61	32.06	4.08
95	235	Trifásica	25	112.74	131.55	41.62	72.39	68.87	81.92	69.87	120.3	81.86	123.76	124.55	130.08	117.06	96.15	106.86	81.86	80.8	54.61	32.06	4.08
96	235	Trifásica	inf	112.74	131.55	41.62	72.39	68.87	81.92	69.87	120.3	81.86	123.76	124.55	130.08	117.06	96.15	106.86	81.86	80.8	54.61	32.06	4.08
97	265	Monofásica	0	68.26	72.9	16.69	50.58	47.74	45.94	43.02	70.26	45.44	65.88	60.39	75.84	65.3	49.94	54.48	45.17	50.76	26.21	11.88	1.2
98	265	Monofásica	5	51.67	58.86	12.26	48.53	40.64	40.29	37.93	53.83	37.91	41.02	38.73	55.98	49.43	38.33	38.39	37.42	47.42	24.82	10.66	0.87
99	265	Monofásica	25	25.89	19.12	2.87	19.62	18.58	15.42	10.51	6.78	19.98	21.35	21.07	19.68	6.39	21.73	23.24	20.1	24.39	9.81	0	0
100	265	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
101	265	Bifásica	0	99.49	125.62	37.22	70.33	68.99	71.55	65.74	110.51	68.11	112.63	109.24	120.7	106.42	83.57	97.14	68.12	74.32	48.07	25.16	3.53
102	265	Bifásica	5	98	121.57	35.77	70.04	68.37	66.42	63.5	105.45	66.4	109.81	105.55	120.59	102.17	82.37	93.44	66.53	75.97	51.04	25.87	3.47
103	265	Bifásica	25	92.87	116.92	31.96	68.24	64.52	62.96	59.05	102.68	63.03	101.2	93.08	114.01	100.3	76.78	84.4	63.15	70.49	46.99	24.48	2.99
104	265	Bifásica	inf	90.38	109.36	32.17	64.54	60.96	63.49	59.83	101.26	60.62	96.74	91.86	109.02	98.43	73.29	80.49	60.62	61.58	36.76	17.44	2.87
105	265	Trifásica	0	127.08	148.18	46.78	81.81	77.92	92.14	78.78	135.15	92.37	139.61	140.36	146.5	131.54	108.43	120.5	92.37	91.23	61.56	36.12	4.6
106	265	Trifásica	5	127.08	148.18	46.78	81.81	77.92	92.14	78.78	135.15	92.37	139.61	140.36	146.5	131.54	108.43	120.5	92.37	91.23	61.56	36.12	4.6
107	265	Trifásica	25	127.08	148.18	46.78	81.81	77.92	92.14	78.78	135.15	92.37	139.61	140.36	146.5	131.54	108.43	120.5	92.37	91.23	61.56	36.12	4.6
108	265	Trifásica	inf	127.08	148.18	46.78	81.81	77.92	92.14	78.78	135.15	92.37	139.61	140.36	146.5	131.54	108.43	120.5	92.37	91.23	61.56	36.12	4.6

Matriz Experimental para o Caso II – Variável de saída SARFI-85 – BARRA 41 a BARRA 58

Tabela B. 4 – Matriz de experimentos Caso II – SARFI-85 – BARRA 41 a BARRA 58

Ordem Padrão	Faltas por Ano	Tipo de Falta	Resistencia de Falta	BARRA 41	BARRA 42	BARRA 43	BARRA 44	BARRA 45	BARRA 46	BARRA 47	BARRA 48	BARRA 49	BARRA 50	BARRA 51	BARRA 52	BARRA 53	BARRA 54	BARRA 55	BARRA 56	BARRA 57	BARRA 58
1	205	Monofásica	0	1	46.99	34.02	24.78	58.4	61.03	61.76	1.01	1.01	44.45	39.41	61.25	26.27	11.45	6.77	33.75	43.19	33.06
2	205	Monofásica	5	0.55	41.5	29.97	21.17	39.57	42.88	48.1	1.01	1.01	30.46	29.24	49.83	23.65	8.47	5.52	31.17	38.96	28.83
3	205	Monofásica	25	0	17.91	7.74	7.23	7.9	6.11	5.83	1.01	1.01	16.08	9.43	5.5	10.79	0.04	0	3.81	16.48	7.32
4	205	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	205	Bifásica	0	6.48	63.59	50.29	42.12	97.14	104.41	91.07	1.01	1.01	75.23	66.27	90	41.68	23.98	18.73	52.47	59.93	49.45
6	205	Bifásica	5	5.46	62.4	49.1	40.89	93.54	103.27	88.42	1.01	1.01	73.3	63.31	88.26	40.74	24.06	19.27	51.67	55.97	48.56
7	205	Bifásica	25	4.46	59.86	46.62	37.3	89.35	99.48	83.58	1.01	1.01	68.7	59.47	84.59	37.93	23.5	18.18	49.83	53.33	46.12
8	205	Bifásica	inf	4.83	59.04	46.83	36.75	88.23	98.66	81.53	1.01	1.01	65.9	57.81	83.11	37.17	22.79	13.03	46.03	50.79	45.78
9	205	Trifásica	0	9.24	77.59	60.25	50.23	122.52	120.66	110.77	1.01	1.01	95.55	92.79	106.72	48.76	28.96	24.97	67.05	77.09	59.59
10	205	Trifásica	5	9.24	77.59	60.25	50.23	122.52	120.66	110.77	1.01	1.01	95.55	92.79	106.72	48.76	28.96	24.97	67.05	77.09	59.59
11	205	Trifásica	25	9.24	77.59	60.25	50.23	122.52	120.66	110.77	1.01	1.01	95.55	92.79	106.72	48.76	28.96	24.97	67.05	77.09	59.59
12	205	Trifásica	inf	9.24	77.59	60.25	50.23	122.52	120.66	110.77	1.01	1.01	95.55	92.79	106.72	48.76	28.96	24.97	67.05	77.09	59.59
13	235	Monofásica	0	1.18	53.87	39.16	28.51	67.09	69.94	70.75	1.23	1.23	50.9	45.26	70.34	30.14	13.33	7.8	39.15	49.55	38.08
14	235	Monofásica	5	0.66	47.71	34.5	24.24	45.69	49.4	55.26	1.23	1.23	35.01	33.66	57.27	27.05	9.87	6.45	36.21	44.85	33.21
15	235	Monofásica	25	0	20.55	8.9	8.24	9.26	7.21	6.74	1.23	1.23	18.53	10.79	6.33	12.3	0.05	0	4.37	19	8.44
16	235	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
17	235	Bifásica	0	7.55	72.96	57.76	48.45	111.1	119.38	104.16	1.23	1.23	86.19	76.05	103.04	47.98	27.59	21.27	60.33	68.69	56.78
18	235	Bifásica	5	6.37	71.58	56.42	47.03	106.79	118.1	101.26	1.23	1.23	83.99	72.63	101.1	46.87	27.66	21.96	59.43	64.13	55.84
19	235	Bifásica	25	5.15	68.76	53.5	42.94	102.12	113.84	95.8	1.23	1.23	78.8	68.28	96.98	43.57	27.02	20.61	57.3	61.14	52.87
20	235	Bifásica	inf	5.65	67.77	53.79	42.22	100.97	113.01	93.49	1.23	1.23	75.63	66.34	95.34	42.7	26.17	14.72	52.96	58.32	52.59
21	235	Trifásica	0	10.74	88.92	68.98	57.65	139.98	138.01	126.73	1.23	1.23	109.46	106.23	121.99	56.08	33.53	28.7	77.04	88.31	68.26
22	235	Trifásica	5	10.74	88.92	68.98	57.65	139.98	138.01	126.73	1.23	1.23	109.46	106.23	121.99	56.08	33.53	28.7	77.04	88.31	68.26
23	235	Trifásica	25	10.74	88.92	68.98	57.65	139.98	138.01	126.73	1.23	1.23	109.46	106.23	121.99	56.08	33.53	28.7	77.04	88.31	68.26
24	235	Trifásica	inf	10.74	88.92	68.98	57.65	139.98	138.01	126.73	1.23	1.23	109.46	106.23	121.99	56.08	33.53	28.7	77.04	88.31	68.26
25	265	Monofásica	0	1.31	60.4	43.97	32.08	75.35	78.45	79.44	1.32	1.32	57.42	51	78.94	33.98	15.15	8.91	44.13	55.72	42.71
26	265	Monofásica	5	0.71	53.33	38.67	27.46	51.28	55.22	61.77	1.32	1.32	39.41	37.86	64.02	30.56	11.23	7.42	40.81	50.28	37.23
27	265	Monofásica	25	0	23.2	10.16	9.31	10.65	8.28	7.6	1.32	1.32	20.69	12.18	7.15	13.91	0.06	0	4.95	21.19	9.64
28	265	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
29	265	Bifásica	0	8.52	82.12	64.99	54.37	124.96	134.45	116.93	1.32	1.32	97.07	85.85	115.67	53.85	31.28	24.05	67.8	77.55	63.89
30	265	Bifásica	5	7.16	80.56	63.51	52.74	120.03	132.96	113.63	1.32	1.32	94.55	81.89	113.48	52.54	31.38	24.84	66.95	72.36	62.84
31	265	Bifásica	25	5.82	77.39	60.21	48.1	114.83	128.02	107.54	1.32	1.32	88.8	77.03	108.88	48.82	30.66	23.27	64.42	68.99	59.5
32	265	Bifásica	inf	6.36	76.4	60.5	47.26	113.48	127.15	104.98	1.32	1.32	85.2	74.89	107.04	47.91	29.74	16.67	59.66	65.77	59.17
33	265	Trifásica	0	12.17	100.17	77.73	64.97	157.45	155.29	142.54	1.32	1.32	123.52	119.75	137.11	63.24	37.9	32.34	86.84	99.78	76.87
34	265	Trifásica	5	12.17	100.17	77.73	64.97	157.45	155.29	142.54	1.32	1.32	123.52	119.75	137.11	63.24	37.9	32.34	86.84	99.78	76.87
35	265	Trifásica	25	12.17	100.17	77.73	64.97	157.45	155.29	142.54	1.32	1.32	123.52	119.75	137.11	63.24	37.9	32.34	86.84	99.78	76.87

