

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

EDUARDO DE SOUZA

**ÍNDICES DE CONFIABILIDADE DEVIDO A VEGETAÇÃO E
PLANEJAMENTO DE PODAS DE ÁRVORES EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO**

Ilha Solteira
2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO MESQUITA FILHO”
Câmpus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDUARDO DE SOUZA

**ÍNDICES DE CONFIABILIDADE DEVIDO A VEGETAÇÃO E
PLANEJAMENTO DE PODAS DE ÁRVORES EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia – UNESP – Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Elétrica.

Área de Conhecimento: Automação.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto
Sanches Mantovani

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S719i Souza, Eduardo .
Índices de confiabilidade devido a vegetação e planejamento de podas de
árvores em redes de distribuição / Eduardo Souza. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2013
225 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Automação, 2013

Orientador: José Roberto Sanches Mantovani
Inclui bibliografia

1. Manutenção da vegetação. 2. Confiabilidade. 3. Nsga-ii.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Índices de confiabilidade devido a vegetação e planejamento de podas de árvores em redes de distribuição

AUTOR: EDUARDO DE SOUZA

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE ROBERTO SANCHES MANTOVANI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica ,
Área: AUTOMAÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOSE ROBERTO SANCHES MANTOVANI
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. SERGIO AZEVEDO DE OLIVEIRA
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MADSON CORTES DE ALMEIDA
Departamento de Sistemas de Energia Elétrica / Universidade Estadual de Campinas

Data da realização: 16 de agosto de 2013.

Dedico este trabalho aos meus pais, que, sempre em suas palavras diziam: “Filho, a única coisa que podemos dar é educação, o restante é com você”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas bênçãos concedidas e ao conforto dado.

Aos meus pais Wilson de Souza e Amélia Ferreira da Silva Souza, por serem dedicados, companheiros, amorosos, pelas noites de sono perdidas e pelos conselhos dados. Hoje sou um reflexo de tudo que foi empregado em mim por vocês. Aos meus irmãos Tânia Maria de Souza Ferrancini, Wilson de Souza, Edivaldo de Souza por serem as colunas de nossa família, fortalecido pelo alicerce de nossos pais. Aos meus irmãos-cunhado(a) Robin Hood Ferrancini e Márcia Regina Barbosa e Souza, que sempre participaram intensivamente de minha vida, nos momentos felizes e tristes. Aos meus sobrinhos e sobrinhas pelas risadas e pelo respeito.

Ao professor Dr José Roberto Sanches Mantovani pelo crédito a mim concedido, pela transmissão de seu enorme conhecimento, tanto em minha pesquisa quanto a assuntos pessoais. Aos professores Dr. Carlos Roberto Minussi e Dr. Fábio Bertequini Leão por serem os primeiros a contribuir com o trabalho, avaliando um estudo especial. Aos professores Dr. Sérgio Azevedo de Oliveira e Dr. Antônio Marcos Cossi pelas contribuições ao trabalho e por avaliarem o exame geral de qualificação. Ao professor Dr. Madson Cortes de Almeida pela contribuição e apoio na defesa de mestrado.

A minha noiva e futura esposa Patrícia Salles Maturana, pela dedicação, amor e carinho nos bons e maus momentos, sendo o alicerce e o fluxo de minha vida.

Aos meus amigos e companheiros de morada em Ilha Solteira, João Francisco Silva (Diluido), Marcelo Pfaifer(Derrubado), Eduardo Boisa de Oliveira (Boisa), Wilton Souza (Tiú), Gustavo Barbosa (Sapo), Rafael Marques (Prudentino), José Adriano (Vavá) dentre todos os outros amigos que estiveram presentes em minha jornada no Alojamento da FEIS e fora dele.

Aos meus amigos de São Joaquim da Barra Rogério Rodrigues Silva, Rodrigo Feiteiro Dias, Walisson Rodrigues, Diogo Renato Bardão, Renato de Moraes que apesar da distância, nunca estivemos longe.

A todos os meu amigos do LAPSEE, principalmente ao Diogo Rupolo, Joel David Melo Trujillo, Diego Piasson, Donizete Ritter, Adriana Souza Resende, Jeferson Back Vanderlinde, pelo apoio e transmissão do conhecimento.

Agradeço a UNESP, ao departamento de Engenharia Elétrica da FEIS, pela estrutura oferecida para o desenvolvimento do trabalho. A CAPES pelo apoio financeiro concedido durante o mestrado.

RESUMO

Partes das interrupções no fornecimento de energia elétrica são causadas pelo contato das extremidades da vegetação com os elementos do sistema, prejudicando a confiabilidade e a qualidade dos sistemas de distribuição. Aumento nos custos com não fornecimento de energia elétrica e com manutenções corretivas são consequências da ausência de planos para realização da manutenção da vegetação. A necessidade de manter o fornecimento de energia elétrica e consequentemente o aumento da confiança do sistema de distribuição é o foco para modelos de programação centrados no aumento da confiabilidade a baixo custo. Neste trabalho é proposto um modelo matemático de programação binária dinâmica multiobjetivo para o problema de manutenção preventiva da vegetação sob um sistema de distribuição de energia elétrica. O modelo de otimização contempla a minimização de três objetivos: custos com energia não suprida devido às falhas relacionadas com a vegetação, custos com manutenções - poda ou remoções de árvores, e um indicativo de inconfiabilidade do sistema devido à continuidade do serviço baseado no índice FEC (Frequência Equivalente por Consumidor). A confiabilidade dos alimentadores é determinada através de modelos probabilísticos como um processo renovável, considerada no modelo matemático como um índice de inconfiabilidade devido à vegetação. A metodologia de solução proposta é o algoritmo multiobjetivo NSGA-II, implementado em linguagem de programação C++, obtendo-se um conjunto de soluções não dominadas, que tende a convergir para frente ótima de Pareto. Esta metodologia foi testada em um sistema de distribuição real composto por 25 alimentadores de uma cidade de médio porte.

Palavras-chave: Manutenção da vegetação. Confiabilidade. NSGA-II.

ABSTRACT

Parts of interruptions in electricity supply are caused by contact with the edges of the vegetation system elements, impairing the reliability and quality of distribution systems. Increased costs with no electricity supply and corrective maintenance are the consequences of the absence of plans for carrying out the maintenance of vegetation. The need to maintain the supply of electricity and consequently the increased confidence of the distribution system is the aim of programming models focused on increasing the system reliability at the low cost.

This work propose a mathematical model of dynamic multi-objective binary programming problem for preventive maintenance of vegetation under a system of power distribution. The optimization model contemplates to minimize three objectives such as cost of unserved energy due to failures related to the vegetation, maintenance costs such as pruning or removal of trees, and an indication of system unreliability due to continuity of service based on FEC (Equivalent Frequency for Consumer). The reliability of the feeders is determined using probabilistic models as a renewable process, considered in the mathematical model as an unreliability index. The solution methodology is proposed a multi-objective algorithm NSGA-II implemented in the programming language C++, obtaining a set of non-dominated solutions among themselves, which tends to converge to Pareto optimal front. This methodology is tested on a real distribution system of a medium sized city.

Keywords:. Maintenance of vegetation. Reliability. NSGA-II.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama para obtenção de um modelo indireto para taxa de falhas.....	24
Figura 2	Diagrama para obtenção de um modelo direto para taxa de falhas.....	24
Figura 3	Diagrama para análise de amostras de tempos para falha (tbf) no ajuste de um modelo de probabilidade.....	28
Figura 4	4(a) - Porcentagem de cidades dos EUA e sua população. 4(b) - Dados da figura 4(a) em escala logarítmica.....	32
Figura 5	Gráfico do número acumulado de eventos pelo tempo acumulado de observações.....	34
Figura 6	Gráfico do número de eventos por subperíodos pelo tempo total observado.....	34
Figura 7	Gráfico de barras dos tempos entre chegada de eventos conservando sua ordem cronológica.....	34
Figura 8	Diagrama de dispersão dos tempos para falha.....	36
Figura 9	Prova de ajuste de um conjunto de dados a um NHPP Power Law utilizando TTT-Plot.....	39
Figura 10	Comparação entre cinco veículos pela relação custo vs conforto.....	40
Figura 11	Representação do espaço de decisão e seu espaço objetivo correspondente	41
Figura 12	Classificação quanto a dominância, não dominância e indiferença em relação a uma solução.....	43
Figura 13	Cálculo da distância de multidão.....	46
Figura 14	Proposta para o algoritmo NSGA-II.....	48
Figura 15	Codificação proposta para um cromossomo.	58
Figura 16	Geração de indivíduos através do operador genético recombinação. (a) Pais (b) Filhos.....	60
Figura 17	Geração de indivíduos através do operador genético mutação. (a) antes da mutação (b) após a mutação.	60
Figura 18	Representação por diagrama de blocos do NSGA-II dedicado.....	62
Figura 19	Frente F1contendo as soluções não dominadas encontradas pelo NSGA-II.....	69
Figura 20	Frente F1contendo as soluções não dominadas encontradas pelo NSGA-II.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Modelos ajustados aos dados dos alimentadores do sistema.....	64
Tabela 2	Tarifas médias (R\$/MWh) por classes de consumo e por regiões geográficas do Brasil.....	67
Tabela 3	Parâmetros iniciais utilizados pelo NSGA-II.....	68
Tabela 4	Configuração obtida pelo NSGA-II para o indivíduo A.....	69
Tabela 5	Configuração obtida pelo NSGA-II para o indivíduo B.....	70
Tabela 6	Configuração obtida pelo NSGA-II para o indivíduo C.....	70
Tabela 7	Valores de CENS, CMV, IC, Custo Total e Total de Manutenção para os indivíduos A, B e C.....	70
Tabela 8	Distância da manutenção da vegetação prevista para cada trimestre e a distância total (em metros).....	70
Tabela 9	Parâmetros iniciais utilizados pelo NSGA-I.....	72
Tabela 10	Configuração obtida pelo NSGA-II para o indivíduo A.....	73
Tabela 11	Configuração obtida pelo NSGA-II para o indivíduo B.....	73
Tabela 12	Configuração obtida pelo NSGA-II para o indivíduo C.....	74
Tabela 13	Valores de CENS, CMV, IC, Custo Total e Total de Manutenção para os indivíduos A e B.....	74
Tabela 14	Distância da manutenção da vegetação prevista para cada trimestre e a distância total (em metros).....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AE's	Algoritmos Evolutivos
AG	Algoritmo Genético
AG-HILL	Algoritmo Genético com melhoria local Hill
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
CAIFI	Customer Average Interruption Frequency Index
CENS	Custo com Energia Não Suprida
CMV	Custo com Manutenções Relacionadas à Vegetação
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor
DIC	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
DMIC	Duração Máxima de Interrupção por -Unidade Consumidora
fd	Função de Distribuição Acumulada
fdp	Função de Distribuição de Probabilidade
FEC	Frequência Equivalente de interrupção por Consumidor
FIC	Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora
Hill	Algoritmo de melhoria local hill climbing
HPP	Processo de Poisson Homogêneo (Homogeneous Poisson Process)
Ilc	Indicativo de Inconfiabilidade
KS-Test	Teste de Ajuste de Kolmogorov - Smirnov
ME	Modelo Exponencial
MLGBN	Modelo Linear Generalizado Binomial Negativo
MLGMP	Modelo Linear Generalizado Misto de Poisson
MLGP	Modelo Linear Generalizado de Poisson
MLM	Modelo Linear Multivariável
MLS	Modelo Linear Simples
MM	Método dos Momentos
MMV	Método da Máxima Verossimilhança
MOGA	Multiple Objective Genetic Algorithm
MOOP	Problema de Otimização Multiobjetivo (multi-objective optimization problem)
NHPP	Processo de Poisson Não Homogêneo (Non-Homogeneous Poisson Process)
NPGA	Niched-Pareto Genetic Algorithm
NSGA	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

NSGA-II	Non Sorting Genetic Algorithm-II
ODM	Ordenamento por Distância de Multidão
OND	Ordenamento por Não Dominância
PAES	Pareto Archived Evolution Strategy
PF	Frente Ótima de Pareto (Pareto Front)
RCM	Manutenção Centrada em Confiabilidade (Reliability Centered Maintenance)
RNA	Rede Neural Artificial
RP	Processos Renováveis (Renewal Process)
SA	Simulated Annealing
SA-HILL	Algoritmo Simulated Annealing com melhoria local Hill
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SDEE	Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica
SPEA	Strength Pareto Evolutionary Algorithm
TS	Tabu Search
TS-HILL	Algoritmo Tabu Search com melhoria local Hill
TTT-Plot	Ajuste por Gráfico de TTT
VEGA	Vector Evaluated Genetic Algorithm

LISTA DE SIMBOLOS

λ	Taxa de falhas
t	Período ou subperíodo de tempo
ttf	Tempo até a falha
ttr	Tempo para reparação ou restauração do componente/sistema
$tb f$	Tempo entre falhas
$C_a(i)$	Número de consumidores atingidos na interrupção i
tI_i	Tempo decorrido em horas para a interrupção i
C_s	Número total de consumidores do sistema
N	Número de vezes que houve descontinuidade do serviço por unidade consumidora
P_{FEC}	Previsão da frequência equivalente de interrupções por unidade consumidora
NA	Número de alimentadores
λ_i	Taxa de falha prevista para o alimentador i
$C_A(i)$	Quantidade de consumidores do alimentador i
$C(t)$	Confiabilidade de um elemento/sistema para um período de tempo t
$X - x$	Variável aleatória – amostra da variável aleatória
μ	Média amostral
σ	Desvio padrão amostral
α	Parâmetro da distribuição de probabilidade
r	Parâmetro da distribuição de probabilidade
$\Gamma(r)$	Função Gama em r
n	Tamanho da amostra em análise
$L(X_1, \dots, X_n; \theta)$	Função de verossimilhança em função da amostra da variável X e de θ
θ	Parâmetro da distribuição de probabilidade
M_k^P	k-ésimo momento populacional (ou teórico)
M_k^A	k-ésimo momento amostral
λ'	Parâmetro da distribuição de probabilidade de <i>Power Law</i>
β	Parâmetro da distribuição de probabilidade
$\lambda(t)$	Taxa de falha no período t
U	Estatístico para a prova de Laplace para HPP

e_n	Eventos observados
$z'_{\alpha/2}$	Valor observado das tabelas de Chi-quadrado com nível de significância de $\alpha'/2$
U_r	Estatístico para a prova de Laplace para RP
D	Estatístico calculado para o KS-test
FO	Frequência observada
FE	Frequência equivalente
$D^{\alpha'}$	Valor máximo com significância α' para o estatístico D, obtido pelas tabelas de Kolmogorov – Smirnov para o processo de <i>Power Law</i>
$TTT(u)$	Valor da variável u dado pela transformada TTT
$I[i]_{distance}^j$	Distância de multidão calculada para a solução i contida na frente j
P_t	População inicial na iteração t
Q_t	População gerada através de operadores genéticos aplicados em P_t
R_t	União das populações P_t e Q_t
$P[N(t) \leq k]$	Probabilidade de que o número de falhas no período t seja menor ou igual a k falhas
$\Lambda(t)$	Variância prevista para o período t
$P[N(t) = k]$	Probabilidade de que o número de falhas no período t seja igual a k falhas
$E[N(t)]$	Esperança referente ao número de falhas no período t
al	Alimentador do SDEE
$1 - P[N(t, al) = 0]$	Probabilidade de ocorrer ao menos uma falha no alimentador al durante o período de tempo t
$NC(al)$	Número de consumidores conectados ao alimentador al
T	Horizonte de planejamento
tr	Transformador
NT	Número total de transformadores
$D(tr, al)$	Demanda máxima no transformador tr do alimentador al
$\varphi(x(t, al))$	Variável em função de $x(t, al)$, sendo igual a 1 caso não ocorra nenhuma manutenção da vegetação nos períodos anteriores a t ; 0,5 no período t que esteja prevista a manutenção, e 0 nos períodos posteriores à realização de manutenção da vegetação
$x(t, al)$	Variável de decisão binária, onde 1 e 0 implicam respectivamente realizar ou não uma manutenção no alimentador al no período t
$NC_{res}^{al}, NC_{ind}^{al}, NC_{com}^{al}$	Número de consumidores residenciais, industriais e comerciais do alimentador al

$C_{res}, C_{ind}, C_{com}$	Custo do não fornecimento de energia elétrica para consumidores residenciais, industriais e comerciais
$\overline{ttr}(al)$	Tempo médio de restauração no alimentador al devido à falhas causadas pela vegetação
C_{man}^{al}	Custo para se realizar a manutenção no alimentador al
$l(al)$	Comprimento do alimentador al
L_{max}^t	Comprimento máximo permitido para se realizar manutenções no período de planejamento t
$const_penal$	Valor crescente que pondera a penalização das funções objetivos infactíveis
$Conf_{al}^t$	Confiabilidade do alimentado al no subperíodo t

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	CONFIABILIDADE EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DEVIDO A VEGETAÇÃO.....	20
2.1	INDICADORES DE CONFIABILIDADE EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	21
2.1.1	Índices Coletivos.....	21
2.1.2	Índices Individuais.....	22
2.2	MODELOS DE PREVISÃO DE TAXAS DE FALHAS DEVIDO A VEGETAÇÃO.....	23
2.2.1	Modelos Indiretos.....	24
2.2.2	Modelos Diretos.....	24
2.3	ABORDAGEM ESTOCÁSTICA DA CONFIABILIDADE.....	26
2.3.1	Processos Estocásticos e Distribuições de Probabilidade.....	28
2.3.2	Análise e Teste de Ajuste Aplicado a uma Amostra Aleatória.....	33
3	FUNDAMENTOS DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO.....	40
3.1	CONCEITOS DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO.....	40
3.2	ALGORITMOS EVOLUTIVOS.....	44
3.3	NSGA-II – NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM-II.....	45
4	MODELO ESTOCÁSTICO DA CONFIABILIDADE, MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA E TÉCNICAS DE SOLUÇÃO.....	49
4.1	MODELO ESTOCÁSTICO DA CONFIABILIDADE DEVIDO AS FALHAS CAUSADAS PELA VEGETAÇÃO E INDICATIVO DE INCONFIABILIDADE.....	50
4.1.1	Indicativo de inconfiabilidade devido a vegetação.....	52
4.2	MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA PROPOSTO.....	53
4.2.1	Custo da energia não suprida (CENS).....	55
4.2.2	Custo com manutenção relacionada à vegetação (CMV).....	56
4.2.3	Indicativo de Inconfiabilidade (IIC).....	56
4.2.4	Restrição do modelo.....	57
4.3	ALGORITMO GENÉTICO NSGA-II DEDICADO AO MODELO MATEMÁTICO MULTIOBJETIVO PROPOSTO.....	57
4.3.1	Codificação do problema.....	57
4.3.2	População inicial (P_0).....	58
4.3.3	População gerada Q	58
4.3.4	Geração das populações R_t e P_{t+1}	60
4.3.5	Critério de parada.....	61
4.3.6	Método de penalização aplicado.....	61
4.3.7	Procedimento geral para o algoritmo NSGA-II dedicado ao modelo matemático proposto.....	62
5	TESTES E RESULTADOS.....	63
5.1	EQUAÇÕES DE CONFIABILIDADE PARA UM ALIMENTADOR DEVIDO A VEGETAÇÃO.....	63

5.2	DADOS PARA TESTES APLICADOS NO MODELO PARA PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO DA VEGETAÇÃO SOB UM SDEE.....	66
5.2.1	Resultados obtidos para o modelo proposto.....	68
5.3	UMA NOVA PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA O MODELO DE MANUTENÇÃO DA VEGETAÇÃO.....	71
5.3.1	Resultados obtidos para a nova proposta de solução.....	72
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
	REFERÊNCIAS.....	77
	APÊNDICE A – DADOS DO SISTEMA TESTE.....	80
	APÊNDICE B - TEMPO ENTRE FALHAS (TBF) DOS ALIMENTADORES DO SISTEMA TESTE.....	150
	APÊNDICE C – RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	161

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de distribuição de energia elétrica (SDEE) são predominantemente aéreos, devido ao fato de exigirem menores investimentos em equipamentos e infraestrutura, porém, com um menor índice de confiabilidade devido às diversas interferências, principalmente do ambiente com os dispositivos presentes no sistema. Em particular, a vegetação exerce influência na confiabilidade do sistema de distribuição, pois pode causar danos à rede pelo contato de suas extremidades com os elementos energizados do sistema (ELETROBRÁS, 1982a).

Os procedimentos de manutenção da vegetação normalmente não são realizados de forma sistemática pelas empresas distribuidoras, sendo utilizado um controle visual, ou seja, observa-se a altura e o diâmetro da copa e caso a vegetação esteja gerando riscos ao sistema elétrico ou ao espaço urbano, a poda é realizada. Em grande parte, apenas manutenções corretivas são realizadas pelas empresas responsáveis pelo SDEE, pelas prefeituras ou órgãos governamentais, o que implica que transtornos gerados pela vegetação poderiam ser evitados.

Em Appelt e Beard (2006), tem-se que para evitar danos causados pela vegetação, as empresas de distribuição de energia elétrica devem fazer manutenções auxiliadas por um programa (ou plano) de gestão para manutenções da vegetação, que se tornam eficazes em relação ao custo-benefício quando abordadas em longo prazo. Práticas corretas de arboricultura, conhecimentos fisiológicos da vegetação, profissionais com conhecimentos técnicos suficientes são essenciais para que o programa de manutenção da vegetação seja bem sucedido e de baixo custo.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) quantifica por meio de índices a qualidade da distribuição de energia elétrica, principalmente quanto à continuidade do serviço, como os índices DEC – duração equivalente de interrupção por consumidor e FEC - frequência equivalente de interrupção por consumidor. Interrupções no fornecimento de energia elétrica fazem com que as empresas distribuidoras deixem de “vender”, além disso, custos com multas por exceder os índices de continuidade são aplicadas, gerando conseqüentemente uma redução dos lucros.

Com o aumento da competitividade e a busca por maiores lucros, as empresas devem optar não mais por manutenções corretivas e sim por um programa de manutenções preventivas que preserve ou aumente a confiabilidade do sistema. Neste contexto, modelos baseados em manutenções centradas em confiabilidade (RCM, *Reliability Centered Maintenance*, do inglês) para otimizar o processo de manutenção da vegetação e aumentar a confiabilidade do SDEE a baixos custos são encontrados na literatura, como nos trabalhos de Kuntz; Christie e Venkata

(2002), Apolinário e Mantovani (2011), que propõem formular o problema da manutenção da vegetação e resolvê-lo através de técnicas de otimização. Os estudos estatísticos relacionados à interferência da vegetação na confiabilidade das redes de distribuição são complexos e exigem uma base de dados ampla como datas de podas e tipos de vegetação sob o SDEE. Alguns modelos de previsão de taxas de falhas devido a vegetação são encontrados na literatura, como em Radmer *et al.* (2002), Guikema; Davidson e Haibin (2006) e Apolinário e Mantovani (2011).

Neste trabalho, a confiabilidade do sistema devido à vegetação é obtida através de uma análise estocástica baseada em processos pontuais. Duas famílias de processos são exploradas: (1) processos estacionários homogêneos – como distribuição Normal, Gama, etc. que utilizam taxa de falhas constantes; e, (2) processos não estacionários não homogêneos – distribuição de Power Law, com taxa de falhas variantes. Após o desenvolvimento desses estudos, a inconfiabilidade baseada em falhas no sistema ocasionadas pela vegetação é obtida. Propõe-se também um modelo matemático de programação binária dinâmica multiobjetivo dedicado à tomada de decisão referente a “quando” e em “quais” alimentadores deve-se realizar a manutenção da vegetação sob a rede, seja ela parcial ou total. A ideia de propor um modelo multiobjetivo parte do princípio de que o administrador do sistema deve possuir um conjunto de possibilidades para a tomada de decisão, ajustando assim a manutenção da vegetação com as manutenções pertinentes ao restante do sistema, como por exemplo, escolher a melhor relação para a empresa entre custos com manutenção da vegetação e a confiabilidade da rede. Para testar a metodologia proposta foram usados os dados do SDEE (somente urbano) de uma empresa situada no interior do estado de São Paulo. O método de solução utilizado para o modelo matemático é o algoritmo genético *Non Sorting Genetic Algorithm-II* (NSGA2), proposto por DEB *et al.* (2002).

Esta dissertação, considerando este capítulo introdutório, está dividida em seis capítulos.

No *Capítulo 2* são apresentados os conceitos de confiabilidade de um elemento/sistema e a teoria da abordagem estocástica através de processos pontuais para a confiabilidade relacionada à vegetação sob um alimentador do SDEE. Os testes de ajustes para os modelos são apresentados.

No *Capítulo 3* são apresentados os conceitos básicos para o estudo de problemas multiobjetivos, além de uma breve introdução sobre os algoritmos evolutivos e suas propriedades. Por fim, o algoritmo genético NSGA-II é apresentado.

No *Capítulo 4* é apresentado o indicativo de inconfiabilidade do sistema devido à vegetação e o modelo matemático de programação binária dinâmica multiobjetivo referente ao

planejamento de podas da vegetação sob um SDEE. A proposta de solução, o NSGA-II dedicado ao modelo, é apresentada.

No *Capítulo 5* os testes estatísticos são realizados em um conjunto de dados referentes às falhas relacionadas à vegetação para cada alimentador do sistema sob análise. Através dessas análises, são obtidas as confiabilidades e consequentemente, as inconfiabilidades de cada alimentador. Com o uso das inconfiabilidades, o modelo matemático proposto é testado em um sistema real de uma cidade de médio porte e os resultados são apresentados. Uma nova proposta de solução para o modelo matemático é apresentada.

No *Capítulo 6*, apresenta-se, a conclusão do trabalho e propostas para trabalhos futuros.

2 CONFIABILIDADE EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DEVIDO A VEGETAÇÃO

Modelos matemáticos baseados em RCM têm se mostrado promissores em diversos ramos do setor produtivo por maximizar a funcionalidade de um sistema/elemento a baixo custo. No setor elétrico a confiança está associada à quantidade e/ou período de tempo que um equipamento ou sistema permanece conectado ou funcionando, ou seja, uma quantidade menor de falhas implica em menor período de tempo de interrupção do fornecimento de energia elétrica, o que resulta em melhores níveis de confiança para o sistema.

Índices ou indicadores foram desenvolvidos para quantificar e avaliar a confiabilidade em um SDEE. Segundo Billinton (1986), a confiabilidade pode ser avaliada por fatores/variáveis como:

- (i) **Taxa de Falhas (λ):** Dado um tempo médio t , pode-se definir a taxa de falha (λ), dada pelo representa o número de vezes que um componente falhou (N) em um determinado tempo t , ou seja, pode ser expressa em (1) (ELETROBRÁS, 1982a):

$$\lambda(t) = \frac{N}{t} \quad (1)$$

- (ii) **Tempo até falha (t_{tf}):** é dado pelo tempo que um elemento/sistema esteve funcionando até a interrupção;
- (iii) **Tempo para reparação ou restauração do componente/sistema (t_{tr}):** é o tempo que um equipamento/sistema esteve não operante devido a uma falha;
- (iv) **Tempo entre falhas (t_{bf}):** é dado pelo tempo que um elemento/sistema esteve em funcionamento entre duas falhas.

Neste capítulo, serão apresentados os principais indicadores de continuidade, modelos para previsão da taxa de falhas devido à vegetação e os modelos estocásticos para a confiabilidade, usados no modelo matemático para planejamento da manutenção da vegetação sob a rede de distribuição.

2.1 INDICADORES DE CONFIABILIDADE EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Índices de confiabilidade devem ser interpretados como uma característica que por meios numéricos quantifica o desempenho de um sistema de distribuição de energia elétrica (ELETROBRÁS, 1982a). Impulsionados pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade, estudos mostram que novos critérios devem ser desenvolvidos e somados ao rol de exigências para a melhoria da confiabilidade de um sistema de distribuição, dentre eles, os índices coletivo e os individuais relacionados à continuidade do fornecimento de energia elétrica (ANEEL, 2000).

2.1.1 Índices Coletivos

Estes índices estão relacionados com um grupo de consumidores afetados em uma parte (ou todo) do sistema de distribuição de energia elétrica. São eles:

DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor:

Correspondente ao índice internacional SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), mostrado em (2), que representa o período de tempo que, em média, cada consumidor do sistema ficou privado do fornecimento de energia elétrica, em um período preestabelecido.

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^n C_a(i) * tI_i}{C_s} \quad (2)$$

sendo:

- DEC : Expressa em horas e centésimos de horas por cliente;
- $C_a(i)$: Número de consumidores atingidos na interrupção (i);
- tI_i : Tempo decorrido em horas para a interrupção (i);
- C_s : Número total de consumidores do sistema;
- i : Número de interrupções variando de 1 a n .

FEC – Frequência Equivalente de interrupção por Consumidor:

Correspondente ao índice internacional SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), mostrado em (3), e representa quantas vezes, em média, cada consumidor ficou privado do fornecimento de energia elétrica, em um período preestabelecido.

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n C_a(i)}{C_s} \quad (3)$$

sendo:

- $C_a(i)$: Número de consumidores atingidos na interrupção i ;
 C_s : Número total de consumidores do conjunto em questão.

2.1.2 Índices Individuais

Implementados pela ANEEL no ano de 2000, os índices individuais são compostos por três indicadores que relacionam não mais um grupo de consumidores atingidos, mas sim cada unidade consumidora. Os índices individuais penalizam as empresas, preservando a qualidade dos serviços aos consumidores, fazendo com que as mesmas restitua os consumidores valores monetários referentes e proporcionais à descontinuidade do fornecimento de energia elétrica. Esses índices são detalhados a seguir.

DIC – Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora:

Correspondente ao índice internacional CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*), mostrado em (4), que indica por quanto tempo uma unidade consumidora ficou privada do fornecimento de energia elétrica durante um determinado período.

$$DIC = \sum_{i=1}^n tI_i \quad (4)$$

sendo:

- tI_i : Tempo de descontinuidade do serviço para a interrupção i .

FIC – Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora

Correspondente ao índice internacional CAIFI (*Customer Average Interruption Frequency Index*), mostrado em (5), que indica o número de vezes que uma unidade consumidora ficou privada do fornecimento de energia elétrica durante um determinado período.

$$FIC = N \quad (5)$$

sendo:

N : Número de vezes que houve descontinuidade do serviço por unidade consumidora.

DMIC – Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora

Correspondente ao índice que define e limita o tempo máximo de descontinuidade na distribuição de energia elétrica em uma unidade consumidora, evitando que o consumidor fique privado durante longos períodos do fornecimento de energia.

Para a determinação desse índice, são contabilizadas as interrupções programadas ou não, que ultrapassem o período entre 1 e 3 min, variando de contrato para contrato firmados entre as distribuidoras e os consumidores.

Os índices DEC e FEC são avaliados mensal, trimestral e anualmente. Os índices DIC, FIC e DMIC são apurados a partir de reclamações ou auditorias, e são quantificados a partir de uma base de tempo mensal.

2.2 MODELOS DE PREVISÃO DE TAXAS DE FALHAS DEVIDO A VEGETAÇÃO

Uma predição para a avaliação da confiabilidade em um SDEE é dada por (6), que mostra a previsão para o índice FEC proposta por Sittithumwat, Soudi e Tomsovic (2004), citado em Reis *et al.* (2008), para um sistema de distribuição.

$$P_{FEC} = \frac{\sum_{i=1}^{NA} \lambda_i C_A(i)}{\sum_{i=1}^{NA} C_A(i)} \quad (6)$$

Sendo:

P_{FEC} : Previsão da frequência equivalente de interrupções por unidade consumidora;

NA : Número de alimentadores;

λ_i : Taxa de falha prevista para o alimentador i ;

$C_A(i)$: Quantidade de consumidores do alimentador i ;

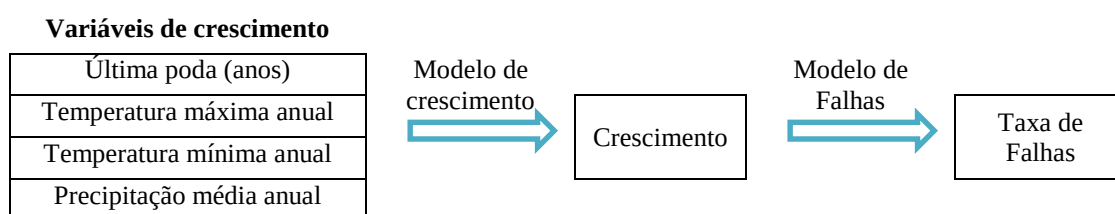
Para determinar a variável taxa de falhas (λ), devem-se considerar a interferência de chuvas, temperaturas, localização geográfica, tipos de vegetação, etc. Além disso, possivelmente, não se conhecem os diversos tipos de vegetação sob uma rede de distribuição, impossibilitando ou dificultando obter valores futuros para (λ) através de modelos matemáticos determinísticos, recorrendo então aos modelos probabilísticos.

Modelos de previsão de taxas de falhas relacionadas à vegetação podem ser divididos segundo Radmer *et al.* (2002), em modelos diretos e modelos indiretos.

2.2.1 Modelos Indiretos

Nestes modelos, há a necessidade do conhecimento do tipo de vegetação e de suas características fisiológicas, permitindo assim construir um modelo de crescimento vegetativo através de dados históricos como podas, temperaturas e outros fatores que determinam o desenvolvimento da vegetação. Após determinar as taxas de crescimento, são gerados os modelos de previsão de falhas relacionados à vegetação. Geralmente, vários tipos de vegetação encontram-se sob o sistema de distribuição, fazendo com que os dados históricos impossibilitem a modelagem do crescimento vegetativo ou geram-se modelos não confiáveis. Na Figura 1 exemplificam-se os modelos indiretos.

Figura 1 - Diagrama para obtenção de um modelo indireto para taxa de falhas

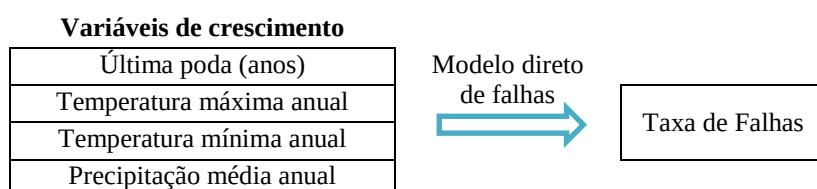


Fonte: Adaptado de Kuntz, Christie e Venkata (2002).

2.2.2 Modelos Diretos

Os modelos indiretos dependem de um vasto conhecimento sobre a composição da vegetação sob o sistema de distribuição. Assim, modelos baseados em dados históricos ligados à vegetação que dispensam o uso de taxas de crescimento foram criados, denominados modelos diretos, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama para obtenção de um modelo direto para taxa de falhas



Fonte: Fonte: Adaptado de Kuntz, Christie e Venkata (2002).

Para realizar a previsão das taxas de falhas relacionadas à vegetação, poucos estudos foram publicados referentes ao tema, porém, alguns dos principais trabalhos relacionam a taxa de falha anual referente à vegetação com o tempo desde a última manutenção da vegetação no

sistema. Em Radmer *et al.* (2002), os autores propõem a comparação entre quatro modelos: Modelo Exponencial (ME), Modelo Linear Simples (MLS), Modelo Linear Multivariável (MLM) e uma Rede Neural Artificial (RNA). Os modelos ME e MLS utilizam a taxa de falha anual relacionada à vegetação entre os anos de 1993 e 1996 bem como o tempo decorrido desde a última manutenção. Os modelos MLM e RNA além dos dados empregados nos dois primeiros modelos adotam também a perspectiva da interferência das temperaturas (mínima e máxima) e precipitações médias anuais. Dentre estes, o modelo que obteve o melhor desempenho foi a RNA.

No ano de 2006, Guikema, Davidson e Haibin publicaram um trabalho onde propõem uma nova visão na tentativa de analisar os efeitos da vegetação no SDEE utilizando taxa de falhas não constantes, o que não foi contemplado nos estudos de outros autores. Neste modelo, leva-se em consideração o número de incidentes com a vegetação, o tempo da primeira e mais recente poda, o comprimento das linhas de transmissão (aéreas e subterrâneas), o número de consumidores conectados e a densidade populacional, dados esses para cada ramo/circuito do sistema sob estudo. Foram apresentados três modelos: Modelo Linear Generalizado de Poisson (MLGP), Modelo Linear Generalizado Binomial Negativo (MLGBN) e um Modelo Linear Generalizado Misto de Poisson (MLGMP), sendo o último o mais adequado para determinar tais efeitos.

Em Apolinário e Mantovani (2011), a inexistência ou inconsistência dos dados, impossibilita utilizar os modelos propostos em Radmer *et al.* (2002) e Guikema; Davidson e Haibin (2006), fazendo com que os autores ajustem uma curva não linear baseada na distribuição normal para representar a variável aleatória taxa de falhas e obter uma projeção dos índices que avaliam a confiabilidade nos alimentadores da rede de distribuição devido à interferência da vegetação.

Neste trabalho, os dados históricos fornecidos não possibilitam o uso das teorias apresentadas por Radmer *et al.* (2002) e Guikema, Davidson e Haibin (2006), assim, optou-se pelo estudo da confiabilidade do sistema restrito à vegetação como um processo estocástico, ou seja, a confiabilidade de cada alimentador do sistema é modelada através de uma distribuição de probabilidade. Na seção seguinte são desenvolvidas as teorias para análise de uma amostra aleatória de dados e as possíveis distribuições de probabilidades usadas no modelo estocástico da confiabilidade devido as falhas causadas pela vegetação.

2.3 ABORDAGEM ESTOCÁSTICA DA CONFIABILIDADE

Confiabilidade, citada em Eletrobrás (1982b), é definida como a “*capacidade de um item desempenhar a função exigida, sob condições estabelecidas, por um período de tempo determinado, podendo ser expresso como uma probabilidade*”.

Pode-se assim denotar a confiabilidade de um elemento/sistema $C(t) \in [0,1]$ como sendo o grau de certeza de que o tempo de vida T de um elemento exceda um valor estipulado t , mostrada em (7), em que $C(t) = 0$ e $C(t) = 1$ representam as probabilidades, respectivamente, de não ocorrer (0%) ou ocorrência de um evento (100%).

$$C(t) = P[T > t] \quad (7)$$

Algumas definições usadas em estudos das probabilidades são apresentadas a seguir (MEYER, 1983).