36	265	Trifásica	inf	12.17	100.17	77.73	64.97	157.45	155.29	142.54	1.32	1.32	123.52	119.75	137.11	63.24	37.9	32.34	86.84	99.78	76.87
37	205	Monofásica	0	1.03	46.6	33.89	24.82	57.99	60.55	61.34	1.01	1.01	44.16	39.09	60.67	26.08	11.42	6.32	33.37	42.51	32.9
38	205	Monofásica	5	1.03	46.6	33.89	24.82	57.99	60.55	61.34	1.01	1.01	44.16	39.09	60.67	26.08	11.42	6.32	33.37	42.51	32.9
39	205	Monofásica	25	0	17.92	7.82	7.17	7.84	6.09	5.79	1.01	1.01	16.01	9.58	5.47	10.64	0.02	0	3.82	16.5	7.44
40	205	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
41	205	Bifásica	0	4.62	59.59	46.34	37.27	89.04	99.2	83.17	1.01	1.01	68.28	58.88	84.54	37.7	23.18	17.81	49.51	52.75	45.83
42	205	Bifásica	5	5.57	62	48.44	40.69	93.26	103.02	87.92	1.01	1.01	72.65	62.81	88.01	40.58	23.76	18.89	51.49	55.29	47.94
43	205	Bifásica	25	4.62	59.59	46.34	37.27	89.04	99.2	83.17	1.01	1.01	68.28	58.88	84.54	37.7	23.18	17.81	49.51	52.75	45.83
44	205	Bifásica	inf	5	58.67	46.47	36.7	87.78	98.43	81.12	1.01	1.01	65.46	57.09	82.86	37.14	22.44	12.64	45.73	50.49	45.51
45	205	Trifásica	0	9.38	77.08	59.9	49.91	122.02	120.06	110.17	1.01	1.01	95.2	92.14	106.41	48.43	28.63	24.57	66.66	76.93	59.24
46	205	Trifásica	5	9.38	77.08	59.9	49.91	122.02	120.06	110.17	1.01	1.01	95.2	92.14	106.41	48.43	28.63	24.57	66.66	76.93	59.24
47	205	Trifásica	25	9.38	77.08	59.9	49.91	122.02	120.06	110.17	1.01	1.01	95.2	92.14	106.41	48.43	28.63	24.57	66.66	76.93	59.24
48	205	Trifásica	inf	9.38	77.08	59.9	49.91	122.02	120.06	110.17	1.01	1.01	95.2	92.14	106.41	48.43	28.63	24.57	66.66	76.93	59.24
49	235	Monofásica	0	1.23	53.41	39.04	28.51	66.68	69.4	70.19	1.23	1.23	50.56	44.91	69.65	29.91	13.27	7.3	38.71	48.85	37.93
50	235	Monofásica	5	0.68	47.55	34.34	24.05	45.06	49.02	54.67	1.23	1.23	34.77	33.48	56.95	27.25	9.83	5.93	35.76	44.43	33.14
51	235	Monofásica	25	0	20.58	9	8.17	9.2	7.18	6.7	1.23	1.23	18.44	10.95	6.3	12.13	0.03	0	4.4	19.03	8.56
52	235	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
53	235	Bifásica	0	7.62	72.47	56.94	48.31	110.67	119.23	103.79	1.23	1.23	85.56	75.51	102.88	47.89	27.15	20.86	59.99	68.42	56.13
54	235	Bifásica	5	6.5	71.15	55.68	46.8	106.45	117.83	100.75	1.23	1.23	83.3	72.08	100.8	46.69	27.33	21.44	59.2	63.4	55.14
55	235	Bifásica	25	5.34	68.45	53.12	42.92	101.74	113.54	95.35	1.23	1.23	78.25	67.55	96.93	43.37	26.6	20.19	56.94	60.45	52.49
56	235	Bifásica	inf	5.85	67.41	53.4	42.2	100.4	112.78	93.05	1.23	1.23	75.12	65.58	95.05	42.66	25.77	14.28	52.63	57.96	52.26
57	235	Trifásica	0	10.93	88.24	68.64	57.28	139.44	137.28	126.13	1.23	1.23	109.07	105.55	121.66	55.68	33.12	28.25	76.56	88.12	67.91
58	235	Trifásica	5	10.93	88.24	68.64	57.28	139.44	137.28	126.13	1.23	1.23	109.07	105.55	121.66	55.68	33.12	28.25	76.56	88.12	67.91
59	235	Trifásica	25	10.93	88.24	68.64	57.28	139.44	137.28	126.13	1.23	1.23	109.07	105.55	121.66	55.68	33.12	28.25	76.56	88.12	67.91
60	235	Trifásica	inf	10.93	88.24	68.64	57.28	139.44	137.28	126.13	1.23	1.23	109.07	105.55	121.66	55.68	33.12	28.25	76.56	88.12	67.91
61	265	Monofásica	0	1.37	59.83	43.85	32.04	74.84	77.86	78.84	1.32	1.32	57.05	50.67	78.13	33.7	15.06	8.37	43.58	54.86	42.53
62	265	Monofásica	5	0.75	53.14	38.5	27.26	50.54	54.71	61.06	1.32	1.32	39.12	37.58	63.64	30.79	11.18	6.82	40.33	49.85	37.15
63	265	Monofásica	25	0	23.24	10.27	9.24	10.6	8.28	7.55	1.32	1.32	20.59	12.36	7.11	13.73	0.04	0	5	21.23	9.79
64	265	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
65	265	Bifásica	0	8.6	81.63	64.04	54.21	124.46	134.28	116.52	1.32	1.32	96.37	85.26	115.45	53.73	30.79	23.58	67.42	77.26	63.14
66	265	Bifásica	5	7.31	80.04	62.63	52.49	119.62	132.66	113.12	1.32	1.32	93.76	81.33	113.09	52.34	31.01	24.24	66.72	71.56	62.06
67	265	Bifásica	25	6.02	77.09	59.78	48.09	114.32	127.69	107.07	1.32	1.32	88.16	76.25	108.75	48.57	30.2	22.82	64.03	68.28	59.05
68	265	Bifásica	inf	6.59	75.95	60.06	47.2	112.9	126.87	104.47	1.32	1.32	84.61	74.04	106.71	47.84	29.29	16.18	59.25	65.35	58.77
69	265	Trifásica	0	12.42	99.39	77.29	64.53	156.87	154.57	141.9	1.32	1.32	122.95	118.97	136.73	62.71	37.43	31.83	86.34	99.58	76.45
70	265	Trifásica	5	12.42	99.39	77.29	64.53	156.87	154.57	141.9	1.32	1.32	122.95	118.97	136.73	62.71	37.43	31.83	86.34	99.58	76.45
71	265	Trifásica	25	12.42	99.39	77.29	64.53	156.87	154.57	141.9	1.32	1.32	122.95	118.97	136.73	62.71	37.43	31.83	86.34	99.58	76.45
72	265	Trifásica	inf	12.42	99.39	77.29	64.53	156.87	154.57	141.9	1.32	1.32	122.95	118.97	136.73	62.71	37.43	31.83	86.34	99.58	76.45
73	205	Monofásica	0	0.98	47.35	34.16	24.75	58.81	61.44	62.24	1.01	1.01	45	39.8	62.02	26.3	11.58	7.22	34.09	43.81	33.27
74	205	Monofásica	5	0.54	41.57	29.96	21.24	39.83	43.61	48.64	1.01	1.01	30.66	29.56	50.17	23.62	8.54	5.95	31.4	39.3	28.87
75	205	Monofásica	25	0	17.97	7.64	7.28	7.97	6.11	5.85	1.01	1.01	16.1	9.29	5.51	10.89	0.07	0	3.79	16.47	7.22
76	205	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
77	205	Bifásica	0	4.3	60.03	47.05	37.54	89.79	99.99	83.85	1.01	1.01	69.19	60.09	84.78	37.93	23.79	18.51	50.2	53.82	46.52
78	205	Bifásica	5	5.33	62.74	49.62	41.07	93.98	103.49	88.69	1.01	1.01	74.13	63.87	88.54	40.76	24.4	19.82	51.96	56.58	49.1
79	205	Bifásica	25	4.3	60.03	47.05	37.54	89.79	99.99	83.85	1.01	1.01	69.19	60.09	84.78	37.93	23.79	18.51	50.2	53.82	46.52
80	205	Bifásica	inf	4.65	59.43	47.23	36.93	88.56	98.77	81.78	1.01	1.01	66.62	58.19	83.37	37.36	23.08	13.4	46.38	51.14	46.1
81	205	Trifásica	0	9.15	78.04	60.52	50.7	122.94	121.04	111.32	1.01	1.01	96.1	93.21	106.9	49.1	29.34	25.42	67.61	77.18	59.76
82	205	Trifásica	5	9.15	78.04	60.52	50.7	122.94	121.04	111.32	1.01	1.01	96.1	93.21	106.9	49.1	29.34	25.42	67.61	77.18	59.76
83	205	Trifásica	25	9.15	78.04	60.52	50.7	122.94	121.04	111.32	1.01	1.01	96.1	93.21	106.9	49.1	29.34	25.42	67.61	77.18	59.76
84	205	Trifásica	inf	9.15	78.04	60.52	50.7	122.94	121.04	111.32	1.01	1.01	96.1	93.21	106.9	49.1	29.34	25.42	67.61	77.18	59.76