Definição 1 (Função de distribuição de probabilidade): A função $f(x)$ que representa a probabilidade da variável aleatória x , é dita uma função de distribuição de probabilidade (*fdp*) se satisfaz comutativamente:

$$(i) \quad f(x) \geq 0 \text{ para todo } x \quad (8)$$

$$(ii) \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1 \quad (9)$$

Definição 2 (Função de distribuição acumulada): Seja X uma variável aleatória. A função F é dita uma função de distribuição acumulada (*fd*) de X , dada por $F(x) = P(X \leq x)$ (lê-se: probabilidade de X ser menor ou igual a um valor predeterminado x). Ainda mais, se X for uma variável aleatória contínua, tem-se:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(s)ds \quad (10)$$

Definição 3: Seja $C(t)$ a confiabilidade para que um elemento supere um tempo t . Dada a *fd* $F(t)$ tem-se que:

$$F(t) = \int_0^t f(s)ds \rightarrow C(t) = 1 - \int_0^t f(s)ds \rightarrow C(t) = 1 - F(t); \quad t \in [0; \infty] \quad (11)$$

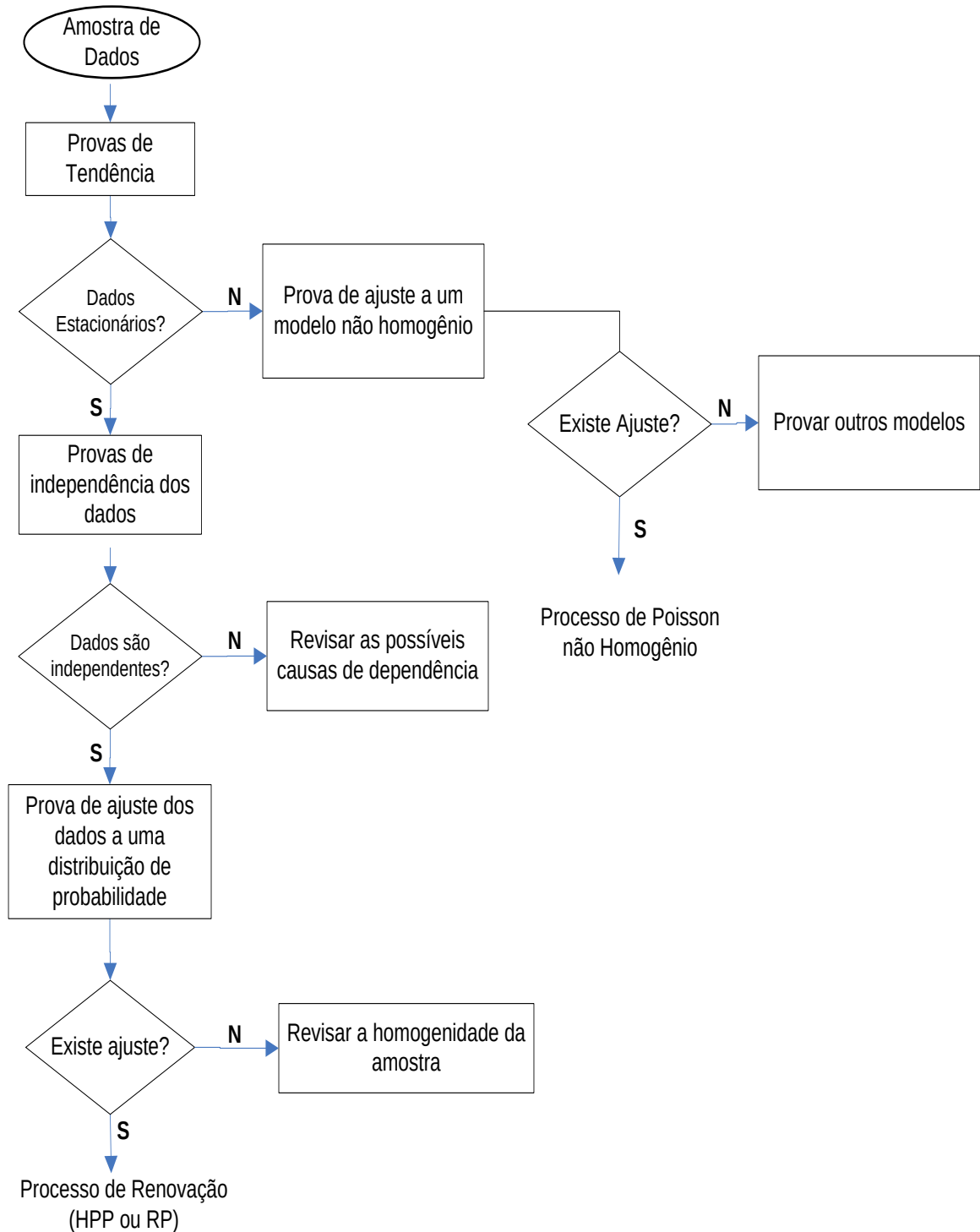
Na definição 3 é mostrado que a confiabilidade de um sistema pode ser descrita como o complemento de uma distribuição de probabilidade, construída através de um conjunto de

dados a fim de representar uma variável aleatória através de funções com uma quantidade mínima de parâmetros a serem determinados. A Figura 3 mostra o procedimento para a análise de um conjunto de dados no ajuste de uma distribuição de probabilidade através dos *thf's*.

Como ilustrado na Figura 3 duas famílias de distribuições de probabilidades podem representar uma variável aleatória: Processos de Renovação (RP, *Renewal Process*, do inglês) que é um processo estacionário homogêneo e Processo de Poisson Não Homogêneo (NHPP, *Non-Homogeneous Poisson Process*, do inglês), um processo não estacionário não homogêneo. Esses processos são apresentados na subseção 2.3.1.

Proposições aplicadas aos dados como tendência ou não tendência e independência determinam qual família de distribuição de probabilidade possivelmente explica uma variável aleatória. Para classificar qual ou quais distribuições de probabilidade representam uma variável aleatória, testes de ajuste são realizados. As proposições e os testes de ajustes são mostrados na subseção 2.3.2.

Figura 3 - Diagrama para análise de amostras de tempos para falha (tbf) no ajuste de um modelo de probabilidade



Fonte: Adaptado de Zapata (2011).

2.3.1 Processos Estocásticos e Distribuições de Probabilidade

Os processos de Renovação (RP) e os processos de Poisson não homogêneo (NHPP) são apresentados nessa subseção.

(i) Processo de Renovação (RP)

O termo Renovação provém da área da confiabilidade onde o modelo é aplicado a um elemento que, quando sofre reparo, volta ao estado físico (ou com grau de confiabilidade) igual ao anterior à falha (ZAPATA, 2010).

A seguir, algumas das principais distribuições de probabilidade são apresentadas.

Distribuição Normal (ou Gaussiana)

Também conhecida como a curva do chapéu de Napoleão, é uma das mais utilizadas distribuições de probabilidades, conhecida pela aproximação de várias outras distribuições a ela, demonstrado pelo Teorema do Limite Central (MONTGOMERY; RUNGER, 2012).

Sua *fdp* é dada em (12), com parâmetros μ e σ iguais à média e desvio padrão, respectivamente.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2\right) \quad (12)$$

Pela definição 3, tem-se que:

$$C(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2\right) dx \quad (13)$$

Distribuição Gama

Baseada na função gama (14), essa distribuição possui dois parâmetros $\alpha > 0$ e $r > 0$. Sua *fdp* é dada por (15).

$$\Gamma(r) = \int_0^\infty x^{r-1} e^{-x} dx \quad \text{com } r > 0 \quad (14)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\alpha^r}{\Gamma(r)} (\alpha x)^{r-1} e^{-\alpha x} & \text{com } x > 0, r > 0 \text{ e } \alpha > 0; \\ 0 & \text{para } \forall \text{ outro } x, r, \alpha. \end{cases} \quad (15)$$

Distribuição Exponencial

Caso seja tomado $r = 1$ na distribuição Gama, configura-se a distribuição de probabilidade exponencial. Esta distribuição é a mais usada na confiabilidade de equipamentos do sistema quando as taxas de falhas são constantes. Para uma variável aleatória X com valores

não negativos, a *fdp* da distribuição exponencial é dada por (16), com parâmetro $\alpha > 0$. Se uma variável aleatória puder ser ajustada à distribuição exponencial, tem-se que a distribuição é um Processo de Poisson Homogêneo (HPP, *Homogeneous Poisson Process*, do inglês).

$$f(x) = \begin{cases} \alpha e^{-\alpha x} & \text{para } x > 0; \\ 0 & \text{para } \forall \text{ outro } x. \end{cases} \quad (16)$$

Assim,

$$F(x) = \int_0^x \alpha e^{-\alpha t} dt = 1 - e^{-\alpha x} \quad \rightarrow \quad C(t) = 1 - (1 - e^{-\alpha x})$$

Logo,

$$C(t) = e^{-\alpha x} \quad (17)$$

Obtenção dos Parâmetros do Modelo de Distribuição de Probabilidade.

Para os modelos baseados em RP (distribuição Normal, Gama, Weibull, etc.) ou HPP utiliza-se o método da máxima verossimilhança (MMV) ou o Método dos Momentos (MM) para estimar os parâmetros das distribuições.

Seja $f(x, \theta)$ a *fdp* calculada em x com parâmetro θ , a ser estimado.

Definição: Sejam $X_1, \dots, X_n$ uma amostra de uma variável aleatória X e $x_1, \dots, x_n$ seus valores amostrais. A função de verossimilhança L em função da amostra e de θ é dada por (18) (MEYER, 1983).

$$L(X_1, \dots, X_n; \theta) = f(X_1; \theta) \dots f(X_n; \theta) \quad (18)$$

Obter a estimativa de máxima verossimilhança para θ é encontrar o valor de θ que torna máxima a função de verossimilhança mostrada em (18). Tem-se que a função $\ln(x)$ é uma função crescente de x , podendo ser aplicada em (18) como mostra a equação (19). Considerando que L seja derivável em função de θ , o MMV é baseado em encontrar a solução de (20) (MEYER, 1983).

$$\ln(L(X_1, \dots, X_n; \theta)) = \ln(f(X_1; \theta)) \dots \ln(f(X_n; \theta)) \quad (19)$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(X_1, \dots, X_n; \theta) = 0 \quad (20)$$

Se a *fdp* de uma variável aleatória depende de parâmetros α e β , tome $\bar{\theta} = (\alpha, \beta)$. Neste caso, o MMV busca obter as soluções do sistema de funções de verossimilhança (21).

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \alpha} \ln L(X_1, \dots, X_n; \alpha, \beta) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial \beta} \ln L(X_1, \dots, X_n; \alpha, \beta) = 0 \end{cases} \quad (21)$$

Uma alternativa ao uso do MMV é chamada Método dos Momentos (MM).

Seja $X_1, \dots, X_n$ uma amostra de uma variável aleatória X e *fdp* $f(X_1, \dots, X_n; \bar{\theta})$, $\bar{\theta} = (\theta_1, \dots, \theta_k)$ então o k -ésimo momento populacional (ou teórico) e amostral são dados, respectivamente, por (22) e (23).

$$M_k^P = E(X^k) \quad (22)$$

$$M_k^A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^k \quad (23)$$

O estimador de momentos $\bar{\theta}$ é obtido igualando-se os k primeiros momentos populacionais aos k momentos amostrais, ou seja,

$$M_k^P = M_k^A \quad (24)$$

Muitas vezes os sistemas de funções de verossimilhança são complexos, dificultando o uso do método da máxima verossimilhança. Caso tenha uma pequena quantidade de amostras, o MM consegue estimar parâmetros de qualidade próxima ao MMV com um grau de dificuldade inferior (MEYER, 1983).

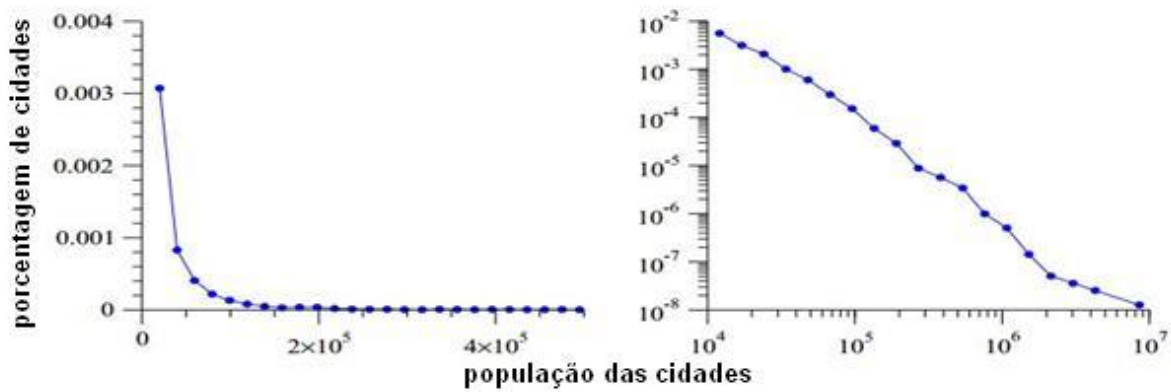
(ii) **Processo de Poisson Não Homogêneo (NHPP)**

Para este tipo de processo, assume-se que os dados históricos de uma variável aleatória são não estacionários, além disso, após infinitos possíveis experimentos, as probabilidades não ficam centradas na média como ocorre com os modelos probabilísticos da seção 2.3.1. Para este tipo de processo, optou-se pelo uso das distribuições do tipo *Power Law*.

Os processos de *Power Law* estão presentes em muitos setores, e são conhecidos por suas variáveis aleatórias estarem distribuídas em proporções diferentes quando avaliadas

quanto à média. É também conhecido como o processo “o rico fica mais rico” ou “o pior fica pior”. As figuras 4(a) e 4(b) mostram, respectivamente, a distribuição da porcentagem de cidades dos EUA e suas populações de forma padrão e em escala logarítmica. Newman (2005), citado por Scoton (2011), apresenta que as cidades, caso distribuídas normalmente, deveriam se concentrar próximas a 110 mil habitantes, o que não ocorre (Figura 4(a)); e mostra pela figura 4(b) que ao transformar os dados através da função logarítmica, eles podem ser observados por uma reta.

Figura 4 - 4(a) - Porcentagem de cidades dos EUA e sua população. 4(b) - Dados da figura 4(a) em escala logarítmica



Fonte: Extraída de Newman (2005).

O ajuste normalizado da distribuição de probabilidade de *Power Law* para uma variável aleatória contínua x , com constante α denominada constante de *Power Law* é dada por (25) (NEWMAN, 2005).

$$P(x) = \frac{(\alpha-1)}{x_{min}} \left(\frac{x}{x_{min}} \right)^{-\alpha} \quad \text{com } x > 0 \quad (25)$$

A taxa de ocorrência de um evento para o NHPP *Power Law* foi desenvolvida por Larry Crow em 1974, com parâmetros λ' , β e tempo t e é mostrada em (26) (ZAPATA, 2011).

$$\lambda(t) = \lambda' * \beta * t^{\beta-1} \quad (26)$$

Considere t_i o i -ésimo tempo observado de um conjunto com n amostras. Podem-se obter os parâmetros β e λ para o NHPP *Power-Law* através das equações (27) e (28) (ZAPATA, 2011).

$$\beta = \frac{(n-2)}{\sum_{i=1}^n \ln(t_n/t_i)} \quad (27)$$

$$\lambda' = \frac{n}{t_n^\beta} \quad (28)$$

2.3.2 Análise e Teste de Ajuste Aplicado a uma Amostra Aleatória

Na obtenção de um modelo matemático probabilístico de confiabilidade algumas etapas devem ser analisadas para satisfazer propriedades de uma amostra de dados aleatórios assim como a capacidade de ajuste do modelo. Essas etapas são descritas nessa subseção.

Etapa 1: Análise de tendência

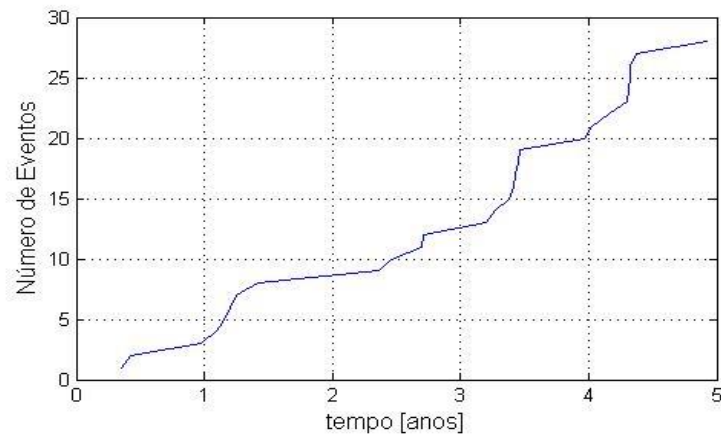
Nesta etapa os dados são verificados quanto à estacionalidade. Um conjunto de dados é estacionário se não existe tendência de crescimento ou decrescimento em relação ao tempo, ou seja, possuem tendência nula. Para esse tipo de dados, se validado na etapa 2 mostrada a seguir, são aplicados modelos de probabilidade homogêneos como as distribuições Normal, Weibull, Lognormal, etc.

Caso exista tendência, a homogeneidade do conjunto de dados não é garantida, portanto, deve ser modelado por um processo não homogêneo, como NHPP, Cadeias de Markov não Homogêneas, etc.

Para verificar se uma amostra de dados aleatórios possui ou não tendência, três métodos gráficos são aplicados ao conjunto de dados aleatórios (ZAPATA, 2010).

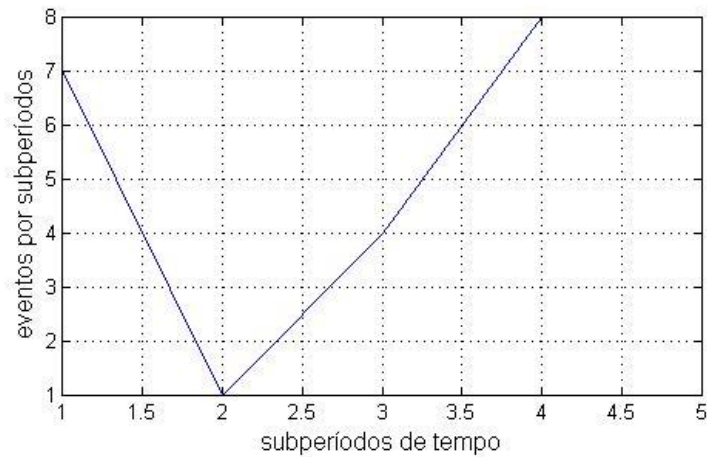
- (i) Gráfico do número acumulado de eventos pelo tempo acumulado de observações. Se o gráfico for côncavo ou convexo, existe tendência. A Figura 5 mostra que não existe tendência para o conjunto de dados aleatórios.
- (ii) Gráfico do número de eventos por subperíodos pelo tempo total observado. Se o gráfico for crescente ou decrescente implicará em tendência dos dados. A Figura 6 mostra que não existe tendência para o conjunto de dados aleatórios.
- (iii) Gráfico de barras dos tempos entre chegada de eventos conservando sua ordem cronológica. Se o gráfico for crescente ou decrescente, existe tendência. A Figura 7 mostra que não existe tendência para o conjunto de dados aleatórios.

Figura 5 - Gráfico do número acumulado de eventos pelo tempo acumulado de observações



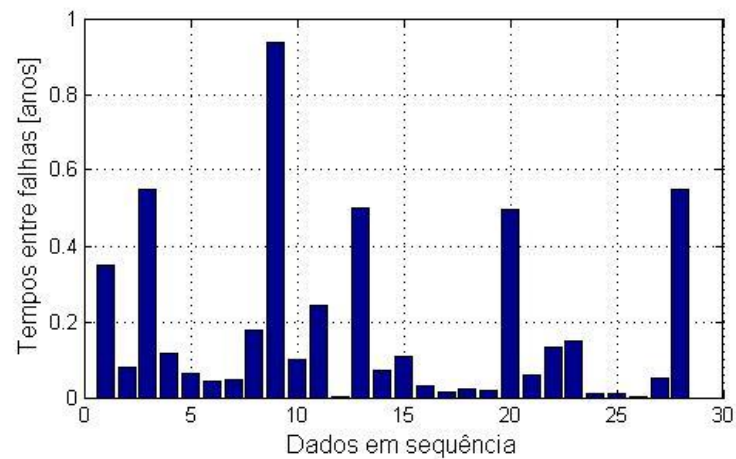
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 6 - Gráfico do número de eventos por subperíodos pelo tempo total observado



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 7 - Gráfico de barras dos tempos entre chegada de eventos conservando sua ordem cronológica



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A análise gráfica pode levar o modelador a um falso positivo. Assim, são comumente usados testes analíticos como o teste de Laplace para tendência mostrada em (29), que compara o valor médio dos tempos de chegadas dos dados com o ponto médio do intervalo que ocorrem as observações. Neste teste, $U > 0$, $U < 0$ e $U = 0$ implicam respectivamente, tendência positiva, negativa e nula.

$$U = \frac{\left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k e_i\right) - \frac{1}{2} T^*}{T^* \sqrt{\frac{1}{12k}}} \quad (29)$$

sendo:

- U : Estatístico para a prova de Laplace.
- n : Tamanho da amostra;
- e_n : Eventos observados;
- k : Igual a $(n - 1)$ se as observações terminam no último evento, senão, $k = n$;
- T^* : Igual a t_n se as observações terminam no último evento, senão, é igual o período total das observações.

Na aplicação em problemas reais, o estatístico U dificilmente apresenta tendência nula ($U = 0$). Como recurso, deve-se estimar um intervalo de confiança centrado em U com desvio $z_{\alpha'/2}$, permitindo que valores de U “próximos” a zero impliquem em não tendência. A partir dessa definição, podem ser definidos dois testes de hipóteses (ZAPATA, 2011).

(i) Teste de hipóteses para um processo de Poisson homogêneo

- $\{H_0$ (Hipótese Nula): O processo de ajuste aos dados é um HPP;
- H_1 (Hipótese Alternativa): O processo de ajuste aos dados não é um HPP.

Critério de Decisão: Rejeita-se a hipótese nula em um nível de significância $\alpha\%$ se:

$$U > z_{\alpha'/2} \text{ ou } U < -z_{\alpha'/2}$$

(ii) Teste de hipóteses para um processo de Renovação

Seja o estatístico de prova dado pela equação (30) onde σ e μ são, respectivamente, o desvio padrão amostral e a média dos dados analisados.

$$U_r = \frac{U}{\sigma} * \mu \quad (30)$$

$\begin{cases} H_0 \text{ (Hipótese Nula): O processo de ajuste aos dados é um RP;} \\ H_1 \text{ (Hipótese Alternativa): O processo de ajuste aos dados não é um RP.} \end{cases}$

Critério de Decisão: Rejeita-se a hipótese nula em um nível de significância $\alpha\%$ se:

$$U_r > z_{\alpha'/2} \text{ ou } U_r < -z_{\alpha'/2}$$

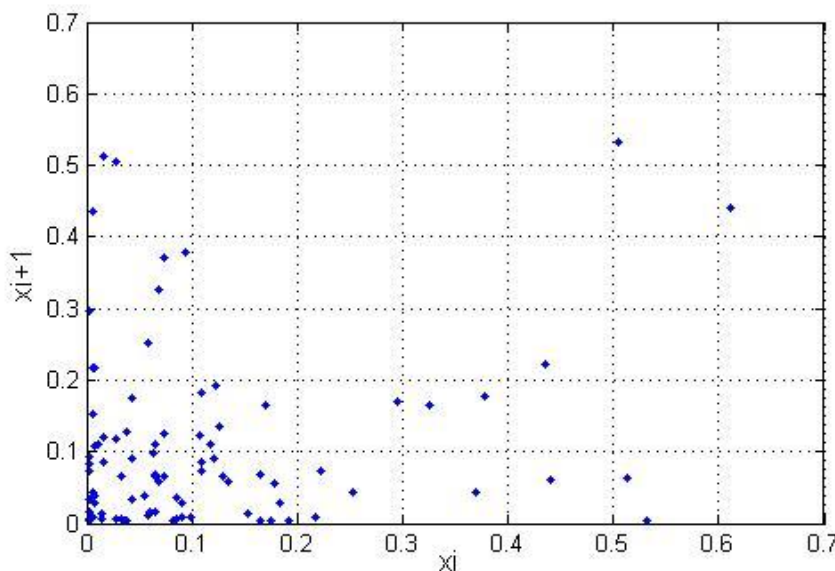
Etapa 2: Análise de independência

Um requisito para construção de um modelo probabilístico não tendencioso é que exista a independência entre os dados, ou seja, a existência de um dado não implica a ocorrência de outro e vice versa.

Diagrama de dispersão dos dados é usado para validar a independência. Nesta prova, toma-se uma amostra com n dados $x_1, x_2, \dots, x_n$, ordenados cronologicamente. Seja o gráfico de dispersão formado pelos pares (x_i, x_{i+1}) para $i = 1, 2, \dots, (n - 1)$. Então:

- (i) Se os dados são independentes, os pares estão dispersos pelo primeiro quadrante, como mostra a Figura 8;
- (ii) Caso os pontos estejam correlacionados, eles estão dispersos pelo primeiro quadrante, porém, tendem a formar uma reta.

Figura 8 - Diagrama de dispersão dos tempos para falha



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Etapa 3: Teste para verificação de ajuste a um modelo.

Encontrados os parâmetros para os diversos modelos, deve-se mostrar (testar) se a distribuição pode ser usada para representar uma variável aleatória. Testes como prova de ajuste

de Kolmogorov-Smirnov (KS-Test), prova gráfica de ajuste Normal e Lognormal, transformada e gráfico TTT (TTT-Plot) são usados para validar e qualificar o ajuste de modelos probabilísticos a um conjunto de dados. Neste trabalho, a validação do modelo NHPP *Power Law* foi feita através do KS-Test e do TTT-Plot. Os modelos RP (HPP) foram validados e qualificados pelo KS-Test.

O Método KS-Test realiza um teste de hipótese através da estatística D , obtida da seguinte forma:

(i) **Para um RP ou HPP**

- Ordene os dados em forma crescente. O conjunto de dados possui n elementos ordenados crescentemente por $a = 1, 2, \dots, n$;
- Tome $FO_a = \frac{a}{n}$;
- Calcule a frequência acumulada esperada FE_a (obtida pela fd da distribuição proposta) para cada amostra x_a ;
- Sejam $\varepsilon_a = |FE_a - FO_a|$ os desvios absolutos entre as frequências acumuladas e observadas, tem-se então que o estatístico $D = \text{Máx}\{|FE_a - FO_a|\}$ com $a = 1, 2, \dots, n$;
- Através das tabelas de Kolmogorov - Smirnov para um RP determine $D^{\alpha'}$ máximo;
- Hipóteses $\begin{cases} H_0: \text{A distribuição proposta representa os dados;} \\ H_1: \text{A distribuição proposta não representa os dados.} \end{cases}$
- Critério de Decisão: H_0 é rejeitada com um nível de significância α' se $D > D^{\alpha'}$.

(ii) **Para um NHPP**

- Seja um conjunto de dados composto por n indivíduos, β o parâmetro obtido para a distribuição de probabilidade. Tome $M = n - 1$;
- Para cada amostra x_a com $a = 1, \dots, n$, calcule $U_a = \left(\frac{t_a}{t_n}\right)^\beta$;
- Considere $D^+ = \text{Máx}\left(\frac{a}{M - U_a}\right)$ e $D^- = \text{Máx}\left(U_a - \frac{a-1}{M}\right)$;
- O estatístico de comparação é dado por $D = \text{Máx}\{D^+, D^-\}$;
- Através das tabelas de Kolmogorov – Smirnov para um processo *Power Law* determine $D^{\alpha'}$ máximo com um nível de significância α ;

H

- ipóteses $\begin{cases} H_0: \text{O NHPP Power Law com parametro } \beta \text{ representa os dados;} \\ H_1: \text{O NHPP Power Law com parametro } \beta \text{ não representa os dados.} \end{cases}$

- Critério de Decisão: H_0 é rejeitada com um nível de significância α' se $D > D^{\alpha'}$.

O método *TTT-Plot* utiliza a distribuição de probabilidade dada por (31). Esta função define um gráfico de referência para comparar a amostra de dados transformada e verificar se existe ajuste à distribuição proposta.

$$TTT(u) = \frac{1}{E(x)} \int_0^{F^{-1}(u)} \bar{F}(t) dt \text{ com } 0 \leq u \leq 1 \quad (31)$$

Sendo

$\bar{F}$: O complemento da função de distribuição de probabilidade proposta;

F^{-1} : Função inversa da função de distribuição de probabilidade proposta.

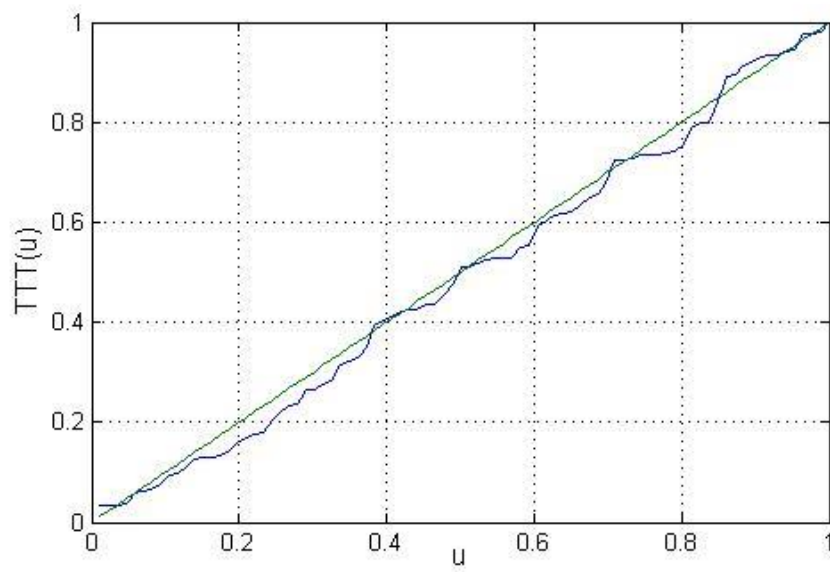
O uso desse método não está condicionado ao conhecimento dos parâmetros estimados do modelo. Para cada *fdp*, existe um gráfico da distribuição *TTT*. Deve-se ordenar de forma crescente, por ordem de magnitude os n elementos do conjunto de dados. As equações (32) e (33) calcula e normaliza, respectivamente, os valores *TTT* para cada x_a do conjunto de dados.

$$R_a = \sum_{j=1}^a (n - j + 1) [t_j - t_{j-1}] \text{ com } a = 1, 2, \dots, n. \quad (32)$$

$$TTT(u) = S_a = \frac{R_a}{R_n} \text{ com } a = 1, 2, \dots, n. \quad (33)$$

Para cada S_a tome $u = a/n$ e represente graficamente os pares ordenados (u, S_a) . Una os pontos por segmentos de reta. Se os pontos estiverem dispostos ao redor do gráfico da distribuição *TTT* para um *NHPP Power Law* implica que o modelo pode ser usado para representar o conjunto de dados. A Figura 9 mostra a aplicação do método *TTT-Plot* a um conjunto de dados representados por um *NHPP Power Law*.

Figura 9 – Prova de ajuste de um conjunto de dados a um NHPP *Power Law* utilizando TTT-*Plot*



Fonte: Elaboração do próprio autor.

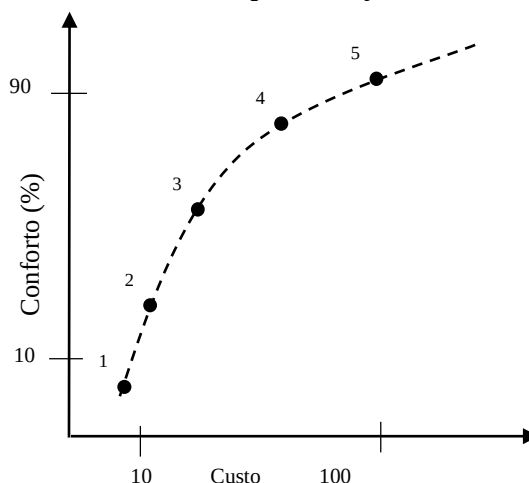
3 FUNDAMENTOS DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO

Neste capítulo, apresenta-se uma breve introdução sobre otimização multiobjetivo com ênfase para o método de otimização baseado no algoritmo evolutivo, o NSGA-II. A teoria descrita é encontrada em Coello; Lamont e Veldhuizen (2007) e Deb (2001).

3.1 CONCEITOS DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO

A otimização matemática multiobjetivo, estuda problemas em que se busca minimizar ou maximizar duas ou mais funções objetivos, encontrando as variáveis que melhoram o modelo matemático dentro de um espaço de busca real ou inteiro. Modelagens de eventos reais exigem que vários objetivos sejam estudados e melhorados simultaneamente. Um exemplo para a otimização multiobjetivo é mostrado na Figura 10 que exhibe um conjunto de opções de compra, relacionando tipos de carros, seus valores e o conforto que cada um proporciona. As funções objetivos são conflitantes, pois mensurar o conforto pode variar de caso para caso, assim, fica a cargo do comprador decidir qual será a resposta mais viável ou a que satisfaz suas necessidades. Caso não se conheça a origem ou razão do problema, as soluções contidas neste conjunto não podem ser classificadas entre si como melhores ou piores.

Figura 10 - Comparação entre cinco veículos pela relação custo vs conforto



Fonte: Adaptado de Deb (2001).

Definição: Um Problema de Otimização Multiobjetivo (MOOP, *multi-objective optimization problem*, do inglês), pode ser descrito por:

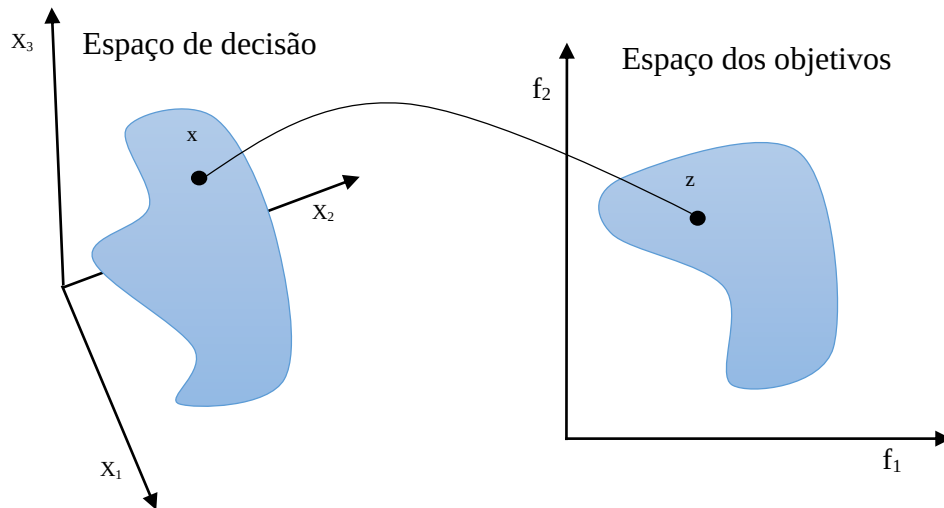
$$\begin{aligned}
& \text{Minimize|maximize} && f_m(x); && m= 1, 2,..., M; \\
& \text{sujeito a} && g_s(x) \geq 0; && s= 1, 2,..., S; \\
& && h_k(x) = 0; && k= 1, 2,..., K; \\
& && x_i^{(L)} \leq x_i \leq x_i^{(U)} && i= 1, 2,..., n.
\end{aligned} \tag{34}$$

O sistema mostrado em (34) descreve um problema de maximização ou minimização com $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$ funções objetivas com valores reais. A união destas funções, o vetor $F_m(x)$ está contido no espaço multidimensional de ordem m denominado *espaço dos objetivos* $\mathbf{Z}^m$. Seu vetor solução $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^t$ possui n elementos reais. O conjunto de todas as soluções define o *espaço de decisão* ou *espaço das variáveis de decisão* $\mathbf{D}^n$, com limites inferior $x_i^{(L)}$ e superior $x_i^{(U)}$.

As $S + K$ restrições definem a *região de factibilidade* do problema, onde se cumpridas suas exigências, diz-se que a solução do MOOP é *factível*, caso contrário, *infactível*. A união de suas soluções factíveis gera o *espaço de busca* ou *região factível* $\mathbf{E}$.

Um MOOP possui então como domínio um espaço n -dimensional e sua imagem um espaço m -dimensional, como mostrado na Figura 11. A diferença fundamental entre otimização multiobjetivo e mono objetivo é seu espaço $\mathbf{Z}$, sendo unidimensional para o segundo caso.

Figura 11 - Representação do espaço de decisão e seu espaço objetivo correspondente



Fonte: Adaptada de Deb (2001).

Na otimização multiobjetivo, segundo Marler e Arora (2004), citado em Azevedo (2011), as decisões para soluções obtidas em métodos de otimização para problemas multiobjetivos podem ser divididas em três grupos referentes à preferência:

Métodos *a priori*: as funções objetivos são ponderadas pelo usuário, ou seja, cada função objetivo possui um grau de importância diferente, escolhido previamente. As restrições do problema assumem uma função e são “acopladas” e recebem penalidades caso sejam violadas. Feito isso, o modelo multiobjetivo passa a ser um modelo mono-objetivo, onde uma única solução ótima (global) é apresentada.

Métodos *a posteriori*: as funções objetivos são tratadas conjuntamente, ou seja, busca-se a melhor solução que minimize ou maximize as duas funções simultaneamente. Pode ser aplicado sem prévio conhecimento do problema. Um conjunto de soluções ótimas é apresentado, baseado na teoria de conjuntos de Pareto. O usuário não interfere durante o processo de otimização, cabendo a ele julgar qual o melhor indivíduo do conjunto ótimo encontrado.

Métodos progressivos: o usuário pode interferir durante e no início do processo de otimização, incluindo preferências ao longo da execução do algoritmo. Deve-se ter um prévio conhecimento do problema, visto que a inserção de expressões depende de sua natureza. Em suma, o usuário pode obter novas soluções incrementando o algoritmo a partir de resultados apresentados.

Neste trabalho, optou-se pela técnica *a posteriori*, ou seja, deseja-se encontrar um conjunto de soluções e optar por aquela que melhor se adapte às características ou ao momento refletido pelo problema.

Para o estudo da otimização em problemas multiobjetivo, faz-se necessário e indispensável o conhecimento das definições abaixo.

Definição: (Dominância de Pareto). Sejam u e $v \in \mathbf{Z}^m$. Diz-se que u domina v ($u \triangleleft v$) com $u \neq v$ se:

- (i) Não existe v tal que $f_m(u) > f_m(v)$ para $m = 1, 2, \dots, M$ objetivos e;
- (ii) $f_m(u) < f_m(v)$ para algum dos m objetivos.

Caso u não domine v e v não domine u , as soluções são indiferentes.

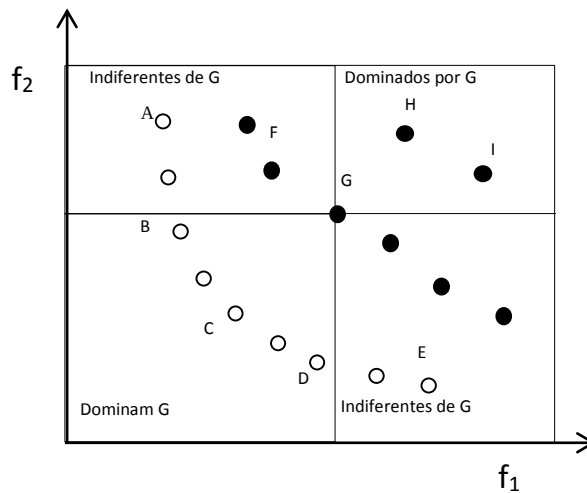
Definição: (Solução não dominada). Um vetor $u' \in (\mathbf{E} \subseteq \mathbf{D})$ é uma *solução não dominada* ou um *ótimo de Pareto* se e somente se não existe $u \in (\mathbf{E} \subseteq \mathbf{D})$ tal que $f(u)$ domine $f(u')$.

Definição: O conjunto de todas as soluções não dominadas contidas em $\mathbf{E}$ é chamado de *conjunto de Pareto ótimo*. O conjunto definido pelas imagens $f(\mathbf{E})$ é chamada de *frente ótima de Pareto* (PF, *Pareto Front*, do inglês).

A existência de diversas funções objetivos leva a um conjunto de soluções não dominadas, consequentemente a um conjunto não unitário na PF, não ocorrendo o mesmo nos modelos mono objetivo, pois apesar de encontrar diversas soluções não dominadas, todas elas convergem para o mesmo valor no espaço dos objetivos, ou seja, a PF é formada por apenas um ponto.

O conceito de dominância, não dominância e indiferença é ilustrado na Figura 12. As soluções A, E e F são indiferentes quando comparadas a G. Os indivíduos B, C e D dominam G. As soluções H e I são dominadas por G.

Figura 12 - Classificação quanto a dominância, não dominância e indiferença em relação a uma solução.



Fonte: Adaptado de Arroyo (2002).

Sejam $\mathcal{F}_j$ os j conjuntos compostos pelas soluções não dominadas entre si. A fronteira ou frente $\mathcal{F}_1$ contém todos os indivíduos do conjunto $\mathbf{D}$ que não são dominados por nenhum outro. O mesmo ocorre para frente $\mathcal{F}_2$ que é composta por todos os indivíduos que não são dominados no conjunto $(\mathbf{D} - \mathcal{F}_1)$. A frente $\mathcal{F}_3$ possui todos os indivíduos que não são dominados no conjunto $\mathbf{D} - (\mathcal{F}_1 \cup \mathcal{F}_2)$. O mesmo ocorre para as m frentes. Define-se assim uma hierarquia entre as frentes, onde $\mathcal{F}_1$ é superior a $\mathcal{F}_2$ e assim sucessivamente.

A otimização multiobjetivo deve buscar: (i) manter a maior diversidade possível no conjunto de soluções; (ii) obter a melhor aproximação possível da frente $\mathcal{F}_1$ para a frente ótima de Pareto; e, (iii) escolher dentre as melhores soluções, aquela que mais se adapta às necessidades e qualidades do problema proposto.

3.2 ALGORITMOS EVOLUTIVOS

Dentre os modelos estocásticos para otimização de problemas multiobjetivo, destacam-se os Algoritmos Evolutivos (AE's) com características baseadas na evolução natural. Do conhecimento biológico evolutivo, cada indivíduo ou solução $u_i = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbf{D}$ é representada como um cromossomo, sendo que cada x_n é denominado *bit*. O conjunto de cromossomos gera a população. Durante o processo de evolução, existe uma tendência de que indivíduos mais fortes ou mais adaptados ao ambiente sobrevivam e passam a gerar outros novos. O mesmo acontece com estes métodos, ou seja, as soluções com melhor relação de compromisso (*trade-off*) para a tomada de decisão são as mais favoráveis à sobrevivência. Os cromossomos ou soluções passam por processos de seleção, recombinação (cruzamento) e mutação, denominados operadores genéticos.