85	235	Monofásica	0	1.16	54.27	39.31	28.47	67.51	70.35	71.28	1.23	1.23	51.63	45.68	71.15	30.14	13.47	8.33	39.53	50.22	38.3
86	235	Monofásica	5	0.64	47.78	34.53	24.32	45.98	50.16	55.83	1.23	1.23	35.23	34.02	57.67	26.98	9.98	6.93	36.47	45.2	33.23
87	235	Monofásica	25	0	20.6	8.77	8.28	9.32	7.21	6.76	1.23	1.23	18.55	10.61	6.35	12.44	0.08	0	4.34	18.98	8.32
88	235	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
89	235	Bifásica	0	7.44	73.55	58.31	48.66	111.31	119.65	104.68	1.23	1.23	86.9	76.73	103.33	48.05	28.02	21.76	60.49	69.43	57.41
90	235	Bifásica	5	6.19	71.92	57.02	47.25	107.3	118.33	101.52	1.23	1.23	84.92	73.32	101.38	46.9	28.09	22.59	59.72	64.81	56.43
91	235	Bifásica	25	4.97	69	54.02	43.16	102.6	114.34	96.12	1.23	1.23	79.38	68.94	97.2	43.54	27.33	21	57.7	61.7	53.39
92	235	Bifásica	inf	5.43	68.29	54.22	42.45	101.37	113.17	93.72	1.23	1.23	76.4	66.79	95.59	42.86	26.52	15.16	53.34	58.66	52.91
93	235	Trifásica	0	10.65	89.47	69.3	58.2	140.56	138.44	127.31	1.23	1.23	110.1	106.72	122.24	56.46	33.94	29.22	77.69	88.53	68.49
94	235	Trifásica	5	10.65	89.47	69.3	58.2	140.56	138.44	127.31	1.23	1.23	110.1	106.72	122.24	56.46	33.94	29.22	77.69	88.53	68.49
95	235	Trifásica	25	10.65	89.47	69.3	58.2	140.56	138.44	127.31	1.23	1.23	110.1	106.72	122.24	56.46	33.94	29.22	77.69	88.53	68.49
96	235	Trifásica	inf	10.65	89.47	69.3	58.2	140.56	138.44	127.31	1.23	1.23	110.1	106.72	122.24	56.46	33.94	29.22	77.69	88.53	68.49
97	265	Monofásica	0	1.28	60.88	44.1	32.06	75.8	78.87	80.07	1.32	1.32	58.2	51.49	79.81	34.03	15.32	9.54	44.54	56.47	42.94
98	265	Monofásica	5	0.69	53.44	38.72	27.54	51.67	56.08	62.46	1.32	1.32	39.65	38.28	64.51	30.49	11.34	7.91	41.12	50.67	37.28
99	265	Monofásica	25	0	23.24	10.02	9.34	10.68	8.27	7.62	1.32	1.32	20.71	11.99	7.18	14.08	0.08	0	4.9	21.17	9.48
100	265	Monofásica	inf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
101	265	Bifásica	0	8.4	82.83	65.64	54.63	125.16	134.78	117.51	1.32	1.32	97.81	86.65	116	53.96	31.75	24.6	68.01	78.38	64.61
102	265	Bifásica	5	6.95	80.96	64.18	53.02	120.64	133.24	114	1.32	1.32	95.55	82.65	113.76	52.63	31.84	25.51	67.2	73.13	63.54
103	265	Bifásica	25	5.6	77.69	60.79	48.36	115.37	128.59	107.99	1.32	1.32	89.4	77.73	109.11	48.8	31.02	23.76	64.83	69.65	60.12
104	265	Bifásica	inf	6.1	76.97	61.01	47.5	113.93	127.32	105.32	1.32	1.32	86.04	75.35	107.37	48.08	30.13	17.17	60.08	66.25	59.54
105	265	Trifásica	0	12.06	100.77	78.12	65.6	158.16	155.76	143.18	1.32	1.32	124.27	120.33	137.41	63.69	38.34	32.92	87.63	100.1	77.19
106	265	Trifásica	5	12.06	100.77	78.12	65.6	158.16	155.76	143.18	1.32	1.32	124.27	120.33	137.41	63.69	38.34	32.92	87.63	100.1	77.19
107	265	Trifásica	25	12.06	100.77	78.12	65.6	158.16	155.76	143.18	1.32	1.32	124.27	120.33	137.41	63.69	38.34	32.92	87.63	100.1	77.19
108	265	Trifásica	inf	12.06	100.77	78.12	65.6	158.16	155.76	143.18	1.32	1.32	124.27	120.33	137.41	63.69	38.34	32.92	87.63	100.1	77.19