Seleção

Dados dois cromossomos candidatos pertencentes à população, deve-se escolher aquele com a melhor relação custo-benefício (*trade-off*), onde este sobrevive para as próximas etapas do processo. Modelos de seleção são encontrados na literatura, como a seleção por torneio, seleção por roleta, dentre outros.

Recombinação (cruzamento)

Recombinação, cruzamento genético ou *crossover* é realizada após a seleção. No processo de seleção, dois indivíduos são escolhidos, chamados de Pai1 e Pai2. O processo de recombinação, usualmente, divide em duas ou mais partes cada “pai” através de um ponto denominado ponto de recombinação, gerando dois indivíduos, chamados de Filho1 e Filho2. Os indivíduos gerados pela recombinação recebem o material ou código genético dos “pais”.

Mutação

São pequenas perturbações que ocorrem em um cromossomo, ou seja, afeta um ou mais *bits*, alterando seu valor, conforme a codificação do problema. O ponto de mutação representa o *bit* que é “perturbado”.

Diversos algoritmos foram desenvolvidos na busca de soluções ótimas para problemas com modelagem multiobjetivo, tendo como precursor o algoritmo denominado VEGA (*Vector Evaluated Genetic Algorithm*). Outros modelos foram desenvolvidos, dos quais se destacam:

MOGA (*Multiple Objective Genetic Algorithm*), PAES (*Pareto Archived Evolution Strategy*), SPEA (*Strength Pareto Evolutionary Algorithm*), NPGA (*Niched-Pareto Genetic Algorithm*) e NSGA (*Non-dominated Sorting Genetic Algorithm*). Na literatura, estas propostas são chamadas de primeira geração de algoritmos genéticos (AG's). Modelos como NPGA2, SPEA2 e NSGA-II são os sucessores aperfeiçoados respectivamente de NPGA, SPEA e NSGA. Esta é a segunda geração de AG's, promissoras em relação a desempenho e cobertura dos espaços de busca. Neste trabalho, para solução do modelo de otimização de programação de manutenção da vegetação sob a rede de distribuição, optou-se pelo NSGA-II devido a sua robustez e características de convergência. Este algoritmo é apresentado e discutido na próxima subseção.

3.3 NSGA-II – NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM-II

O NSGA-II (*Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II*), desenvolvido por Deb *et al.* (2002), é, assim como seu precursor, um algoritmo genético elitista e um processo de busca baseado nas teorias de conjuntos de Pareto, gerando uma classificação de sua população em fronteiras hierárquicas de não dominância ou ordenamento por não dominância. Assim, para cada solução $i \in \mathbf{D}$ é definido um “rank”, ou seja, a frente de não dominância da qual a solução pertence.

Os processos de recombinação e mutação do NSGA-II não diferem dos demais algoritmos evolutivos. O diferencial deste modelo está no processo de seleção, baseada em técnicas de torneio, porém guiado por um novo operador denominado *crowded-comparison operator*. Neste novo método, os autores propõem uma medida que, sem um prévio conhecimento do problema ou da solução, quantifica os indivíduos quanto à possibilidade na geração de diversidade. Esta medida é chamada de *crowding distance* ou distância de multidão, que associa um valor real para cada solução $i \in \mathcal{F}_j$, é baseada no perímetro do cubóide com vértices nos indivíduos $i - 1$ e $i + 1$, como mostrado na Figura 13. Para as soluções extremas da frente de dominância, este valor tende ao infinito. Tem-se então que esta medida estima a densidade de soluções próximas à solução i , onde quanto maior seu valor, menos soluções estão ao seu redor, o que implica em maior probabilidade de que em futuras iterações, soluções de elite próximas a ela sejam geradas.

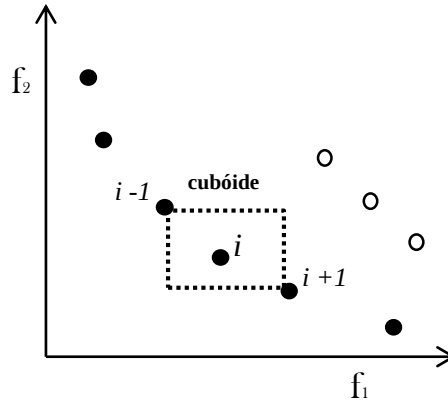
Para cada frente de dominância j , sejam f_{max}^m e f_{min}^m os valores máximo e mínimo da função objetivo m . O valor estimado do *crowding distance* da solução i pertencente à frente j é dado por (35).

$$I[i]_{distance}^j = \sum_{m=1}^M \left| \frac{f^m(i+1) - f^m(i-1)}{f_{max}^m - f_{min}^m} \right| \quad (35)$$

Desta forma, pode-se definir o operador *crowded-comparison operator*, que compara duas soluções i e i' , obtendo como vencedora do torneio aquela que:

- (a) Encontra-se na melhor frente hierárquica não dominada, ou seja, $rank(i) < rank(i')$;
- (b) Caso $rank(i) = rank(i')$, vence a solução que possui a maior distância de multidão.

Figura 13 - Cálculo da distância de multidão



Fonte: Adaptado de Deb *et al.* (2002).

Podem-se ordenar as soluções da frente $\mathcal{F}_j$ de forma decrescente usando o operador *crowded-comparison operator*, tendo como resultado que $i \triangleleft i' \triangleleft i''$ e assim por diante. Dois procedimentos são descritos para o algoritmo NSGA-II: o procedimento para ordenamento por não dominância (OND), que retorna a qual frente pertencem as soluções de uma população P é mostrado no Algoritmo 1 e o ordenamento por distância de multidão (ODM) que completa a população P_{t+1} da próxima iteração e que é mostrado no Algoritmo 2.

Algoritmo 1: Ordenamento por não dominância (OND) (SANCHES , 2012).

Para todo $i \in D$ **faça:**

$nd_i = 0$

$U_i = \emptyset$

Para todo $i' \in D, i' \neq i$ **faça:**

Se i *domina* i' **então**

$U_i = U_i \cup \{i'\}$

Fim se

Se i' *domina* i **então**

$nd_i = nd_i + 1$

fim se

```

        se  $nd_i = 0$  então
             $\mathcal{F}_1 = \mathcal{F}_1 \cup \{i\}$ 
        Fim se
    Fim para
     $K = 1$ 
    Enquanto  $\mathcal{F}_k \neq \emptyset$  faça
         $S = \emptyset$ 
        Para  $i \in \mathcal{F}_k$  faça
            Para  $i' \in U_i$  faça
                 $nd_{i'} = nd_i - 1$ 
                se  $nd_{i'} = 0$  então
                     $S = S \cup \{i'\}$ 
            Fim se
        Fim para
    Fim para
     $K = k + 1$ 
     $\mathcal{F}_k = S$ 
    Fim enquanto.

```

Algoritmo 2: Ordenamento por distância de multidão (ODM)

```

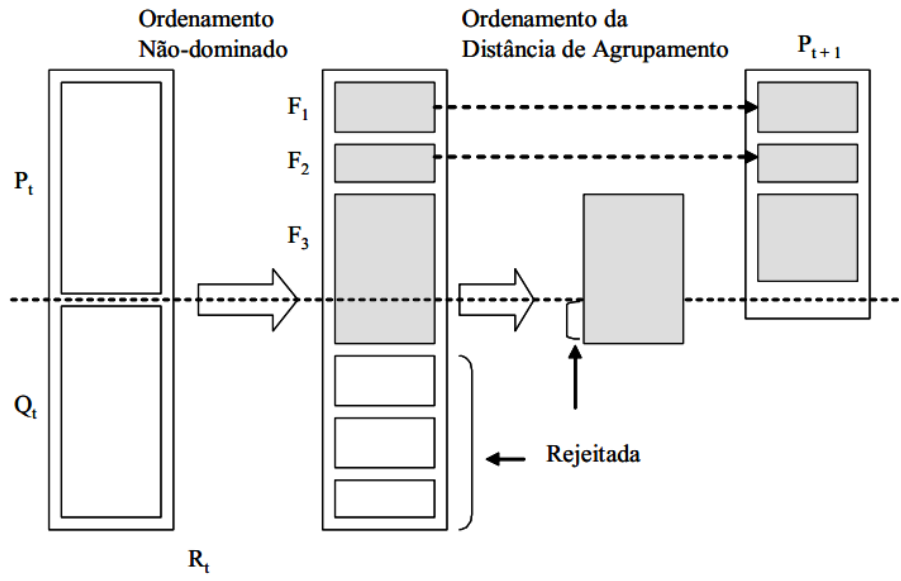
 $P_{t+1} = \emptyset$ 
 $k = 1$ 
    enquanto  $|P_{t+1} + \mathcal{F}_k| \leq N$  faça
         $P_{t+1} = P_{t+1} \cup \mathcal{F}_k$ 
         $k = k + 1$ 
    fim enquanto
    Calcule  $I[i]_{distance}^j$  para todo  $i \in \mathcal{F}_k$ 
    Classifique as soluções de  $\mathcal{F}_k$  usando o operador crowded-comparison operator
    As primeiras  $N - |P_{t+1}|$  soluções de  $\mathcal{F}_k$  completarão a população  $P_{t+1}$ 

```

Na Figura 14 é mostrado o procedimento evolutivo realizado pelo NSGA-II, onde P_t e Q_t são respectivamente a população inicial e secundária de dimensão N .

Inicialmente, OND e o cálculo da distância de multidão são aplicados à população inicial P_t . Em seguida, utilizam-se os operadores genéticos para obter a população Q_t . A população $R_t = P_t \cup Q_t$ com $2N$ indivíduos passa pelos processos de OND e ODM, tendo como resultado a população P_{t+1} . O processo iterativo termina caso o critério de parada seja satisfeito, obtendo o conjunto de soluções finais P_{t+1} , caso contrário, faz-se $P_t = P_{t+1}$ e o processo iterativo é novamente realizado.

Figura 14 - Proposta para o algoritmo NSGA-II



Fonte: Olazar (2007).

4 MODELO ESTOCÁSTICO DA CONFIABILIDADE, MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA E TÉCNICAS DE SOLUÇÃO

Alguns modelos baseados em RCM relacionados às manutenções programadas da vegetação sob um SDEE são encontrados na literatura.

No modelo desenvolvido por Kuntz; Christie e Venkata (2002), os autores propõem a criação de três funções objetivo as quais visam: 1) Minimizar o custo total da confiabilidade; 2) Minimizar os custos de manutenção para obter um índice preestabelecido que avalia a confiabilidade; 3) Maximizar a confiabilidade do sistema para um valor preestabelecido de custo de manutenção. Como restrições são colocadas a disponibilidade de mão de obra oferecida pela empresa de manutenção (em km), um valor preestabelecido para o índice de avaliação da confiabilidade e um montante máximo para o custo total da manutenção. Os autores usam uma rede neural artificial proposta por Radmer *et al.* (2002), obtendo uma previsão para as taxas de falhas. Para encontrar uma solução satisfatória, os autores penalizam as funções objetivos com restrições violadas e geram um problema mono-objetivo. O algoritmo de melhoria local *hill climbing* (Hill) foi combinado ao algoritmo *simulated annealing* (SA), algoritmo genético (AG) e *tabu search* (TS) gerando os algoritmos híbridos SA-HILL, AG-HILL e TS-HILL. Comparam-se os resultados obtidos com os algoritmos SA, AG, TS, SA-Hill, AG-HILL e TS-HILL, obtendo destaque para o AG-HILL.

Em Apolinário e Mantovani (2011), propõe-se um modelo dinâmico mono-objetivo para o planejamento de podas, visando minimizar os custos com a energia não suprida somado ao custo de manutenção da vegetação, tendo em conta as seguintes restrições: 1) Recursos financeiros máximos disponíveis preestabelecidos para efetuar a manutenção no período; 2) Mão de obra máxima disponibilizada pela empresa de manutenção (em metros) e 3) Um valor máximo para o índice de continuidade, adotando-se uma predição para FEC, citada por Reis et al. (2008), responsável pela avaliação da confiabilidade do sistema. Para prever as taxas de falha, os autores realizaram um ajuste dos dados históricos a curvas baseadas em modelos não lineares dadas pela distribuição normal. A técnica de solução do modelo é o algoritmo genético de *Chu-Beasley* – AGCB (CHU; BEASLEY, 1997).

Propõe-se neste capítulo, o desenvolvimento de um indicativo de inconfiabilidade baseado em um modelo estocástico da confiabilidade devido a falhas causadas pela vegetação. É desenvolvido um modelo matemático de programação binária dinâmica multiobjetivo dirigido à tomada de decisões referente à quando e em quais alimentadores se realizará a

manutenção da vegetação. Nesse modelo, toda a vegetação para o alimentador escolhido, se necessário, sofre poda ou remoção.

4.1 MODELO ESTOCÁSTICO DA CONFIABILIDADE DEVIDO AS FALHAS CAUSADAS PELA VEGETAÇÃO E INDICATIVO DE INCONFIABILIDADE

Os dados históricos disponíveis para realizar a estimativa das taxas de falhas devido à vegetação são insuficientes para a aplicação dos modelos propostos por Radmer *et al.* (2002) e Guikema, Davidson e Haibin (2006), assim, optou-se por modelos estocásticos de confiabilidade. Tem-se também que os tempos até falhas (t_{tf}), os tempos para restauração ou reparação (t_{tr}) e os tempos entre falhas (t_{bf}) são variáveis aleatórias e assim, passíveis de serem ajustadas às distribuições de probabilidade.

Os dados históricos fornecidos compõem um conjunto de informações referentes às interrupções no fornecimento de energia quando a causa é a vegetação, além do tempo que o sistema leva para voltar a funcionar. Quando ocorre uma falha em qualquer parte do alimentador, uma manutenção corretiva é aplicada, ou seja, somente no local da causa do problema, a remoção ou poda da vegetação é realizada. A manutenção corretiva faz com que a confiança não se altere, pois, o contato da vegetação em outra parte do alimentador pode gerar uma nova interrupção no fornecimento de energia elétrica. A magnitude dos tempos de reparação (t_{tr}) é mínima quando comparada à magnitude dos tempos até falha (t_{tf}) ou dos tempos entre falhas (t_{bf}), podendo assim separar essas variáveis. Caso a magnitude entre t_{tf} t_{bf} e t_{tr} sejam semelhantes, pode-se utilizar para a modelagem, Cadeias de Markov aplicadas à confiabilidade (ZAPATA, 2011).

Com essas informações, neste trabalho foi escolhida para representar as taxas de faltas devido à vegetação em redes aéreas de distribuição uma modelagem matemática para um componente/sistema reparável mediante um processo pontual, ou seja, um processo que é discreto quanto ao estado/motivo (falhas) e contínuo no tempo t , baseado nas teorias apresentadas em Zapata (2010), Zapata (2011) e Montgomery e Runger (2012).

Conforme detalhado na seção 2.3, uma variável aleatória pode ser explicada por distribuições baseadas em RP ou NHPP.

(i) Para um RP ou HPP

Os processos RP ou HPP possuem taxas de falhas constantes. A função de distribuição de probabilidade acumulada é dada por (36). Define-se a função de distribuição de

probabilidade em (37). Seja $\lambda(t)$ a taxa de falhas para o período t . Para estes modelos, o valor esperado e a variância são apresentados, respectivamente, em (38) e (39) (ZAPATA, 2011).

$$P[N(t) \leq k] = \sum_{i=1}^k \frac{1}{i!} [\Lambda(t)]^i * e^{-\Lambda(t)} \quad (36)$$

$$P[N(t) = k] = \frac{1}{k!} [\Lambda(t)]^k * e^{-\Lambda(t)} \quad \text{para } k = 0, 1, 2, \dots \quad (37)$$

$$\Lambda(t) = E[N(t)] = \int_0^t \lambda(t) dt = \lambda t \quad (38)$$

$$\text{Var}(t) = \Lambda(t) \quad (39)$$

Sendo:

- $N(t)$: Número de falhas no período de tempo t ;
- $P[N(t) \leq k]$: Probabilidade de que o número de falhas em um período de tempo t seja menor ou igual a k falhas;
- k : Número de falhas máximo preestabelecido;
- $\Lambda(t)$: Variância no período de tempo t ;
- t : Período de tempo sob análise;
- $P[N(t) = k]$: Probabilidade de que o número de falhas em um período de tempo t seja igual a k falhas;
- λ : Taxa de falhas;
- $E[N(t)]$: Número de falhas esperado no período de tempo t .

(ii) Para um NHPP

A função de distribuição de probabilidade acumulada é dada pela equação (40). Define-se a função de distribuição de probabilidade dada em (41). Seja $\lambda(t)$ a taxa de falhas para o período t . A variância esperada é mostrada em (42) (ZAPATA, 2011).

$$P[N(t) \leq k] = \sum_{i=1}^k \frac{1}{i!} [\lambda' * t^\beta]^i * e^{-\lambda' * t^\beta} \quad (40)$$

$$P[N(t) = k] = \frac{1}{k!} [\lambda' * t^\beta]^k * e^{-\lambda' * t^\beta} \quad \text{para } k = 0, 1, 2, \dots \quad (41)$$

$$\Lambda(t) = \lambda' * t^\beta \quad (42)$$

Sendo:

- $N(t)$: Número de falhas no período de tempo t ;
- $P[N(t) \leq k]$: Probabilidade de que o número de falhas em um período de tempo t seja menor ou igual a k falhas;
- k : Número de falhas máximo;
- λ' e β : Parâmetros da distribuição *Power Law*;
- t : Período de tempo sob análise;
- $P[N(t) = k]$: Probabilidade de que o número de falhas em um período de tempo t seja igual a k falhas;
- $\Lambda(t)$: Variância prevista no período de tempo t ;

4.1.1 Indicativo de inconfiabilidade devido a vegetação

O número de falhas devido à vegetação em cada alimentador pode ser explicado pelos processos RP ou NHPP. Atribuída a distribuição de probabilidade ao alimentador, tem-se que sua confiabilidade é a probabilidade de que nenhuma falha seja causada pela vegetação durante um período de tempo t , ou seja, pode ser obtida tomando $k = 0$ em (37) ou (41). Calcular o complemento da confiabilidade é obter a inconfiabilidade do sistema, ou seja, a probabilidade de que ocorra alguma falha durante um período de tempo t , como mostrado em (43).

$$\text{Inconfiabilidade} = 1 - P[N(t) = 0], \quad t \text{ em anos.} \quad (43)$$

A previsão do índice que avalia a confiabilidade do sistema dada por (6) é obtida através das taxas de falhas futuras. Substituindo a previsão das taxas de falhas pela probabilidade de que ocorra alguma falha, um novo índice é obtido, como mostrado em (44). Nota-se que ao realizar essa mudança, o resultado obtido não é uma previsão em porcentagem do índice FEC, logo, será considerado como um indicativo de inconfiabilidade (IIc), onde quanto menor seu valor, melhor é a confiabilidade do sistema devido a vegetação.

$$IIc = \sum_{al=1}^{NA} \frac{(1-P[N(t)=0])*NC(al)}{(\sum_{al=1}^{NA} NC(al))} \quad (44)$$

Sendo:

$NC(al)$: Número de consumidores conectados ao alimentador al ;

$1 - P[N(t, al) = 0]$: Probabilidade de ocorrer ao menos uma falha no alimentador al durante o período de tempo t ;

O indicativo de confiabilidade e a inconfiabilidade, respectivamente, apresentados por (44) e (43) serão usados no modelo matemático para planejamento da manutenção da vegetação sob a rede de distribuição.

4.2 MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA PROPOSTO

No modelo matemático proposto, minimizam-se simultaneamente três objetivos distintos e conflitantes: Custo com energia não suprida (CENS), custo com manutenções relacionadas à vegetação (CMV) e um indicativo de inconfiabilidade (IIc), descritas respectivamente em (45), (46) e (47). Este conjunto de objetivos está sujeito às restrições dadas por (48), (49) e (50).

$$\begin{aligned} \text{Min } CENS = \sum_{t=1}^T \sum_{al=1}^{NA} \{ [\sum_{tr=1}^{NT} D(tr, al)] * (1 - P[N(t, al) = 0]) * \varphi(x(t, al)) * \\ (NC_{res}^{al} * C_{res} + NC_{ind}^{al} * C_{ind} + NC_{com}^{al} * C_{com}) * \overline{ttr}(al) \} \end{aligned} \quad (45)$$

$$\text{Min } CMV = \sum_{t=1}^T [\sum_{al=1}^{NA} l(al) * C_{man}^{al} * x(t, al)] \quad (46)$$

$$\text{Min } IIc = \sum_{t=1}^T \left[\sum_{al=1}^{NA} \frac{(1 - P[N(t)=0]) * NC(al) * \varphi(x(t, al))}{(\sum_{al=1}^{NA} NC(al))} \right] \quad (47)$$

Sujeito a:

$$L_{max}^t - \sum_{al=1}^{NA} l(al) * x(t, al) \geq 0 \quad (48)$$

$$\varphi(x(t, al)) = \left(1 - \frac{x(t, al)}{2} \right) * (1 - \min\{1; -x(t, al) + \sum_{m=1}^t x(m, al)\}) \quad (49)$$

$$x(t, al) = \begin{cases} 0 & \text{se não realiza manutenção no alimentador } al \text{ no período } t \\ 1 & \text{se realiza manutenção no alimentador } al \text{ no período } t \end{cases} \quad (50)$$

Sendo parâmetros conhecidos do problema:

NA : Número de alimentadores sob análise;

NT	: Número total de transformadores do alimentador al ;
$D(tr, al)$	: Demanda máxima em kW no transformador tr do alimentador al ;
$1 - P[N(t, al) = 0]$	: Probabilidade de ocorrer falhas no alimentador al no tempo t ;
$NC_{res}^{al}, NC_{ind}^{al}, NC_{com}^{al}$	: Respectivamente, número de consumidores residenciais, industriais e comerciais do alimentador al ;
$NC(al)$	: Número total de consumidores conectados no alimentador al ;
$C_{res}, C_{ind}, C_{com}$	: Respectivamente os valores do kWh devido ao não fornecimento de energia elétrica para consumidores residenciais, industriais e comerciais;
$\overline{ttr}(al)$	: Tempo médio de restauração no alimentador al devido à falhas causadas pela vegetação;
T	: Horizonte de planejamento;
$l(al)$	: Comprimento do alimentador al ;
C_{man}^{al}	: Custo para se realizar a manutenção no alimentador al ;
L_{max}^t	: Distância em Km máxima sob a rede que a equipe pode realizar manutenções no período de planejamento t ;
e variáveis:	
$x(t, al)$	: Variável de decisão binária, onde 1 e 0 implicam respectivamente realizar ou não uma manutenção no alimentador al no período t ;
$\varphi(x(t, al))$	: Variável em função de $x(t, al)$, sendo igual a 1 caso não ocorra nenhuma manutenção da vegetação nos períodos anteriores a t ; 0,5 no período t que esteja prevista a manutenção, e 0 nos períodos posteriores à realização de manutenção da vegetação.

Em um SDEE, uma falha no início do alimentador implica em maior quantidade de energia não suprida que uma falha em seu final, devido a sua configuração radial. Neste modelo, as probabilidades de falhas não estão ligadas a dados geográficos devido à escassez de dados históricos disponibilizados e, portanto, considera-se que ao ocorrer uma falha, todo o alimentador é afetado. Desta forma, o modelo formado pelo conjunto (45) - (50), leva em

consideração que, ao optar por realizar uma manutenção, todo o alimentador deverá ser percorrido e a vegetação removida ou podada.

Os recursos financeiros disponíveis não são predefinidos por se tratar de um modelo multiobjetivo com preferência *a posteriori*, porém são necessários para a tomada de decisão na escolha da melhor solução contida no conjunto de soluções ótimas de Pareto. Os recursos financeiros disponíveis devem ser suficientes para cobrir todo o custo previsto para o horizonte de planejamento.

4.2.1 Custo da energia não suprida (CENS)

O custo com energia não suprida é o gasto adicional para a empresa responsável pelo SDEE quando o consumidor fica privado do fornecimento de energia elétrica. O CENS é dado por (45) levando em consideração que ao ocorrer uma falha, todos os consumidores do alimentador terão o fornecimento de energia elétrica suspenso. Para estimar a quantidade de energia não distribuída, optou-se pelo uso da demanda máxima em cada transformador, onde, quando somadas, resultam na demanda máxima total para o alimentador composto pelos NT transformadores. Para estimar a demanda média total não suprida em cada trimestre do ano, usa-se a inconfiabilidade mostrada em (43), ou seja, a probabilidade de que um elemento/sistema não sobreviva durante um período de tempo t , ou a probabilidade de que ocorra k falhas durante o tempo t . O uso da inconfiabilidade evita que o cálculo do CENS esteja ligado diretamente ao número de falhas, reduzindo as chances de extrapolação de valores para essa função objetivo devido a previsão por um processo pontual.

No modelo, dividem-se as manutenções preventivas em subperíodos do horizonte de planejamento. Caso esteja previsto uma manutenção em algum dos alimentadores do sistema, considera-se que durante a execução dos trabalhos por parte das equipes de manutenção, a possibilidade de falhas no sistema nesse subperíodo de tempo ainda existe e o total do CENS neste alimentador para o referido subperíodo é reduzido em 50%. Após realizar a manutenção da vegetação, considera-se que nos próximos períodos do planejamento não existe CENS, ou seja, a probabilidade de falhas devido à vegetação é igual a zero. Estas observações são, no modelo matemático, dinamicamente obtidas pela função $\varphi(x(t, al))$, uma função dependente da variável de decisão binária $x(t, al)$.

Consideraram-se também para o cálculo do CENS os consumidores residenciais, comerciais e industriais do sistema e os custos com energia não distribuída para cada uma destas categorias de consumidores. Implicitamente, considerar diversos tipos de consumidores pode

influenciar na escolha da realização ou não da manutenção em um alimentador do sistema, como por exemplo, um alimentador com um número elevado de consumidores industriais possui uma maior demanda média total além de um preço mais elevado do kWh o que implica em maior CENS do que um alimentador predominantemente residencial caso ocorra interrupção no fornecimento de energia elétrica. Baseado nesta hipótese toma-se que o custo total de energia não fornecida é dado pela soma do número de consumidores residenciais, industriais e comerciais ponderados pelos seus respectivos custos por interrupção no fornecimento de energia elétrica.

Os dados dos *ttr*'s não foram inseridos na análise estatística, assim, optou-se pelo tempo médio de restauração ou reparo do sistema, obtido através dos dados históricos das falhas relacionadas à vegetação, diferentes para cada alimentador.

4.2.2 Custo com manutenção relacionada à vegetação (CMV)

O CMV, descrito pela equação (46), representa apenas os custos com manutenção preventiva. As manutenções dadas como corretivas não estão incluídas neste modelo matemático. Ao optar pela realização da manutenção da vegetação, todo o alimentador é analisado, assim, toma-se $l(al)$ como o comprimento em metros do alimentador al . C_{man}^{al} representa o custo da manutenção por metro para o alimentador al . Em relação à variável C_{man}^{al} , tem-se que a empresa responsável pela manutenção da vegetação pode praticar valores diversificados para cada alimentador do sistema, considerando assim os custos com deslocamento de equipe, grau de dificuldade para a realização da manutenção para o alimentador etc. O CMV total é dado pela soma de todas as manutenções preventivas realizadas durante o horizonte de planejamento T .

4.2.3 Indicativo de Inconfiabilidade (IIc)

Todos os modelos baseados em RCM maximizam a confiabilidade do sistema. Para o uso de um modelo multiobjetivo, como a confiança deve ser maximizada, seu complemento, ou seja, a “inconfiança” deve ser minimizada.

O indicativo de inconfiabilidade do sistema devido às falhas relacionadas à vegetação mostrado em (44) pode ser obtido para qualquer período de tempo t do horizonte de planejamento. O modelo de programação proposto divide o horizonte de planejamento em

subperíodos, assim, para cada subperíodo, um indicativo de inconfiabilidade é obtido. A soma dos indicativos obtidos em cada subperíodo de planejamento é dada por (48).

4.2.4 Restrição do modelo

A única restrição operacional para o modelo de manutenção da vegetação está relacionada com a quantidade de mão de obra disponível. Em (48) é mostrado que, ao realizar a manutenção em um alimentador, seu comprimento é reduzido do total disponibilizado pela empresa de manutenção da vegetação. Cada subperíodo do horizonte de planejamento pode receber diferentes limites (em metros) para realização da manutenção da vegetação pelas equipes.

A empresa contratada deve se comprometer a realizar o total de manutenções predefinidas em cada subperíodo do horizonte de planejamento. O não cumprimento das metas torna o modelo ineficaz e não mais confiável, pois o mesmo não contempla que no próximo subperíodo de planejamento realizem-se manutenções preventivas não completas de subperíodos anteriores.

4.3 ALGORITMO GENÉTICO NSGA-II DEDICADO AO MODELO MATEMÁTICO MULTI OBJETIVO PROPOSTO

Por se tratar de um modelo matemático de programação binária dinâmica multiobjetivo com preferência *a posteriori*, optou-se pelo uso do algoritmo genético *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II* ou NSGA-II, proposto por Deb *et al.* (2002), e apresentado no Capítulo 3, seção 3.3. Nesta seção é apresentada a codificação de uma solução para o modelo de manutenção da vegetação sob um SDEE, assim como os aspectos dos operadores genéticos de seleção, recombinação e mutação, a geração das populações e o critério de parada usado no NSGA-II. Por fim, o método de penalização das funções objetivos para violação da restrição é apresentado.

4.3.1 Codificação do problema

O desempenho de um algoritmo genético depende da forma que um indivíduo de seu espaço de busca do problema é codificado. O conjunto de equações (45) - (50) deve indicar quando e onde são realizadas as manutenções da vegetação sob um SDEE. A Figura 15 mostra

a representação (cromossomo) usada na codificação do problema. Cada cromossomo é dividido em 4 subconjuntos (trimestres do ano) e em cada subconjunto, existem NA alimentadores, cada um representado por um bit. A cada bit pode-se atribuir realizar ou não manutenção, indicados respectivamente por 1 e 0.

Figura 15 - Codificação proposta para um cromossomo.

1º Trimestre					2º Trimestre					3º Trimestre					4º Trimestre				
1	0	...	1	0	1	0	...	0	1	0	1	...	0	0	1	1	...	1	1
1	2	...	NA-1	NA	1	2	...	NA-1	NA	1	3	...	NA-1	NA	1	2	...	NA-1	NA

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Figura 15, por exemplo, no primeiro trimestre a vegetação sob o alimentador 1 passará por manutenção, o que não ocorrerá com o alimentador 2.

4.3.2 População inicial (P_0)

Para compor a população inicial, N indivíduos são gerados aleatoriamente. Todos os indivíduos devem ser diferentes entre si, mantendo 100% da diversidade nessa população. Durante o processo do NSGA-II existe a possibilidade de se perder grande parte da diversidade. Uma forma de reduzir essa perda de diversidade em função dos operadores genéticos é o aumento da população inicial. A ordem de complexidade computacional para o NSGA-II é $O(MN^2)$, sendo M o número de funções objetivos e N o tamanho da população, como mostrado por Deb *et al.* (2002), então aumentar este tamanho implica em elevar o custo computacional e consequentemente o tempo de execução do algoritmo.

Algumas outras opções de geração de diversidade sem influenciar no tamanho da população inicial podem ser encontradas na literatura, como por exemplo, a geração de diversidade dirigida (AZEVEDO, 2011).

4.3.3 População gerada Q

Após a inicialização do algoritmo, tome $P_t = P_0$. A população P_t é submetida à classificação em frentes de não dominância, conforme o Algoritmo1 mostrado na seção 3.3, e encontradas as distâncias de multidão para cada indivíduo. A partir da população inicial P_t , uma população Q_t é gerada através de operadores genéticos. Esta população possui a mesma

quantidade de indivíduos que P_t . Os operadores genéticos usados no NSGA-II implementado são descritos a seguir.

Seleção

O método de seleção proposto é a seleção por torneios. Realiza-se um número de torneios igual ao tamanho da população com dois participantes. O procedimento para o torneio usado é apresentado abaixo.

- (i) Selecione aleatoriamente dois indivíduos pertencentes à população;
- (ii) Determina-se o indivíduo vencedor do *crowded-comparison operator* (seção 3.3);
- (iii) O indivíduo obtido em (ii) é escolhido para ser o Pai1;
- (iv) Faça (i) e (ii). O indivíduo obtido em (ii) é escolhido para ser o Pai2;
- (v) Caso Pai1 seja igual ao Pai2, repete-se o passo (iv);
- (vi) Repete-se o torneio N vezes, onde N é a dimensão de P_t .

Recombinação ou *crossover*

A recombinação é realizada tomando-se um ponto de recombinação aleatório para cada trimestre do ano ou cada subperíodo do horizonte de planejamento. Uma taxa de recombinação é fornecida ao iniciar o algoritmo. Para cada ponto de recombinação, um valor aleatório contido no intervalo $[0; 1]$ é gerado e comparado à taxa de recombinação, e, caso seja menor a esta taxa, neste ponto em análise, a recombinação é realizada, caso contrário, não realiza-se a recombinação.

Após a recombinação, dois filhos são gerados, contendo informações genéticas (configurações) dos pais Pai1 e Pai2. A Figura 16 mostra o esquema de recombinação de quatro pontos proposto.

- (i) $P_0 \cap Q_t = \emptyset$, R_t deve possuir necessariamente $2N$ indivíduos;
- (ii) $P_0 \cap Q_t \neq \emptyset$, ou seja, ao aplicar os operadores genéticos, alguns indivíduos gerados já existiam em P , sendo assim excluídos do conjunto Q_t , fazendo com que R_t tenha no máximo $(2N - 1)$ elementos.

Analisadas as etapas (i) e (ii) aplica-se na população R_t o Algoritmo1 e o Algoritmo2 da seção 3.3 resultando uma nova população P_{t+1} com N elementos distintos.

4.3.5 Critério de parada

O critério de convergência para o NSGA-II dedicado é satisfeito ao realizar um número de gerações. Os indivíduos pertencentes à frente ótima de Pareto $\mathcal{F}_1$ da população P_{t+1} formam o espaço de soluções não dominadas para o problema de manutenção da vegetação sob um sistema de distribuição.

4.3.6 Método de penalização aplicado

O algoritmo NSGA-II permite que indivíduos infactíveis, ou seja, configurações que violam as restrições sejam “sondados” e consequentemente possam gerar filhos através dos operadores genéticos. Propõe-se então que os indivíduos infactíveis sejam penalizados, tendo suas funções objetivos aumentadas de acordo com o nível ou grau de infactibilidade.

O valor da penalidade é um número real positivo obtido como resultado da equação (48), se violada. O produto entre um coeficiente de penalidade e o valor da penalidade é somado às funções objetivo CENS e CMV dadas por (45) e (46). A função objetivo IIC obtém como resultado um valor real entre 0 e 4. Para evitar penalizar demasiadamente o valor de IIC, permitindo que o indivíduo mesmo que infactível possa ser “sondado”, o valor total da penalidade é ponderado pelo total de consumidores do sistema de distribuição. A equação de penalidade aplicada às funções CENS e CMV é mostrada em (51), enquanto (52) representa a penalidade aplicada em IIC.

$$const_penal * MAX(0; L_{max}^t - \sum_{al=1}^{NA} l(al) * x(t, al)) \quad (51)$$

$$const_penal * MAX(0; \frac{L_{max}^t - \sum_{al=1}^{NA} l(al) * x(t, al)}{(\sum_{al=1}^{NA} NC(al))}) \quad (52)$$

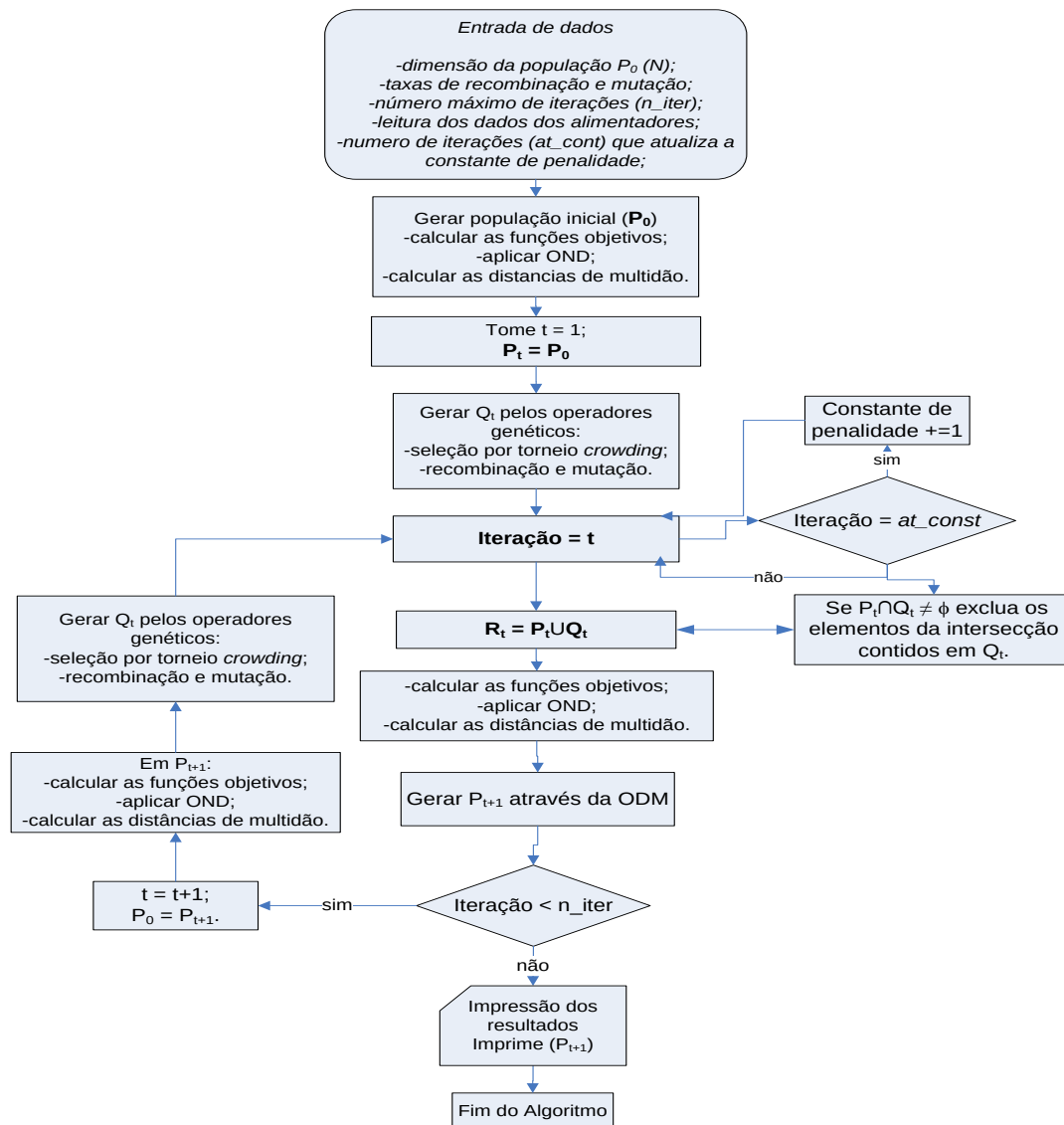
O coeficiente $const_penal$ é um número natural que cresce em uma unidade quando realizado um número predeterminado de iterações (at_const), fazendo com que os indivíduos

infectíveis sejam menos “atrativos” durante os ciclos geracionais do algoritmo e consequentemente, removidos das melhores frentes de Pareto.

4.3.7 Procedimento geral para o algoritmo NSGA-II dedicado ao modelo matemático proposto

O diagrama de blocos mostrado na Figura 18 representa o algoritmo genético NSGA-II dedicado ao conjunto (42) - (48).

Figura 18 - Representação por diagrama de blocos do NSGA-II dedicado



Fonte: Elaboração do próprio autor

5 TESTES E RESULTADOS

O modelo matemático de programação binária dinâmica multiobjetivo para o problema de manutenção preventiva da vegetação sob um sistema de distribuição de energia elétrica descritos em (45) - (50) foi testado em um sistema real de uma cidade de médio porte. Dados históricos referentes às falhas no sistema de distribuição devido à vegetação obtidos entre os anos de 2002 a 2011 foram usados na determinação do indicativo de confiabilidade. O sistema de médio porte usado é composto por 25 alimentadores conectados a 4 subestações. O termo $p_i a_k$ é a variável que representa o alimentador k conectado à subestação i .

Os dados referentes aos alimentadores do sistema teste de médio porte são apresentados no Apêndice A.