Matriz Experimental para o Caso III – Variável de saída SARFI-50

Tabela B. 5 – Matriz experimental para o caso III – SARFI-50

Ordem Padrão	Resistencia de Falta	Numero de Falta	Tipo de Falta	Regime de Carga	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4	BARRA 5	BARRA 6	BARRA 7	BARRA 8	BARRA 9	BARRA 10	BARRA 11	BARRA 12
1	0	133	Monofásica	Leve	7.35	0.28	3.87	3.51	0.86	2.85	3.14	6.08	7.73	7.29	7.63	8.20
2	0	133	Monofásica	Media	7.43	0.49	3.82	3.63	1.03	2.84	3.09	5.52	8.07	5.30	7.12	6.52
3	0	133	Monofásica	Pesada	7.43	0.46	3.49	3.57	0.55	2.63	3.10	6.24	7.90	5.15	6.93	6.16
4	0	133	Bifásica	Leve	8.59	13.43	6.46	6.09	5.94	3.93	4.46	12.34	12.24	14.16	13.60	11.44
5	0	133	Bifásica	Media	7.27	12.71	2.94	3.35	5.55	0.60	1.24	10.34	8.86	10.34	11.49	11.01
6	0	133	Bifásica	Pesada	8.82	13.47	6.18	6.53	5.93	3.62	4.69	12.54	12.26	12.45	12.87	10.82
7	0	133	Trifásica	Leve	11.08	13.43	10.37	10.08	5.94	5.45	6.34	14.18	13.55	15.31	14.99	13.32
8	0	133	Trifásica	Media	11.24	12.71	10.02	10.24	5.55	5.27	6.26	14.05	13.90	11.15	13.69	12.77
9	0	133	Trifásica	Pesada	11.32	13.47	10.64	10.44	5.93	5.56	6.53	13.94	13.79	11.47	14.17	12.80
10	0	157	Monofásica	Leve	8.73	0.34	4.68	4.27	1.02	3.25	3.56	7.16	9.02	8.54	8.92	9.45
11	0	157	Monofásica	Media	8.83	0.58	4.62	4.41	1.20	3.24	3.49	6.52	9.46	6.14	8.31	7.51
12	0	157	Monofásica	Pesada	8.83	0.54	4.22	4.33	0.68	2.96	3.50	7.33	9.22	5.97	8.09	7.05
13	0	157	Bifásica	Leve	10.15	15.97	7.68	7.37	6.82	4.54	5.11	14.42	14.27	16.58	15.95	13.47
14	0	157	Bifásica	Media	10.38	15.14	7.92	7.72	6.40	4.59	5.45	14.68	14.35	14.31	14.95	13.20
15	0	157	Bifásica	Pesada	10.41	16.01	7.33	7.83	6.84	4.14	5.39	14.63	14.30	14.57	15.09	12.74
16	0	157	Trifásica	Leve	13.03	15.97	12.42	12.02	6.82	6.30	7.29	16.49	15.81	17.95	17.59	15.60
17	0	157	Trifásica	Media	13.22	15.14	12.00	12.24	6.40	6.11	7.20	16.35	16.17	12.94	15.95	14.96
18	0	157	Trifásica	Pesada	13.31	16.01	12.70	12.47	6.84	6.43	7.49	16.21	16.06	13.29	16.58	15.01
19	0	181	Monofásica	Leve	9.99	0.44	5.42	5.05	1.26	3.78	4.18	8.44	10.52	9.91	10.36	10.90
20	0	181	Monofásica	Media	10.10	0.71	5.36	5.23	1.45	3.77	4.06	7.63	11.04	7.17	9.69	8.67
21	0	181	Monofásica	Pesada	10.10	0.65	4.88	5.09	0.84	3.43	4.09	8.58	10.75	6.95	9.44	8.11
22	0	181	Bifásica	Leve	11.66	18.33	8.89	8.63	7.93	5.26	6.02	16.73	16.57	19.27	18.57	15.69
23	0	181	Bifásica	Media	11.91	17.38	9.20	9.03	7.45	5.33	6.40	17.00	16.64	16.65	17.39	15.37
24	0	181	Bifásica	Pesada	11.96	18.40	8.42	9.08	7.99	4.78	6.32	16.98	16.61	16.94	17.51	14.77
25	0	181	Trifásica	Leve	14.93	18.33	14.25	13.87	7.93	7.30	8.54	19.12	18.30	20.85	20.43	18.12
26	0	181	Trifásica	Media	15.15	17.38	13.78	14.13	7.45	7.05	8.43	18.96	18.74	15.02	18.50	17.35
27	0	181	Trifásica	Pesada	15.26	18.40	14.56	14.37	7.99	7.44	8.75	18.78	18.62	15.40	19.23	17.42
28	5	133	Monofásica	Leve	7.18	1.01	3.60	2.92	0.44	0.32	1.47	5.01	6.40	6.99	7.38	7.72
29	5	133	Monofásica	Media	7.24	1.01	3.51	3.03	0.32	0.35	1.32	4.72	6.84	4.70	6.57	6.24
30	5	133	Monofásica	Pesada	7.24	0.97	3.62	3.32	0.46	0.31	1.60	4.72	6.66	4.75	6.75	6.00

31	5	133	Bifásica	Leve	8.31	13.43	5.72	5.91	5.95	2.36	3.10	11.09	9.36	13.56	12.84	11.53
32	5	133	Bifásica	Media	8.36	12.71	5.75	6.06	5.68	2.43	3.28	12.09	9.93	11.86	12.39	11.26
33	5	133	Bifásica	Pesada	8.37	13.47	5.97	6.91	5.93	2.92	4.12	9.49	11.80	12.04	12.41	10.94
34	5	133	Trifásica	Leve	11.08	13.43	10.37	10.08	5.94	5.45	6.34	14.18	13.55	15.31	14.99	13.32
35	5	133	Trifásica	Media	11.24	12.71	10.02	10.24	5.55	5.27	6.26	14.05	13.90	11.15	13.69	12.77
36	5	133	Trifásica	Pesada	11.32	13.47	10.64	10.44	5.93	5.56	6.53	13.94	13.79	11.47	14.17	12.80
37	5	157	Monofásica	Leve	8.51	1.28	4.33	3.56	0.54	0.41	1.68	5.93	7.56	8.14	8.62	8.86
38	5	157	Monofásica	Media	8.59	1.29	4.21	3.69	0.36	0.44	1.51	5.60	8.02	5.45	7.67	7.18
39	5	157	Monofásica	Pesada	8.59	1.23	4.36	4.02	0.55	0.40	1.82	5.59	7.82	5.51	7.89	6.90
40	5	157	Bifásica	Leve	9.86	15.97	6.83	7.10	6.84	2.69	3.53	13.01	10.99	15.88	15.06	13.59
41	5	157	Bifásica	Media	9.92	15.14	6.86	7.26	6.56	2.78	3.74	14.13	11.64	13.91	14.53	13.27
42	5	157	Bifásica	Pesada	9.93	16.01	7.10	8.28	6.84	3.31	4.72	11.13	13.80	14.13	14.58	12.90
43	5	157	Trifásica	Leve	13.03	15.97	12.42	12.02	6.82	6.30	7.29	16.49	15.81	17.95	17.59	15.60
44	5	157	Trifásica	Media	13.22	15.14	12.00	12.24	6.40	6.11	7.20	16.35	16.17	12.94	15.95	14.96
45	5	157	Trifásica	Pesada	13.31	16.01	12.70	12.47	6.84	6.43	7.49	16.21	16.06	13.29	16.58	15.01
46	5	181	Monofásica	Leve	9.75	1.47	4.99	4.24	0.68	0.49	1.97	7.02	8.89	9.46	10.03	10.23
47	5	181	Monofásica	Media	9.83	1.50	4.84	4.39	0.45	0.54	1.72	6.59	9.39	6.36	8.96	8.32
48	5	181	Monofásica	Pesada	9.83	1.43	5.08	4.79	0.69	0.48	2.16	6.60	9.14	6.45	9.24	7.97
49	5	181	Bifásica	Leve	11.33	18.33	7.91	8.23	7.95	3.19	4.16	15.14	12.88	18.51	17.51	15.83
50	5	181	Bifásica	Media	11.39	17.38	7.96	8.39	7.63	3.29	4.44	16.39	13.58	16.24	16.89	15.49
51	5	181	Bifásica	Pesada	11.40	18.40	8.22	9.58	7.99	3.85	5.51	12.99	16.02	16.49	16.96	15.02
52	5	181	Trifásica	Leve	14.93	18.33	14.25	13.87	7.93	7.30	8.54	19.12	18.30	20.85	20.43	18.12
53	5	181	Trifásica	Media	15.15	17.38	13.78	14.13	7.45	7.05	8.43	18.96	18.74	15.02	18.50	17.35
54	5	181	Trifásica	Pesada	15.26	18.40	14.56	14.37	7.99	7.44	8.75	18.78	18.62	15.40	19.23	17.42
55	25	133	Monofásica	Leve	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.68	2.42	4.15	4.84	5.19
56	25	133	Monofásica	Media	3.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.84	3.09	1.96	4.12	4.30
57	25	133	Monofásica	Pesada	3.27	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	3.31	1.96	4.12	4.11
58	25	133	Bifásica	Leve	7.27	13.43	3.14	3.26	5.94	0.61	1.09	9.02	7.63	11.69	11.09	10.95
59	25	133	Bifásica	Media	7.27	12.71	2.94	3.35	5.55	0.60	1.24	10.34	8.86	10.34	11.49	11.01
60	25	133	Bifásica	Pesada	7.40	13.47	3.87	5.29	5.93	0.00	2.55	7.95	9.50	10.39	11.62	10.68
61	25	133	Trifásica	Leve	11.08	13.43	10.37	10.08	5.94	5.45	6.34	14.18	13.55	15.31	14.99	13.32
62	25	133	Trifásica	Media	11.24	12.71	10.02	10.24	5.55	5.27	6.26	14.05	13.90	11.15	13.69	12.77
63	25	133	Trifásica	Pesada	11.32	13.47	10.64	10.44	5.93	5.56	6.53	13.94	13.79	11.47	14.17	12.80
64	25	157	Monofásica	Leve	4.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.18	2.86	4.79	5.57	5.97
65	25	157	Monofásica	Media	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	3.70	2.33	4.77	4.97
66	25	157	Monofásica	Pesada	3.96	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	3.97	2.33	4.77	4.77
67	25	157	Bifásica	Leve	8.68	15.97	3.79	3.82	6.82	0.72	1.22	10.59	8.97	13.77	13.05	12.88
68	25	157	Bifásica	Media	8.66	15.14	3.57	3.97	6.40	0.69	1.37	12.09	10.45	12.13	13.46	12.94
69	25	157	Bifásica	Pesada	8.82	16.01	4.66	6.33	6.84	0.00	2.97	9.35	11.17	12.19	13.61	12.58
70	25	157	Trifásica	Leve	13.03	15.97	12.42	12.02	6.82	6.30	7.29	16.49	15.81	17.95	17.59	15.60

111	inf	133	Monofásica	Pesada	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
112	inf	133	Bifásica	Leve	2.67	13.43	0.94	1.05	5.94	0.88	1.35	6.66	0.89	10.42	6.82	7.93
113	inf	133	Bifásica	Media	3.39	12.71	1.15	1.09	5.55	0.83	1.48	8.06	0.66	9.99	7.06	8.05
114	inf	133	Bifásica	Pesada	4.11	13.47	0.48	0.95	5.93	0.03	0.87	6.71	0.25	10.01	6.97	7.70
115	inf	133	Trifásica	Leve	11.08	13.43	10.37	10.08	5.94	5.45	6.34	14.18	13.55	15.31	14.99	13.32
116	inf	133	Trifásica	Media	11.24	12.71	10.02	10.24	5.55	5.27	6.26	14.05	13.90	11.15	13.69	12.77
117	inf	133	Trifásica	Pesada	11.32	13.47	10.64	10.44	5.93	5.56	6.53	13.94	13.79	11.47	14.17	12.80
118	inf	157	Monofásica	Leve	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
119	inf	157	Monofásica	Media	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
120	inf	157	Monofásica	Pesada	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
121	inf	157	Bifásica	Leve	3.13	15.97	1.15	1.28	6.82	1.02	1.53	7.82	1.09	12.19	7.97	9.31
122	inf	157	Bifásica	Media	3.94	15.14	1.38	1.33	6.40	0.98	1.66	9.41	0.78	11.67	8.27	9.45
123	inf	157	Bifásica	Pesada	4.80	16.01	0.59	1.17	6.84	0.03	0.98	7.82	0.31	11.70	8.15	9.04
124	inf	157	Trifásica	Leve	13.03	15.97	12.42	12.02	6.82	6.30	7.29	16.49	15.81	17.95	17.59	15.60
125	inf	157	Trifásica	Media	13.22	15.14	12.00	12.24	6.40	6.11	7.20	16.35	16.17	12.94	15.95	14.96
126	inf	157	Trifásica	Pesada	13.31	16.01	12.70	12.47	6.84	6.43	7.49	16.21	16.06	13.29	16.58	15.01
127	inf	181	Monofásica	Leve	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
128	inf	181	Monofásica	Media	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
129	inf	181	Monofásica	Pesada	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
130	inf	181	Bifásica	Leve	3.57	18.33	1.37	1.54	7.93	1.17	1.82	9.18	1.29	14.11	9.09	10.66
131	inf	181	Bifásica	Media	4.49	17.38	1.67	1.60	7.45	1.10	1.99	10.99	0.93	13.47	9.45	10.84
132	inf	181	Bifásica	Pesada	5.49	18.40	0.68	1.37	7.99	0.05	1.17	9.10	0.36	13.51	9.32	10.38
133	inf	181	Trifásica	Leve	14.93	18.33	14.25	13.87	7.93	7.30	8.54	19.12	18.30	20.85	20.43	18.12
134	inf	181	Trifásica	Media	15.15	17.38	13.78	14.13	7.45	7.05	8.43	18.96	18.74	15.02	18.50	17.35
135	inf	181	Trifásica	Pesada	15.26	18.40	14.56	14.37	7.99	7.44	8.75	18.78	18.62	15.40	19.23	17.42
136	0	133	Monofásica	Leve	7.33	0.27	3.82	3.49	0.84	2.79	3.19	6.11	7.80	7.28	7.55	8.23
137	0	133	Monofásica	Media	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	1.43	2.73
138	0	133	Monofásica	Pesada	7.40	0.47	3.44	3.48	0.60	2.63	3.08	6.25	7.97	5.07	6.91	6.12
139	0	133	Bifásica	Leve	8.60	13.53	6.61	6.15	5.94	4.04	4.56	12.37	12.25	14.24	13.55	11.52
140	0	133	Bifásica	Media	8.78	12.82	6.84	6.47	5.69	4.04	4.87	12.59	12.32	12.15	12.65	11.14
141	0	133	Bifásica	Pesada	8.80	13.55	6.14	6.63	5.98	3.70	4.75	12.58	12.30	12.37	12.74	10.79
142	0	133	Trifásica	Leve	11.03	13.53	10.43	10.10	5.94	5.53	6.41	14.11	13.50	15.40	15.06	13.29
143	0	133	Trifásica	Media	11.18	12.82	10.09	10.29	5.69	5.35	6.38	14.06	13.88	11.31	13.74	12.72
144	0	133	Trifásica	Pesada	11.28	13.55	10.63	10.47	5.98	5.58	6.66	13.89	13.76	11.51	14.26	12.89
145	0	157	Monofásica	Leve	8.69	0.33	4.64	4.23	1.00	3.21	3.61	7.19	9.12	8.52	8.81	9.49
146	0	157	Monofásica	Media	8.78	0.55	4.59	4.32	1.14	3.19	3.52	6.57	9.53	6.04	8.23	7.51
147	0	157	Monofásica	Pesada	8.78	0.55	4.17	4.22	0.73	2.97	3.47	7.35	9.32	5.86	8.07	7.02
148	0	157	Bifásica	Leve	10.14	16.08	7.83	7.42	6.85	4.65	5.23	14.46	14.28	16.66	15.89	13.53
149	0	157	Bifásica	Media	10.36	15.29	8.08	7.76	6.57	4.66	5.58	14.69	14.35	14.24	14.84	13.10
150	0	157	Bifásica	Pesada	10.38	16.12	7.30	7.91	6.91	4.23	5.45	14.68	14.34	14.49	14.94	12.70

151	0	157	Trifásica	Leve	12.98	16.08	12.48	12.05	6.85	6.38	7.35	16.42	15.75	18.04	17.67	15.57
152	0	157	Trifásica	Media	13.16	15.29	12.06	12.24	6.57	6.15	7.29	16.37	16.16	13.12	16.01	14.91
153	0	157	Trifásica	Pesada	13.26	16.12	12.68	12.48	6.91	6.41	7.60	16.17	16.04	13.33	16.69	15.10
154	0	181	Monofásica	Leve	9.95	0.43	5.34	4.99	1.23	3.70	4.24	8.48	10.63	9.89	10.21	10.94
155	0	181	Monofásica	Media	10.06	0.65	5.28	5.11	1.37	3.68	4.13	7.71	11.12	7.05	9.59	8.65
156	0	181	Monofásica	Pesada	10.06	0.65	4.79	4.98	0.89	3.41	4.04	8.64	10.86	6.83	9.39	8.07
157	0	181	Bifásica	Leve	11.66	18.47	9.07	8.71	8.02	5.36	6.13	16.76	16.57	19.37	18.49	15.75
158	0	181	Bifásica	Media	11.89	17.59	9.31	9.07	7.65	5.39	6.51	17.02	16.64	16.56	17.26	15.25
159	0	181	Bifásica	Pesada	11.93	18.57	8.40	9.20	8.07	4.85	6.37	17.01	16.65	16.86	17.36	14.72
160	0	181	Trifásica	Leve	14.88	18.47	14.29	13.93	8.02	7.42	8.58	19.01	18.24	20.96	20.54	18.09
161	0	181	Trifásica	Media	15.09	17.59	13.85	14.17	7.65	7.17	8.51	18.95	18.71	15.21	18.59	17.30
162	0	181	Trifásica	Pesada	15.20	18.57	14.58	14.43	8.07	7.49	8.85	18.72	18.59	15.46	19.37	17.52
163	5	133	Monofásica	Leve	7.17	0.91	3.57	2.92	0.38	0.34	1.61	5.01	6.43	6.93	7.37	7.71
164	5	133	Monofásica	Media	7.21	0.98	3.48	3.01	0.28	0.34	1.45	4.74	6.87	4.63	6.48	6.20
165	5	133	Monofásica	Pesada	7.21	1.01	3.54	3.18	0.43	0.29	1.70	4.73	6.68	4.68	6.64	6.03
166	5	133	Bifásica	Leve	8.32	13.53	5.62	5.86	5.99	2.38	3.05	11.12	9.42	13.52	12.76	11.42
167	5	133	Bifásica	Media	8.37	12.82	5.66	5.99	5.78	2.42	3.23	12.08	9.90	11.78	12.36	11.21
168	5	133	Bifásica	Pesada	8.38	13.55	5.85	7.13	5.98	3.05	4.14	9.50	11.83	11.97	12.39	10.86
169	5	133	Trifásica	Leve	11.03	13.53	10.43	10.10	5.94	5.53	6.41	14.11	13.50	15.40	15.06	13.29
170	5	133	Trifásica	Media	11.18	12.82	10.09	10.29	5.69	5.35	6.38	14.06	13.88	11.31	13.74	12.72
171	5	133	Trifásica	Pesada	11.28	13.55	10.63	10.47	5.98	5.58	6.66	13.89	13.76	11.51	14.26	12.89
172	5	157	Monofásica	Leve	8.49	1.15	4.30	3.55	0.45	0.42	1.84	5.94	7.58	8.07	8.61	8.85
173	5	157	Monofásica	Media	8.56	1.23	4.17	3.65	0.30	0.42	1.65	5.63	8.06	5.36	7.55	7.13
174	5	157	Monofásica	Pesada	8.56	1.27	4.27	3.87	0.52	0.37	1.92	5.60	7.84	5.46	7.75	6.92
175	5	157	Bifásica	Leve	9.85	16.08	6.74	7.04	6.91	2.72	3.47	13.05	11.06	15.83	14.97	13.45
176	5	157	Bifásica	Media	9.92	15.29	6.76	7.18	6.69	2.77	3.67	14.10	11.64	13.84	14.50	13.20
177	5	157	Bifásica	Pesada	9.93	16.12	6.97	8.50	6.91	3.49	4.73	11.15	13.83	14.05	14.55	12.80
178	5	157	Trifásica	Leve	12.98	16.08	12.48	12.05	6.85	6.38	7.35	16.42	15.75	18.04	17.67	15.57
179	5	157	Trifásica	Media	13.16	15.29	12.06	12.24	6.57	6.15	7.29	16.37	16.16	13.12	16.01	14.91
180	5	157	Trifásica	Pesada	13.26	16.12	12.68	12.48	6.91	6.41	7.60	16.17	16.04	13.33	16.69	15.10
181	5	181	Monofásica	Leve	9.72	1.32	4.93	4.27	0.57	0.52	2.14	7.01	8.89	9.39	10.01	10.20
182	5	181	Monofásica	Media	9.80	1.40	4.78	4.38	0.39	0.52	1.93	6.62	9.42	6.26	8.81	8.26
183	5	181	Monofásica	Pesada	9.80	1.47	4.91	4.61	0.64	0.45	2.28	6.62	9.15	6.39	9.05	7.99
184	5	181	Bifásica	Leve	11.32	18.47	7.82	8.16	8.09	3.18	4.08	15.20	12.95	18.45	17.39	15.68
185	5	181	Bifásica	Media	11.39	17.59	7.84	8.31	7.80	3.28	4.33	16.38	13.58	16.16	16.86	15.39
186	5	181	Bifásica	Pesada	11.42	18.57	8.09	9.85	8.07	4.02	5.55	13.03	16.04	16.40	16.91	14.92
187	5	181	Trifásica	Leve	14.88	18.47	14.29	13.93	8.02	7.42	8.58	19.01	18.24	20.96	20.54	18.09
188	5	181	Trifásica	Media	15.09	17.59	13.85	14.17	7.65	7.17	8.51	18.95	18.71	15.21	18.59	17.30
189	5	181	Trifásica	Pesada	15.20	18.57	14.58	14.43	8.07	7.49	8.85	18.72	18.59	15.46	19.37	17.52
190	25	133	Monofásica	Leve	3.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.69	2.38	4.09	4.85	5.13