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos referentes à confiabilidade do sistema quanto às falhas devido à vegetação e aos modelos matemáticos propostos para a manutenção da vegetação.

5.1 EQUAÇÕES DE CONFIABILIDADE PARA UM ALIMENTADOR DEVIDO A VEGETAÇÃO

Como detalhado na seção 2.3, duas famílias de processos estocásticos podem ser usadas para representar uma variável aleatória. Os dados disponibilizados contêm a data em que uma falha devido à vegetação ocorreu em determinado alimentador do sistema. Através desses dados, pode-se obter n amostras aleatórias para o tempo entre falhas (tbf), apresentadas no Apêndice B - Dados referentes ao tempo entre falhas (tbf) dos alimentadores do sistema teste

A análise de tendência, independência, identificação dos parâmetros do modelo e as provas de ajustes para dados históricos de falhas devido à vegetação para cada alimentador do SDEE foram obtidos com o auxílio do *toolbox Statistics* do software *Matlab®*. Nos testes de tendência e *KS-Test*, o nível de significância adotado foi de 5%.

A Tabela 1 mostra os modelos e os parâmetros que são aplicados nas equações (37) e (41) que representam a distribuição acumulada da probabilidade de que ocorra k falhas em um período de tempo t . O período de análise da amostra para cada alimentador é compreendido entre os anos mostrados na coluna “período sob análise”. A análise estatística completa, contendo os possíveis modelos de distribuição de probabilidade juntamente com os testes de ajustes são apresentados no Apêndice C – resultados obtidos na análise estatística.

Verifica-se que a confiabilidade, na maioria dos alimentadores, pode ser representada por um NHPP *Power Law*. As falhas devido à vegetação tendem a ser não constantes, devido as influências do meio no desenvolvimento e crescimento das espécies. Espera-se então que as taxas de falhas do modelo de confiabilidade tenha tendência positiva ou negativa, implicando em modelos tendenciosos e não homogêneos.

Tabela 1 - Modelos ajustados aos dados dos alimentadores do sistema

Alimentador (<i>al</i> – “nome”)	Modelo de distribuição escolhido	Período sob análise (Início-Fim)		Alimentador (<i>al</i> – “nome”)	Modelo de distribuição escolhido	Período sob análise (Início-Fim)	
01 - p1a1	Gama	2002	2010	14 - p4a4	Power Law	2002	2011
02 - p1a2	Power Law	2002	2011	15 - p4a5	Power Law	2003	2011
03 - p1a4	Power Law	2002	2011	16 - p4a6	Power Law	2003	2010
04 - p1a6	Exponencial	2002	2011	17 - p4a7	Power Law	2009	2011
05 - p1a8	Power Law	2002	2011	18 - p4a8	Power Law	2002	2011
06 - p3a1	Power Law	2002	2011	19 - p4a9	Power Law	2007	2011
07 - p3a3	Lognormal	2005	2011	20 - p4a10	Power Law	2004	2011
08 - p3a4	Power Law	2003	2011	21 - p5a1	Power Law	2002	2011
09 - p3a5	Power Law	2003	2011	22 - p5a2	Normal	2002	2011
10 - p3a6	Power Law	2002	2011	23 - p5a3	Gama	2005	2011
11 - p3a7	Power Law	2003	2011	24 - p5a4	Power Law	2009	2011
12 - p4a2	Power Law	2003	2011	25 - p5a6	Power Law	2002	2011
13 - p4a3	Exponencial	2003	2011				

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Finalmente, utilizando os parâmetros obtidos nas análises, tem-se a confiabilidade para os alimentadores *al* (*al* = 1,2,...,25) devido a vegetação, ou seja, a probabilidade de que não ocorra nenhuma falha no alimentador *al* durante o período de tempo *t* (em anos) são mostradas no conjunto (53) -(77).

$$Conf_{01}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} \left[\left(\frac{1}{0,1759} \right) * t \right]^0 * e^{-\left(\frac{1}{0,1759} \right) * t} \quad (53)$$

$$Conf_{02}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [2,5946 * t^{1,5267}]^0 * e^{-2,5946 * t^{1,5267}} \quad (54)$$

$$Conf_{03}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [1,7526 * t^{1,701}]^0 * e^{-1,7526 * t^{1,701}} \quad (55)$$

$$Conf_{04}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} \left[\left(\frac{1}{0,4637} \right) * t \right]^0 * e^{-\left(\frac{1}{0,4637} \right) * t} \quad (56)$$

$$Conf_{05}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [0,7465 * t^{1,8474}]^0 * e^{-0,7465*t^{1,8474}} \quad (57)$$

$$Conf_{06}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [2,7715 * t^{1,4842}]^0 * e^{-2,7715*t^{1,4842}} \quad (58)$$

$$Conf_{07}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} \left[\left(\frac{1}{0,2526} \right) * t \right]^0 * e^{-\left(\frac{1}{0,2526} \right) * t} \quad (59)$$

$$Conf_{08}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [7,5267 * t^{0,5891}]^0 * e^{-7,5267*t^{0,5891}} \quad (60)$$

$$Conf_{09}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [2,0691 * t^{1,7334}]^0 * e^{-2,0691*t^{1,7334}} \quad (61)$$

$$Conf_{10}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [1,8334 * t^{1,6722}]^0 * e^{-1,8334*t^{1,6722}} \quad (62)$$

$$Conf_{11}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [0,9366 * t^{1,923}]^0 * e^{-0,9366*t^{1,923}} \quad (63)$$

$$Conf_{12}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [0,4305 * t^{1,8317}]^0 * e^{-0,4305*t^{1,8317}} \quad (64)$$

$$Conf_{13}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} \left[\left(\frac{1}{0,3391} \right) * t \right]^0 * e^{-\left(\frac{1}{0,3391} \right) * t} \quad (65)$$

$$Conf_{14}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [1,1219 * t^{1,6862}]^0 * e^{-1,1219*t^{1,6862}} \quad (66)$$

$$Conf_{15}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [0,1811 * t^{2,6282}]^0 * e^{-0,1811*t^{2,6282}} \quad (67)$$

$$Conf_{16}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [1,0319 * t^{1,8581}]^0 * e^{-1,0319*t^{1,8581}} \quad (68)$$

$$Conf_{17}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [6,206 * t^{1,7134}]^0 * e^{-6,206*t^{1,7134}} \quad (69)$$

$$Conf_{18}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [0,9984 * t^{1,7771}]^0 * e^{-0,9984*t^{1,7771}} \quad (70)$$

$$Conf_{19}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [7,3429 * t^{1,6815}]^0 * e^{-7,3429*t^{1,6815}} \quad (71)$$

$$Conf_{20}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [0,058 * t^{2,8416}]^0 * e^{-0,058*t^{2,8416}} \quad (72)$$

$$Conf_{21}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [0,6184 * t^{2,2565}]^0 * e^{-0,6184*t^{2,2565}} \quad (73)$$

$$Conf_{22}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} \left[\left(\frac{1}{1,0679} \right) * t \right]^0 * e^{-\left(\frac{1}{1,0679} \right) * t} \quad (74)$$

$$Conf_{23}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} \left[\left(\frac{1}{0,7769} \right) * t \right]^0 * e^{-\left(\frac{1}{0,7769} \right) * t} \quad (75)$$

$$Conf_{24}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [5,396 * t^{2,071}]^0 * e^{-5,396*t^{2,071}} \quad (76)$$

$$Conf_{25}^t = P[N(t) = 0] = \frac{1}{0!} [1,6414 * t^{1,5985}]^0 * e^{-1,6414*t^{1,5985}} \quad (77)$$

5.2 DADOS PARA TESTES APLICADOS NO MODELO PARA PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO DA VEGETAÇÃO SOB UM SDEE

O modelo matemático (45)-(50) indica “quando” e “onde” devem ser realizadas as manutenções preventivas da vegetação.

No modelo matemático, não foram considerados os custos referentes à realização de manutenções corretivas tanto da vegetação quanto do sistema como um todo (cabos, chaves, deslocamento de equipes, etc.) caso ocorra uma interrupção, ou seja, apenas manutenções programadas (preventivas) foram adicionadas. Além disso, quando ocorre uma interrupção, a empresa responsável pelo fornecimento de energia elétrica deixa de lucrar com a venda e independente do que ocorra, deve cumprir com os pagamentos referentes aos contratos de compras realizados. Tem-se também que os valores apresentados na Tabela 2 não contemplam os impostos cobrados. Baseado nestas considerações tomou-se, como valores pelo não fornecimento de energia elétrica, para os consumidores residenciais, industriais e comerciais, como sendo três vezes o valor normal de venda para a região sudeste apresentados na Tabela 2, ou seja, respectivamente, R\$ 1,01, R\$ 0,78 e R\$ 0,90 por kWh.

Tabela 2 - Tarifas médias (R\$/MWh) por classes de consumo e por regiões geográficas do Brasil.

Classe de Consumo	Brasil	Centro Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul
Comercial	307,52	315,47	334,68	346,51	298,98	294,98
Industrial	163,83	223,48	254,25	273,76	260,43	257,10
Residencial	333,47	339,83	329,33	351,09	335,17	323,24

Fonte: Adaptado de Aneel (2012).

A empresa responsável pela manutenção da vegetação deve realizar a poda ou remoção da vegetação, além de retirar os detritos orgânicos das vias públicas. Métodos específicos de manutenções afetam positiva ou negativamente no desenvolvimento da vegetação, como por exemplo, acelerar o crescimento natural, portanto, equipes treinadas e especializadas devem ser designadas para a realização das manutenções da vegetação. Para as simulações com o modelo, o custo para a realização da manutenção na vegetação é em média, R\$ 17,40 por árvore (APOLINÁRIO; MANTOVANI, 2011). Estima-se que a cada 100 metros existam aproximadamente 6 árvores, resultando em um custo de manutenção da vegetação por metro de R\$ 1,04.

O conjunto dado por (53) - (77) representa a confiança de não ocorrer nenhuma falha durante um período de tempo t , assim, toma-se seu complemento, ou seja, a probabilidade de que ocorra ao menos uma falha devido à vegetação em um período de tempo t , implicando na inconfiança do sistema quanto a falhas geradas pela vegetação, obtidos pela equação (43).

Na busca do conjunto de soluções não dominadas pertencentes à melhor frente não dominada $\mathcal{F}_1$, o método de otimização multiobjetivo NSGA-II foi implementado em linguagem C++, uma linguagem de médio nível, alto desempenho, livre, com compiladores e IDE's de distribuição comerciais e gratuitas (ELLIS, 1993). O pacote utilizado foi o Microsoft® Visual Studio® 2010, instalado em um periférico Dell Optiplex 745, com Processador Intel® Core 2 Duo, 2GB de RAM e sistema operacional Microsoft Windows XP SP3.

Durante os testes, observou-se que quando se tomava uma população inicial entre 500 e 1.000 indivíduos, cerca de 60% dos indivíduos gerados através dos operadores genéticos para gerar a população secundária do NSGA-II eram repetidos, ou seja, a diversidade no espaço de buscas era reduzida em 60%, o que interfere negativamente no desenvolvimento do algoritmo além de contradizer as definições de prioridade da busca multiobjetivo (manter diversidade e convergência para a PF). Com esses argumentos, fizeram-se testes para a população inicial com 1.500 e 2.000 indivíduos. No primeiro caso a perda de diversidade ficou compreendida entre 30 e 40% e para o segundo caso, a perda de diversidade ficou entre 15% e 20%. O tempo

computacional gasto para realizar o segundo caso foi cerca de 10% superior ao tempo gasto no primeiro caso. Desta forma adotou-se uma população inicial de 2.000 indivíduos, pois além dos critérios anteriormente citados, tem-se também que mais indivíduos estarão dispostos sobre a primeira frente de Pareto.

O algoritmo NSGA-II deve realizar 2.000 iterações, satisfazendo assim o seu critério de parada.

Para obter os parâmetros usados no algoritmo genético (taxa de recombinação e taxa de mutação), diversos testes foram realizados. Considerou-se o melhor resultado aquele que:

- (i) Possuir na frente $\mathcal{F}_1$, o maior número de indivíduos ao satisfazer o critério de parada;
- (ii) Possuir seus elementos distribuídos uniformemente pela superfície de Pareto Ótima (frente $\mathcal{F}_1$).

5.2.1 Resultados obtidos para o modelo proposto

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos pelo modelo matemático proposto ((45) - (50)). Os parâmetros usados no NSGA-II são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros iniciais utilizados pelo NSGA-II.

Tamanho da população inicial (P_0)	Manutenção máxima permitida (metros/trimestre)	Taxa de recombinação	Taxa de Mutação
2000	120.000	0,6	0,1

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As funções objetivos CENS e CMV são conflitantes entre si, pois, ao aumentar as manutenções da vegetação sob o sistema, a probabilidade de falhas deve ser reduzida, o que acarreta em uma quantidade menor de energia não fornecida aos consumidores. Dos índices de confiabilidade, quanto menor a frequência de ocorrências de interrupções da continuidade do serviço implica em uma probabilidade de falhas reduzida, assim, o indicativo de continuidade aplicado ao modelo também reduz, ou seja, CMV e IIC são conflitantes. Finalmente, pode-se concluir que CENS e IIC são conflitantes. Desta análise, verifica-se a necessidade e viabilidade do uso de modelos multiobjetivos para o problema de manutenção da vegetação.

A Figura 19 mostra a frente $\mathcal{F}_1$ obtida pelo algoritmo NSGA-II implementado. Esta frente tende a convergir para frente ótima de Pareto, que é desconhecida para o problema real.

Nas Tabelas 4, 5 e 6, mostram-se respectivamente a configuração ótima de três indivíduos A, B e C não dominados pertencentes a $\mathcal{F}_1$. Suas configurações foram divididas em

Tabela 5 - Configuração obtida pelo NSGA-II para o indivíduo B

1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1ºTrimestre
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2ºTrimestre
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3ºTrimestre
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4ºTrimestre

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 6- Configuração obtida pelo NSGA-II para o indivíduo C

1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1ºTrimestre
0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2ºTrimestre
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	3ºTrimestre
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4ºTrimestre

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 7 - Valores de CENS, CMV, IC, Custo Total e Total de Manutenção para os indivíduos A, B e C.

Indivíduo	Custo com Energia não Suprida(R\$)	Custo com Manutenção(R\$)	Indicativo de Inconfiabilidade	Custo Total (R\$)
A	393.969,41	0	2,1789	393.969,41
B	130.045,9	188.895,84	0,9582	318.941,74
C	65.807,08	422.914,41	0,4126	488.721,49

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 8 - Distância da manutenção da vegetação prevista para cada trimestre e a distância total (em metros).

Indivíduo	Previsão 1º trim. (metros)	Previsão 2º trim. (metros)	Previsão 3º trim. (metros)	Previsão 4º trim. (metros)	Total previsto (metros)
A	0	0	0	0	0
B	119.133	66.059	0	0	185.192
C	119.741	117.940	119.185	57.756	414.622

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Verifica-se que solução **A** prioriza minimizar os custos com manutenções, porém, obteve alto custo com energia não suprida e, consequentemente, um alto indicativo de confiabilidade. Não é realizada a manutenção em nenhum alimentador durante todo o ano. Em planejamentos futuros, altas taxas de falhas podem ser atribuídas aos alimentadores que não passaram por manutenções, aumentando as interrupções na distribuição de energia elétrica devido à vegetação, o que acarretará em maiores CENS e CMV, consequentemente, aumento significativo dos índices de continuidade do serviço.

A solução **B** prioriza o equilíbrio entre as três funções objetivos. As manutenções estão programadas para doze alimentadores, concentradas nos dois primeiros trimestres, devido as

crescentes probabilidades de falhas que ocasionam aumento dos custos com energia não fornecida e do indicativo de confiabilidade.

Contrário à solução **A**, a solução **C** maximiza os custos com manutenção da vegetação, minimiza o indicativo de inconfiabilidade e os custos com energia não suprida. Todos os alimentadores passam por manutenção, contribuindo para que em planejamentos futuros, baixas probabilidades de falhas sejam associadas a esses alimentadores. Os valores totais, ou seja, os custos com manutenção da vegetação somados aos custos com energia não suprida são semelhantes quando se comparam **A** e **C**. O indivíduo **B** minimiza os custos totais neste horizonte de planejamento.

A melhor solução para o problema da manutenção da vegetação em longo prazo seria dentre as três apresentadas a solução **C**, obtendo uma quantidade de manutenções corretivas reduzida durante o ano em planejamento e, ao realizar a manutenção correta em uma quantidade maior de alimentadores, resulta que nos próximos anos, os custos com energia não suprida, manutenção corretiva, manutenção preventiva e com os indicadores de confiabilidade serão menores, portanto considerada a opção de melhor custo-benefício.

Apesar dessa análise em longo prazo, a empresa de distribuição pode ter seus recursos limitados, sendo baixa a possibilidade de efetuar um grande número de manutenções, pode-se dizer então que a restrição financeira não interfere na obtenção das soluções não dominadas, mas sim na escolha da solução a ser adotada.

O tempo computacional médio gasto para obter as soluções do modelo é de 25 minutos.

5.3 UMA NOVA PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA O MODELO DE MANUTENÇÃO DA VEGETAÇÃO

Resultado como a não realização da manutenção da vegetação durante o horizonte de planejamento é uma solução não dominada pertencente à frente ótima de Pareto $\mathcal{F}_1$ independente do comprimento máximo de manutenção permitido por subperíodo. Esse tipo de solução permite retirar da frente $\mathcal{F}_1$ indivíduos que na prática seriam mais condizentes com o planejamento da manutenção de um sistema. Assim, utilizar o indicativo de inconfiabilidade como terceira função objetivo mostra-se pouco eficiente devido a inserção de soluções na frente $\mathcal{F}_1$ que priorizam a minimização dos custos com manutenção da vegetação e possuem altos valores de IIC e CENS, o que na prática não deve ocorrer, devido ao fato de extrapolar os limites adotados pela ANEEL, prejudicando a qualidade na distribuição de energia elétrica.

Considere o conjunto de equações (45) -(50). Para fins de maior análise prática por parte do administrador do sistema, a equação (47) é tomada como uma restrição do modelo, sendo limitada por um valor máximo preestabelecido ($IIC_{m\acute{a}x}$). Nesta nova proposta, o administrador do sistema restringe o espaço de busca sem perder as opções da tomada de decisão *a posteriori*, além de facilitar a análise dos resultados obtidos.

5.3.1 Resultados obtidos para a nova proposta de solução

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos pela nova proposta de solução para o modelo matemático. Na Tabela 9, são apresentados os parâmetros utilizados: tamanho da população inicial, manutenção máxima permitida, o indicativo de inconfiabilidade máximo e as taxas de recombinação e mutação.

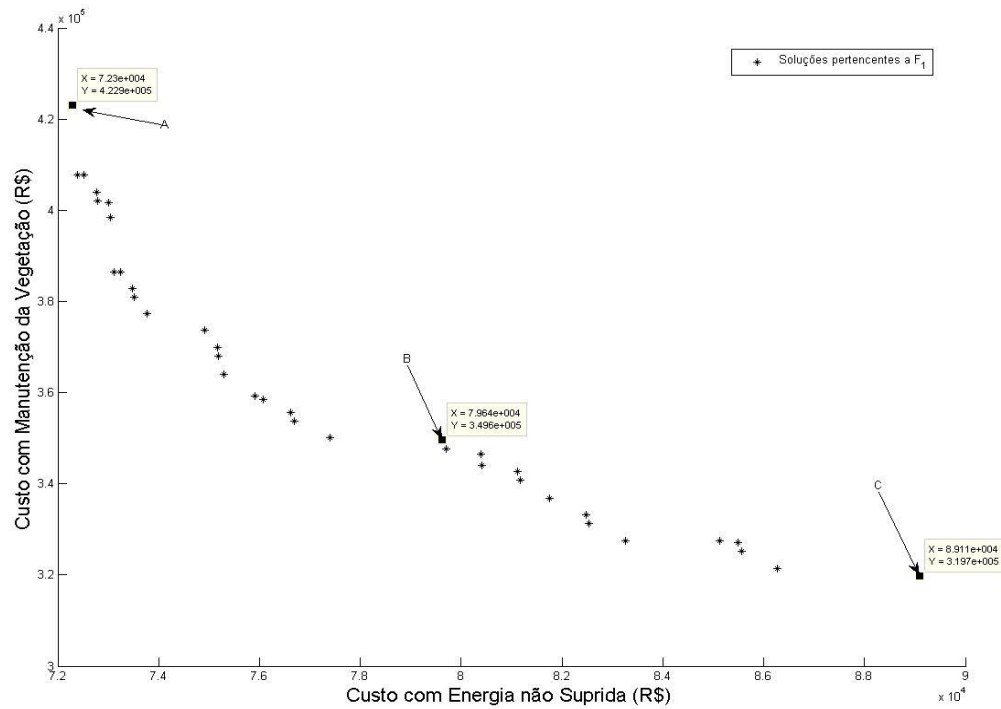
Tabela 9 - Parâmetros iniciais utilizados pelo NSGA-II.

Tamanho da população inicial (P_0)	Manutenção máxima permitida (metros/trimestre)	Indicativo de inconfiabilidade máximo	Taxa de recombinação	Taxa de Mutação
2.000	120.000	0,47	0,8	0,06

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 20 mostra a frente $\mathcal{F}_1$ obtida pelo NSGA-II dedicado. Verifica-se que ao aumentar o CENS, reduz-se o CMV e vice versa, mostrando que as duas funções objetivos são conflitantes entre si, validando o uso de um modelo multiobjetivo.

Figura 20 - Frente $\mathcal{F}_1$ contendo as soluções não dominadas encontradas pelo NSGA-II



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nas Tabelas 10, 11 e 12, mostram-se as configurações ótimas dos indivíduos A, B e C. Os valores obtidos em suas funções objetivos, o custo total (CMV + CENS) são mostrados na Tabela 13. A distância de manutenção da vegetação prevista para cada trimestre e a distância total para o horizonte de planejamento são mostradas na Tabela 14.

Tabela 10- Configuração obtida pelo NSGA-II para o indivíduo A

1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1ºTrimestre		
0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2ºTrimestre	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	3ºTrimestre
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4ºTrimestre

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 11 - Configuração obtida pelo NSGA-II para o indivíduo B

1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1ºTrimestre	
0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2ºTrimestre
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	3ºTrimestre
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4ºTrimestre

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 12 - Configuração obtida pelo NSGA-II para o indivíduo C

Tabela 12 – Contingências observadas pelo NBSO II para o indivíduo C																									
1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1ºTrimestre	
0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2ºTrimestre
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3ºTrimestre
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4ºTrimestre

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 13 - Valores de CENS, CMV, IC, Custo Total e Total de Manutenção para os indivíduos A e B.

Indivíduo	Custo com Energia não Suprida(R\$)	Custo com Manutenção(R\$)	Indicativo de Confiabilidade	Custo Total (R\$)
A	72.295,37	422.914,44	0,3988	484.209,81
B	79.636,12	349.567,25	0,4474	429.203,37
C	89.106,39	319.727,13	0,4690	408.833,52

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 14 - Distância da manutenção da vegetação prevista para cada trimestre e a distância total (em metros).

Indivíduo	Previsão 1º trim. (metros)	Previsão 2º trim. (metros)	Previsão 3º trim. (metros)	Previsão 4º trim. (metros)	Total previsto (metros)
A	119.187	119.068	118.611	57.756	414.622
B	119.187	119.068	104.458	0	342.713
C	119.187	119.068	75.203	0	313.458

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Verifica-se que o custo total previsto para o indivíduo A é superior se comparado aos indivíduos B e C. As manutenções são priorizadas em A, o que acarreta em baixas taxas de falhas futuras e consequentemente poucas interrupções (ou manutenções corretivas) devido à vegetação em períodos de planejamentos futuros.

Por se tratar de um problema multiobjetivo com preferência *a posteriori*, a solução considerada ótima é aquela que melhor se adapta às necessidades do sistema de distribuição de energia elétrica.

Dos resultados obtidos, pode-se concluir que, ao optar por essa nova proposta, o administrador do sistema obtém um maior número de indivíduos contidos no conjunto de soluções ótimas não dominadas restritas a região limitada pelo indicativo de inconfiabilidade, visto que, anteriormente, algumas soluções desta região seriam descartadas durante o processo iterativo.

O tempo computacional médio gasto para obter as soluções da nova proposta de solução é de 15 minutos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A insuficiência de dados não permitiu utilizar modelos para previsão de falhas como propostos por Guikema; Davidson e Haibin (2006) e Radmer *et al.* (2002). A previsão da confiabilidade do sistema de energia elétrica referente à interferência da vegetação foi obtida através de modelos estocásticos dados por um processo pontual, obtendo-se a probabilidade de não ocorrência de falhas durante um período de tempo t . Com base nessa confiabilidade, tem-se que seu complemento é a probabilidade de ocorrência de alguma falha durante o tempo t , chamado de inconfiabilidade, sendo usada no modelo matemático para planejamento da manutenção da vegetação sob a rede de distribuição. O uso dos modelos probabilísticos como RP ou NHPP não são estatisticamente “fortes” quando se trata de previsões relacionadas à vegetação, pois, não levam em consideração, características fisiológicas ou mesmo fatores climáticos que interferem diretamente no crescimento da vegetação e consequentemente nas probabilidades de falhas, influenciando na confiabilidade do SDEE.

O modelo matemático proposto contempla a minimização simultânea dos custos com energia não suprida, custos com manutenção da vegetação e do indicativo de confiabilidade do sistema baseado em falhas geradas pela vegetação. Na prática, soluções encontradas como, a não realização da manutenção da vegetação, pouco são utilizadas, assim, uma nova proposta de solução para o modelo matemático proposto, contempla, a minimização simultânea dos custos com energia não suprida e dos custos com manutenção da vegetação, sendo restrito pelo indicativo de confiabilidade do sistema baseado em falhas geradas pela vegetação e a disponibilidade de mão de obra para realização das manutenções. Esta proposta apresentou-se mais próxima à realidade de um planejamento para realização de manutenções na vegetação por restringir a inconfiabilidade sem perder a opção de escolha quanto a melhor solução ou, plano a ser seguido.

Dados históricos mais confiáveis possibilitam que o modelo matemático proposto represente com mais exatidão os problemas relacionados a vegetação sob um SDEE.

O algoritmo NSGA-II apresentou uma rápida convergência e a diversidade nas gerações é preservada pelo operador *crowding distance*. Os custos computacionais são baixos, o que resulta em um tempo de processamento adequado para este tipo de problema de planejamento. É um método de otimização multiobjetivo promissor para o modelo proposto em função de seu bom desempenho e conservação da diversidade, como mostrado nos resultados.

Como propostas para trabalhos futuros destacam-se:

- (i) Comparação entre o indicativo de inconfiabilidade e os valores previstos para FEC obtidos por taxas de falhas.
- (ii) Inclusão no modelo matemático do pagamento de multas referentes às violações dos índices de confiabilidade;
- (iii) Inclusão no modelo matemático os custos relacionados às manutenções corretivas;
- (iv) Modelos para a determinação das taxas de falhas devido à vegetação em um setor ou região do alimentador.

REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução ANEEL nº 24**, janeiro de 2000. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000024.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2012.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifa média por classe de consumo e por região**, 2012. Disponível em: <http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSampRegCC.xls&Source=http://relatorios.aneel.gov.br/RelatoriosSAS/Forms/AllItems.aspx&DefaultItemOpen=1>. Acesso em: 9 jul. 2013.

APOLINÁRIO, L. A. V.; MANTOVANI, J. R. S. Modelo de programação matemática para controle do crescimento da vegetação sob redes de distribuição de energia elétrica. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v. 22, n. 3, p. 284-295, 2011.

APPELT, P. J.; BEARD, A. Components of an effective vegetation management program. In: ELECTRIC POWER CONFERENCE, 2006, Albuquerque. **Proceedings of the...** Albuquerque: IEEE, 2006. p. B3/1-B3/8. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1649048>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

ARROYO, E. C. **Heurísticas e metaheurísticas para otimização combinatória multiobjetivo**. 2002. 232 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

AZEVEDO, C. R. B. **Geração de diversidade na otimização dinâmica multiobjetivo evolucionária por paisagens de não-dominância**. 2011. 182 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em: <https://docs.google.com/file/d/0B6T1FWpEf3MGMjA3NGYyMTUtMzhlZC00M2JhLTg4MTAtYT5NTZkOGMyM2Zi/edit?hl=en_US>. Acesso em: 25 jul. 2013.

BILLINTON, R. R. An analytical approach to evaluate probability distributions associated with the reliability indices of electric distribution systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, New York, v. 1, n. 3, p. 245 - 251, 1986. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4307999>>. Acesso em: 20 jul. 2013.

CHU, P.; BEASLEY, E. A genetic algorithm for the generalised assignment problem. **Computers & Operations Research**, New York, v. 24, p. 17-23, 1997.

COELLO, A. C.; LAMONT, G. B.; VELDHUIZEN, D. A. V. **Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems**. 2. ed. New York: Springer, 2007.

DEB, K. **Multi-objective optimization using evolutionary algorithms**. New York: John Wiley & Sons, 2001.

DEB, K.; PRATAP, A.; AGARWAL, S.; MEYARIVAN, T. A fast an elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, New York, v.6, n.2, p.182 – 197, 2002. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=996017>>. Acesso em: 15 mar. 2013.

ELETROBRÁS. COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO. **Planejamento de sistemas de distribuição**. Rio de Janeiro: Campus/Eletróbrás, 1982a. v. 1, 241 p.

ELETROBRÁS. COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO. **Planejamento de sistemas de distribuição**. Rio de Janeiro: Campus/Eletróbrás, 1982b. v. 3, 259 p.

ELLIS, M. A. **C++: Manual de referência comentado**. Rio de Janeiro: Campus, 1993. 546 p.

GUIKEMA, S. D.; DAVIDSON, R. A.; HAIBIN, L. Statistical models of the effects of tree trimming on power system outages. **IEEE Transactions on Power Delivery**, New York, v. 17, n. 3, 2006, p. 1549-1557. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1645199>>. Acesso em: 12 abr. 2013.

KUNTZ, P. A.; CHRISTIE, R. D.; VENKATA, S. S. Optimal vegetation maintenance scheduling of overhead electric power distribution Systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, New York, v. 17, n. 4, 2002, p. 1164-1169. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1046899>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

MARLER, R.; ARORA, J. Survey of multi-objective optimization methods for engineering. **Structural and Multidisciplinary Optimization**, Berlin, v. 26, p. 369 – 395, 2004. Disponível em: <<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00158-003-0368-6.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2013.

MEYER, P. L. **Probabilidade: aplicações à estatística**. Pullman: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1983. 426 p.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

NEWMAN, M. E. J. Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. **Contemporary Physics**, London, v. 46, p. 323 - 351, 2005.

OLAZAR, M. R. R. **Algoritmos evolucionários multiobjetivo para alinhamento múltiplo de sequências biológicas**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

RADMER, D.; KUNTZ, P. A.; CHRISTIE, R. D.; VENKATA, S. S.; FLETCHER, R. Predicting vegetation-related failure rates for overhead distribution feeders. **IEEE Transactions on Power Delivery**, New York, v. 17, n. 4, p. 1770-1775, 2002. Disponível em: <<http://warrington.ufl.edu/centers/purc/purcdocs/papers/ENERGY/Hurricane%20Hardening%2>

Opapers/Predicting%20vegetation%20overhead%20failure%202002.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2013.

REIS, P. A.; FILHO, L. C.; CAVELLUCII, C.; ZUBEN, F. J. V.; USBERTI, F. L.; GONZÁLES, J. F. V.; COELHO, G. P.; FERREIRA, H. M. Problema de alocação ótima de recursos de manutenção: formulações e estudos de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 40, 2008, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBPO, 2008. p. 447-459.

SANCHES, D. S. **Algoritmos evolutivos multi-objetivo para reconfiguração de redes em sistemas de distribuição de energia elétrica**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SCOTON, F. M. **Power law na modelagem de caches de microprocessadores**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação e Sistemas Digitais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SITTITHUMWAT, A.; SOUDI, F.; TOMSOVIC, K. Optimal allocation of distribution maintenance resources with limited information. **Electric Power Systems Research**, Lausanne, v. 68, p. 208 - 220, 2004.

ZAPATA, C. J. **Análisis probabilístico e simulación**. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereria, 2010. 230 p. Disponível em: <http://www.academia.edu/1995572/Analisis_probabilistico_y_simulacion>. Acesso em: 12 mar. 2013.

ZAPATA, C. J. **Confiabilidad en ingeniería**. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereria, 2011.

APÊNDICE A – DADOS DO SISTEMA TESTE

Tabela A.1 - Comprimento (em metros) e número de consumidores por classe.

Alimentador	Comprimento(metros)	Número de Consumidores		
		Residencial	Industrial	Comercial
P1-A1	5838,95	2130	49	676
P1-A2	13022,83	3072	64	442
P1-A4	12667,61	2559	57	467
P1-A6	3559,12	309	11	37
P1-A8	22074,58	1481	337	293
P3-A1	8114,53	1992	50	431
P3-A3	13747,03	2080	71	384
P3-A4	23377,46	6809	130	353
P3-A5	31653,60	5451	169	338
P3-A6	47940,03	6900	75	195
P3-A7	12631,55	2908	54	212
P4-A2	20772,73	756	24	819
P4-A3	10464,66	2090	35	689
P4-A4	12111,93	3753	62	1008
P4-A5	20772,73	3264	58	399
P4-A6	10605,95	3697	33	202
P4-A7	17946,38	3318	42	425
P4-A8	23799,49	3494	62	247
P4-A9	31230,91	4470	52	164
P4-A10	14908,38	2319	79	83
P5-A1	26660,09	5215	101	349
P5-A2	3605,46	479	16	32
P5-A3	5492,24	131	13	28
P5-A4	8084,65	1284	77	94
P5-A6	28347,67	2689	182	257

Tabela A.2 - Tempo médio para reparação ou restauração do sistema ($\overline{ttr}$) em horas.

Alimentador	$\overline{ttr}(horas)$	Alimentador	$\overline{ttr}(horas)$	Alimentador	$\overline{ttr}(horas)$
P1-A1	1,46	P3-A6	1,92	P4-A9	2,88
P1-A2	1,43	P3-A7	2,31	P4-A10	2,47
P1-A4	1,79	P4-A2	1,90	P5-A1	2,91
P1-A6	1,54	P4-A3	2,21	P5-A2	2,13
P1-A8	2,67	P4-A4	1,63	P5-A3	1,88
P3-A1	1,91	P4-A5	2,08	P5-A4	1,73
P3-A3	2,54	P4-A6	1,93	P5-A6	2,28
P3-A4	1,83	P4-A7	3,65		
P3-A5	2,90	P4-A8	3,06		

Tabela A.3 - Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A1.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]	P.total[W]
1	6	0	0	0	0
2	7	19706,9	15738,1	15370,2	50815,2
3	26	37813,8	34668,9	18820,2	91302,9
4	27	43847,2	28894,8	21094,5	93836,5
5	55	411,94	411,94	411,94	1235,82
6	57	12247,3	12247,3	12247,3	36741,9
7	58	11881,4	11881,4	11881,4	35644,2
8	59	17510,9	19657,9	11768,3	48937,1
9	60	11920,1	9739,34	4811,99	26471,43
10	61	21423,8	21423,8	3991,96	46839,56
11	69	29737	31984	19209,8	80930,8
12	70	11391,8	10688,3	2074,66	24154,76
13	71	33078,8	28643,5	20502,1	82224,4
14	72	22813,8	21911,6	8972,88	53698,28
15	73	41447,4	37929,9	22384,8	101762,1
16	74	0	0	0	0
17	75	22999,5	18488,4	11947,2	53435,1
18	76	22555,8	22555,8	20957,8	66069,4
19	76	6180,94	116,34	116,34	6413,62
20	77	57832	41497,8	33153,7	132483,5
21	78	60866,3	53235,1	38340,1	152441,5
22	80	3744,4	6813,33	5887,86	16445,59
23	82	11613,4	11613,4	9885,06	33111,86
24	83	27474,1	27474,1	20587,1	75535,3
25	84	0	0	0	0
26	141	0	0	0	0
27	242	26457,9	26530,7	11604,9	64593,5

continua

Tabela A.3 - Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A1 *continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]	P.total[W]
28	297	0	0	0	0
29	302	0	0	0	0
30	317	0	0	0	0
31	319	13114,2	13430,7	12210	38754,9

Tabela A.4 - Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A2.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	4	3855,42	3855,42	3855,42
2	5	26967	16982,6	11833,1
3	7	0	0	0
4	8	26840,6	23076,3	18341,4
5	14	1216,06	1216,06	1216,06
6	18	32766,6	14225	6858,69
7	19	21704,3	6856,5	2674,13
8	20	31031	11907,9	10008,3
9	33	37505,3	29826,8	23759,4
10	35	6166,86	2529,63	0
11	36	23474,6	17855,3	4214,13
12	37	35813,9	37333,7	25774
13	38	25152	29256,8	24618,5
14	40	18023,2	8466,29	4556,22
15	41	25648,4	17156,3	5259,79
16	43	0	0	0
17	44	27979,8	20469,2	5059,41
18	47	0	0	0
19	48	15542,8	15542,8	13965,5
20	52	17735,4	17345,1	16420,7
21	54	41932,2	34021,4	16550
22	56	20083,3	13983,7	12671,3
23	63	8219,17	3921,08	457,24
24	65	24980,4	24980,4	24553,7
25	66	27082,7	25759,8	11385,6
26	67	7866,07	7866,07	0
27	68	9721,47	10924,7	8507,76
28	88	36062,8	20390,7	7970,43
29	90	22651,8	21466,9	5067,55
30	91	0	0	0
31	92	20848,1	13311,7	1761,66
32	93	16486,7	13373,2	3657,83
33	94	0	0	0
34	95	24990,3	24990,3	20832,5

continua

Tabela A.4 - Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A2. *continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
35	96	0	0	0
36	97	15437	15437	7344,52
37	98	23362,6	17327,5	2739,25
38	103	8125,01	8125,01	8125,01
39	144	34454,4	35988,1	32203,4
40	145	0	0	0
41	147	31284,3	28333	18795,2
42	153	42972,2	38421,9	35755,5
43	158	23754,1	23754,1	23754,1
44	159	27254,5	19971,5	14444,2
45	163	42134,2	41026,3	23417,7
46	166	30918,7	26184,9	9772,47
47	168	9900,31	9900,31	9900,31
48	170	5559,57	5690,15	1345,63
49	172	7576,13	7576,13	3903,17
50	184	23336,4	24384,6	15066,8
51	186	34962,7	27735,1	24240
52	188	5723,98	5723,98	5723,98
53	190	38985,7	23480,7	10612,9
54	192	25713,3	26140,9	9966,89
55	196	7724,56	7724,56	170,69
56	219	27169,3	23402,2	8506,54
57	229	22928,4	13211,8	4303,84
58	231	0	0	0
59	269	3586,2	3586,2	3586,2
60	283	3456,74	2261,63	395,22
61	291	0	0	0
62	324	12458	12458	12458
63	330	19036,2	9186,5	3143,24
64	333	5870,37	5870,37	5870,37
65	345	18928,5	15848,4	11873,6
66	348	11605,1	11605,1	11605,1
67	519	0	0	0
68	577	0	0	0
69	596	0	0	0
70	603	0	0	0
71	606	5227,23	5227,23	5227,23

Tabela A.5 - Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A4.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	4	13578,1	13578,1	13578,1
2	5	32291,2	31117,5	23890
3	6	0	0	0
4	7	14265	16106	7462,75
5	8	0	0	0
6	9	411,94	411,94	411,94
7	10	0	0	0
8	13	24284	24284	24284
9	14	6693,92	4531,18	2107,58
10	16	26579,8	26579,8	23320,9
11	17	13891,8	14003,4	9740,21
12	18	19204,9	16861,2	6226,68
13	19	29867,3	21561,6	7036,01
14	20	35041,3	28517,6	18350,9
15	21	14950,7	14950,7	14950,7
16	39	12064,8	12064,8	5665,59
17	40	26897,9	18542,2	16747,6
18	41	12563	12563	12563
19	45	9628,19	9887,88	4067,91
20	47	16395,2	16092,6	4912,47
21	48	28436,2	28882,7	14659,5
22	49	23133,2	25803,8	10854,6
23	51	45661,9	32785,1	9391,76
24	52	26946,5	22674,6	7908,31
25	53	26317,1	24103,9	12173
26	58	22203,2	13550	7223,62
27	59	5962,03	5611,81	864,95
28	67	15707,8	15542,7	14061,6
29	72	5086,15	2531,21	0
30	74	43985	31110,9	23978,3
31	76	21188,3	21187,6	13923,2
32	77	12744,3	11931,9	495,23
33	78	0	0	0
34	79	17673,4	20320,4	18708,7
35	81	0	0	0
36	82	24738,5	19258	17025,4
37	83	0	0	0
38	84	23445,6	24034,2	5424,78
39	86	8644,7	8357,27	6537,55
40	87	13157,8	11906,3	7643,8
41	88	505,4	505,4	505,4
42	89	28192,5	12998,8	11400,5
43	91	0	0	0