191	25	133	Monofásica	Media	3.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.87	3.08	1.96	4.10	4.33
192	25	133	Monofásica	Pesada	3.24	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	1.93	4.10	4.08
193	25	133	Bifásica	Leve	7.30	13.53	3.05	3.16	5.94	0.59	1.19	9.06	7.63	11.67	11.07	10.91
194	25	133	Bifásica	Media	7.22	12.82	2.88	3.31	5.69	0.62	1.33	10.32	8.89	10.32	11.43	10.97
195	25	133	Bifásica	Pesada	7.39	13.55	3.85	5.19	5.98	0.00	2.66	7.94	9.53	10.39	11.61	10.62
196	25	133	Trifásica	Leve	11.03	13.53	10.43	10.10	5.94	5.53	6.41	14.11	13.50	15.40	15.06	13.29
197	25	133	Trifásica	Media	11.18	12.82	10.09	10.29	5.69	5.35	6.38	14.06	13.88	11.31	13.74	12.72
198	25	133	Trifásica	Pesada	11.28	13.55	10.63	10.47	5.98	5.58	6.66	13.89	13.76	11.51	14.26	12.89
199	25	157	Monofásica	Leve	4.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.19	2.84	4.73	5.58	5.90
200	25	157	Monofásica	Media	3.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.43	3.69	2.33	4.74	5.00
201	25	157	Monofásica	Pesada	3.93	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	3.95	2.30	4.74	4.73
202	25	157	Bifásica	Leve	8.71	16.08	3.68	3.71	6.85	0.70	1.33	10.63	8.97	13.73	13.02	12.84
203	25	157	Bifásica	Media	8.61	15.29	3.49	3.90	6.57	0.71	1.47	12.06	10.48	12.11	13.38	12.90
204	25	157	Bifásica	Pesada	8.81	16.12	4.64	6.26	6.91	0.01	3.09	9.34	11.20	12.18	13.61	12.50
205	25	157	Trifásica	Leve	12.98	16.08	12.48	12.05	6.85	6.38	7.35	16.42	15.75	18.04	17.67	15.57
206	25	157	Trifásica	Media	13.16	15.29	12.06	12.24	6.57	6.15	7.29	16.37	16.16	13.12	16.01	14.91
207	25	157	Trifásica	Pesada	13.26	16.12	12.68	12.48	6.91	6.41	7.60	16.17	16.04	13.33	16.69	15.10
208	25	181	Monofásica	Leve	5.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.78	3.41	5.48	6.50	6.79
209	25	181	Monofásica	Media	4.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.06	4.37	2.65	5.51	5.81
210	25	181	Monofásica	Pesada	4.52	0.00	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	4.68	2.61	5.51	5.52
211	25	181	Bifásica	Leve	9.93	18.47	4.37	4.43	8.02	0.80	1.57	12.45	10.46	15.94	15.15	14.90
212	25	181	Bifásica	Media	9.83	17.59	4.12	4.65	7.65	0.80	1.74	14.08	12.23	14.07	15.57	14.99
213	25	181	Bifásica	Pesada	10.04	18.57	5.44	7.34	8.07	0.01	3.66	10.89	13.09	14.15	15.80	14.53
214	25	181	Trifásica	Leve	14.88	18.47	14.29	13.93	8.02	7.42	8.58	19.01	18.24	20.96	20.54	18.09
215	25	181	Trifásica	Media	15.09	17.59	13.85	14.17	7.65	7.17	8.51	18.95	18.71	15.21	18.59	17.30
216	25	181	Trifásica	Pesada	15.20	18.57	14.58	14.43	8.07	7.49	8.85	18.72	18.59	15.46	19.37	17.52
217	40	133	Monofásica	Leve	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.83	2.04	3.35
218	40	133	Monofásica	Media	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	1.43	2.73
219	40	133	Monofásica	Pesada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	1.46	2.60
220	40	133	Bifásica	Leve	6.64	13.53	2.06	2.15	5.94	0.63	1.14	8.72	6.58	11.11	10.36	10.61
221	40	133	Bifásica	Media	6.61	12.82	1.67	2.22	5.69	0.68	1.34	9.89	8.30	9.89	10.73	10.78
222	40	133	Bifásica	Pesada	6.76	13.55	2.27	4.01	5.98	0.00	2.17	7.35	9.21	9.92	10.80	10.47
223	40	133	Trifásica	Leve	11.03	13.53	10.43	10.10	5.94	5.53	6.41	14.11	13.50	15.40	15.06	13.29
224	40	133	Trifásica	Media	11.18	12.82	10.09	10.29	5.69	5.35	6.38	14.06	13.88	11.31	13.74	12.72
225	40	133	Trifásica	Pesada	11.28	13.55	10.63	10.47	5.98	5.58	6.66	13.89	13.76	11.51	14.26	12.89
226	40	157	Monofásica	Leve	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.15	2.41	3.88
227	40	157	Monofásica	Media	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	1.67	3.20
228	40	157	Monofásica	Pesada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	1.70	3.05
229	40	157	Bifásica	Leve	7.95	16.08	2.59	2.53	6.85	0.74	1.28	10.23	7.79	13.04	12.13	12.47
230	40	157	Bifásica	Media	7.92	15.29	2.11	2.61	6.57	0.78	1.48	11.59	9.75	11.54	12.62	12.66