Continua

Tabela A.5- Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A4. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
44	92	32348,7	18742,8	13329,5
45	93	24805	23332,4	17512,6
46	94	0	0	0
47	95	10554,3	10554,3	10554,3
48	96	0	0	0
49	97	0	0	0
50	101	15753,6	15843	9193,01
51	110	0	0	0
52	111	42411,3	32644,3	19621,5
53	115	33422	26524,3	12374,6
54	116	27012,5	21240,9	3454,62
55	117	22317,5	22306,8	20773,2
56	118	35409,4	27913,8	16880,7
57	119	7713,51	7580,83	132,68
58	127	3346,66	4324,17	977,51
59	128	10912,3	10912,3	8262,45
60	129	8227,22	8509,85	2728,05
61	130	14505,8	13308	3784,35
62	131	30613,7	28231,3	8590,97
63	132	30106,7	25556,5	14054,9
64	150	6704,42	6704,42	6704,42
65	151	0	0	0
66	153	0	0	0
67	157	16828,6	16828,6	16828,6
68	210	0	0	0
69	218	1144,52	1144,52	1144,52
70	228	0	0	0
71	231	7693,79	7693,79	7693,79
72	236	2975,62	2975,62	2975,62
73	255	6255,18	6255,18	6255,18
74	265	32030	20429,2	5913,6
75	276	11604,5	11604,5	10641,3
76	304	20141,3	20171,5	3340,74
77	310	12114,7	13115	9673,07
78	312	19173,1	19173,1	18063
79	314	15216,7	15216,7	14396,6
80	318	32460,2	32460,2	31694,6
81	320	10619,9	10619,9	10619,9
82	322	32046,6	24070,6	13112,8
83	324	15467,9	15467,9	15096
84	328	30904,9	29768,6	14961
85	330	387,92	463,57	463,57
86	332	25198,4	29952,8	26190
<i>Continua</i>				

Tabela A.5- Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A4. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
87	348	10557,8	10557,8	10557,8
88	351	0	0	0
89	353	19274	19439,6	3958,58
90	355	0	0	0
91	370	26055,1	25411,8	13354,9
92	382	20671,3	20671,3	20671,3
93	383	19471,2	19471,2	18754,4
94	386	14208,4	14208,4	14208,4
95	388	21251	21251	21251
96	391	24910,6	22406,9	14517
97	412	7971,08	7359,63	7257,06
98	693	0	0	0
99	705	0	0	0
100	731	0	0	0
101	740	0	0	0
102	753	0	0	0
103	755	0	0	0

Tabela A.6 - Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A6.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	3	13944,1	13944,1	13944,1
2	4	0	0	0
3	11	17596,1	13543,1	11986,2
4	18	4860,34	4860,34	4860,34
5	23	13648,2	13648,2	13648,2
6	25	0	0	0
7	28	0	0	0
8	29	1968,38	1968,38	1968,38
9	38	0	0	0
10	41	38168,9	8992,84	4126,31
11	42	16935,3	4186,96	1175,13
12	43	23872,6	3244,65	2199,77
13	44	0	0	0
14	45	0	0	0
15	46	0	0	0
16	61	582,93	582,93	0
17	63	8189,98	8189,98	8189,98
18	64	0	0	0
19	65	1770,55	1770,55	1770,55
20	66	7045,28	6859,73	6859,73

Continua

Tabela A.6- Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A6. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
21	83	2594,03	2594,03	2594,03
22	86	2897,3	2897,3	2897,3
23	88	0	0	0
24	90	24573,1	3524,47	4341,68
25	91	11950,8	8779,75	8025,75
26	94	0	0	0
27	95	0	0	0
28	97	2852,8	2852,8	2852,8
29	101	0	0	0
30	107	39366,6	7936,2	3312,65
31	111	0	0	0
32	128	23120,1	12958	8985,4
33	138	25041,7	9994,69	7062,5
34	141	5752,87	5752,87	5752,87
35	145	3075,67	3075,67	3075,67
36	148	0	0	0
37	151	5927,19	5927,19	5927,19
38	154	2283,94	2283,94	2283,94
39	156	3054,78	3054,78	3054,78
40	158	4952,21	4952,21	4952,21
41	166	0	0	0
42	173	1785,79	1064,16	1064,16
43	180	23076	14649,3	9324,22
44	193	6870,21	6870,21	6870,21
45	195	4487,24	4487,24	4487,24
46	201	10500	10500	10500
47	204	10556,3	10556,3	10556,3
48	206	0	0	0
49	209	31000,6	9272,57	2890,65
50	213	0	0	0
51	214	2985,12	2985,12	2985,12
52	217	136,77	136,77	136,77
53	220	2431,28	2431,28	2431,28
54	222	4857,33	4857,33	4857,33
55	225	4518,81	4518,81	3832,73
56	234	15652,1	15652,1	15652,1
57	236	0	0	0
58	243	5622	5622	5622
59	246	10700,8	10700,8	10700,8
60	250	5572	5572	5572
61	255	2390,83	2390,83	1897,96
				<i>Continua</i>

Tabela A.6- Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A6. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
62	256	1284,09	1284,09	1284,09
63	264	6965,69	6965,69	6965,69
65	280	0	0	0
66	299	11696,7	11696,7	11696,7
67	314	7687,87	7687,87	7687,87
68	353	3790,31	3790,31	3790,31
69	367	992,09	0	992,09
70	370	1952,36	1952,36	0
71	397	780,04	780,04	0
72	405	247,49	247,49	0
73	412	462,24	462,24	0
74	415	601,31	601,31	0
75	417	607,96	607,96	0
76	424	0	0	0
77	567	0	0	0
78	576	0	0	0
79	593	0	0	0
80	614	0	0	0
81	656	10,21	10,21	10,21
82	672	0	0	0
83	679	0	0	0

Tabela A.7 - Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A8.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	4	1294,92	1294,92	1294,92
2	5	28691,2	24230,9	10529,4
3	7	20191,8	20760,1	9069,07
4	9	18944,3	15149,3	11901,6
5	11	22413,2	23290,3	14130,6
6	15	29957,4	30639,6	19660,9
7	16	15435,2	14569	1679,76
8	18	10460	11172,5	10527,9
9	19	2675,06	2675,06	2675,06
10	20	6347,27	6347,27	4835,11
11	21	9585,35	9005,99	9212,81
12	22	11102,9	11102,9	10476,2
13	37	9534,91	7825,1	4004,9
14	38	5694,11	4453,39	4453,39
15	39	11176,4	11176,4	9978,99
16	45	0	0	0

Continua

Tabela A.7 - Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A8. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
17	46	8102,5	8102,5	8102,5
18	47	5329,75	5329,75	5329,75
19	48	6127	6127	6127
20	49	14879,1	15215,1	13037
21	50	19122,3	19122,3	19122,3
22	51	10242	10838,4	6807,3
23	52	0	0	0
24	55	12808,1	12808,1	12754,7
25	56	20878,7	20878,7	20878,7
26	60	13584,5	13584,5	13584,5
27	61	23406,4	20724,8	13102,4
28	64	18316,1	17736,1	9063,45
29	65	0	0	0
30	66	411,94	411,94	411,94
31	67	20345,5	21717,5	14186,7
32	69	20624,8	24740,4	15593,7
33	70	8928,6	8928,6	8928,6
34	72	25180,2	23497,8	16060,5
35	73	0	0	0
36	75	8145	8175,73	8175,73
37	76	8091,7	8091,7	8091,7
38	77	3528,34	3528,34	3528,34
39	80	3639,89	3639,89	3639,89
40	81	1285,83	1285,83	1285,83
41	83	14323	12396,3	10202,4
42	84	11626	11818,7	11168,6
43	85	15561,8	15561,8	13958,3
44	86	5146,24	5146,24	5146,24
45	87	18621,1	16464,8	6626,51
46	89	20277,8	15901,5	4879,3
47	90	3270,79	3270,79	3270,79
48	91	3403,49	3403,49	2398,01
49	92	0	0	0
50	93	23523,5	22195	18897,2
51	98	5586,63	5586,63	5586,63
52	100	7551,36	7962,8	7962,8
53	103	9780,32	9780,32	9780,32
54	104	11971,5	11971,5	11971,5
55	116	3113,32	3113,32	3113,32
56	121	34715,3	19479,8	14622,1
57	123	29091	29091	29091
58	124	192,07	192,07	192,07

Continua

Tabela A.7 - Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A8. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
59	125	6511,48	8057,76	3806,16
60	181	14050,2	12174,9	5327,51
61	184	15291,9	11059,2	6850,3
62	186	25196	20251,3	9159,09
63	190	12371,9	12371,9	12371,9
64	198	18107,3	18107,3	18107,3
65	200	3510,75	3510,75	3510,75
66	204	3634,07	3634,07	3634,07
67	209	5321,52	5321,52	5321,52
68	211	2069,17	2069,17	2069,17
69	217	947,97	947,97	947,97
70	223	7301,47	7301,47	7301,47
71	255	0	0	0
72	271	8252,73	8252,73	8252,73
73	280	8595,15	8595,15	8595,15
74	282	18856,6	18856,6	18239,9
75	284	14844,8	14844,8	14111,6
76	297	7494,51	7494,51	7494,51
77	305	12749,9	12749,9	12749,9
78	307	10653,1	10653,1	10653,1
79	309	18522,1	18522,1	18522,1
80	311	12887,6	12887,6	12887,6
81	355	22353,9	22353,9	22142,2
82	359	11676	11676	11676
83	361	20430,2	20430,2	20430,2
84	363	7499,07	7499,07	7499,07
85	383	12615,9	13322	13322
86	390	12455,7	12455,7	12455,7
87	423	406,42	406,42	406,42
88	441	0	0	0
89	446	0	0	0
90	448	4093,21	4239,84	4204,78
91	450	6555,14	6555,14	6555,14
92	483	11135,6	11135,6	11135,6
93	491	24687,9	24687,9	24278,8
94	493	14901,3	14901,3	14901,3
95	495	18321,3	18321,3	18321,3
96	497	21729,3	21804,6	21604,8
97	501	18108,7	18108,7	17876,2
98	513	4771,62	4771,62	4771,62
99	523	6082,34	6894,92	6830,73
100	528	6067,95	6067,95	6067,95

Continuar

Tabela A.7 - Demanda máxima por transformador do alimentador P1-A8. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
101	530	4116,47	4116,47	4116,47
102	532	2068,11	2068,11	2068,11
103	541	0	0	0
104	544	6184,85	6184,85	6184,85
105	552	5822,75	5822,75	5822,75
106	563	1034,32	1034,32	1034,32
107	568	11502,9	11502,9	11502,9
108	693	5656,55	6212,73	6312,29
109	996	0	0	0
110	1052	431,2	431,2	431,2
111	1095	7028,76	10914,5	8375,31
112	1099	0	0	0

Tabela A.8 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A1.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	4	6039,34	6968,42	5906,8
2	6	14684,2	15833,2	10775,8
3	7	38581,7	31709,2	18494,1
4	8	20224,3	15120	5437,66
5	13	0	0	0
6	14	0	0	0
7	15	0	0	0
8	16	0	0	0
9	33	0	0	0
10	34	0	0	0
11	37	0	0	0
12	49	25874,9	21789,3	10743,1
13	51	20612,7	15318,2	5580,2
14	53	22311,8	14555,7	9288,85
15	73	5644,53	3564,7	1039,65
16	75	11125,5	11125,5	4182,82
17	75	14149,6	14496,1	7752,57
18	77	21313,9	21625,6	9803
19	81	15713,4	15713,4	15713,4
20	86	52017,6	43166,6	27149,8
21	106	19557,9	17032,3	10579
22	108	32622,8	32668,7	30255,7
23	114	5842,2	5842,2	5842,2
24	119	0	0	0
25	121	21896	17120,1	9522,22

Continua

Tabela A.8 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A1. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
26	125	0	0	0
27	150	0	0	0
28	157	0	0	0
29	165	14675,8	14376,8	14376,8
30	170	11823,3	13163,4	13163,4
31	172	35993,7	32598,5	18150,2
32	198	23498,9	23276,9	17772
33	208	30210,1	29810,9	14890,3
34	212	18663,8	18663,8	18663,8
35	223	26907,3	28008,5	25883,4
36	231	26190,1	24313,6	15583,7
37	260	0	0	0
38	325	0	0	0
39	342	28110,4	28110,4	28110,4

Tabela A.9 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A3.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	4	14238,4	14238,4	14238,4
2	5	44440,4	44440,4	44440,4
3	6	4328,81	4328,81	4328,81
4	7	1427,34	1427,34	1427,34
5	9	2523,04	2523,04	2523,04
6	10	23682,2	23102,3	23102,3
7	12	16009,9	17756,9	10733,2
8	14	0	0	0
9	21	3015,32	3015,32	616,15
10	22	0	0	0
11	23	0	0	0
12	24	0	0	0
13	38	9756,67	9756,67	9756,67
14	39	9856,63	19873,8	11765,2
15	40	0	0	0
16	53	29194,3	18320,1	12635
17	54	30011	28879,2	30070,3
18	55	25035,3	24894,5	8885,81
19	57	21149,8	14669	7997,47
20	58	40081,4	26112,7	19888,3
21	60	16475,7	16475,7	16475,7
22	62	1113,53	1113,53	1113,53
23	68	889,53	889,53	889,53

Continua

Tabela A.9 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A3. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
24	90	0	0	0
25	98	7400,24	7400,24	1142,53
26	100	0	0	0
27	108	12494,4	14571,2	14249,4
28	109	7434,45	7434,45	3806,63
29	111	0	0	0
30	113	0	0	0
31	121	0	0	0
32	132	8065,84	8065,84	8065,84
33	160	0	0	0
34	163	7593,08	7593,08	7593,08
35	174	30030,6	20125,3	5674,19
36	176	18976,8	13006,4	8292,72
37	178	24523	23096,9	18939
38	181	32341,2	22768,2	13078,5
39	184	30869,9	19751,9	5382,67
40	186	13510,3	13510,3	12749,4
41	188	26252,9	16814,1	6427,01
42	190	12898,5	12898,5	12898,5
43	204	48430,2	46527,2	40179,1
44	214	1664,13	1664,13	1664,13
45	220	0	0	0
46	237	17708,4	16060,3	15463,1
47	273	0	0	0
48	340	16288,5	12905,1	12905,1
49	369	0	0	0
50	400	0	0	0
51	409	0	0	0
52	419	0	0	0

Tabela A.10 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A4.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	3	41291,4	25927,8	13732,1
2	5	22199,7	6710,34	3228,46
3	14	30640,5	12200,1	2380,05
4	20	23303,3	16714,7	6265,44
5	26	17654,1	20554,2	19144,1
6	33	39381,6	28772,9	13841,5
7	35	33702,2	17338,2	2922,18
8	38	11040	13593,1	5348,22

Continua

Tabela A.10 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A4. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
9	49	20666,6	6232,1	1781,75
10	50	18273,4	5822,51	4017,97
11	65	25297	24232,6	2723,57
12	69	18800,1	22090,4	6677
13	77	14406,3	11612,2	280,22
14	80	22422,6	21207,8	2463,73
15	83	39331,6	27897,4	8814,72
16	86	28050,2	22376,1	15764,4
17	90	11432,2	10587,9	9907,9
18	91	18436,9	18436,9	18436,9
19	92	12895,7	6815,17	2663,63
20	96	19923,3	4166,36	3231,92
21	103	17055,8	21484,8	10833
22	107	23352,6	23157,9	9205,86
23	114	37157,6	9198,21	3671,57
24	115	33762,7	20258	7716,54
25	117	12541,2	8504,3	1978,34
26	118	21347,1	9357,3	6182,88
27	119	18416,5	8863,64	5385,85
28	120	20788,2	5817,88	3730,61
29	121	24915	4505,81	3139,85
30	123	30781,7	12376,3	4891,43
31	125	52308,5	35489,1	14152,7
32	126	22203,4	11066,8	4147,99
33	127	26203,7	14580,2	3606,63
34	128	26103,3	25623,3	2992,19
35	129	16508,9	16264,3	2983,34
36	130	13986,1	13986,1	3041,53
37	131	14765,9	15698,8	932,89
38	132	32578,3	18564,3	8487,84
39	147	26133,1	29335,8	8720,66
40	155	18505,8	18611,2	5867,17
41	162	23024,4	24436,3	8227,94
42	167	2967,46	2967,46	2332,44
43	168	20909,1	14866,3	16652,1
44	170	28953	16221	4761,47
45	180	22628,4	8309,27	2479,45
46	182	31698,4	20764,8	6887,45
47	183	27327,1	18072,2	4606,96
48	184	41148,3	25456,5	12212
49	198	10252,5	11106,4	4164,77
50	201	32055	18933,4	5824,78

Tabela A.10 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A4. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
51	202	19848,2	18296,4	5826,07
52	221	21326,9	18567,8	3823,94
53	267	35505	18072,3	5484,27
54	281	27510,1	18587,5	14356,4
55	287	13244,6	13239,3	2449,65
56	297	32369,5	11975,7	4516,8
57	300	24424,8	21290,5	5264,32
58	313	18946	13412,9	2573,77
59	320	33182,8	26391,6	7985,73
60	322	16055,8	18383,1	17791
61	355	42923,3	26588	7098,07
62	363	20344	8667,93	2142,72
63	365	7775,96	5303,22	1152,36
64	375	14242,2	17119	10435,1
65	397	22585,3	12557,3	4526,97
66	419	7546,65	7546,65	7546,65
67	422	18125,7	17199,7	4543,25
68	424	21390,9	16707,9	5664,27
69	441	20462,7	20612,4	17670,7
70	457	20171,3	20171,3	20171,3
71	464	40590,7	22042,5	5307,94
72	475	28581,1	10267,2	4077,7
73	477	20557,3	7571,39	2791,71
74	479	19947,7	18318,1	10114,8
75	481	15885,8	18149	14226,5
76	483	7844,82	7844,82	7844,82
77	485	13423,7	7105,57	5120,83
78	487	133,87	133,87	133,87
79	491	20669,3	11948,9	8570,52
80	493	35147,4	28310	16674,1
81	495	1890,11	1158,18	1158,18
82	499	30785,8	11781,4	6137,66
83	501	20831	10102,1	5665,63
84	503	18925,9	10494	5882,47
85	505	21497,5	10449,5	4485,56
86	511	25166,8	14920,9	6013,42
87	544	37289,1	17301,3	6392,5
88	546	24472,2	10508,8	3861,86
89	548	15439,6	10742,3	8075,69
90	550	20186,5	11808,9	7161,62
91	552	26249,9	11277,2	4152,44
92	554	14928,3	8709,9	2335,04

Continua

Tabela A.10 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A4. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
93	556	15713,9	6358,11	3035,5
94	558	16492,3	11726,9	5046,16
95	560	17521,3	11935,7	5579,77
96	566	13557,3	10592,1	4522,27
97	676	44585,1	37790,3	25390,6
98	678	23798,7	15190,4	6451,84
99	688	37024,5	15420,6	9542,24
100	775	0	0	0
101	857	14981,3	18291,4	6346,3
102	951	0	0	0
103	957	4297,95	4750,03	1520,7
104	962	0	0	0
105	967	1334,09	2151,97	1887,63
106	974	0	0	0
107	978	0	0	0
108	987	0	0	0
109	993	0	0	0
110	996	1337,75	1337,75	0
111	1022	0	0	0
112	1024	0	0	0
113	1059	0	0	0
114	1072	24407,2	24407,2	24407,2

Tabela A.11 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A5.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	5	0	0	0
2	8	0	0	0
3	9	0	0	0
4	10	0	0	0
5	11	0	0	0
6	17	0	0	0
7	22	18282,5	17652,6	7534,34
8	24	12162,9	12162,9	11879,5
9	28	48481,8	35061,7	20448,3
10	30	22677	13254,6	5142,05
11	31	15587,4	13605,9	16034,7
12	32	30652,2	23665,4	7672,86
13	33	7247,14	6081,04	2135,89
14	49	17767,9	18712,2	7190,88
15	55	13776,3	14132,8	4878,78

Continua

Tabela A.11 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A5. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
16	59	25368	18653,9	8025,1
17	60	8137,13	5766,23	1812,91
18	64	43174,9	34882,4	28645,9
19	66	22864,6	16854,1	3327,06
20	67	17062,6	15119,5	4217,65
21	69	24723,4	20977,2	8764,66
22	70	22212,6	21216	6511,24
23	71	23493,5	18356,9	5505,27
24	74	33415,5	25343,3	9629,36
25	75	29668,9	19498,7	9037,96
26	76	28658,8	16431,7	3744,01
27	90	17199,8	17460,8	9730,34
28	91	8164,79	8164,79	8164,79
29	92	0	0	0
30	96	11855,8	11855,8	11855,8
31	98	17500,8	18155	16257,4
32	101	0	0	0
33	106	13177,4	11581,2	4270,73
34	109	10087,9	10480,2	5214,28
35	115	12689,5	12816,5	12816,5
36	125	13155,1	12277	6842,52
37	129	7373,51	10361,3	3434,03
38	133	11262,3	10381,5	4048,25
39	134	19059,1	17586	4617,2
40	135	18109,5	18437,6	10093,8
41	141	17733	13851,2	13704,1
42	142	28136,3	17332,7	5908,18
43	151	0	0	0
44	152	0	0	0
45	155	9404,31	9404,31	8425,15
46	156	7391,88	7391,88	5888,29
47	157	4441,76	4441,76	4441,76
48	158	14385,5	17581,4	6167,38
49	166	0	0	0
50	170	36468,6	33202,7	35533,2
51	175	27275,3	18279,2	4706,31
52	191	7580,67	7580,67	7580,67
53	215	8115,77	8115,77	8115,77
54	225	12804,4	8932,99	4813,45
55	235	2927,85	2927,85	877,39
56	237	1686,79	1686,79	1686,79
57	239	0	0	0

Continua

Tabela A.11 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A5. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
58	242	0	0	0
59	245	3566,05	3566,05	3566,05
61	246	0	0	0
62	249	2866,51	2866,51	2866,51
63	251	0	0	0
64	260	25140,9	13071,2	4721,64
65	262	7942,04	10118,4	6593,24
66	264	35064,2	1427,06	584,68
67	266	41202,6	3385,39	2704,38
68	267	31905,4	2093,03	1759,86
69	270	9124,55	9124,55	9124,55
70	272	7657,68	7657,68	7657,68
71	289	10057,7	12510,2	6007,09
72	296	5303,11	5303,11	5462,77
73	301	36416,9	36812,6	19676,6
74	306	3760,86	3760,86	3760,86
75	316	1602,79	1602,79	1602,79
76	323	22704	6182,03	1431,08
77	324	29614,5	29614,5	29614,5
78	326	29271,6	28396,2	19315,3
79	333	5338,12	4680,36	2431,13
80	335	2354,47	4991,97	1479,61
81	336	6923,41	9041,32	1487,21
82	339	2215,72	1990,9	2787,43
83	340	5801,78	8503,99	3835,15
84	342	2339,42	4431,13	1045,71
85	349	3284,44	2800,74	668,05
86	350	3341,08	5235,79	3093,13
87	351	5124,83	6850,11	2666,93
88	353	1724,36	3957,11	2238,21
89	357	3093,17	3093,17	3093,17
90	364	5103,52	6157,93	2674,05
91	372	12908,8	14216,2	8243,17
92	376	0	0	0
93	391	3029,8	3029,8	3029,8
94	398	20053,5	8358,56	4974,65
95	400	22490,2	15219,8	6583,61
96	402	45820	15475,5	4180,38
97	418	14400	12794,5	10340,4
98	420	0	0	0
99	424	23497,3	20485,4	6064,54

Continua

Tabela A.11 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A5. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
100	426	26726,8	21721,8	5911,94
101	432	7287,85	7287,85	7287,85
102	434	8503,58	8503,58	8503,58
103	479	23784,5	24616,8	9338,2
104	524	60364,2	6039,35	3198,53
105	526	38236	11042,6	7929,72
106	528	31079,1	8618,9	5538,7
107	530	23751,9	10203	5084,11
108	532	25841,6	7552,52	4523,96
109	537	16014,4	17236,7	8267,74
110	542	16538,5	15091,2	5074,24
111	569	22908,8	4342,31	693,75
112	589	9789,44	11911,2	6273,95
113	628	22157,6	7406,23	3451,58
114	630	11033,5	9020,52	7663,04
115	635	11752,3	10865,5	4614,07
116	637	18967,4	12033,3	2687,02
117	639	14710,4	8309,86	5176,1
118	641	17521	15832,8	8729,45
119	643	28143,4	3155,84	1115,86
120	645	5710,77	3351,38	718,08
121	648	17812,4	19055,4	17378,4
122	655	33767,1	9689,97	3991,82
123	665	7787,31	2861,7	1932,7
124	667	37951,6	9001,77	2703,47
125	683	19502,6	4180,2	1048,38
126	699	3950,69	3950,69	3950,69
127	705	7543,33	7543,33	7543,33
128	708	29613,1	13431,9	9609,48
129	725	23144,4	5949,92	748,65
130	727	34766,1	10901,8	5867,99
131	730	34947,5	11652,7	2725,32
132	740	17891,2	2744	3210,18
133	758	35345,2	30680,8	10099,7
134	904	10820,1	7927,79	4075,21
135	996	1733,77	1733,77	1560,05
136	1158	0	0	0
137	1165	0	0	0
138	1177	240,96	240,96	0
139	1187	3210,46	2482,22	1387,51
140	1207	497,52	497,52	0

Continua

Tabela A.11 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A5. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
141	1210	511,5	1207,61	0
142	1218	4015,84	4140,71	1458,34
144	1289	0	0	0
145	1293	2542,52	2542,52	2542,52
146	1298	240,96	240,96	0
147	1303	0	0	0
148	1320	0	0	0
149	1327	0	0	0

Tabela A.12 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A6.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	9	16893,4	6042,94	5659,93
2	14	19903,2	4527,91	3906,79
3	42	7720,46	7711,68	1747,23
4	46	6140,43	6676,25	6222,56
5	48	7416,61	9231,43	7350,69
6	52	8213,27	5221,87	1309,54
7	54	9049,12	7195,83	2709,45
8	61	2479,8	4450,56	1398,75
9	62	1697,56	4735,97	2299,72
10	68	19038,7	4422,14	2154,76
11	73	14054,6	3374,39	3695,26
12	79	5995,31	5995,31	5995,31
13	80	17958,6	6931,99	2803,13
14	83	18925,6	5952,34	6235,86
15	122	25993,5	9631,4	2204,05
16	133	0	0	0
17	143	39018,1	18047,1	9709,59
18	148	27948,4	6633,74	4707,92
19	153	10816,6	3283,62	1104,87
20	203	18940,1	4150,29	2909,49
21	210	13832,7	5849,23	2808,46
22	227	28546,7	19953,2	5988,63
23	228	23525,3	14018,9	4487,96
24	250	18559,4	19834,6	14718,9
25	251	26737,4	15399,3	8424,64
26	253	23879,1	17139,9	7863,09
27	255	22249,8	17269,8	6657,14
28	257	17059,7	12529,6	6469,88
<i>Continua</i>				

Tabela A.12 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A6. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
29	263	19615	14177,2	4938,01
30	265	12670,2	6118,38	4332,15
31	273	30072,5	18094,5	10076,3
32	274	10014,7	14287,7	3372,54
33	281	23024	12562,5	9953,46
34	290	14438,3	12662,5	5318,08
35	296	17721,3	11381,1	5565,33
36	301	31375,1	17352,5	14335,3
37	307	15068,6	9699,44	9679,01
38	309	22136,7	9346,15	10919,2
39	311	22137,4	17279,6	13116,7
40	312	22305	12161,8	5540,39
41	314	21933,9	14246,9	7514,85
42	319	12120,3	3897,73	1424,51
43	323	14228,7	6953,87	5349,43
44	328	39903,1	26434	13761,3
45	333	10824	9717,6	2658,06
46	354	31955,2	6645,15	5231,38
47	359	26974,1	5634,49	2489,26
48	374	1171,05	1171,05	1171,05
49	384	11604,3	1547,53	347,52
50	388	16743,9	13440,6	5030,25
51	389	1838,54	0	0
52	390	4560,9	3570,77	3570,77
53	391	32754,7	8875,28	3717,79
54	394	8897,48	8897,48	8897,48
55	404	30965,8	32725,6	18806,7
56	409	13713,6	13713,6	13713,6
57	469	20213,1	2060	1259,48
58	484	8467,06	7585,18	3041,82
59	506	0	0	0
60	513	36363	6055,01	3222,33
61	517	354,16	354,16	0
62	519	2222,89	2222,89	2222,89
63	521	1116,98	1116,98	1116,98
64	530	12807,5	3735,37	1915,31
65	532	32149,9	16284,2	15620,8
66	534	33422	8133,4	4924,61
67	536	8597,12	4653,46	1104,51
68	538	6292,71	1488,19	2940,35
69	543	22498,3	22958,2	5461,94
70	544	28783,6	31625,5	6024,15

Tabela A.12 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A6. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
71	546	21331,5	6834,67	6602,59
72	548	23750,8	9024,32	3732,98
73	565	0	0	0
74	577	7476,07	7476,07	7476,07
75	586	7031,26	7031,26	2290,56
76	587	199,1	199,1	199,1
77	592	483,63	483,63	483,63
78	604	1050,01	1050,01	1050,01
79	605	3611,52	3194,71	3194,71
80	606	7549,35	7549,35	7549,35
81	615	3453,27	3453,27	3453,27
82	617	8334,75	8334,75	8334,75
83	620	2952,99	1445,1	1445,1
84	625	6374,06	6374,06	3242,9
85	627	4667,41	4667,41	4667,41
86	628	411,94	411,94	411,94
87	629	1393,91	1393,91	1393,91
88	636	3190,29	3190,29	3190,29
89	638	521,07	521,07	521,07
90	642	524,19	524,19	524,19
91	644	788,13	788,13	788,13
92	646	630,79	630,79	630,79
93	649	1513,44	1513,44	1513,44
94	651	2606,49	1046,65	1046,65
95	659	2072,88	2072,88	2072,88
96	662	2932,09	2932,09	2932,09
97	665	1245,57	1245,57	1245,57
98	672	0	0	0
99	676	1217,75	1217,75	1217,75
100	678	1253,97	1253,97	1253,97
101	681	3201,79	3201,79	3201,79
102	684	1219,44	1219,44	1219,44
103	685	1717,93	1717,93	1717,93
104	699	580,63	580,63	580,63
105	704	1128,19	1128,19	1128,19
106	706	0	1199,1	1199,1
107	713	9603,3	13925,3	8278,53
108	722	4989,92	4989,92	4989,92
109	733	0	0	0
110	796	25744	7540,39	4366,86
111	802	8877,25	1251,87	996,9

Tabela A.12 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A6. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
112	812	31373,2	10315,2	3452,26
113	826	14430,9	3832,95	3713,89
114	833	25636,3	3227,07	2480,86
115	840	20012,9	2256,96	5730,48
116	841	20220,4	4164,1	3015,95
117	846	11214,8	5890,58	3882,49
118	850	14126,6	2454,1	3903,64
119	854	4375,19	4375,19	4375,19
120	873	6510,86	3836,71	76,82
121	876	9702,31	10556,4	6322,06
122	881	4256,77	3694,04	2768,57
123	909	1120,4	963,31	0
124	1040	1434,3	1165,75	1031,47
125	1042	2888,19	2888,19	541,68
126	1044	10451,1	6669,88	4971,23
127	1046	9470,64	10414,6	5944,24
128	1056	21476,1	17516,9	9820,66
129	1058	29676	12969,8	2619,65
130	1060	25715,3	12168,4	6135,29
131	1064	12905,8	11048,3	4436,55
132	1112	31757	18332,1	7399,85
133	1118	24053,1	25694	18997,2
134	1127	30495,4	8824,85	6467,25
135	1156	26921,2	5709,53	3203,9
136	1160	21285,2	17835,2	6086,61
137	1162	17160,5	15771,7	3623,36
138	1177	4894,79	5861,91	3124,66
139	1199	0	0	0
140	1209	24357,6	1578,85	822,77
141	1211	35614,7	5423,75	2905,09
142	1215	27420,6	1574,68	323,19
143	1217	296,27	296,27	296,27
144	1218	29378,2	1035,37	1048,66
145	1220	15767,6	15767,6	15767,6
146	1233	15047,6	16065,6	4334,56
147	1235	13383,9	14711,7	5583,98
148	1260	11238,8	13933,2	4391,84
149	1346	11527,3	4671,14	2815,25
150	1350	1415,21	1415,21	0
151	1369	12703,2	12546,4	3516,6
152	1374	12805,6	10415,2	7085,01

Continua

Tabela A.12 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A6. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
153	1381	495,7	495,7	0
154	1393	2426,67	2426,67	2426,67
155	1406	21677,7	8397,8	4824,75
156	1425	0	0	0

Tabela A.13 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A7.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	5	27197,3	16653	4730,8
2	6	27334,2	8733,89	6092,7
3	7	20625,2	6161,29	6382,27
4	8	30268,8	11368,4	8529,37
5	9	17495,4	7776,13	4483,26
6	10	17283,4	15712,4	13456
7	11	40745	32602,7	15381,9
8	12	29056,1	9544,98	4314,89
9	13	35617,2	23901,4	7150,66
10	14	27427,4	12945,9	4662,42
11	15	29882,2	14989,6	6572,57
12	16	17736,8	14454,9	3980,5
13	18	45342,7	32169,1	16399
14	19	21729	21372	15663,1
15	20	33809,4	16979,5	6616,75
16	21	21666,3	9669,93	3696,14
17	22	17633,2	17874,2	9769,66
18	24	30768,2	17918,4	7061,3
19	25	43157,4	27826,6	11141,9
20	26	4553,34	3429,83	2853,62
21	27	0	0	0
22	28	0	0	0
23	33	32236	27971,3	16467
24	35	24603	10674,1	5351,17
25	70	20452,3	15333,1	4791,37
26	78	7625,85	7675,34	6716,13
27	79	0	0	0
28	81	14960,8	14960,8	14960,8
29	86	8881,7	6593,86	4584,04
30	88	0	0	0
31	89	2563,09	2563,09	2563,09
32	105	15165,5	8118,86	2381,98
<i>Continua</i>				

Tabela A.13 - Demanda máxima por transformador do alimentador P3-A7. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
33	107	24348,3	9640,04	3984,35
34	117	16482,6	7384,24	2589,42
35	138	29991,4	14479,5	5002,64
36	155	30721,8	18535	11473,1
37	159	20591,8	23929,3	15681,3
38	161	14206,1	14206,1	14206,1
39	163	30445,7	12187,8	2980,23
40	201	16096,7	6255,22	896,26
41	208	16799,6	19680,6	18205,6
42	212	24416	10233,2	3040,97
43	214	31921,3	19832,9	14268,7
44	216	21861,8	3674,76	1412,08
45	218	11839,4	10881	7666,79
46	235	28284,8	13830,3	3004,05
47	244	18379,8	13852,8	6349,86
48	253	29897,3	16023,8	4310,01
49	262	33564,2	22060,3	7345,41
50	264	35665,9	18106,6	6936,7
51	270	7325,66	11362,2	8960,28
52	325	17225,9	12355,8	3010,16
53	327	27165,8	5703,11	1253,59
54	329	16049,6	11109,1	13377,2
55	331	15886	19964,2	14164,3
56	333	14291,3	15353,5	15966,4
57	335	1042,9	1042,9	0
58	369	17815,4	14126,4	5440,32
59	640	0	0	0

Tabela A.14 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A2.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	4	30870,3	30054,6	13485,5
2	6	23478,9	19725,1	5096,18
3	10	8312,93	8312,93	738,75
4	11	19406,4	18307,7	3804,96
5	12	15297	15297	8971,66
6	13	10855	10855	10769,2
7	14	13566,5	12132,3	5524,11
8	15	12212,8	12212,8	12212,8
9	16	28854,9	27233	24936,5
10	17	0	0	0

Continua

Tabela A.14 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A2. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
11	18	6970,1	6970,1	6970,1
12	19	24005,8	23618,1	16121,3
13	20	4597,43	4597,43	335,76
14	21	19157,3	20123,8	9411,21
15	22	28735,2	23456,7	12581
16	23	18756,7	17532,6	10188,8
17	24	15133,2	16279,1	6539,27
18	25	11894,6	11894,6	11894,6
19	28	34666,2	21816	10692,1
20	29	16413,7	16413,7	16413,7
21	29	26377,3	25216,9	10954,2
22	30	0	0	0
23	31	31654,2	24073,8	11565,1
24	32	14360	11807,1	8734,23
25	33	0	0	0
26	34	34435,1	31528,1	12531,8
27	35	24004,4	26860	20335,3
28	36	17889,1	17889,1	17889,1
29	37	20198,9	18820,5	11508,8
30	38	29532,1	29682,8	18142,6
31	39	19718,1	16392,4	6593,14
32	41	42340,3	24613,9	11413
33	48	18557,3	14260	8839,66
34	51	18887,5	18214	15844,5
35	53	10840,5	10840,5	10840,5
36	54	26310,7	26901,4	17220,3
37	59	16296,2	18719,4	21055,9
38	60	36410,2	31245,5	15382,8
39	62	22168,1	20066,6	8506,95
40	63	31814,9	28874,1	14616,1
41	64	0	0	0
42	69	0	0	0
43	71	6530,34	6530,34	6530,34
44	72	0	0	0
45	73	28348,8	28348,8	28348,8
46	75	9134,77	9134,77	9134,77
47	82	7605,7	7018,89	6548,93
48	83	30814,3	28739,6	22230,6
49	85	0	0	0
50	86	0	0	0
51	111	30382,5	24685,3	18577,2
52	112	28402,4	26778,5	21411,2

Continua

Tabela A.14 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A2. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
53	113	0	0	0
54	114	10926,2	10926,2	10926,2
56	116	105669	32736,5	19591,1
57	117	0	0	0
58	121	41006,7	26201,1	11650,1
59	133	23736,8	23858,9	5341,84
60	180	0	0	0
61	189	0	0	0
62	197	0	0	0
63	202	13319,9	13319,9	13319,9
64	206	15261,7	7451,23	6187,37
65	215	33478,9	34775,4	15075,3
66	235	28692,9	25131,6	25383,8
67	239	33194,1	28059,5	9633,28
68	248	19285,9	17836,7	9707,58
69	267	22330,2	15361,8	5247,03
70	275	48832,6	44293,3	28745,3
71	277	20845,2	21301,7	12534,5
72	281	19939,5	20063,4	5194,27
73	298	10687,8	15056	8976,53
74	302	34384,2	36218,3	22693,5
75	306	0	0	0
76	308	17088,6	17088,6	17088,6
77	310	27816,6	27816,6	27816,6
78	313	11302,9	12462,4	9779,24
79	330	0	0	0
80	387	15921,3	15252,1	5216,29
81	420	12505,7	12505,7	12505,7
82	490	0	0	0
83	565	0	0	0

Tabela A.15 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A3.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	3	24438,8	21267,8	5882,41
2	5	8639,8	5274,14	997,69
3	6	29315,8	21358,4	12810
4	8	21756,8	13502,5	5320,3
5	9	411,94	411,94	411,94
6	10	50266,5	48181	32236,5
<i>Continua</i>				

Tabela A.15 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A3. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
7	11	0	0	0
8	12	13424,8	13424,8	13424,8
9	13	1107,25	1107,25	0
10	14	19410,1	19297,6	16101,4
11	15	18391,9	18391,9	18391,9
12	16	10490,9	10490,9	10490,9
13	17	29089,9	30895,4	11087
14	19	14801,1	14801,1	14801,1
15	20	11495,5	8984,33	8984,33
16	21	43823,1	43462,7	32180,6
17	22	14803,3	14807,9	2490,98
18	23	12073,4	12073,4	1558,33
19	24	6825,61	6825,61	6825,61
20	28	15105,6	17195,9	13569,7
21	36	4915,47	5032,94	3234,92
22	39	24557,5	12286,2	1719,24
23	40	11468	2288,6	1327,97
24	44	35036,4	8725,46	4764,04
25	45	19214,3	8507,8	1041,89
26	46	25311,1	11832,8	2870,42
27	47	31301,2	12847,9	6464,84
28	48	25397,8	19668,7	8938,1
29	51	0	240,96	240,96
30	54	20773,4	17865,2	11483,5
31	55	0	0	0
32	56	29418,7	26891,3	24658,1
33	58	44538,9	41573,4	26367,1
34	59	3860,78	3860,78	2808,73
35	60	14773,7	14773,7	10599,9
36	61	27017,7	29312	15905,3
37	62	14901,1	10317,2	8238,81
38	71	19118,3	3203,49	1253,81
39	72	11167,3	11167,3	11167,3
40	73	16580,9	13407	5702,52
41	74	34217,4	25003	13302,7
42	75	14683,2	11494,5	4543,17
43	77	36080,4	23042,6	9305,78
44	78	30824,9	17610,2	9524,84
45	80	21633,7	14910,2	7513,45
46	81	10336,2	10336,2	9141,84
47	84	21544,4	15145,3	7997,23
48	87	0	0	0