231	40	157	Bifásica	Pesada	8.09	16.12	2.84	4.78	6.91	0.00	2.47	8.66	10.82	11.58	12.72	12.31
232	40	157	Trifásica	Leve	12.98	16.08	12.48	12.05	6.85	6.38	7.35	16.42	15.75	18.04	17.67	15.57
233	40	157	Trifásica	Media	13.16	15.29	12.06	12.24	6.57	6.15	7.29	16.37	16.16	13.12	16.01	14.91
234	40	157	Trifásica	Pesada	13.26	16.12	12.68	12.48	6.91	6.41	7.60	16.17	16.04	13.33	16.69	15.10
235	40	181	Monofásica	Leve	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.44	2.77	4.45
236	40	181	Monofásica	Media	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	1.86	3.64
237	40	181	Monofásica	Pesada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	1.89	3.46
238	40	181	Bifásica	Leve	9.07	18.47	3.02	3.10	8.02	0.84	1.53	11.96	9.15	15.13	14.10	14.47
239	40	181	Bifásica	Media	9.01	17.59	2.49	3.18	7.65	0.87	1.79	13.50	11.33	13.40	14.67	14.72
240	40	181	Bifásica	Pesada	9.23	18.57	3.38	5.66	8.07	0.00	2.92	10.10	12.62	13.44	14.78	14.27
241	40	181	Trifásica	Leve	14.88	18.47	14.29	13.93	8.02	7.42	8.58	19.01	18.24	20.96	20.54	18.09
242	40	181	Trifásica	Media	15.09	17.59	13.85	14.17	7.65	7.17	8.51	18.95	18.71	15.21	18.59	17.30
243	40	181	Trifásica	Pesada	15.20	18.57	14.58	14.43	8.07	7.49	8.85	18.72	18.59	15.46	19.37	17.52
244	inf	133	Monofásica	Leve	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
245	inf	133	Monofásica	Media	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
246	inf	133	Monofásica	Pesada	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
247	inf	133	Bifásica	Leve	2.63	13.53	0.88	0.96	5.94	0.84	1.34	6.74	0.93	10.35	6.79	7.89
248	inf	133	Bifásica	Media	3.35	12.82	1.09	1.03	5.69	0.77	1.54	8.12	0.69	9.93	7.02	8.05
249	inf	133	Bifásica	Pesada	4.09	13.55	0.36	0.90	5.98	0.03	0.96	6.76	0.25	9.95	6.95	7.67
250	inf	133	Trifásica	Leve	11.03	13.53	10.43	10.10	5.94	5.53	6.41	14.11	13.50	15.40	15.06	13.29
251	inf	133	Trifásica	Media	11.18	12.82	10.09	10.29	5.69	5.35	6.38	14.06	13.88	11.31	13.74	12.72
252	inf	133	Trifásica	Pesada	11.28	13.55	10.63	10.47	5.98	5.58	6.66	13.89	13.76	11.51	14.26	12.89
253	inf	157	Monofásica	Leve	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
254	inf	157	Monofásica	Media	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
255	inf	157	Monofásica	Pesada	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
256	inf	157	Bifásica	Leve	3.08	16.08	1.07	1.18	6.85	0.97	1.51	7.93	1.13	12.10	7.94	9.26
257	inf	157	Bifásica	Media	3.91	15.29	1.35	1.25	6.57	0.91	1.72	9.49	0.80	11.61	8.22	9.45
258	inf	157	Bifásica	Pesada	4.78	16.12	0.43	1.12	6.91	0.03	1.06	7.89	0.31	11.64	8.13	9.00
259	inf	157	Trifásica	Leve	12.98	16.08	12.48	12.05	6.85	6.38	7.35	16.42	15.75	18.04	17.67	15.57
260	inf	157	Trifásica	Media	13.16	15.29	12.06	12.24	6.57	6.15	7.29	16.37	16.16	13.12	16.01	14.91
261	inf	157	Trifásica	Pesada	13.26	16.12	12.68	12.48	6.91	6.41	7.60	16.17	16.04	13.33	16.69	15.10
262	inf	181	Monofásica	Leve	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
263	inf	181	Monofásica	Media	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
264	inf	181	Monofásica	Pesada	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
265	inf	181	Bifásica	Leve	3.52	18.47	1.25	1.42	8.02	1.12	1.81	9.29	1.28	14.03	9.06	10.61
266	inf	181	Bifásica	Media	4.45	17.59	1.64	1.50	7.65	1.04	2.06	11.09	0.96	13.40	9.40	10.84
267	inf	181	Bifásica	Pesada	5.46	18.57	0.50	1.30	8.07	0.03	1.25	9.17	0.36	13.45	9.29	10.35
268	inf	181	Trifásica	Leve	14.88	18.47	14.29	13.93	8.02	7.42	8.58	19.01	18.24	20.96	20.54	18.09
269	inf	181	Trifásica	Media	15.09	17.59	13.85	14.17	7.65	7.17	8.51	18.95	18.71	15.21	18.59	17.30
270	inf	181	Trifásica	Pesada	15.20	18.57	14.58	14.43	8.07	7.49	8.85	18.72	18.59	15.46	19.37	17.52

271	0	133	Monofásica	Leve	7.31	0.24	3.84	3.51	0.80	2.76	3.21	6.18	7.86	7.23	7.53	8.27
272	0	133	Monofásica	Media	7.37	0.38	3.80	3.61	0.94	2.71	3.15	5.59	8.23	5.16	6.96	6.48
273	0	133	Monofásica	Pesada	7.37	0.46	3.48	3.53	0.61	2.59	3.07	6.23	8.01	5.05	6.86	6.10
274	0	133	Bifásica	Leve	8.57	13.59	6.72	6.13	5.97	4.21	4.50	12.39	12.30	14.35	13.49	11.56
275	0	133	Bifásica	Media	8.75	12.98	6.92	6.51	5.70	4.15	4.91	12.58	12.37	12.12	12.58	11.10
276	0	133	Bifásica	Pesada	8.78	13.58	5.95	6.58	5.99	3.84	4.86	12.61	12.34	12.25	12.68	10.77
277	0	133	Trifásica	Leve	10.97	13.59	10.49	10.16	5.97	5.55	6.51	14.07	13.47	15.53	15.14	13.26
278	0	133	Trifásica	Media	11.17	12.98	10.18	10.34	5.70	5.43	6.44	14.07	13.84	11.37	13.81	12.66
279	0	133	Trifásica	Pesada	11.25	13.58	10.71	10.48	5.99	5.58	6.70	13.86	13.72	11.56	14.30	12.95
280	0	157	Monofásica	Leve	8.66	0.30	4.67	4.23	0.92	3.15	3.64	7.26	9.21	8.42	8.78	9.53
281	0	157	Monofásica	Media	8.73	0.43	4.62	4.35	1.06	3.10	3.58	6.60	9.63	5.92	8.11	7.44
282	0	157	Monofásica	Pesada	8.73	0.57	4.22	4.22	0.73	2.92	3.45	7.32	9.39	5.81	8.00	7.00
283	0	157	Bifásica	Leve	10.12	16.17	7.97	7.36	6.89	4.83	5.19	14.48	14.32	16.78	15.81	13.56
284	0	157	Bifásica	Media	10.33	15.47	8.18	7.80	6.54	4.76	5.66	14.67	14.39	14.20	14.75	13.06
285	0	157	Bifásica	Pesada	10.36	16.17	7.09	7.90	6.88	4.38	5.56	14.70	14.38	14.36	14.87	12.68
286	0	157	Trifásica	Leve	12.92	16.17	12.53	12.09	6.89	6.38	7.42	16.37	15.73	18.17	17.76	15.54
287	0	157	Trifásica	Media	13.14	15.47	12.12	12.30	6.54	6.21	7.34	16.37	16.12	13.18	16.14	14.85
288	0	157	Trifásica	Pesada	13.24	16.17	12.75	12.49	6.88	6.40	7.67	16.14	16.00	13.42	16.73	15.17
289	0	181	Monofásica	Leve	9.92	0.38	5.35	5.01	1.12	3.67	4.25	8.54	10.74	9.73	10.20	10.97
290	0	181	Monofásica	Media	10.02	0.49	5.28	5.15	1.26	3.62	4.16	7.75	11.28	6.93	9.45	8.58
291	0	181	Monofásica	Pesada	10.02	0.67	4.81	4.98	0.88	3.38	4.02	8.60	10.95	6.80	9.31	8.07
292	0	181	Bifásica	Leve	11.61	18.60	9.16	8.61	8.05	5.59	6.11	16.81	16.60	19.50	18.40	15.75
293	0	181	Bifásica	Media	11.88	17.79	9.42	9.13	7.67	5.51	6.65	17.02	16.67	16.49	17.15	15.20
294	0	181	Bifásica	Pesada	11.91	18.62	8.20	9.19	8.08	5.05	6.49	17.05	16.67	16.69	17.29	14.71
295	0	181	Trifásica	Leve	14.81	18.60	14.40	13.99	8.05	7.48	8.67	18.98	18.22	21.10	20.63	18.05
296	0	181	Trifásica	Media	15.06	17.79	13.94	14.21	7.67	7.24	8.59	18.97	18.67	15.29	18.72	17.22
297	0	181	Trifásica	Pesada	15.18	18.62	14.64	14.41	8.08	7.51	8.98	18.69	18.55	15.56	19.43	17.55
298	5	133	Monofásica	Leve	7.18	0.86	3.51	2.92	0.33	0.29	1.66	5.04	6.47	6.87	7.27	7.68
299	5	133	Monofásica	Media	7.20	0.86	3.38	2.99	0.27	0.31	1.58	4.78	6.88	4.58	6.42	6.16
300	5	133	Monofásica	Pesada	7.20	0.94	3.53	3.18	0.40	0.24	1.78	4.71	6.70	4.65	6.55	6.07
301	5	133	Bifásica	Leve	8.30	13.59	5.53	5.71	5.99	2.48	3.13	11.16	9.43	13.49	12.68	11.38
302	5	133	Bifásica	Media	8.36	12.98	5.53	5.85	5.75	2.41	3.30	12.04	9.88	11.71	12.31	11.13
303	5	133	Bifásica	Pesada	8.37	13.58	5.78	7.21	5.99	3.24	4.21	9.46	11.87	11.95	12.42	10.84
304	5	133	Trifásica	Leve	10.97	13.59	10.49	10.16	5.97	5.55	6.51	14.07	13.47	15.53	15.14	13.26
305	5	133	Trifásica	Media	11.17	12.98	10.18	10.34	5.70	5.43	6.44	14.07	13.84	11.37	13.81	12.66
306	5	133	Trifásica	Pesada	11.25	13.58	10.71	10.48	5.99	5.58	6.70	13.86	13.72	11.56	14.30	12.95
307	5	157	Monofásica	Leve	8.50	1.05	4.24	3.53	0.36	0.36	1.89	5.97	7.63	7.99	8.46	8.83
308	5	157	Monofásica	Media	8.54	1.06	4.10	3.62	0.29	0.38	1.79	5.67	8.09	5.31	7.46	7.07
309	5	157	Monofásica	Pesada	8.54	1.19	4.29	3.84	0.46	0.31	2.01	5.60	7.86	5.40	7.63	6.97
310	5	157	Bifásica	Leve	9.83	16.17	6.61	6.84	6.92	2.84	3.56	13.09	11.07	15.79	14.89	13.40