Continua

Tabela A.15 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A3. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
49	88	13704,3	13704,3	13704,3
50	89	26788,1	17288,8	3916,49
51	91	20672	20024,8	4991,25
52	92	38129	36827,6	17052,2
53	93	26619,2	25402,4	8215,92
54	94	21238,6	20728,9	8637,69
55	95	40781,1	35962,3	21407,9
56	96	6278,36	6278,36	6278,36
57	97	10646,2	10646,2	10569,2
58	98	26325,9	24426,8	22738,3
59	99	26785	21762,7	15398,9
60	100	21057,4	18403,6	11226,9
61	101	15818,1	14661,5	2344,39
62	102	39165	40458,3	14838,1
63	107	37551,6	16887,2	9897,82
64	108	25652,1	23684,7	14194,4
65	109	41820,5	11335,3	4761,91
66	110	19824,2	6268,71	921,14
67	111	13152,8	5823,15	1577,8
68	112	20101,7	12545,7	2641,15
69	115	18132,9	18132,9	18132,9
70	120	17590,7	7587,13	3387,23
71	137	25717,4	23467	22639,8
72	138	1214,61	1214,61	1214,61
73	139	16870,8	15111,5	4366,19
74	143	0	0	0
75	144	27643,7	25901,3	18149,1
76	145	0	0	0
77	146	0	0	0
78	153	14716,8	14982,2	10868,3
79	200	33735,2	15751,5	8592,96
80	218	0	0	0
81	218	0	0	0
82	222	12866,4	12866,4	12866,4
83	227	27491	24146,4	21547,1
84	229	26784,5	19008,9	11397,8
85	231	11052,1	13628,2	8674,26
86	232	25029,6	15885,6	3104,81
87	249	12652,9	8058,08	2204,06
88	250	5827,05	5827,05	0
89	251	20142,8	18567	11663,6

Continua

Tabela A.15 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A3. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
90	252	35057,7	31178,6	11794,1
91	253	23644,6	9712,65	3122,02
92	255	17449,1	13120,3	7127,32
93	258	69828,5	57134,5	37096,7
94	259	37393	30553,9	24427,4
95	263	43580,5	18742,6	7873,45
96	268	9407,96	8410,95	2777,58
97	287	8887,57	8887,57	8887,57
98	292	0	0	0
99	306	28953,4	21231,8	5149,3
100	313	19550	12455,5	3081,79
101	315	19299,6	11583,6	6816,92
102	327	17934	16484,9	6968,44
103	338	44541,7	10302,6	3233,5
104	341	29902,1	9332,88	3774,53
105	369	26251,7	26175,6	18676,7
106	568	25800,4	23914,9	19672,3
107	583	742,24	0	0
108	760	0	0	0
109	776	0	0	0

Tabela A.16 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A4.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	4	20846,6	14807,8	4720,31
2	9	16276,1	12345,7	4800,04
3	10	27736,8	6245,89	2756,31
4	13	6667,86	2151,37	611,25
5	14	41887,2	17249,4	7569,86
6	15	17558,1	12054,8	7355,21
7	16	21608,3	11707,7	4673,59
8	18	2576,36	2923,94	4756,27
9	19	17722,2	14233,9	12919,2
10	21	0	0	0
11	22	15436,4	6278,14	4936,64
12	23	21691,3	6098,06	5646,74
13	25	21742,5	17911,4	10147,5
14	27	28618,2	20344,9	14326,9
15	29	2964,91	2964,91	1437,49
16	31	0	0	0

Continua

Tabela A.16 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A4. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
17	32	0	0	0
18	34	28900,5	21183,5	13777,5
19	36	39192,3	16893,1	5499,67
20	37	13104,6	9942,12	1994,71
21	38	8933,78	8933,78	8933,78
22	39	2464,75	2464,75	2464,75
23	40	18982,4	8170,3	3570,98
24	44	1130,77	1130,77	1130,77
25	48	38287,4	26222,5	15089,6
26	49	26323,3	12686,3	2409,57
27	52	16982,5	9079,19	3228,58
28	53	0	0	0
29	54	10083,7	9912,73	6962,36
30	55	0	0	0
31	58	0	0	0
32	59	32247,4	29136,4	21263,1
33	60	28248,9	3984,31	2837,4
34	61	18586,7	18586,7	18586,7
35	64	25193,1	20094,7	9601,68
36	66	27478,8	24362,4	14289,2
37	72	23176,5	10851,5	5868,36
38	75	27957,7	16016,8	5705,92
39	81	2361,84	2361,84	2361,84
40	82	1520,36	1520,36	1520,36
41	83	16572,6	9953,75	1999,87
42	89	22569,5	8611,18	4328,45
43	92	33785,7	7705,87	3685,15
44	97	35205,1	10524,1	10074,9
45	98	37153,1	6169,27	4205,33
46	99	12672,5	12672,5	12672,5
47	105	20459,1	10002,6	3245,73
48	106	25540,4	7959,93	3161,76
49	107	33639,1	8090,25	3695,27
50	133	52836,6	41625,8	23355
51	134	50376,2	39356,1	20589,5
52	141	25004,3	16091,5	10408
53	148	41994,4	35940,3	19491,7
54	149	14130	14130	2053,3
55	150	39790,8	30521,8	11474
56	151	29380,9	13954,3	6951,59
57	153	35713,1	18292,3	4407,16
58	154	27582,7	23689,9	13836,2

Continua

Tabela A.16 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A4. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
59	158	43019,9	32596,2	11915,8
60	162	29609,9	9679,58	6077,79
61	224	4721,43	4721,43	4721,43
62	226	24191,5	16319,8	7003,41
63	230	6151,42	2739,12	2428
64	240	34412,5	36405,8	29819,8
65	243	54504,4	47158,6	21440
66	244	0	0	0
67	245	9564,64	10215,3	10215,3
68	252	15869,2	15869,2	15869,2
69	259	10886,1	10886,1	10886,1
70	262	6659,89	6659,89	6659,89
71	276	7596,12	6476,84	6476,84
72	301	37081,9	16276,8	10430,3
73	303	3638,59	3638,59	3638,59
74	305	35484	16015,3	5487,15
75	307	22289,6	12823,9	8139,25
76	370	45021,8	11421	5053,45
77	382	0	0	0
78	440	0	0	0
79	647	0	0	0

Tabela A.17 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A5.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	5	12084	12084	12084
2	6	31786,3	14023,3	4964,12
3	7	12249	10557,6	1753,44
4	8	4686,24	4686,24	4686,24
5	9	20057,6	11970,1	2627,35
6	10	813,42	813,42	813,42
7	11	13988,9	12025	2867,93
8	12	25610,4	23054,8	18203,7
9	13	2170,24	2170,24	2170,24
10	18	12102,8	10854,7	12286,9
11	19	21361,5	12188	5922,83
12	23	29767,4	18424,7	9807,04
13	28	2089,52	2395,11	2395,11
14	29	24758	22148,9	11242,8
15	32	16449,7	10886	5273,59

Continua

Tabela A.17 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A5. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
16	33	22024,3	18372	6128,73
17	41	4857,33	4857,33	4857,33
18	45	19356	14481,6	10276,8
19	48	13723,7	3230,61	2493,07
20	49	32563,5	7541,64	1416,64
21	50	17338,8	7316,51	4220,36
22	67	54755	17157,4	10445,1
23	68	37061,5	13996,1	3780,63
24	70	40446,2	31521,9	25177
25	83	6784,4	6784,4	4486,55
26	86	1595,67	1595,67	1595,67
27	87	12132,9	6402,57	2534,28
28	103	1938,21	1470,57	1470,57
29	104	23945,6	11642,8	5098,21
30	105	20305,7	17519,7	11347,2
31	133	22606,1	7620,52	5411,82
32	138	27221,4	17159,1	8412,6
33	141	30659,7	13369,1	5982,07
34	149	20613,4	17019,9	13777,9
35	151	11522,4	11522,4	11522,4
36	153	0	0	0
37	154	23242,6	10169,5	9109,68
38	174	358,12	358,12	358,12
39	178	0	0	0
40	182	21066	7442,53	1577,49
41	184	31255,7	17858,6	7994,51
42	201	28050,7	25596,6	13106,3
43	203	30160,6	19906,2	6038,62
44	220	52968,7	32576,3	14241,3
45	230	14585,4	8902,13	2517,38
46	237	21545,2	14605,3	9399,22
47	239	23807,2	23807,2	23807,2
48	241	19397	12960,9	4119,23
49	243	29219,2	25636,1	6656,34
50	255	0	0	0
51	258	29569,2	20355,3	7098,6
52	273	33305	18440,6	5536,16
53	291	15248	9063,08	5014
54	316	25638,6	14280,1	8949,76
55	323	19028,8	14759,5	6040,59
56	327	39291,1	21075,4	10838,5
57	329	34043,8	19803,9	8699,18

Continua

Tabela A.17 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A5. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
58	333	39331,1	20765,1	24541
59	335	40099,8	21811,8	6380,91
60	337	28484,9	19736,3	4648,84
61	350	31505,8	28220,6	17063,2
62	364	12870,9	12870,9	12741,6
63	380	0	0	0
64	386	1171,05	1171,05	1171,05
65	464	2078,98	1974,15	464,78
66	469	40608,5	9771,8	5372,63
67	471	17725	4576,06	1554,61
68	473	30357	7920,64	2151,5
69	475	32650,1	14062,4	5010,11
70	477	2626,67	2626,67	2626,67
71	479	22300,9	2472,37	632,67
72	481	19432,8	4733,39	1359,42
73	483	5326,22	5326,22	5326,22
74	516	23956,7	15641,3	5140,32
75	518	14728,3	4591,16	1612,2
76	522	48320,8	24898,7	14279,4
77	530	21908,8	4300,18	1575,37
78	534	35759,6	13481,8	4556,67
79	538	20869,4	23057,8	17018,3
80	540	31079,8	9317,17	5319,69
81	550	17219,2	4910,58	1781,03
82	566	5914	5914	5914
83	568	1632,74	1632,74	1632,74
84	571	17595,6	17595,6	17595,6
85	578	0	0	0
86	586	0	0	0
87	601	755,03	755,03	0
88	612	20696,9	13050,7	6277,78
89	624	15895,9	2794,66	474,03
90	626	26014,1	8559,75	3296,1
91	634	8490,46	8490,46	8490,46
92	641	30851,1	18482	10559,7
93	650	34341,2	12862,4	3816,99
94	660	36424,4	31765,7	23868,3
95	662	0	0	0
96	695	46230,3	20061,6	9319,92
97	702	46823,9	11690,8	8813,64
98	704	15221,3	3680,94	1565,1
				<i>Continua</i>

Tabela A.17 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A5. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
99	706	34754,3	11285,4	2296,4
100	712	24719,9	6782,58	5690,96
101	762	0	0	0
102	771	26170,6	16198,1	14788,8
103	775	26133,4	17091,4	13797,3
104	777	42678,8	19150,7	8095,57
105	783	0	0	0
106	808	0	0	0
107	810	0	0	0
108	816	12253,3	12253,3	12118,8
109	821	0	0	0
110	838	14210,1	5080,06	982,64
111	840	0	0	0
112	881	32165,9	11186,2	3422,94
113	891	14573,3	13640,4	9854,73
114	1097	0	0	0
115	1174	0	0	0
116	1179	0	0	0

Tabela A.18 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A6.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	3	18345	18817,3	8244,99
2	6	5017,06	5017,06	5017,06
3	10	11653,3	8485,94	3703,18
4	12	4139,56	4139,56	4139,56
5	16	18239,3	17816,2	16610,1
6	17	39019,1	32138,6	15485,3
7	18	9438,82	9438,82	9438,82
8	20	11238,3	11688,5	7999,34
9	22	12083,3	12083,3	12083,3
10	23	36391,5	27235	7756,77
11	28	15074,4	15074,4	15074,4
12	36	0	0	0
13	38	40606,5	21994,7	13603,9
14	39	22889	8496,76	7811,24
15	40	21131,5	14522,6	13292
16	44	19505,3	4561,5	4036,04
17	45	12814,2	12814,2	7896,79
18	46	36330,4	31399,9	12742

Continua

Tabela A.18 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A6. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
19	47	26833,8	7622,99	5732,32
20	74	26811,6	15896,3	14398,9
21	75	26129,3	4313,36	2466,17
22	79	37173,7	11957,5	7815,7
23	80	22873,9	4312,04	2480,93
24	81	24760,3	10408,3	6290,97
25	82	4821,18	4850,97	1825,27
26	87	2917,59	2917,59	0
27	88	22118,1	12187,6	6577,73
28	89	29980,2	6910,29	4909,9
29	90	45292,1	8245,3	5304,04
30	91	44962,7	11709,2	6210,73
31	92	10333,5	8427,29	4835,78
32	101	6859,7	6859,7	6859,7
33	102	26993,4	8135,42	4306,39
34	103	44643	10928,7	6283,43
35	104	28012,4	8613,2	2175,14
36	107	37604,1	14501,1	12117,3
37	108	26294,2	6056,38	4606,63
38	109	27640,5	10009,1	4662,37
39	123	18290,1	18290,1	18290,1
40	141	26250,5	10081,4	4642,45
41	143	0	0	0
42	146	46296,6	42786,1	25546,8
43	153	8866,34	8866,34	8866,34
44	155	19693,3	15157,5	7292,45
45	161	27876,3	28648,5	21738,2
46	163	14583,1	13968,8	4005,37
47	165	11796,7	11796,7	11796,7
48	167	617,91	617,91	0
49	186	18634,9	18729,2	17338,6
50	195	21169,3	20563,8	12680,1
51	201	18365,3	18891,3	12957,7
52	204	18383,8	11094	7737,01
53	211	40935,6	12004,9	5977,33
54	215	24741,2	8004,83	2968,89
55	264	31476,8	13319	9074,75
56	266	7827,34	7770,69	6810,55
57	268	8397,01	5124,56	5345,07
58	270	3831,11	3745,23	3745,23
59	271	30653,6	11139	5294,54
60	273	18767,1	3165,84	1815,06

Continua

Tabela A.18 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A6. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
61	275	23536,4	20486,8	22292,4
62	279	20645,7	7081,33	2187,62
63	281	10706,8	10706,8	10706,8
64	283	11024,5	9434,48	7596,96
65	318	27571,1	8359,85	4155,32
66	320	21462,9	9060,69	5491,8
67	328	24909,8	6009,81	7937,56
68	360	36201,9	15168,5	8242,29
69	362	30047,4	31489,5	18599,7
70	364	14343,9	13228,3	13553
71	366	46929,6	14194,5	10911
72	370	33122,1	13335	7241,5
73	372	24939,3	3371,68	1901,3
74	374	18233,9	3059,12	1437,69
75	400	23314,4	6674,69	3637,2
76	406	45422,4	19422,2	13070,6
77	431	37094,2	14520,2	6428,12
78	445	27999,7	5960,17	3862,87
79	447	21338	3055,04	2101,29
80	464	20160,3	2180,4	4530,93
81	699	12863,8	8806,62	10372,8
82	701	20445,9	16834,7	14702,7
83	708	0	0	0
84	711	0	0	0

Tabela A.19 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A7.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	9	0	0	0
2	11	1147,91	1147,91	1147,91
3	14	0	0	0
4	15	574,54	574,54	574,54
5	17	2666,09	2666,09	2666,09
6	22	801,27	801,27	801,27
7	26	2825,38	2578,74	1104,39
8	31	2229,45	2229,45	2229,45
9	33	2555,19	2555,19	1143,84
10	35	420,74	420,74	420,74
11	36	1339,69	1339,69	1339,69
12	39	3094,51	3094,51	3094,51

Continua

Tabela A.19 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A7. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
13	40	0	0	0
14	42	1277,2	1277,2	0
15	47	1657,08	1657,08	1657,08
16	52	0	0	0
17	71	3483,38	3483,38	0
18	74	21381,8	17158,1	4720,05
19	75	0	0	0
20	78	17651,2	14389,7	4369,01
21	79	46775	33323,8	15532,5
22	81	16110,2	16110,2	8573,79
23	82	9274,92	9274,92	9274,92
24	83	7119,93	6804,39	5519,07
25	84	41442,6	38209,2	27024
26	87	30517	24578,9	8261,95
27	88	0	0	0
28	91	13512,8	13512,8	4716,65
29	92	11555,2	11477,1	11477,1
30	94	49999,3	25897,1	22278,5
31	95	19950,3	11181,5	2312,59
32	96	25664,7	19034,4	16468
33	97	18149,9	9782,38	7617,1
34	98	28021,6	10846,5	3892,33
35	99	20498,9	12873,2	9782,98
36	100	30628,5	17620,3	9193,82
37	102	24649,9	20667,4	17030
38	103	19717,9	15084,2	4172,93
39	104	32948,5	40392,6	21067,1
40	105	26029	9194,68	1577,29
41	106	26663,5	7225,41	2588
42	107	21549,8	9931,44	4335,9
43	111	0	0	0
44	114	536,63	536,63	536,63
45	115	9895,88	9895,88	9895,88
46	118	19108,8	11206	10285,1
47	119	25741,9	8833,62	4325,99
48	120	2383,37	2383,37	2383,37
49	121	26031,7	11629,5	1186,08
50	124	5942,09	5942,09	5942,09
51	127	21405,9	18203,8	13894,5
52	129	26871,4	14709,7	4925,89
53	132	37581,8	26377,8	6814,03
54	135	12853,8	4088,26	1117,32

Continua

Tabela A.19 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A7. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
55	137	4791,01	4791,01	4791,01
56	140	22107,5	17762,7	3330,24
57	153	31225,6	15574,2	8530,81
58	164	29405,3	10521	8466,77
59	165	38067	19036,5	7011,68
60	168	0	0	0
61	172	5934,28	4456,78	5378,54
62	177	29863,9	20566,4	6770,12
63	180	17830,6	25542,2	16264,7
64	181	2266,8	2270,68	1741,6
65	182	17866,8	12240,1	4431,99
66	183	17969,1	17424,9	10526,6
67	184	15803,6	13475,5	2765,94
68	187	18887	13905,7	2086,85
69	195	15042,1	15042,1	13946,4
70	196	22221	19576,5	7469,39
71	197	14787,7	13165,8	12167,3
72	198	21610,4	14063,4	10358,9
73	199	805,02	805,02	805,02
74	200	22215,8	23750,9	21469,7
75	201	11982,7	8894,13	1359,16
76	203	8186,71	8186,71	5908,81
77	204	26224,3	21583,5	11259,7
78	206	19454,1	14249,1	9471,38
79	207	28197,8	26374,9	14883,9
80	209	33505,3	32752,3	20898,2
81	210	942,35	2281,47	1614,66
82	213	23464,3	22090,7	15116,7
83	216	22587	22006,7	11228,7
84	217	21542,5	21021,5	9794,04
85	220	15883,7	15883,7	15883,7
86	221	5361,62	5361,62	5059,93
87	222	20249,2	20927	16949,2
88	223	46816,6	37631,4	8833,55
89	224	5485,6	4948,58	4948,58
90	225	58462,1	60749,5	48796,2
91	227	45786,8	44815	21110,2
92	228	39269,6	37700,7	30656
93	232	10428	10428	10014,6
94	233	16734,4	16734,4	16734,4
95	234	9810,65	9844,32	1886,44
96	235	0	0	0

Continua

Tabela A.19 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A7. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
97	242	25390	21146,7	9792,43
98	244	8605,74	8605,74	8605,74
99	248	24767	12854,3	4668,76
100	251	1551,23	1551,23	1551,23
101	252	4008,84	4008,84	4008,84
102	255	28179	20502,2	6525,44
103	260	13860,1	15602,2	7694,45
104	270	21316,6	16932,2	4303,88
105	271	18510,8	15047	3798,63
106	272	29063,6	23143,9	6741,92
107	275	20825,8	19711,6	7558,79
108	276	411,94	411,94	411,94
109	279	31003,3	28569,1	9925,13
110	280	11349,8	11349,8	11349,8
111	281	0	0	0
112	282	16343,9	13525,6	13127,7
113	283	0	0	0
114	285	411,94	411,94	411,94
115	286	23202,7	21857,7	10332
116	287	9535,44	9535,44	6366,08
117	289	11167	11167	11167
118	290	12419,2	12167,2	5310,3
119	291	17641,6	15976	8169,69
120	292	22402,3	20086,4	6234,18
121	293	37654,3	39099,6	11767,2
122	295	6081,13	6820,57	1763,35
123	296	7276,64	7276,64	7276,64
124	299	19123,9	13533,9	4755,13
125	300	0	0	0
126	302	27340	20846	7250,84
127	304	28442,1	15864,7	3820,13
128	312	3993,01	3993,01	160,56
129	335	22640,4	20821,4	18826,8
130	362	9802,3	10186,9	2929,43
131	363	50311,9	50573,8	34857,4
132	364	23429	23429	17123,9
133	370	0	0	0
134	408	32386,7	32386,7	32386,7
135	409	23143,8	18883,8	7508,83
136	427	27857	26394,6	5941,27
137	433	0	0	0

Continua

Tabela A.19 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A7. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
138	444	23603,2	24276	8397,61
139	446	505,07	505,07	0
140	452	6626,44	6626,44	6626,44
141	475	0	0	0
142	476	6454,69	7266,71	2383,54
143	488	5951,67	4582,2	1369,46
144	489	1572,69	1572,69	1572,69
145	491	1635,1	1635,1	1635,1
146	493	6998,38	6998,38	0
147	495	7478,27	6860,71	2061,7
148	496	4543,69	4543,69	0
149	502	0	0	0
150	506	684,85	684,85	684,85
151	510	2356,66	2356,66	0
152	518	1969,13	1969,13	1969,13
153	525	1527,55	1527,55	1050,42
154	527	1247,25	1247,25	1247,25
155	533	1543,38	1543,38	0
156	535	2543,42	2543,42	2194,16
157	539	2018,56	2018,56	2018,56
158	544	793,78	1914,41	1914,41
159	547	1668,99	1668,99	0
160	549	3935,21	3935,21	0
161	551	2900,62	2900,62	0
162	553	810,62	810,62	810,62
163	557	2456,93	2456,93	2456,93
164	558	1671,95	1671,95	1671,95
165	560	8190,92	8190,92	3024,48
166	562	597,98	597,98	0
167	563	0	0	0
168	567	5179,75	3116,66	779,76
169	569	3778,79	3778,79	3778,79
170	571	4291,77	4291,77	1793,94
171	574	610,84	610,84	610,84
172	584	2476,83	2476,83	2476,83
173	598	28023,7	14205,6	4619,1
174	600	0	0	0
175	605	3372,54	3372,54	3372,54
176	613	0	0	0
177	621	24313,6	24033,9	13775,3
178	623	26884,2	17280,2	5783,58
179	625	18939,8	16837,3	9495,73

Continua

Tabela A.19 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A7. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
182	643	19242,6	10965,7	4942,55
183	649	1396,36	1396,36	1396,36
184	650	23342	12456,2	6253,92
185	659	27877,6	5555,86	6125,86
186	663	411,94	411,94	411,94
187	1056	15709,2	13010,6	3687,67
188	1066	1745,04	1745,04	0
189	1073	6680	6680	6680
190	1075	0	0	0
191	1099	0	0	0
192	1101	0	0	0
193	1103	53790	54852,2	54852,2
194	1146	889,14	889,14	0
195	1256	1679,35	1679,35	0
196	1262	626,16	626,16	0
197	1266	6755,21	6755,21	6755,21
198	1271	3970,31	3970,31	3970,31
199	1273	1416,56	1416,56	0
200	1301	887,63	887,63	0
201	1304	0	0	0
202	1310	7395,55	7395,55	7395,55
203	1468	6535,38	6535,38	6535,38
204	1587	12166,7	12166,7	12166,7
205	1593	1805,66	1805,66	173,21
206	1619	162,73	162,73	0
207	1621	0	0	0

Tabela A.20 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A8.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	3	32971,9	17792,9	6322,65
2	4	21090,5	16499,8	6884,52
3	9	51404,8	47139,3	41857,2
4	11	29201,7	18271,4	2464,42
5	13	50952,7	28139,1	14012,8
6	14	25500,4	15187,9	7216,38
7	15	22881,8	13686,3	3495,14
8	17	30046,3	22708,7	8801,75
9	18	21372,9	10075,8	2869,12
10	19	26221,6	20628,9	3511,23
11	20	0	0	0
				Continua

Tabela A.20 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A8. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
12	23	24154,7	11089,6	5981,25
13	24	14569,4	13891	7321,74
14	25	8955,01	9848,3	7730,36
15	28	33140,7	12022,6	3393,28
16	34	22283,4	2357,26	487,16
17	35	15579,1	2638,21	137,28
18	36	40253,9	2335,63	1591,73
19	39	22408,2	5759,37	2256,64
20	40	37833,9	4275,51	1484,93
21	41	36241,1	19097,3	14402,9
22	42	18046,4	16918,6	11390,7
23	46	23059,8	16577,3	10435,2
24	48	30789	7530,3	3555,27
25	49	20843,8	10350,6	5931,73
26	52	33339,3	13039	7516,83
27	53	20840,7	21049	12063,2
28	55	16159,3	15141,9	7187,37
29	56	21977,2	20165	9195,39
30	57	20573,6	17052,3	10738,1
31	58	21566,9	19662,5	8747,46
32	59	22085,7	17004,4	8009,76
33	62	27052,6	23087,8	7790,38
34	63	16014,2	16014,2	16014,2
35	64	29094,1	9149,87	2994,17
36	68	23523,3	19816,7	12119,9
37	69	18884,1	14827,1	4452,19
38	70	10020,1	10020,1	1431,63
39	71	18210,9	16771,9	6210,46
40	76	9464,43	9934,16	4641,95
41	77	0	0	0
42	78	18053,7	18053,7	17694,9
43	83	20191,3	8198,55	3857,79
44	86	26598,8	5480,4	2623,07
45	89	20974,3	5659,66	2623,01
46	90	17669,6	7629,59	740,08
47	95	10426,1	8097,6	4379,78
48	97	7138,4	6788,91	711,55
49	98	758,52	758,52	380,79
50	101	36518,2	8740,47	6773,22
51	102	15603,4	7960,45	2631,86
52	103	28034,4	11419,6	4086,46
53	200	11050,3	2146,58	188,54

Continua

Tabela A.20 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A8. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
54	201	36928,8	13364,9	7000,87
55	203	28143,7	9057,8	3759,88
56	205	24107	9959,73	2335,31
57	206	24604,1	2025,5	2964,92
58	207	27169,1	4778,99	2662,81
59	209	22786,8	18200,4	6134,76
60	210	22816,5	12813,4	5521,81
61	211	16606,6	11808,9	4426,27
62	212	12296,6	8499,19	996,22
63	213	0	0	0
64	214	7486,67	7486,67	7486,67
65	215	21320,6	19138	9354,38
66	216	0	0	0
67	217	18393,4	17768,3	11079,6
68	218	26400,6	16289,7	4193,81
69	219	19203,6	14581,2	5866,79
70	220	46022,8	22206,4	11827
71	221	35456,6	14680,7	9495,11
72	222	16686,8	16686,8	16686,8
73	223	13648,2	13648,2	13648,2
74	224	0	0	0
75	225	9363,71	3988,23	7454,23
76	226	12656,3	12656,3	12656,3
77	230	20384,6	14877,3	5726,3
78	231	26670,9	19843,8	6397,33
79	232	21711,2	17893,1	11135,6
80	233	28941,9	18368,3	2944,04
81	234	17761,2	12379,7	5929,08
82	235	15172,7	10954,1	3881,65
83	236	23041,6	11487	7614,67
84	237	15120,1	11458,4	4484,18
85	238	13995	13995	13995
86	239	17731,1	15421	5455,38
87	240	15658,7	9309,57	1864,69
88	241	22199	14933,8	9026,84
89	242	27985,1	9045,36	3442,9
90	245	23436,9	10180,5	2078,4
91	246	411,94	411,94	411,94
92	247	22393,9	17949,4	7539,7
93	249	21938,5	20477,1	7208,32
94	252	0	0	0
95	254	0	0	0

Continua

Tabela A.20 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A8. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
96	256	0	0	0
97	257	16272,7	8339,84	2193,16
98	258	36454,4	13716,3	3754,1
99	259	28585,5	7805,98	3609,46
100	264	22312	22083,4	22312
101	266	18822,9	14779,5	3350,47
102	267	28160	23598,6	5821,28
103	274	19445,1	17781,9	3958,33
104	275	23806,7	15334,9	7041,9
105	277	24591,6	20650,9	15780,3
106	278	21282,4	17677,8	9734,3
107	280	33180,9	25593,1	9248,08
108	288	19191,2	17889,7	10936,2
109	298	960,06	960,06	960,06
110	316	22448,3	12033,4	3926,43
111	321	15082,8	4339,02	4086,82
112	328	36541,1	32999,7	13872
113	329	0	0	0
114	333	2515,81	2515,81	2515,81
115	347	2818,46	2818,46	2818,46
116	349	5396,72	5396,72	5396,72
117	355	1292,42	1292,42	1292,42
118	359	2513,68	2513,68	2513,68
119	365	2040,93	2040,93	2040,93
120	367	882,7	882,7	882,7
121	371	842,23	842,23	842,23
122	374	1403,71	1403,71	1403,71
123	377	6226,31	6226,31	6226,31
124	382	4237,56	4237,56	4237,56
125	386	2115,8	2115,8	2115,8
126	390	0	0	0
127	393	1258,16	1258,16	1258,16
128	399	5317,11	3797,49	3797,49
129	401	3890,42	3890,42	3890,42
130	403	9430,64	9430,64	9430,64
131	406	3502,29	4404,62	4404,62
132	411	727,36	727,36	727,36
133	414	1440,33	1440,33	1440,33
134	417	3500,32	3500,32	3500,32
135	424	1505,66	1505,66	1505,66
136	428	3802,46	3802,46	3802,46
137	431	3783,84	7385,93	3783,84

Continua

Tabela A.20 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A8. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
138	437	0	0	0
139	440	1409,42	1409,42	1409,42
140	445	14941,3	12395,2	2927,03
141	453	496,99	496,99	496,99
142	456	0	0	0
143	465	8801,41	9618,16	5543,06
144	469	0	0	0
145	661	11263,8	11263,8	10948,8
146	917	6648,06	6926,21	1253,35
147	922	0	0	0
148	957	3839,35	3839,35	0
149	1110	11253,8	11253,8	11253,8
150	1230	854,18	854,18	0
151	1240	2949,75	2949,75	0
152	1251	0	0	0
153	1258	37135,6	37135,6	37135,6
154	1263	1295,16	1295,16	0
155	1359	240,96	240,96	0
156	1368	7664,99	7517,44	6930,19
157	1371	3740,73	3740,73	3740,73
158	1384	0	0	0
159	1390	0	0	0
160	1413	963,76	963,76	92,6

Tabela A.21 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A9.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	7	27547,5	7626,21	5007,43
2	8	27398,9	6664,8	4401,4
3	9	22098,4	3261,74	2693,32
4	10	25186,4	8275,43	3453,4
5	14	29908,2	13540,7	6646,5
6	17	3644,39	705,6	552,84
7	22	15884,6	4880,22	4547
8	31	22232,3	12890	4741,31
9	32	0	0	0
10	41	22743,2	5481,6	3406,2
11	58	14422,3	14422,3	13668,9
12	61	0	0	0
13	64	26922,3	7655,64	5868,05
14	68	21009,7	6175,89	4870,19

Continua

Tabela A.21 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A9. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
15	74	385,06	385,06	385,06
16	94	16165,7	1126,68	2043,6
17	102	20319,7	4227,99	4052,53
18	105	16698,1	10909	10444,7
19	115	9424,65	2788,32	1804,54
20	120	16666,3	6019,14	2271,65
21	124	13307,5	4396,93	1556,75
22	139	19577,4	8675,48	1565,91
23	153	0	0	0
24	161	12086,1	5007,57	3949,2
25	172	25512,6	7539,81	8088,94
26	178	29210	5203,74	3071,03
27	183	29364,6	7913,34	3246,7
28	190	7313,14	1360,49	0
29	202	33719,9	7884,75	3544,6
30	203	44754,2	15570,1	6745,71
31	220	14878,7	14878,7	14878,7
32	221	28978,6	19245,6	12384
33	228	24177,7	11922,5	4933,12
34	237	17497,5	6071,54	3103,67
35	248	23154,2	15670,7	10717
36	256	0	0	0
37	260	13929,7	6596,56	5062,16
38	272	15005,5	15005,5	15005,5
39	276	15472,4	15450,7	15019
40	277	9959,73	9486,97	9539,6
41	280	18236,7	6693,29	2330,68
42	282	21038,7	9300,49	5104,04
43	288	24221,3	5671,58	2177,28
44	295	5830,69	5830,69	5830,69
45	297	25371,1	5133,17	4174,59
46	298	28887,5	5708,44	2190,5
47	300	19215,3	3690,25	2905,62
48	303	2551,67	3646,29	2551,67
49	312	12672,6	4260,75	1912,39
50	322	24324,6	15487,2	10869,4
51	326	16455,5	7527,92	5457,19
52	327	32020,6	9024,34	5434,7
53	328	28339,7	6202,14	2467,47
54	329	24520,5	3327,97	3415,7
55	330	21101,3	4551,98	4871,03
56	331	14920,8	9553,31	7931,31

Continua

Tabela A.21 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A9. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
57	341	17162,9	6482,98	4220,19
58	342	26145,7	7609,72	5789,48
59	352	18796,7	11739,9	5007,25
60	358	22738,2	12650,1	13246,3
61	362	38018,4	21424,7	9531,62
62	364	27073	7751,79	2609,33
63	366	18625,4	6409,17	3996,6
64	368	52196,5	25535,4	15153,5
65	373	24209,3	9957,33	3699,7
66	376	26034,5	4286,61	2230,99
67	381	5039,3	462,42	0
68	402	710,05	710,05	710,05
69	405	8002,57	8002,57	0
70	407	2097,87	2300,02	1333,08
71	410	3223,42	3223,42	0
72	411	4994,53	4994,53	0
73	425	0	0	0
74	431	6270,45	6270,45	6270,45
75	433	0	0	0
76	435	329,22	329,22	329,22
77	438	2953,75	2953,75	912,95
78	439	5120,16	5404,6	1926,5
79	447	2898,62	725,03	0
80	448	910,94	910,94	910,94
81	450	1641,39	1641,39	1641,39
82	452	237,37	237,37	237,37
83	457	3400,06	0	0
84	460	229,28	229,28	0
85	465	614,6	614,6	0
86	468	3055,46	3055,46	3055,46
87	473	1074,48	1074,48	1074,48
88	475	1707,05	1707,05	1707,05
89	478	3400,82	3400,82	3400,82
90	482	827,39	827,39	827,39
91	484	288,87	288,87	0
92	488	897,53	897,53	897,53
93	493	617,91	617,91	0
94	496	2020,8	2020,8	2020,8
95	497	345,51	345,51	345,51
96	501	1255,64	1255,64	1255,64
97	506	0	0	0
98	509	956,05	956,05	956,05

Continua

Tabela A.21 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A9. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
99	512	0	0	0
100	513	0	0	0
101	517	1544,85	1544,85	1544,85
102	523	237,6	237,6	237,6
103	525	769,27	769,27	769,27
104	528	585,42	585,42	585,42
105	529	5213,53	5213,53	5213,53
106	532	1448,43	1448,43	1448,43
107	535	1044,75	1044,75	1044,75
108	538	0	0	0
109	550	0	0	0
110	554	857,92	857,92	857,92
111	557	258,6	258,6	258,6
112	559	312,89	312,89	312,89
113	561	1557	1557	1557
114	563	1626,45	1626,45	1626,45
115	564	1180,43	1180,43	1180,43
116	566	1433,95	2598,76	2598,76
117	578	2055,23	2055,23	0
118	581	10347,3	10347,3	5976,14
119	583	1616,77	1616,77	317,95
120	584	0	0	0
121	585	0	0	0
122	587	2444,11	2444,11	2444,11
123	588	2163,64	2163,64	2163,64
124	591	8261,95	6948,78	1851,85
125	600	18956,4	19785,5	6303,42
126	602	0	0	0
127	604	1805,17	1805,17	1805,17
128	605	13657,7	9251,61	1003,47
129	607	2940,56	2940,56	2325,7
130	614	1682,11	1682,11	1682,11
131	616	4178,95	4178,95	4178,95
132	651	1066,63	1066,63	1066,63
133	652	416,34	416,34	416,34
134	655	200,01	200,01	200,01
135	665	0	0	0
136	669	1714,82	1714,82	1714,82
137	670	1207,6	1207,6	1207,6
138	671	1910,32	1910,32	1910,32
139	677	411,94	411,94	411,94
140	679	2283,94	2283,94	2283,94

Continua

Tabela A.21 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A9. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
141	681	2229,45	2229,45	2229,45
142	683	234,84	234,84	234,84
143	768	4133,92	4133,92	4133,92
144	773	2219,25	2219,25	2219,25
145	775	0	0	0
146	779	9116,82	9116,82	9116,82
147	781	1380,01	1380,01	0
148	784	848	848	848
149	788	3699,85	3699,85	3699,85
150	789	1667,29	1667,29	1667,29
151	792	2592,03	2592,03	0
152	795	0	0	0
153	798	1019,22	1019,22	1019,22
154	803	956,97	956,97	956,97
155	810	709,08	709,08	709,08
156	814	2808,24	2808,24	1664,51
157	817	1702,38	1702,38	1702,38
158	819	2405,57	2405,57	2405,57
159	823	826,46	826,46	826,46
160	824	2820,57	1859,73	2820,57
161	827	0	0	0
162	828	572,51	572,51	572,51
163	830	888,18	888,18	888,18
164	832	5249,12	0	0
165	834	1242,2	1242,2	1242,2
166	838	772,42	772,42	772,42
167	841	667,28	667,28	667,28
168	844	3323,74	3323,74	3323,74
169	846	6267,05	6267,05	6267,05
170	848	1179,79	1179,79	1179,79
171	850	3308,54	3308,54	3308,54
172	852	3452,62	3452,62	3452,62
173	854	0	0	0
174	858	701,17	701,17	701,17
175	860	470,49	470,49	470,49
176	863	1351,23	1351,23	1351,23
177	866	302,23	302,23	302,23
178	869	0	0	0
179	872	920,91	920,91	920,91
180	874	1040,36	1040,36	1040,36
181	877	1838,09	1838,09	1838,09
182	882	1969,88	1969,88	1969,88

Continua

Tabela A.21 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A9. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
183	885	454,42	454,42	454,42
184	898	2243,29	2243,29	2243,29
185	899	1848,02	1848,02	1848,02
186	902	641,69	641,69	641,69
187	904	278,77	278,77	278,77
188	912	1481,55	1481,55	1481,55
189	914	375,56	375,56	375,56
190	918	1286,59	1286,59	1286,59
191	920	3256,19	3256,19	3256,19
192	923	6754,43	6754,43	6754,43
193	924	2952,05	1586,75	1341,76
194	929	1941,29	1941,29	1941,29
195	933	3848,41	3848,41	3848,41
196	937	1920,91	1920,91	1920,91
197	938	639,71	639,71	639,71
198	940	3609,49	3609,49	3609,49
199	943	0	0	0
200	950	1669,61	1669,61	1669,61
201	978	4899,42	4899,42	4899,42
202	1012	468,36	468,36	468,36
203	1014	3598,6	3598,6	1683,27
204	1018	2645,85	2645,85	2645,85
205	1019	2484,96	1926,02	910,04
206	1023	5484,32	3790,59	2978,14
207	1024	671,55	1101,92	430,37
208	1025	2615,85	1692,14	1108,28
209	1026	6243,15	7457,82	3486,08
210	1032	1135,07	1135,07	1135,07
211	1036	803,14	803,14	803,14
212	1038	839,45	839,45	839,45
213	1042	938,07	938,07	938,07
214	1045	1055,26	1055,26	1055,26
215	1051	692,63	692,63	692,63
216	1053	2627,14	2627,14	2627,14
217	1057	638,14	400,86	194,14
218	1059	1854,88	1854,88	1854,88
219	1061	1701,6	1701,6	1701,6
220	1063	1594,23	1759,96	1759,96
221	1065	1787,58	3837,42	3837,42
222	1066	3174,12	3174,12	0
223	1068	3406,52	2879,92	2879,92
224	1071	1423,27	1423,27	1423,27