311	5	157	Bifásica	Media	9.89	15.47	6.61	6.99	6.62	2.76	3.76	14.06	11.59	13.76	14.45	13.09
312	5	157	Bifásica	Pesada	9.90	16.17	6.92	8.60	6.88	3.70	4.78	11.10	13.87	14.02	14.58	12.75
313	5	157	Trifásica	Leve	12.92	16.17	12.53	12.09	6.89	6.38	7.42	16.37	15.73	18.17	17.76	15.54
314	5	157	Trifásica	Media	13.14	15.47	12.12	12.30	6.54	6.21	7.34	16.37	16.12	13.18	16.14	14.85
315	5	157	Trifásica	Pesada	13.24	16.17	12.75	12.49	6.88	6.40	7.67	16.14	16.00	13.42	16.73	15.17
316	5	181	Monofásica	Leve	9.73	1.21	4.85	4.25	0.48	0.45	2.23	7.06	8.95	9.29	9.80	10.16
317	5	181	Monofásica	Media	9.78	1.22	4.68	4.36	0.37	0.49	2.04	6.67	9.47	6.19	8.72	8.16
318	5	181	Monofásica	Pesada	9.78	1.37	4.92	4.62	0.57	0.40	2.38	6.60	9.16	6.30	8.90	8.07
319	5	181	Bifásica	Leve	11.27	18.60	7.66	7.95	8.09	3.31	4.17	15.25	12.98	18.40	17.29	15.62
320	5	181	Bifásica	Media	11.38	17.79	7.68	8.14	7.78	3.24	4.42	16.36	13.53	16.05	16.80	15.27
321	5	181	Bifásica	Pesada	11.40	18.62	8.02	9.93	8.08	4.21	5.58	12.98	16.09	16.38	16.95	14.86
322	5	181	Trifásica	Leve	14.81	18.60	14.40	13.99	8.05	7.48	8.67	18.98	18.22	21.10	20.63	18.05
323	5	181	Trifásica	Media	15.06	17.79	13.94	14.21	7.67	7.24	8.59	18.97	18.67	15.29	18.72	17.22
324	5	181	Trifásica	Pesada	15.18	18.62	14.64	14.41	8.08	7.51	8.98	18.69	18.55	15.56	19.43	17.55
325	25	133	Monofásica	Leve	3.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.69	2.42	4.07	4.84	5.12
326	25	133	Monofásica	Media	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.89	3.09	1.92	4.13	4.31
327	25	133	Monofásica	Pesada	3.28	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	3.32	1.91	4.13	4.07
328	25	133	Bifásica	Leve	7.27	13.59	3.03	3.09	5.97	0.59	1.27	9.09	7.65	11.65	11.05	10.86
329	25	133	Bifásica	Media	7.19	12.98	2.77	3.23	5.70	0.64	1.47	10.35	8.96	10.28	11.40	10.93
330	25	133	Bifásica	Pesada	7.39	13.58	3.73	5.17	5.99	0.00	2.79	7.97	9.56	10.35	11.62	10.62
331	25	133	Trifásica	Leve	10.97	13.59	10.49	10.16	5.97	5.55	6.51	14.07	13.47	15.53	15.14	13.26
332	25	133	Trifásica	Media	11.17	12.98	10.18	10.34	5.70	5.43	6.44	14.07	13.84	11.37	13.81	12.66
333	25	133	Trifásica	Pesada	11.25	13.58	10.71	10.48	5.99	5.58	6.70	13.86	13.72	11.56	14.30	12.95
334	25	157	Monofásica	Leve	4.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.19	2.91	4.70	5.56	5.88
335	25	157	Monofásica	Media	3.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.46	3.70	2.29	4.77	4.99
336	25	157	Monofásica	Pesada	3.98	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	3.97	2.26	4.77	4.71
337	25	157	Bifásica	Leve	8.66	16.17	3.65	3.65	6.89	0.70	1.42	10.67	8.99	13.70	12.99	12.79
338	25	157	Bifásica	Media	8.57	15.47	3.37	3.82	6.54	0.73	1.62	12.09	10.56	12.03	13.36	12.86
339	25	157	Bifásica	Pesada	8.80	16.17	4.46	6.25	6.88	0.01	3.22	9.38	11.24	12.14	13.61	12.49
340	25	157	Trifásica	Leve	12.92	16.17	12.53	12.09	6.89	6.38	7.42	16.37	15.73	18.17	17.76	15.54
341	25	157	Trifásica	Media	13.14	15.47	12.12	12.30	6.54	6.21	7.34	16.37	16.12	13.18	16.14	14.85
342	25	157	Trifásica	Pesada	13.24	16.17	12.75	12.49	6.88	6.40	7.67	16.14	16.00	13.42	16.73	15.17
343	25	181	Monofásica	Leve	5.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.81	3.46	5.45	6.50	6.77
344	25	181	Monofásica	Media	4.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	4.38	2.60	5.55	5.79
345	25	181	Monofásica	Pesada	4.57	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	4.71	2.57	5.55	5.49
346	25	181	Bifásica	Leve	9.89	18.60	4.31	4.36	8.05	0.80	1.69	12.49	10.48	15.91	15.12	14.84
347	25	181	Bifásica	Media	9.79	17.79	3.99	4.54	7.67	0.82	1.91	14.08	12.31	13.94	15.54	14.93
348	25	181	Bifásica	Pesada	10.03	18.62	5.28	7.34	8.08	0.01	3.81	10.94	13.13	14.11	15.80	14.51
349	25	181	Trifásica	Leve	14.81	18.60	14.40	13.99	8.05	7.48	8.67	18.98	18.22	21.10	20.63	18.05
350	25	181	Trifásica	Media	15.06	17.79	13.94	14.21	7.67	7.24	8.59	18.97	18.67	15.29	18.72	17.22

391	inf	157	Bifásica	Leve	3.09	16.17	1.00	1.15	6.89	0.95	1.57	8.05	1.18	12.08	7.90	9.22
392	inf	157	Bifásica	Media	3.87	15.47	1.30	1.17	6.54	0.90	1.79	9.60	0.77	11.52	8.19	9.46
393	inf	157	Bifásica	Pesada	4.72	16.17	0.23	1.06	6.88	0.04	1.08	7.95	0.31	11.57	8.12	9.01
394	inf	157	Trifásica	Leve	12.92	16.17	12.53	12.09	6.89	6.38	7.42	16.37	15.73	18.17	17.76	15.54
395	inf	157	Trifásica	Media	13.14	15.47	12.12	12.30	6.54	6.21	7.34	16.37	16.12	13.18	16.14	14.85
396	inf	157	Trifásica	Pesada	13.24	16.17	12.75	12.49	6.88	6.40	7.67	16.14	16.00	13.42	16.73	15.17
397	inf	181	Monofásica	Leve	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
398	inf	181	Monofásica	Media	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
399	inf	181	Monofásica	Pesada	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
400	inf	181	Bifásica	Leve	3.54	18.60	1.15	1.35	8.05	1.07	1.88	9.43	1.32	14.01	9.02	10.57
401	inf	181	Bifásica	Media	4.41	17.79	1.54	1.41	7.67	1.01	2.15	11.20	0.93	13.32	9.37	10.85
402	inf	181	Bifásica	Pesada	5.39	18.62	0.28	1.22	8.08	0.05	1.32	9.22	0.35	13.39	9.27	10.36
403	inf	181	Trifásica	Leve	14.81	18.60	14.40	13.99	8.05	7.48	8.67	18.98	18.22	21.10	20.63	18.05
404	inf	181	Trifásica	Media	15.06	17.79	13.94	14.21	7.67	7.24	8.59	18.97	18.67	15.29	18.72	17.22
405	inf	181	Trifásica	Pesada	15.18	18.62	14.64	14.41	8.08	7.51	8.98	18.69	18.55	15.56	19.43	17.55