Continua

Tabela A.21 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A9. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
225	1073	784,37	784,37	784,37
226	1076	3515,4	1736,04	0
227	1079	1052,64	1052,64	1052,64
228	1084	1888,35	1888,35	1888,35
229	1085	2054,32	2054,32	2054,32
230	1090	0	0	0
231	1092	907,25	907,25	0
232	1097	516,9	516,9	516,9
233	1100	10886,8	10886,8	8961,9
234	1108	2096,59	2096,59	2096,59
235	1109	2963,39	2963,39	2963,39
236	1112	1117,84	1117,84	1117,84
237	1115	2259,28	2259,28	2259,28
238	1121	1303,45	1303,45	1303,45
239	1123	2181,24	2181,24	2181,24
240	1125	1091,88	1091,88	1091,88
241	1128	1088,4	1088,4	1088,4
242	1132	1114,17	1114,17	1114,17
243	1134	1147,36	1147,36	1147,36
244	1140	4687,91	4687,91	4687,91
245	1142	329,29	329,29	0
246	1144	3184,28	3184,28	3184,28
247	1146	196,44	196,44	0
248	1147	5130,78	3010,43	3010,43
249	1149	1040,4	1040,4	0
250	1150	289,23	289,23	289,23
251	1151	0	0	0
252	1156	672,17	672,17	672,17
253	1161	332,79	332,79	332,79
254	1165	299,85	299,85	299,85
255	1170	0	0	0
256	1172	1975,89	1975,89	1975,89
257	1175	1013,04	1013,04	1013,04
258	1178	1217,75	1217,75	1217,75
259	1180	335,11	335,11	335,11
260	1185	1125,6	1125,6	1125,6
261	1186	0	0	0
262	1188	3587,46	3587,46	3587,46
263	1191	2792,9	2792,9	1645,92
264	1194	0	1040,4	1040,4
265	1196	1772,87	1772,87	1772,87
266	1198	1560,53	1560,53	0

Continua

Tabela A.21 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A9. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
267	1200	3060,18	3060,18	3060,18
268	1202	3156,88	3156,88	3156,88
269	1204	5509,64	5509,64	5509,64
270	1207	1799,03	1799,03	1799,03
271	1214	181,36	181,36	181,36
272	1253	1102,54	1102,54	0
273	1259	7205,38	4887,71	2059,68
274	1265	4494,5	3816,02	1879,52
275	1267	3262,76	1628,02	1908,31
276	1268	5540,92	7474,13	4277,95
277	1283	1531,93	1675,28	479,76
278	1284	0	0	0
279	1287	1263,07	2083,79	912,95
280	1289	3425,98	5898,79	1524,27
281	1299	5736,81	3774,87	2460,09
282	1306	0	0	0
283	1312	2221,44	2221,44	2221,44
284	1313	1359,83	1359,83	330,06
285	1315	1149,65	1149,65	0
286	1328	12495,5	8770,47	3826,16
287	1339	285,24	285,24	0
288	1353	25558	8103,35	4474,61
289	1357	4689,83	3059,67	1519,72
290	1376	22609,6	6638,7	2106,95
291	1388	9821,31	5452,27	2313
292	1442	36151,9	8827,97	8646,88
293	1476	4878,99	4878,99	4878,99
294	1478	7220,23	948,26	0
295	1516	20762,9	3518,29	1843,29
296	1526	18034,2	7413,5	5970,92
297	1533	29035,2	2971,3	4511,4
298	1553	13245,1	7882,54	7354,13
299	1572	25404,1	6789,71	4036,81
300	1575	2357,87	2357,87	1693,56
301	1579	23418,1	8267,24	2784,22
302	1586	1203,37	1203,37	1203,37
303	1626	33254,3	10782,7	8374,05
304	1632	22154,4	6584,02	926,73
305	1638	19644,1	7862,9	5587,49
306	1650	8236,56	6973,47	2424,56
307	1662	2641,6	693,37	206,31
308	1666	23571,3	6052,15	2936,8

Continua

Tabela A.21 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A9. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
309	1667	29593,9	8647,77	4106,22
310	1683	37632,2	10342,5	4429,88
311	1685	36133,2	13005,2	8159,91
312	1687	21219,8	9052,76	2172,25
313	1707	23248,7	9889,37	9034,6
314	1711	26011,8	7789,57	4718,43
315	1715	24787,9	8202,5	2741,71
316	1737	4281,07	4281,07	4281,07
317	1743	629,79	629,79	629,79
318	1745	0	0	0
319	1777	18124,4	4235,65	2626,4
320	1786	5345,05	5345,05	5345,05
321	1788	13949,9	6890,14	5764,96
322	1791	15974,2	11974,4	7404,95
323	1799	6956,25	4556,64	4556,64
324	1811	0	0	0
325	1833	0	0	0
326	1838	3067,43	557,53	138,86
327	1851	27511,8	8344,39	3652,73
328	1868	0	0	0
329	1948	873,54	873,54	873,54
330	2057	8926,96	8926,96	2544,15
331	2062	1478,33	0	0
332	2069	12169,8	8361,52	8058,54
333	2071	12068,6	5568,6	7128,2
334	2078	13039,9	7664,64	7038,2
335	2103	0	0	0
336	2177	4705,14	5234,05	2543,26
337	2199	0	993,56	993,56
338	2265	4586,39	4586,39	4586,39
339	2270	510,57	510,57	0
340	2274	0	0	0
341	2276	325,43	325,43	0
342	2286	1392,22	1392,22	0
343	2293	230,79	230,79	0
344	2299	1145,38	1145,38	0
345	2304	234,99	234,99	0
346	2308	1176,55	1176,55	0
347	2311	0	0	0
348	2340	1936,13	1936,13	0
349	2342	376,73	376,73	0
350	2346	1627,39	1627,39	0

Continua

Tabela A.21 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A9. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
351	2354	781,61	781,61	0
352	2357	234,99	234,99	0
353	2360	1073,75	1073,75	0
354	2366	1115,25	1115,25	1115,25
355	2380	2766,67	2766,67	2766,67
356	2384	0	0	0
357	2498	0	0	0
358	3148	1005,07	1005,07	1005,07
359	3155	463,77	463,77	0
360	3158	2195,7	2195,7	0
361	3164	864,27	864,27	0
362	3421	25,17	25,17	0

Tabela A.22 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A10.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	4	48851,2	9920,84	3852,89
2	10	0	0	0
3	16	6793,26	6793,26	6793,26
4	18	5841,7	3972,48	3972,48
5	19	4781,23	2516,56	2516,56
6	20	0	0	0
7	24	20593,3	7341,75	6255,09
8	25	16620,9	6680,25	6480,49
9	33	18849,1	5390,24	2821,87
10	34	2659,12	2659,12	2659,12
11	39	15582,4	15582,4	15582,4
12	41	411,94	411,94	411,94
13	54	19877,9	23611,1	15600,4
14	55	3101,23	3101,23	3101,23
15	56	5031,13	5031,13	5031,13
16	58	4748,69	4748,69	4748,69
17	61	0	0	0
18	66	0	0	0
19	74	0	0	0
20	88	5706,05	5706,05	5706,05
21	89	2280,32	2280,32	2280,32
22	90	0	0	0
23	91	298,65	298,65	298,65
24	95	0	0	0
25	100	0	0	0

Continua

Tabela A.22 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A10. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
26	108	0	0	0
27	117	0	0	0
28	131	1765,15	1765,15	1765,15
29	136	8312,6	8312,6	8312,6
30	142	411,94	411,94	411,94
31	149	2246,2	2246,2	2246,2
32	154	0	0	0
33	156	6815,43	6815,43	6815,43
34	158	8584,28	8584,28	8584,28
35	166	0	0	0
36	168	0	0	0
37	170	0	0	0
38	172	16366	13992,8	6370,29
39	204	8178,33	8178,33	8178,33
40	209	0	0	0
41	210	31118,7	7926,69	2327,09
42	214	32660,4	11670,8	3329,33
43	216	42035,6	13351,3	9443,67
44	237	45343,7	11225	3403,51
45	286	30809,9	13254,5	7281,4
46	316	30673,9	7853,79	4714,54
47	318	30000,9	16013,6	4439,03
48	320	25151,2	11482	5786,01
49	341	13539,4	3310,97	1887,37
50	343	29907	9977,84	5833,8
51	345	10518	7955,2	8567,64
52	347	24462	11444,5	7910,95
53	354	22284,8	8419,79	3534,54
54	384	35122,3	4486,65	2472,32
55	386	13383,7	5094,4	2962
56	388	28064,1	5064,03	4463,5
57	392	11765,3	11765,3	11765,3
58	394	20843,7	5753,78	2576,19
59	402	23377,4	6821,03	2480,8
60	404	33755,4	7529,82	4456,35
61	406	13773,2	3346,03	1300,95
62	408	25879,1	5378,17	2937,85
63	483	0	0	0
64	492	29469,7	5465,19	2534,67
65	494	2287,56	2287,56	2287,56
66	563	0	0	0
67	577	0	0	0
				<i>Continua</i>

Tabela A.22 - Demanda máxima por transformador do alimentador P4-A10. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
68	595	0	0	0
69	596	0	0	0
70	604	0	0	0
71	610	2663,33	2663,33	2663,33
72	630	0	0	0
73	678	0	0	0
74	685	0	0	0

Tabela A.23 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A1.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	4	140,32	140,32	140,32
2	5	8721,99	5245,7	4096,1
3	7	33250,4	31658	25973,9
4	8	21270,6	12279,8	4920,09
5	11	7629,2	7629,2	7629,2
6	12	21045,9	13812,6	6673,19
7	13	17705,3	13441	6640,97
8	14	15445,9	11485,1	3336,86
9	15	15503,4	3148,66	2146,76
10	16	28062,7	17275,3	7532,27
11	17	24311,2	12555,9	9295,73
12	19	38990,2	13420,4	5665,9
13	20	13713,1	2802,99	1091,89
14	22	47180,5	24324,5	8145,04
15	23	38924,8	20786,7	6706,27
16	24	5356,67	5356,67	5356,67
17	25	20709,1	23584,3	15034,6
18	26	14725,9	12834,9	4473,45
19	27	28003,7	7895,61	5917,39
20	28	44768,4	5345,38	6283,77
21	29	9673,85	9673,85	9319,56
22	30	22482,4	15701,9	2915,21
23	31	31813,5	22818,4	9067,18
24	34	29007,6	22359,5	7793,02
25	35	19196,3	4589,52	4210,21
26	36	22592,8	5873,66	1059,71
27	41	37146,9	23520,9	12064,9
28	42	37382,9	9798,4	3383,91
29	43	22119,6	5372,79	2552,63
30	44	35457,1	7358,74	3913,07

Continua

Tabela A.23 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A1. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
31	46	26518,3	11330,6	3195,72
32	47	29230,8	2368,88	3004,44
33	48	21718,8	8410,75	6128,36
34	50	31863,1	9323,99	8319,05
35	51	14547,3	7811,65	1829,46
36	52	29368,5	9821,08	7675,82
37	53	17967,2	10943,9	4767,28
38	55	28019,3	11238,1	4480,51
39	57	36193,3	13186,4	5523,07
40	59	20738,7	12891,7	6048,54
41	60	8265,93	8075,54	640,89
42	63	26008,6	15112,9	7008,4
43	64	13572,5	11840,3	6244,98
44	65	9202,62	9258,25	2616,97
45	66	9857,55	6148,38	1539,61
46	67	18313,4	9262,68	6641,13
47	68	0	0	0
48	70	0	0	0
49	72	11373,2	8169,19	4333,71
50	74	0	0	0
51	148	12849,7	12849,7	12849,7
52	152	977,34	977,34	0
53	155	3354,76	3354,76	3354,76
54	157	2971,71	2971,71	0
55	163	1460,16	1460,16	1460,16
56	164	12901,1	12463,5	4235,59
57	169	0	0	0
58	175	0	0	0
59	179	22385,2	10933,6	4306,35
60	180	0	0	0
61	181	20706,1	5862,65	2438,58
62	184	21304,7	18349,9	6462,11
63	186	30313,9	17071,2	8211,14
64	187	18740	13567,6	4419,38
65	190	27636,8	18458,6	5454,38
66	191	31736,2	25828,6	5554,84
67	194	12171,8	6421,77	6441,09
68	198	15516,9	7150,66	3064,11
69	200	13835,9	8828,92	1806,69
70	203	29092,1	4048,68	1872,59
71	210	3706,93	3706,93	3706,93
72	221	21589,7	22838,1	8164,94

Continua

Tabela A.23 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A1. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
73	224	7258,96	7258,96	7258,96
74	226	26457,4	23858,7	21219,6
75	233	3894,23	3894,23	3894,23
76	255	7829,43	5823,06	3171,68
77	273	14197,6	4155,13	3637,44
78	275	37573,6	18827,3	11676,5
79	290	34774,3	18719,6	10793,4
80	292	17600,6	4554,65	3036,01
81	298	29815,9	6857,43	4899,31
82	300	19554,9	3781,28	3578,3
83	302	29518,4	9146,07	2786,82
84	333	30387	10899	5262,12
85	343	16345,1	4432,98	1864,15
86	351	0	0	0
87	352	0	0	0
88	373	1176,17	1176,17	1176,17
89	375	0	0	0
90	383	30882,2	12113,5	11212,3
91	391	21747	5463,25	3631,66
92	393	22264,3	16465,6	15254,9
93	432	32461,7	11029,7	11080,8
94	439	0	0	0
95	474	25923,2	10360,7	3148,6
96	481	11076,1	5207,78	2935,61
97	491	11924,5	12536,1	4903,02
98	493	20328,3	18412,4	5002,86
99	526	18288,1	15172,9	8737,34
100	528	19416	16477,7	10736
101	530	20594,1	3999,6	1725,6
102	532	24608,2	1900,18	2489,28
103	534	28230,2	9602,49	4518,72
104	536	25845,8	9204,67	5592,37
105	575	17155,9	19438,5	8450,22
106	582	23280,4	14069,4	4267,34
107	606	466,22	466,22	466,22
108	753	18844	18891,6	14752,5
109	876	0	0	0
110	1096	599,65	599,65	0
111	1098	4871,77	4871,77	4871,77
112	1100	3817,16	3817,16	3817,16
113	1111	2925,96	2925,96	2925,96
114	1166	0	0	0
115	1186	13248,2	11071,6	10981,5

Tabela A.24 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A2.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	3	24374,6	10216,4	4937,9
2	7	19132,9	12500	6387,74
3	16	0	0	0
4	22	1678,06	1678,06	0
5	24	1899,81	1899,81	0
6	29	3193,28	2404,52	479,51
7	30	20975,9	12030	3782,54
8	31	17899,4	8771,29	6823,68
9	34	23397,6	14464,5	7079,07
10	36	21493,6	11714,7	3930,62
11	39	0	0	0
12	48	240,96	240,96	0
13	51	0	0	0
14	55	0	0	0
15	59	11417,1	7451,17	2710,4
16	62	12486,6	12486,6	12486,6
17	67	738,89	738,89	738,89
18	69	9109,17	4520,71	1531,85
19	71	23483,1	12708,2	6362,55
20	78	2015,57	2015,57	2015,57
21	83	1165,07	1165,07	1165,07
22	87	1417,31	1752,18	334,87
23	90	3990,06	4182,73	2009,86
24	233	325,43	325,43	0
25	236	234,99	234,99	0
26	244	1125,6	1125,6	1125,6
27	252	471,1	471,1	0
28	257	0	0	0
29	309	354,16	354,16	0

Tabela A.25 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A3.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	4	0	0	0
2	6	4585	3069,07	1443,54
3	8	9815,43	9815,43	9815,43
4	9	3658,89	3658,89	2627,59
5	16	5046,64	5046,64	5046,64
6	19	749,34	749,34	749,34
7	22	0	0	0
8	25	0	0	0

Continua

Tabela A.25 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A3. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
9	28	2086,73	2086,73	2086,73
10	32	13258	13258	13258
11	34	0	0	0
12	38	1493,62	1493,62	1493,62
13	42	4549,73	4549,73	4549,73
14	46	0	0	0
15	47	0	0	0
16	50	752,13	752,13	752,13
17	52	0	0	0
18	54	0	0	0
19	56	0	0	0
20	65	8780,26	8780,26	4343,82
21	66	4142,69	4142,69	4142,69
22	68	14001,8	13984,8	14540,7
23	79	1837,12	1837,12	1837,12
24	83	1889,86	1889,86	1889,86
25	87	1689,91	1689,91	1689,91
26	91	252,35	252,35	252,35
27	92	1830,2	1830,2	1830,2
28	93	8855,43	8855,43	8855,43
29	105	3615,78	2868,77	2118,51
30	114	9464,58	6715,96	2791,68
31	125	7926,36	13420,4	11389,3
32	133	0	0	0
33	144	0	0	0
34	165	3232,26	3232,26	3232,26
35	179	4416,09	2025,59	796,16
36	191	9807,17	9756,73	4989,1
37	286	234,17	234,17	234,17
38	309	904,02	904,02	0
39	315	1122,58	1122,58	0
40	319	3334,83	1653,73	538,59
41	323	5570,1	6599,06	5599,6
42	333	6758,92	10543,4	5879,97
43	344	0	0	0
44	378	0	0	0
45	392	0	0	0
46	417	0	0	0
47	421	0	0	0
48	462	0	0	0
49	496	354,16	354,16	0

Tabela A.26 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A4.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	4	8170,14	8170,14	8170,14
2	5	12351,8	12351,8	12351,8
3	6	18455,2	18455,2	18455,2
4	11	28061,7	8193,48	1713,55
5	12	42919,1	8279,11	5475,21
6	13	21968,8	21968,8	21968,8
7	14	5462,32	5462,32	5462,32
8	15	8731,59	8731,59	8731,59
9	16	37938,5	22141,1	18461,4
10	17	42076,6	7094,65	3834,44
11	18	24400,3	4605,82	1938,64
12	19	31249	4401,88	1425,39
13	20	7926,29	7926,29	7926,29
14	21	17614,7	17614,7	13821,6
15	22	27350,2	14079,8	4637,35
16	23	27429,1	15009,5	8865,92
17	25	20156,9	9862,68	5223,75
18	26	16092	7879,93	2224,5
19	27	21872,1	4309,21	2777,53
20	28	34997,8	18078,2	10430
21	29	1430,59	1430,59	1430,59
22	30	15845,5	15845,5	15845,5
23	33	29728,3	7875,37	1118,65
24	37	39210,9	30074,8	15917,4
25	39	28122,5	7425,03	1573,21
26	40	20497,1	14851,9	9777,31
27	41	0	0	0
28	42	25262,3	4280,81	2159,78
29	43	14646,3	18180,1	17388,5
30	44	16034,1	13774,9	6045,3
31	45	12453,9	14701,3	5717,88
32	57	30304,8	5936,78	1473,75
33	59	5576,66	5576,66	5576,66
34	117	47166	13577,4	4462,45
35	118	41933,1	11616,8	2111,29
36	119	40153,5	9998,25	3855,65
37	122	36702,5	5911,57	4243,27
38	123	58467,6	11876,2	4737,23
39	124	32347,4	5832,58	2222,31
40	125	41254,7	7351	1707
41	126	17754,2	3449,13	1436,88
42	127	31030,1	6260,38	2058,51

Continua

Tabela A.26 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A4. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
43	128	12843,5	12843,5	12843,5
44	130	32820,2	5981,65	3104,42
45	131	19677,9	10077,9	8358,61
46	138	23632,9	7435,52	3023,33
47	143	15327,8	13551	11164
48	147	41918,3	11025,7	8223,86
49	149	18301	5661,15	1951,93
50	150	29111,9	8362,21	7178,17
51	151	21530,2	19127,6	17513,6
52	152	27420	5300,74	1657,55
53	158	871,04	871,04	871,04
54	161	692,84	692,84	400,88
55	163	476,49	650,52	650,52
56	168	1434,29	2769,98	2769,98
57	173	1041,86	1041,86	0
58	175	3438,86	3470,61	2030,73
59	176	469,5	469,5	469,5
60	178	4520,36	4520,36	0
61	188	14268,4	16195,1	5364,47
62	191	859,76	859,76	859,76
63	194	968,32	968,32	968,32
64	196	1412,69	1412,69	1412,69
65	198	656,48	656,48	656,48
66	205	2569,9	2569,9	0
67	213	0	0	0
68	217	1460,57	1460,57	1460,57
69	220	354,16	354,16	0
70	225	3317,71	3317,71	1020,02
71	227	0	0	0
72	228	2312,21	2312,21	2312,21
73	230	940,77	940,77	940,77
74	233	2260,39	2260,39	0
75	235	0	0	0
76	242	1207,52	0	1207,52
77	245	1160,99	1160,99	0
78	246	2020,67	2020,67	0
79	248	4130,81	4130,81	0
80	249	4354,24	4354,24	0
81	251	3068,03	3068,03	2012,5
82	253	4291,62	4291,62	4291,62
83	255	0	0	0
84	256	976,94	976,94	976,94

Continua

Tabela A.26 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A4. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
85	283	361,54	361,54	361,54
86	288	1988,45	1988,45	0
87	292	1123,18	1123,18	1123,18
88	294	1096,35	1096,35	1096,35
89	296	1844,96	1844,96	1844,96
90	301	9205,94	9205,94	9205,94
91	304	0	0	0
92	310	8709,16	8709,16	8709,16
93	311	751,55	751,55	751,55
94	313	646,32	646,32	646,32
95	318	454,62	454,62	454,62
96	321	2826,82	2826,82	0
97	324	3516,63	3600,84	84,21
98	325	845	845	845
99	326	736,59	736,59	736,59
100	328	4836,42	4836,42	0
101	333	2262,11	2262,11	0
102	341	3661,73	3661,73	4607,7
103	343	572,84	572,84	0
104	349	2021,46	1764,45	1646,79
105	356	2333,31	4405,43	2458,44
106	357	3580,57	3332,07	3580,57
107	362	1677,84	1677,84	1597,4
108	363	3620,37	4161,92	4161,92
109	366	3122,39	3913,73	2124,08
110	369	354,16	354,16	0
111	384	9428,08	9428,08	9428,08
112	389	20986,7	2663,01	614,69
113	396	7013,03	7013,03	7013,03
114	398	3582,27	3582,27	3582,27
115	408	9145,69	9145,69	9145,69
116	412	8647,56	8647,56	8647,56
117	420	1440,27	2488,61	1240,69
118	423	0	0	0
119	424	0	0	0
120	427	15561,7	15561,7	15561,7
121	429	0	0	0
122	436	5476,46	4628,32	1612,95
123	438	54153,5	16223,4	10266,1
124	440	25503,7	3681,64	1145,22
125	442	25607	5640,44	2755,76
126	453	15358,7	4789,22	3829,58

Continua

Tabela A.26 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A4. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
129	482	0	0	0
130	489	25021,3	23912,5	20305,3
131	491	47105,6	12066,3	6645,55
132	493	40094,4	11291,1	4382,9
133	495	30563,5	25368	22138,5
134	573	21742,4	4760,6	2514,99
135	604	59304,7	19175,7	12001,1
136	606	42450,1	14337,7	8814,27
137	609	11415,6	11415,6	11415,6
138	619	3968,39	4791,55	4360,21
139	628	9288,47	10324,2	7228,49
140	630	5235,12	5547,38	2317,13
141	632	5944,49	5501,36	3404,02
142	645	4618,71	5949,69	2279,21
143	647	6135,54	2398,16	1372,45
144	649	6692,68	5367,7	1980,4
145	651	6772,78	2507,27	1716,15
146	653	4170,84	3972,64	2596,9
147	655	6223,69	5900,21	3388,54
148	657	6128,75	6426,5	3417,99
149	659	7366,65	6682,72	4899,79
150	762	4500,36	5593,17	2238,19
151	764	5971,66	7832,57	4242,92
152	766	6044,19	3847,59	2481,93
153	938	0	0	0
154	1164	1919,05	1919,05	861,55
155	1167	0	1024,36	1024,36
156	1172	1598,63	1598,63	0
157	1176	1771,92	1771,92	0
158	1187	18731,4	8175,6	2525,12
159	1191	15269,3	9999,06	5854,4
160	1195	1213,13	1213,13	0
161	1198	4375,65	4375,65	0
162	1208	408,16	408,16	0
163	1215	0	0	0
164	1433	0	0	0
165	1443	0	0	0
166	1450	0	0	0

Tabela A.27 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A6.

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
1	5	0	0	0
2	6	0	0	0
3	7	12964,7	12964,7	1936,64
4	8	0	0	0
5	10	9766,54	9766,54	9062,28
6	14	40252,6	40252,6	38749,2
7	19	19821,2	19212,6	13781,3
8	20	12586	12586	6320,33
9	23	22189,2	13661,4	4202,66
10	24	10541,7	12908,4	5447,88
11	27	21606,7	18342,2	5636,73
12	28	34301,2	17600,7	8910,76
13	29	16644,3	8483,95	3392,63
14	31	19866,5	20662,8	4510,81
15	32	28751,2	17613,2	8306,74
16	37	1760,52	1760,52	1760,52
17	44	6243,86	6243,86	6243,86
18	45	4002,28	4002,28	0
19	49	9197,19	9197,19	9197,19
20	54	13183,3	13183,3	13183,3
21	61	2083,86	2083,86	1451,74
22	80	0	0	0
23	93	42669,8	1060,87	2207,48
24	100	25502,6	923,27	0
25	101	24377,5	1077,33	810,71
26	103	21588,1	894,9	0
27	106	347,81	347,81	347,81
28	108	6813,73	10740,8	9155,08
29	109	8867,87	13134,7	8848,37
30	112	15038,8	15083,5	11909,6
31	115	1967,63	1967,63	1967,63
32	118	3787,92	3787,92	1626,93
33	119	2038,69	2038,69	2038,69
34	121	1816,67	1816,67	1816,67
35	122	2133,49	2133,49	2133,49
36	124	353,55	353,55	353,55
37	128	11589,4	9179,81	5104,13
38	130	0	0	0
39	132	0	0	0
40	137	5612,75	5612,75	5612,75
41	142	15937,4	5644,61	2124,87
42	145	11216	11216	11216

Continua

Tabela A.27 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A6. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
43	149	9674,37	9674,37	9674,37
44	151	0	0	0
45	153	0	0	0
46	155	10991,2	12682,4	9370,13
47	157	9793,51	12101	7116,83
48	159	160,84	160,84	160,84
49	161	8287,8	8287,8	8287,8
50	163	1228,73	1228,73	1228,73
51	167	10399,2	11191,6	5134,78
52	169	8919,11	12999,4	6508,83
53	171	12001,3	11102,7	4821,49
54	173	7643,34	9488,07	5178,09
55	176	3387,35	4851,71	1464,36
56	178	6999,27	7644,28	1574,52
57	181	6163,25	6893,04	3880,93
58	183	10884,9	10884,9	10884,9
59	186	0	0	0
60	189	0	0	0
61	192	0	0	0
62	193	0	0	0
63	199	475,24	750,45	275,21
64	202	2825,33	2825,33	2825,33
65	203	10582,7	10582,7	10582,7
66	205	5208,21	5208,21	5208,21
67	208	10455,3	10455,3	10297,7
68	210	14123	15440,5	10574,4
69	211	0	0	0
70	212	2310,58	2310,58	2310,58
71	222	0	0	469,98
72	225	0	0	0
73	264	0	0	0
74	266	21689,6	22833,1	10906
75	268	13992,8	14061,5	14707,3
76	316	25099,8	25099,8	25099,8
77	320	0	0	0
78	322	21601,5	21601,5	20973,2
79	330	19326,5	19326,5	19326,5
80	332	23090,8	23090,8	22671,3
81	333	23539,9	23539,9	23539,9
82	334	18092,7	18092,7	18092,7
83	337	28530,2	28530,2	27230,3
84	339	20591,8	20591,8	19116,7

Continua

Tabela A.27 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A6. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
85	357	10146,5	11081,1	4374,94
86	359	19369,3	20117,9	17483
87	361	0	0	0
88	363	3817,16	3817,16	3817,16
89	366	5970,96	7768,58	7768,58
90	368	27424,3	25303,5	9905,39
91	370	17365,2	15133,6	11334,5
92	386	4081,15	4081,15	4081,15
93	400	351,26	351,26	351,26
94	441	31894,2	33217,8	21717,2
95	454	7845,59	7845,59	7845,59
96	457	24783,6	24614,3	10186,9
97	462	33950,8	31471,4	19642,6
98	464	2688,14	2688,14	2413,81
99	466	18799,7	18799,7	18799,7
100	477	33848,9	23494,9	18033,2
101	479	16910,5	16910,5	14828,7
102	481	23614,8	23614,8	11743
103	483	0	0	0
104	497	8160,94	8160,94	7077,72
105	499	14123,8	14123,8	14123,8
106	508	21164,7	12773,8	7830,11
107	518	24526,8	13679,6	9493,81
108	520	18625,1	18890	4848,89
109	550	17950,2	14968,9	1355,8
110	552	26606,5	11243	3031,92
111	554	24489,8	15738,9	3829,96
112	576	8122,13	8122,13	8122,13
113	583	23227,8	15036,7	7197,84
114	585	16619,9	16021	6804,45
115	606	6114,61	6871,52	6871,52
116	608	0	0	0
117	632	18604,2	11176	11172,4
118	633	11909,5	12555,3	2593,31
119	634	13908,7	15296,7	4861,13
120	641	0	0	0
121	654	16845,4	16845,4	16845,4
122	673	1397,03	1397,03	1397,03
123	678	4784,61	5758,16	5758,16
124	716	4751,92	5491,79	739,87
125	721	2844,46	3138,64	294,18
126	732	0	0	0

Continua

Tabela A.27 - Demanda máxima por transformador do alimentador P5-A6. *Continuação*

Trafo	Bi_trafo	Pa[W]	Pb[W]	Pc[W]
127	751	0	701,92	701,92
128	768	0	0	0
129	769	6512,79	7219,66	2558,5
130	774	3200,58	3614,41	827,66
131	776	6949,83	7457,43	2311,86
132	778	6067,53	7383,47	5051,02
133	780	2396,31	3315,83	2637,92
134	784	0	0	0
135	796	3002,74	3002,74	3002,74
136	798	2356,81	2356,81	2356,81
137	804	411,94	411,94	411,94
138	825	0	0	0
139	912	2968,83	2968,83	2968,83
140	1078	2288,28	2288,28	2288,28
141	1116	0	0	0
142	1120	0	0	0
143	1122	0	0	0
144	1127	0	0	0
145	1130	0	0	0
146	1151	0	0	0
147	1164	411,94	411,94	411,94
148	1166	0	0	0
149	1184	12694,9	12694,9	12694,9
150	1224	3834,39	3834,39	3834,39
151	1239	9328,71	9328,71	9328,71
152	1255	0	0	0
153	1270	2325,86	2325,86	2325,86
154	1285	0	0	0
155	1295	0	0	0
156	1300	0	0	0
157	1304	0	0	0
158	1309	0	0	0
159	1312	0	0	0
160	1314	0	0	0
161	1317	0	0	0
162	1321	0	0	0

APÊNDICE B - DADOS REFERENTES AO TEMPO ENTRE FALHAS (TBF) DOS ALIMENTADORES DO SISTEMA TESTE

Tabela B.1 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P1-A1

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1º	0,3472	8º	0,1778	15º	0,1083	22º	0,1333
2º	0,0778	9º	0,9361	16º	0,0306	23º	0,1472
3º	0,55	10º	0,1	17º	0,0139	24º	0,0111
4º	0,1167	11º	0,2444	18º	0,0222	25º	0,0111
5º	0,0639	12º	0,0028	19º	0,0167	26º	0,0028
6º	0,0417	13º	0,5	20º	0,4944	27º	0,05
7º	0,0472	14º	0,0694	21º	0,0611	28º	0,5472

Tabela B.2 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P1-A2

Ordem	tbf(anos)	Ordem	tbf(anos)	Ordem	tbf(anos)	Ordem	tbf(anos)
1º	0,61096	23º	0,00548	45º	0,29589	67º	0,19178
2º	0,4411	24º	0,04384	46º	0,16986	68º	0,00274
3º	0,06027	25º	0,03288	47º	0,16438	69º	0,07397
4º	0,01644	26º	0,00548	48º	0,00274	70º	0,06575
5º	0,51233	27º	0,43562	49º	0,08219	71º	0,10959
6º	0,06301	28º	0,22192	50º	0,00274	72º	0,08493
7º	0,09863	29º	0,07397	51º	0,03288	73º	0,00548
8º	0,00822	30º	0,12603	52º	0,06575	74º	0,00822
9º	0,0274	31º	0,13425	53º	0,06575	75º	0,03836
10º	0,11781	32º	0,05753	54º	0,06849	76º	0,12877
11º	0,10959	33º	0,01096	55º	0,32603	77º	0,06575
12º	0,18356	34º	0,10959	56º	0,16438	78º	0,01644
13º	0,0274	35º	0,07397	57º	0,06849	79º	0,12055
14º	0,50411	36º	0,36986	58º	0,05753	80º	0,09041
15º	0,53151	37º	0,04384	59º	0,25205	81º	0,0274
16º	0,00274	38º	0,17534	60º	0,04384	82º	0,00548
17º	0,09315	39º	0,00274	61º	0,09041	83º	0,15342
18º	0,37808	40º	0,00274	62º	0,00822	84º	0,0137
19º	0,17808	41º	0,01644	63º	0,21644	85º	0,0137
20º	0,05479	42º	0,08493	64º	0,00822	86º	0,00548
21º	0,03836	43º	0,03562	65º	0,10685	87º	0,21644
22º	0,00274	44º	0,00274	66º	0,12329		

Tabela B.3 - P1a4 Tempo entre falhas (*tb_f*) em anos para o alimentador P1-A4

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,35616	23°	0,10959	45°	0,07123	67°	0,10959
2°	0,84932	24°	0,2411	46°	0,15616	68°	0,26027
3°	0,07671	25°	0,08493	47°	0,06849	69°	0,27397
4°	0,44932	26°	0,45753	48°	0,12055	70°	0,02192
5°	0,07397	27°	0,03836	49°	0,04384	71°	0,03014
6°	0,06027	28°	0,00548	50°	0,06575	72°	0,00274
7°	0,25205	29°	0,01644	51°	0,06575	73°	0,00822
8°	0,67123	30°	0,03288	52°	0,17808	74°	0,00274
9°	0,00548	31°	0,01918	53°	0,23562	75°	0,00274
10°	0,18082	32°	0,06027	54°	0,03562	76°	0,01096
11°	0,08219	33°	0,22192	55°	0,04658	77°	0,03562
12°	0,05205	34°	0,0274	56°	0,02192	78°	0,10959
13°	0,03014	35°	0,07671	57°	0,13425	79°	0,10137
14°	0,03014	36°	0,20548	58°	0,08493	80°	0,0137
15°	0,06301	37°	0,07671	59°	0,02466	81°	0,26301
16°	0,13151	38°	0,02192	60°	0,10137	82°	0,03562
17°	0,58082	39°	0,0137	61°	0,00548	83°	0,01918
18°	0,10411	40°	0,34795	62°	0,02192	84°	0,07397
19°	0,05479	41°	0,07671	63°	0,01644	85°	0,01644
20°	0,00548	42°	0,07671	64°	0,13425	86°	0,0274
21°	0,01644	43°	0,03562	65°	0,01644	87°	0,11507
22°	0,14795	44°	0,11233	66°	0,08219	88°	0,09863

Tabela B.4 - Tempo entre falhas (*tb_f*) em anos para o alimentador P1-A6.

Ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1º	0,44110	7º	0,87671	13º	0,00822	19º	0,82192
2º	1,42192	8º	0,66575	14º	0,10137	20º	0,17808
3º	1,04932	9º	0,27123	15º	0,84932	21º	0,37260
4º	0,96438	10º	0,41096	16º	0,01918		
5º	0,19178	11º	0,00822	17º	0,38082		
6º	0,04110	12º	0,49041	18º	0,17260		

Tabela B.5 - Tempo entre falhas (*tb_f*) em anos para o alimentador P1-A8.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1º	0,61096	14º	0,08219	27º	0,01918	40º	0,00822
2º	0,38356	15º	0,03288	28º	0,01370	41º	0,12329
3º	0,98904	16º	0,01096	29º	0,03014	42º	0,01096
5º	0,07397	18º	0,09041	31º	0,07397	44º	0,07945
6º	0,0137	19º	0,06027	32º	0,44658	45º	0,03288

Continua

Tabela B.5 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P1-A8. *Continuação*

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
7°	0,04658	20°	0,01644	33°	0,00822	46°	0,06575
8°	0,14521	21°	0,05753	34°	0,01918	47°	0,27945
9°	0,10137	22°	0,19178	35°	0,10137	48°	0,12877
10°	0,08767	23°	0,16712	36°	0,11233	49°	0,06575
11°	0,24658	24°	0,04932	37°	0,15068	50°	0,10137
12°	0,03562	25°	0,16986	38°	0,16164	51°	0,00822
13°	0,09315	26°	0,97534	39°	0,76712		

Tabela B.6 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P3-A1.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,44384	22°	0,08219	43°	0,07671	64°	0,02466
2°	0,43562	23°	0,06301	44°	0,58356	65°	0,45753
3°	0,01918	24°	0,03836	45°	0,16712	66°	0,09863
4°	0,09041	25°	0,15068	46°	0,01918	67°	0,05753
5°	0,00274	26°	0,15616	47°	0,06027	68°	0,06301
6°	0,20822	27°	0,05205	48°	0,05479	69°	0,07671
7°	0,60274	28°	0,00274	49°	0,00548	70°	0,08493
8°	0,15342	29°	0,05205	50°	0,01370	71°	0,01370
9°	0,37808	30°	0,01370	51°	0,08493	72°	0,18904
10°	0,33973	31°	0,03014	52°	0,17534	73°	0,04658
11°	0,35068	32°	0,11233	53°	0,13151	74°	0,09863
12°	0,07671	33°	0,01370	54°	0,03014	75°	0,00548
13°	0,12603	34°	0,17260	55°	0,35342	76°	0,06301
14°	0,04384	35°	0,00548	56°	0,19726	77°	0,01644
15°	0,14795	36°	0,10959	57°	0,00548	78°	0,00548
16°	0,18904	37°	0,13973	58°	0,08493	79°	0,05753
17°	0,12603	38°	0,00274	59°	0,08219	80°	0,07123
18°	0,09863	39°	0,01644	60°	0,10959	81°	0,00274
19°	0,14521	40°	0,06849	61°	0,01370	82°	0,08219
20°	0,07945	41°	0,13973	62°	0,01370	83°	0,15342
21°	0,05205	42°	0,26301	63°	0,19452	84°	0,03836

Tabela B.7 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P3-A3.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,13699	8°	0,02740	15°	0,08493	22°	0,09863
2°	0,12603	9°	0,15068	16°	0,63014	23°	0,11507
3°	0,20822	10°	0,00822	17°	0,10959	24°	0,00274
4°	0,61918	11°	0,44110	18°	1,66027	25°	0,22740
5°	0,49589	12°	0,05479	19°	0,30685	26°	0,18630
6°	0,13425	13°	0,11507	20°	0,15616		
7°	0,01918	14°	0,36986	21°	0,08219		

Tabela B.8 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P3-A4.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,16667	9°	0,07778	17°	0,42500	25°	0,95278
2°	0,22500	10°	0,02222	18°	0,23889	26°	0,47778
3°	0,13056	11°	0,15833	19°	0,68333	27°	1,04444
4°	0,01389	12°	0,06944	20°	0,28611	28°	0,25833
5°	0,06111	13°	0,06111	21°	0,53611	29°	0,65278
6°	0,21667	14°	0,02222	22°	0,33611		
7°	0,03056	15°	0,38333	23°	0,00833		
8°	0,12222	16°	0,01389	24°	0,26944		

Tabela B.9 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P3-A5.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	1,00000	29°	0,01644	57°	0,05479	85°	0,08493
2°	0,16164	30°	0,08219	58°	0,26027	86°	0,02466
3°	0,36986	31°	0,04110	59°	0,07945	87°	0,03014
4°	0,06575	32°	0,00274	60°	0,20548	88°	0,00822
5°	0,26849	33°	0,14247	61°	0,23014	89°	0,05753
6°	0,09315	34°	0,10137	62°	0,05753	90°	0,10959
7°	0,35890	35°	0,24384	63°	0,16712	91°	0,01096
8°	0,26849	36°	0,04110	64°	0,01096	92°	0,02466
9°	0,02740	37°	0,04658	65°	0,11507	93°	0,01644
10°	0,16438	38°	0,18904	66°	0,08219	94°	0,09315
11°	0,01644	39°	0,23836	67°	0,07123	95°	0,00274
12°	0,14521	40°	0,04932	68°	0,07123	96°	0,02466
13°	0,25479	41°	0,04658	69°	0,15616	97°	0,00274
14°	0,20000	42°	0,04110	70°	0,00274	98°	0,19178
15°	0,01370	43°	0,04932	71°	0,00822	99°	0,24658
16°	0,13151	44°	0,00274	72°	0,02466	100°	0,01096
17°	0,09041	45°	0,00548	73°	0,03562	101°	0,02740
18°	0,03562	46°	0,01370	74°	0,01918	102°	0,10685
19°	0,07123	47°	0,40274	75°	0,02740	103°	0,00274
20°	0,03562	48°	0,00274	76°	0,16164	104°	0,00274
21°	0,00548	49°	0,02192	77°	0,02740	105°	0,04110
22°	0,08767	50°	0,00548	78°	0,11233	106°	0,02740
23°	0,01644	51°	0,02466	79°	0,00274	107°	0,00822
24°	0,01918	52°	0,19726	80°	0,06575	108°	0,08767
25°	0,00822	53°	0,02466	81°	0,03288	109°	0,01096
26°	0,04384	54°	0,08219	82°	0,00548	110°	0,14247
27°	0,00822	55°	0,11507	83°	0,21644	111°	0,01370
28°	0,00822	56°	0,03014	84°	0,05205	112°	0,00274

Tabela B.10 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P3-A6

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,69589	23°	0,02192	45°	0,01918	67°	0,03288
2°	0,18356	24°	0,01644	46°	0,04110	68°	0,01096
3°	0,20274	25°	0,09041	47°	0,42466	69°	0,03836
4°	0,46575	26°	0,01918	48°	0,02192	70°	0,02192
5°	0,09041	27°	0,33151	49°	0,11233	71°	0,15068
6°	0,22466	28°	0,08767	50°	0,11781	72°	0,04658
7°	0,00274	29°	0,18630	51°	0,02466	73°	0,15890
8°	0,12877	30°	0,00822	52°	0,01096	74°	0,02466
9°	0,06849	31°	0,00822	53°	0,09315	75°	0,05205
10°	0,27397	32°	0,00274	54°	0,15616	76°	0,01370
11°	0,43836	33°	0,17534	55°	0,06575	77°	0,03014
12°	0,01644	34°	0,48767	56°	0,10411	78°	0,02466
13°	0,12877	35°	0,13425	57°	0,05479	79°	0,00274
14°	0,24384	36°	0,33151	58°	0,06027	80°	0,09589
15°	0,03562	37°	0,41644	59°	0,07397	81°	0,04932
16°	0,07397	38°	0,21644	60°	0,14795	82°	0,00274
17°	0,24110	39°	0,04384	61°	0,07397	83°	0,04384
18°	0,15068	40°	0,12877	62°	0,01370	84°	0,01096
19°	0,37260	41°	0,02740	63°	0,03836	85°	0,14247
20°	0,07123	42°	0,00548	64°	0,12329	86°	0,00274
21°	0,00274	43°	0,23836	65°	0,04110		
22°	0,01370	44°	0,02740	66°	0,07945		

Tabela B.11 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P3-A7.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	1,14795	20°	0,01096	39°	0,01096	58°	0,17534
2°	0,11507	21°	0,02192	40°	0,09863	59°	0,00274
3°	0,64110	22°	0,03288	41°	0,03562	60°	0,06301
4°	0,01644	23°	0,07945	42°	0,08219	61°	0,01370
5°	0,49863	24°	0,08219	43°	0,16986	62°	0,05205
6°	0,35890	25°	0,05479	44°	0,24658	63°	0,01096
7°	0,36986	26°	0,18630	45°	0,13151	64°	0,13425
8°	0,24932	27°	0,00274	46°	0,14795	65°	0,24110
9°	0,23288	28°	0,01918	47°	0,18904	66°	0,02740
10°	0,01370	29°	0,01096	48°	0,16164	67°	0,05753
11°	0,31781	30°	0,04384	49°	0,01918	68°	0,02192
12°	0,10411	31°	0,16712	50°	0,00274	69°	0,00548
13°	0,00548	32°	0,15616	51°	0,32877	70°	0,01918
14°	0,18356	33°	0,18082	52°	0,06027	71°	0,00822
15°	0,06027	34°	0,03562	53°	0,31233	72°	0,01918
16°	0,06849	35°	0,18082	54°	0,00548	73°	0,06575
17°	0,27945	36°	0,01918	55°	0,18630	74°	0,01644
18°	0,15890	37°	0,15890	56°	0,05205	75°	0,00274
19°	0,01096	38°	0,16986	57°	0,14521		

Tabela B.12 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P4-A2.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	1,06849	9°	0,02192	17°	0,06575	25°	0,44110
2°	0,18356	10°	0,56712	18°	0,19726	26°	0,15068
3°	0,75342	11°	0,26301	19°	0,11507	27°	0,05479
4°	0,39178	12°	0,01370	20°	0,34795	28°	0,17260
5°	2,47945	13°	0,37808	21°	0,06849	29°	0,06575
6°	0,24932	14°	0,07397	22°	0,21370		
7°	0,04110	15°	0,82192	23°	0,10685		
8°	0,11507	16°	0,52329	24°	0,01370		

Tabela B.13 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P4-A3.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	1,25205	9°	0,33151	17°	0,05479	25°	0,44110
2°	0,43836	10°	0,29863	18°	0,06027	26°	0,12603
3°	0,11233	11°	0,70959	19°	0,00822	27°	0,00274
4°	0,03014	12°	0,29589	20°	0,04384	28°	0,04110
5°	0,82192	13°	0,10959	21°	0,07397	29°	1,46849
6°	1,42192	14°	0,62192	22°	0,34247		
7°	0,07123	15°	0,22740	23°	0,12877		
8°	0,18630	16°	0,07945	24°	0,03288		

Tabela B.14 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P4-A4.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,89863	15°	0,26849	29°	0,02466	43°	0,01918
2°	0,16438	16°	0,03836	30°	0,09863	44°	0,01370
3°	0,20548	17°	0,17808	31°	0,11781	45°	0,09589
4°	0,93699	18°	0,03562	32°	0,63562	46°	0,11233
5°	0,30411	19°	0,06575	33°	0,24658	47°	0,04384
6°	0,55616	20°	0,10685	34°	0,21370	48°	0,09041
7°	0,07671	21°	0,14795	35°	0,00822	49°	0,08493
8°	0,25479	22°	0,72329	36°	0,04932	50°	0,09315
9°	0,00822	23°	0,02192	37°	0,01918	51°	0,07945
10°	0,12329	24°	0,03014	38°	0,00548	52°	0,36438
11°	0,31233	25°	0,05479	39°	0,01644	53°	0,14247
12°	0,21096	26°	0,19452	40°	0,22466		
13°	0,04384	27°	0,47945	41°	0,04110		
14°	0,26027	28°	0,22740	42°	0,06849		

Tabela B.15 - Tempo entre falhas (*tb**f*) em anos para o alimentador P4-A5.

ordem	tb(f)(anos)	ordem	tb(f)(anos)	ordem	tb(f)(anos)	ordem	tb(f)(anos)
1°	1,29315	21°	0,05205	41°	0,07671	61°	0,10685
2°	0,67945	22°	0,23562	42°	0,01644	62°	0,07123
3°	0,34521	23°	0,10959	43°	0,13425	63°	0,19726
4°	0,61096	24°	0,04932	44°	0,17534	64°	0,00274
5°	0,04658	25°	0,03288	45°	0,00274	65°	0,03014
6°	0,72055	26°	0,07397	46°	0,01918	66°	0,00548
7°	0,03836	27°	0,11233	47°	0,15068	67°	0,03562
8°	0,29041	28°	0,18904	48°	0,04384	68°	0,06849
9°	0,00822	29°	0,06301	49°	0,00548	69°	0,01096
10°	0,03562	30°	0,00274	50°	0,12603	70°	0,01644
11°	0,53699	31°	0,01918	51°	0,08219	71°	0,05205
12°	0,07123	32°	0,15616	52°	0,05205	72°	0,04932
13°	0,22466	33°	0,32055	53°	0,05205	73°	0,04932
14°	0,08219	34°	0,02466	54°	0,05479	74°	0,14521
15°	0,06301	35°	0,07397	55°	0,06027	75°	0,00274
16°	0,00274	36°	0,00822	56°	0,09315	76°	0,00274
17°	0,71781	37°	0,01644	57°	0,02192	77°	0,01644
18°	0,20548	38°	0,05205	58°	0,01918		
19°	0,04110	39°	0,03288	59°	0,03014		
20°	0,26301	40°	0,00548	60°	0,01644		

Tabela B.16 - Tempo entre falhas (*tb**f*) em anos para o alimentador P4-A6.

ordem	tb(f)(anos)	ordem	tb(f)(anos)	ordem	tb(f)(anos)	ordem	tb(f)(anos)
1°	1,20548	15°	0,08219	29°	0,10137	43°	0,00548
2°	0,15342	16°	0,02466	30°	0,10137	44°	0,01918
3°	0,04658	17°	0,10411	31°	0,14247	45°	0,11507
4°	0,30959	18°	0,13699	32°	0,00274	46°	0,00274
5°	0,04932	19°	0,07123	33°	0,00274	47°	0,17260
6°	0,00548	20°	0,20000	34°	0,20548	48°	0,23836
7°	0,10411	21°	0,16438	35°	0,00274	49°	0,06575
8°	0,49041	22°	0,00548	36°	0,03288	50°	0,01370
9°	0,86301	23°	0,23288	37°	0,47945	51°	0,00274
10°	0,77808	24°	0,06027	38°	0,03014	52°	0,06575
11°	0,02740	25°	0,05205	39°	0,33425	53°	0,01918
12°	0,32329	26°	0,04110	40°	0,07397	54°	0,09041
13°	0,06849	27°	0,05753	41°	0,27945		
14°	0,10411	28°	0,00822	42°	0,04384		

Tabela B.17 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P4-A7.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,22190	13°	0,00270	25°	0,09320	37°	0,06580
2°	0,24380	14°	0,00270	26°	0,02190	38°	0,06580
3°	0,11780	15°	0,00270	27°	0,01640	39°	0,05750
4°	0,52330	16°	0,08490	28°	0,00550	40°	0,01370
5°	0,10680	17°	0,10410	29°	0,01370	41°	0,01370
6°	0,04110	18°	0,01370	30°	0,03840	42°	0,01920
7°	0,16440	19°	0,01640	31°	0,02190	43°	0,04930
8°	0,01640	20°	0,01370	32°	0,07950	44°	0,03290
9°	0,00270	21°	0,05210	33°	0,03290	45°	0,07400
10°	0,01920	22°	0,14520	34°	0,06030	46°	0,15620
11°	0,04930	23°	0,15340	35°	0,01920		
12°	0,03010	24°	0,03010	36°	0,10960		

Tabela B.18 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P4-A8.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,03014	16°	0,08767	31°	0,20548	46°	0,03014
2°	1,63562	17°	0,06575	32°	0,04110	47°	0,02192
3°	0,13973	18°	0,08493	33°	0,04384	48°	0,07945
4°	0,08767	19°	0,02466	34°	0,19726	49°	0,06027
5°	0,06575	20°	0,03014	35°	0,06575	50°	0,05205
6°	0,26301	21°	0,10137	36°	0,07397	51°	0,03836
7°	0,70137	22°	0,01370	37°	0,09589	52°	0,09315
8°	0,17808	23°	0,07945	38°	0,04932	53°	0,11507
9°	1,47671	24°	0,35616	39°	0,04384	54°	0,03562
10°	0,09315	25°	0,33699	40°	0,07397	55°	0,54521
11°	0,42192	26°	0,16986	41°	0,00274	56°	0,11233
12°	0,02192	27°	0,07945	42°	0,00274	57°	0,13425
13°	0,04110	28°	0,15890	43°	0,01370	58°	0,09589
14°	0,24932	29°	0,01644	44°	0,12603	59°	0,03288
15°	0,17260	30°	0,24658	45°	0,01644		

Tabela B.19 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P4-A9.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,19180	21°	0,00550	41°	0,13970	61°	0,08490
2°	0,14250	22°	0,03560	42°	0,03290	62°	0,01640
3°	0,43010	23°	0,03010	43°	0,01920	63°	0,01640
4°	0,11780	24°	0,01370	44°	0,00820	64°	0,05210
5°	0,13700	25°	0,02190	45°	0,00550	65°	0,07400
6°	0,01920	26°	0,12050	46°	0,08220	66°	0,00550

Continua

Tabela B.19 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P4-A9. *Continuação*

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
7°	0,03560	27°	0,02190	47°	0,00820	67°	0,04930
8°	0,05750	28°	0,03840	48°	0,00270	68°	0,01920
9°	0,11780	29°	0,03840	49°	0,01100	69°	0,03840
10°	0,07120	30°	0,07400	50°	0,11780	70°	0,02740
11°	0,16160	31°	0,06580	51°	0,01370	71°	0,03010
12°	0,01920	32°	0,05750	52°	0,11230	72°	0,03560
13°	0,02190	33°	0,01100	53°	0,00550	73°	0,00550
14°	0,09040	34°	0,02470	54°	0,02190	74°	0,02190
15°	0,02470	35°	0,01100	55°	0,02470	75°	0,02470
16°	0,05750	36°	0,06850	56°	0,01100	76°	0,06850
17°	0,01920	37°	0,01100	57°	0,02740	77°	0,09590
18°	0,00820	38°	0,01640	58°	0,01640	78°	0,04930
19°	0,09860	39°	0,03010	59°	0,07670		
20°	0,01100	40°	0,08490	60°	0,01100		

Tabela B.20 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P4-A10.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	2,79726	11°	0,12055	21°	0,03836	31°	0,06575
2°	1,16438	12°	0,27123	22°	0,27945	32°	0,13973
3°	0,10685	13°	0,11233	23°	0,01644	33°	0,03288
4°	0,00822	14°	0,00274	24°	0,22466	34°	0,36438
5°	0,42466	15°	0,02740	25°	0,05205	35°	0,02740
6°	0,21918	16°	0,08219	26°	0,33425	36°	0,18356
7°	0,32329	17°	0,20000	27°	0,03288	37°	0,00274
8°	0,32877	18°	0,32055	28°	0,04110	38°	0,06575
9°	0,82192	19°	0,06301	29°	0,06575		
10°	0,13151	20°	0,22740	30°	0,07945		

Tabela B.21 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P5-A1.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,70685	27°	0,08219	53°	0,00822	79°	0,03836
2°	0,64110	28°	0,00274	54°	0,01918	80°	0,00274
3°	0,19178	29°	0,04932	55°	0,04932	81°	0,05205
4°	0,59452	30°	0,00274	56°	0,27671	82°	0,04110
5°	0,68219	31°	0,01370	57°	0,16986	83°	0,12055
6°	0,09589	32°	0,00548	58°	0,04932	84°	0,03014
7°	0,35890	33°	0,01096	59°	0,01096	85°	0,04658
8°	0,07671	34°	0,00822	60°	0,03836	86°	0,02466
9°	0,04932	35°	0,19726	61°	0,04110	87°	0,03562

Continua

Tabela B.21 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P5-A1. *Continuação*

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
10°	0,00548	36°	0,01644	62°	0,03836	88°	0,02466
11°	0,05479	37°	0,49589	63°	0,12603	89°	0,02740
12°	0,50411	38°	0,07123	64°	0,03836	90°	0,04932
13°	0,02466	39°	0,00548	65°	0,01644	91°	0,03288
14°	0,08219	40°	0,12329	66°	0,07671	92°	0,02740
15°	0,04110	41°	0,03288	67°	0,07397	93°	0,02466
16°	0,00822	42°	0,01370	68°	0,02740	94°	0,00822
17°	0,04932	43°	0,03014	69°	0,04658	95°	0,02466
18°	0,08767	44°	0,34795	70°	0,03562	96°	0,02466
19°	0,41096	45°	0,18904	71°	0,00548	97°	0,02192
20°	0,20274	46°	0,00548	72°	0,10137	98°	0,01096
21°	0,02466	47°	0,00274	73°	0,03014	99°	0,03014
22°	0,16164	48°	0,05479	74°	0,07671	100°	0,16164
23°	0,01644	49°	0,12329	75°	0,03014	101°	0,02740
24°	0,04384	50°	0,06027	76°	0,07945	102°	0,02192
25°	0,04110	51°	0,05479	77°	0,04110		
26°	0,01096	52°	0,00274	78°	0,02192		

Tabela B.22 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P5-A2.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,27397	4°	1,24658	6°	2,15342	8°	0,13699
2°	0,69315	5°	1,55342	7°	0,13699	9°	0,25479
3°	3,16164						

Tabela B.23 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P5-A3.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	3,34247	4°	0,23014	7°	0,22740	10°	0,58082
2°	1,90137	5°	0,25479	8°	0,11781	11°	0,19452
3°	0,02740	6°	0,15068	9°	0,10959	12°	2,18630

Tabela B.24 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P5-A4.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,15342	15°	0,09589	29°	0,00548	43°	0,00548
2°	0,19452	16°	0,03288	30°	0,01918	44°	0,00822
3°	0,26575	17°	0,02192	31°	0,01644	45°	0,01644
4°	0,12603	18°	0,00822	32°	0,00822	46°	0,00274
5°	0,26849	19°	0,13425	33°	0,06575	47°	0,01370

Continua

Tabela B.25 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P5-A4. *Continuação*

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
6°	0,08493	20°	0,04658	34°	0,06027	48°	0,04110
7°	0,04384	21°	0,07671	35°	0,02740	49°	0,04658
8°	0,05205	22°	0,00274	36°	0,05753	50°	0,08493
9°	0,15616	23°	0,00274	37°	0,00274	51°	0,01096
10°	0,01918	24°	0,00548	38°	0,00274	52°	0,01644
11°	0,02192	25°	0,00822	39°	0,00822	53°	0,04658
12°	0,17808	26°	0,04658	40°	0,10137		
13°	0,13699	27°	0,00548	41°	0,00822		
14°	0,05753	28°	0,05479	42°	0,03562		

Tabela B.25 - Tempo entre falhas (*tbf*) em anos para o alimentador P5-A6.

ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)	ordem	tbf(anos)
1°	0,11507	18°	0,01370	35°	0,38356	52°	0,01918
2°	0,59178	19°	0,07671	36°	0,04658	53°	0,05205
3°	0,24932	20°	0,02466	37°	0,11507	54°	0,02740
4°	0,10411	21°	0,04384	38°	0,03562	55°	0,03014
5°	0,07945	22°	0,10685	39°	0,13973	56°	0,00274
6°	0,20822	23°	0,00548	40°	0,12329	57°	0,00822
7°	0,41096	24°	0,02192	41°	0,03288	58°	0,04932
8°	1,45753	25°	0,10959	42°	0,00548	59°	0,09315
9°	0,60548	26°	0,23288	43°	0,07123	60°	0,05479
10°	0,15068	27°	0,00822	44°	0,18082	61°	0,16438
11°	0,00274	28°	0,02192	45°	0,14521	62°	0,05753
12°	0,08493	29°	0,33425	46°	0,00822	63°	0,16986
13°	0,19452	30°	0,56712	47°	0,18356	64°	0,25479
14°	0,19178	31°	0,23562	48°	0,00822	65°	0,00274
15°	0,53425	32°	0,08219	49°	0,00822		
16°	0,04658	33°	0,14247	50°	0,15342		
17°	0,02466	34°	0,16712	51°	0,11507		

APÊNDICE C – RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE ESTATÍSTICA

C.1. Resultados do alimentador P1-A1	162
C.2. Resultados do alimentador P1-A2	164
C.3. Resultados do alimentador P1-A4	167
C.4. Resultados do alimentador P1-A6	169
C.5. Resultados do alimentador P1-A8	172
C.6. Resultados do alimentador P3-A1	174
C.7. Resultados do alimentador P3-A3	177
C.8. Resultados do alimentador P3-A4	180
C.9. Resultados do alimentador P3-A5	182
C.10. Resultados do alimentador P3-A6	185
C.11. Resultados do alimentador P3-A8	187
C.12. Resultados do alimentador P4-A2	190
C.13. Resultados do alimentador P4-A3	192
C.14. Resultados do alimentador P4-A4	195
C.15. Resultados do alimentador P4-A5	197
C.16. Resultados do alimentador P4-A6	200
C.17. Resultados do alimentador P4-A7	202
C.18. Resultados do alimentador P4-A8	205
C.19. Resultados do alimentador P4-A9	207
C.20. Resultados do alimentador P4-A10	210
C.21. Resultados do alimentador P5-A1	212
C.22. Resultados do alimentador P5-A2	215
C.23. Resultados do alimentador P5-A3	218
C.24. Resultados do alimentador P5-A4	221
C.25. Resultados do alimentador P5-A6	223

C.1. Resultados do alimentador P1-A1

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
28	28	0	0	2	
média	sdev	cv%	outliers	min	max
0,1759	0,2294	130,4018	1	0,0028	0,9361

Teste de Tendência: Método Analítico

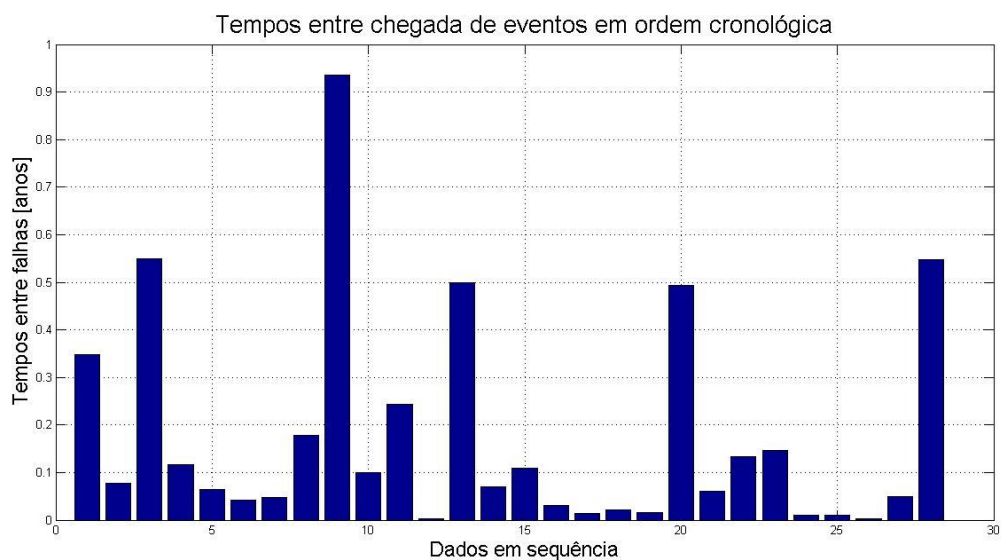
UL	1,2191	Laplace
ULR	0,9348	Lewis Robinson
Teste de Hipótese	confiança 95%	
HPP=	SIM	
RP=	SIM	

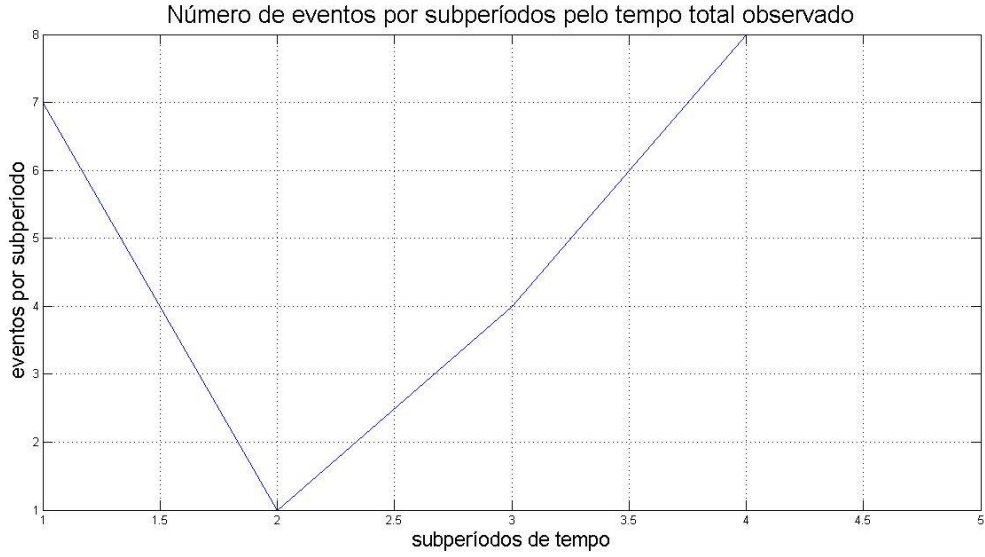
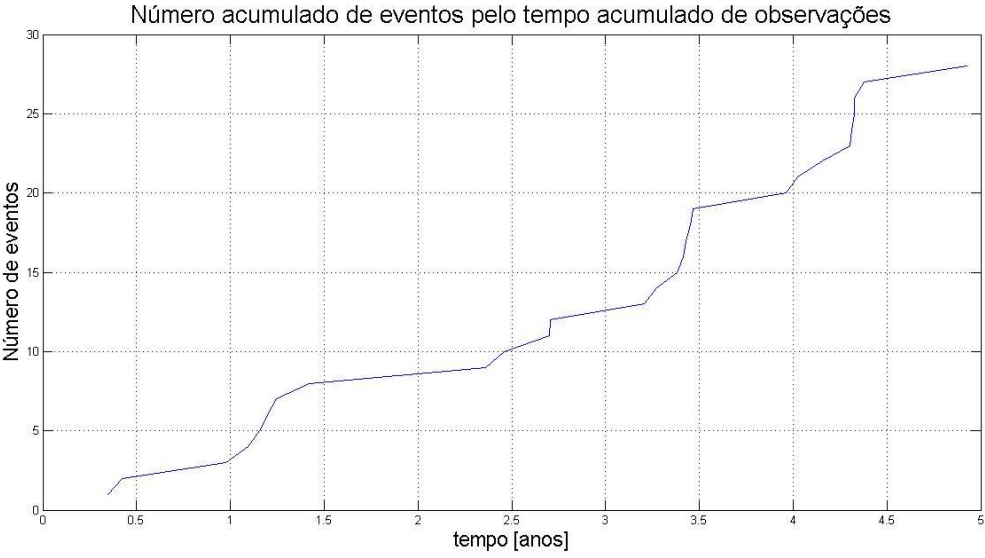
Possíveis modelos para representar os dados

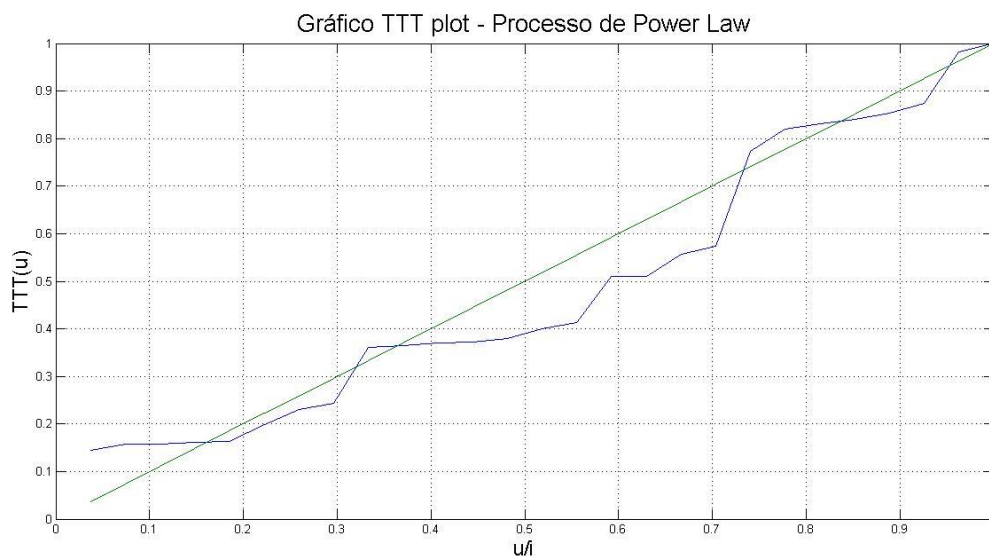
Modelo	Função de Intensidade	Parâmetros		E[x]	STD[x]	Valor K-S Test (D)	Método de Estimação
		"1"	"2"				
Lognormal	4,2636	-2,6385	1,5417	0,2345	0,7331	0,0776	MLE
Gama	5,6854	0,5881	0,2991	0,1759	0,2294	0,0921	MOM
Weibull	5,7279	0,1483	0,7609	0,1746	0,2325	0,0964	MLE
Exponencial	5,6854	0,1759	0	0,1759	0,1759	0,1783	MLE, MOM
Normal	5,6854	0,1759	0,2294	0,1759	0,2294	0,2641	MLE, MOM
Logistic	5,6854	0,1759	0,1265	0,1759	0,2294	0,2708	MOM

Processo de Power Law - 95% confiança

Lambda	3,6056	Parâmetro de escala
Beta	1,2856	Parâmetro de forma
Existe ajuste?	SIM	K-S test







C.2. Resultados do alimentador P1-A2

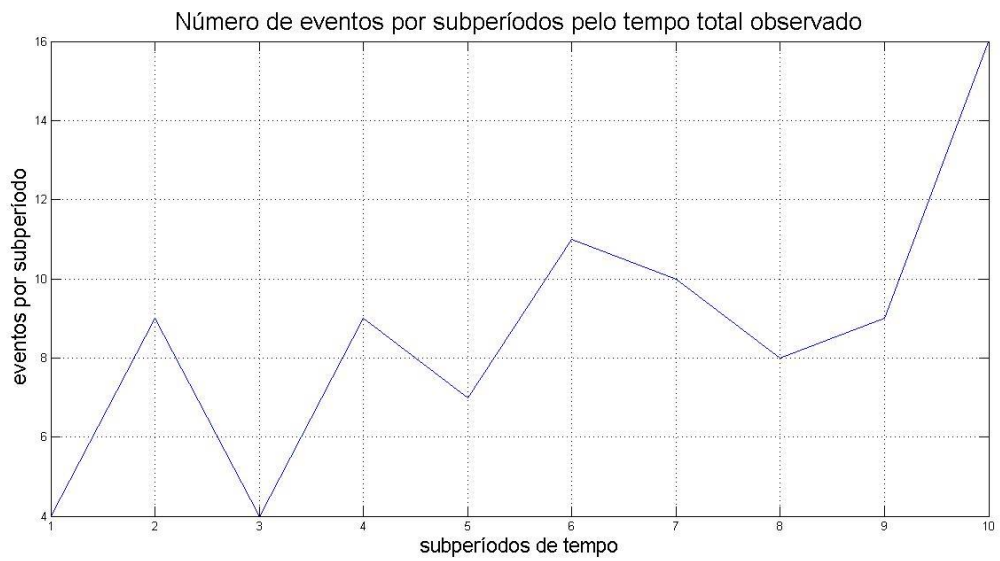
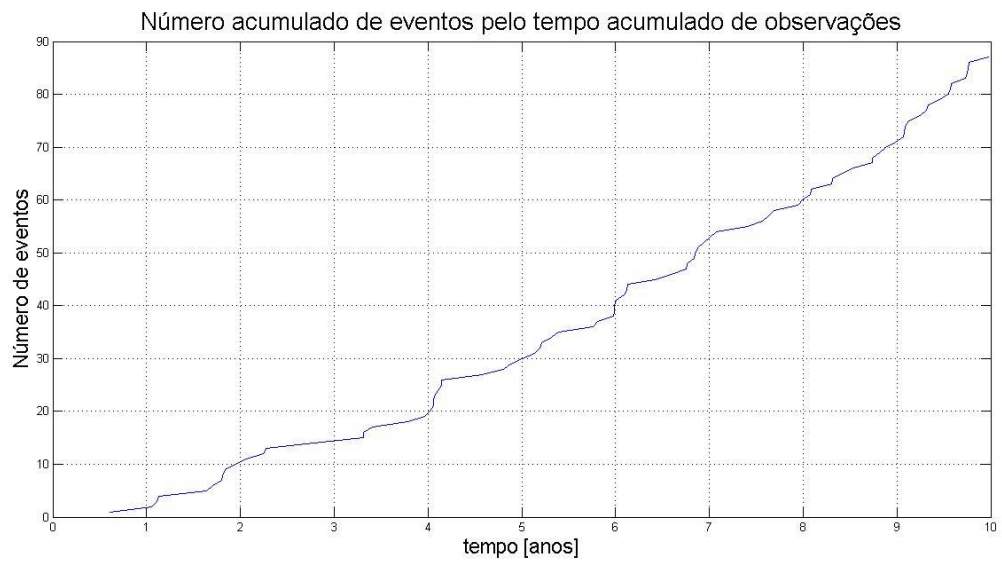
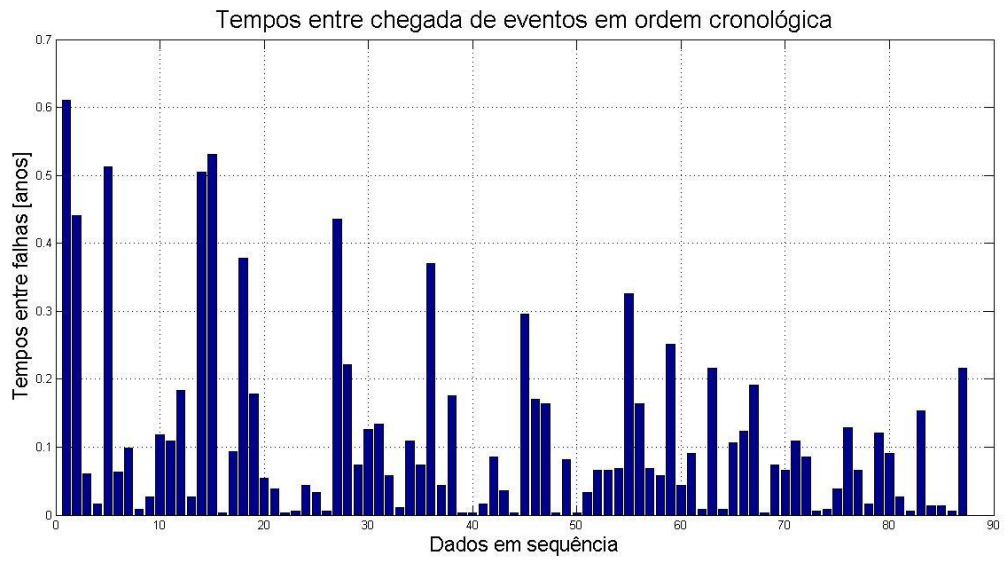
Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
87	87	0	0	36	
média	sdev	cv%	outliers	min	max
0,1147	0,1366	119,0838	2	0,0027	0,611

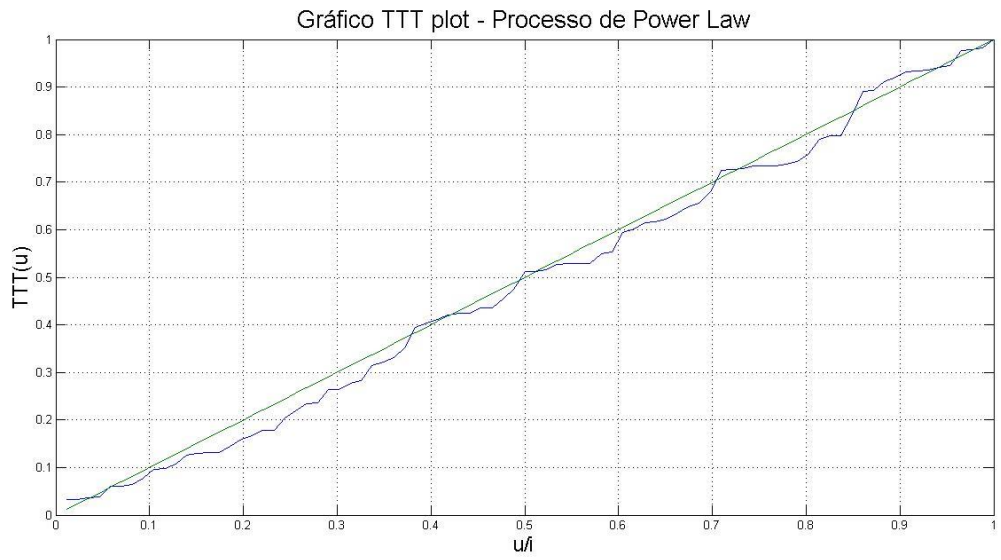
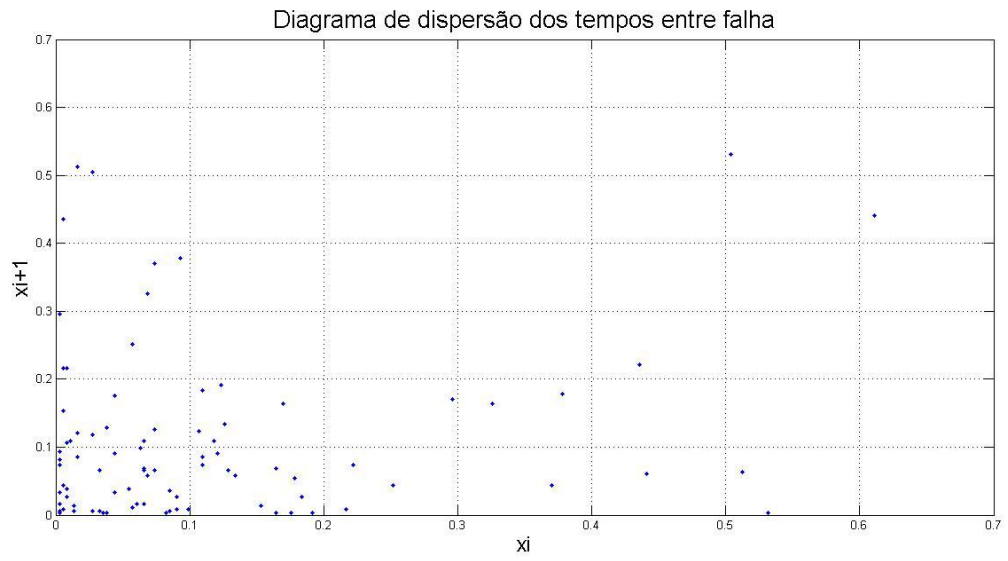
Teste de Tendência: Método Analítico

UL	3,3789	Laplace
ULR	2,8374	Lewis Robinson
Teste de Hipótese	confiança 95%	
HPP=	NÃO	
RP=	NÃO	

Processo de Power Law - 95% confiança

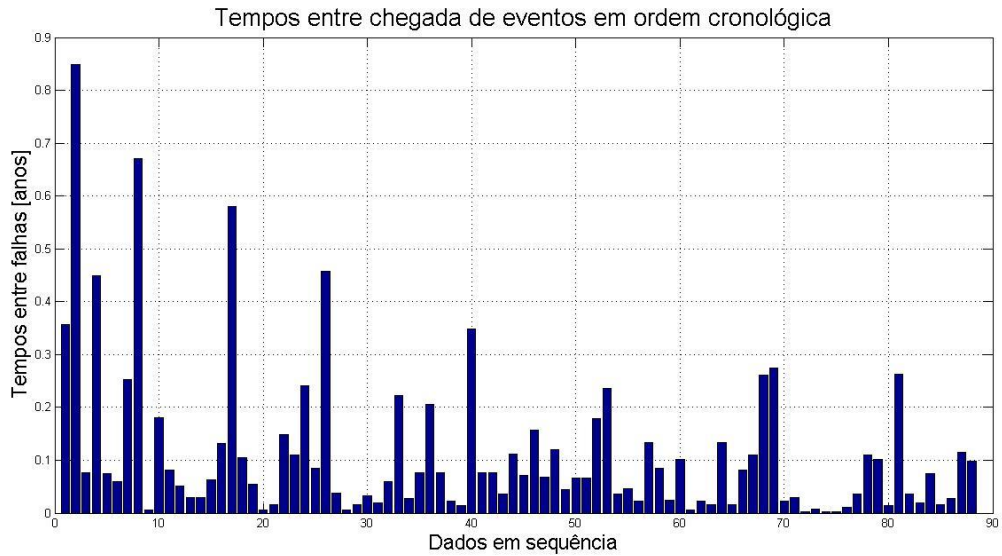
Lambda	2,5946	Parâmetro de escala
Beta	1,5267	Parâmetro de forma
Existe ajuste?	SIM	K-S test

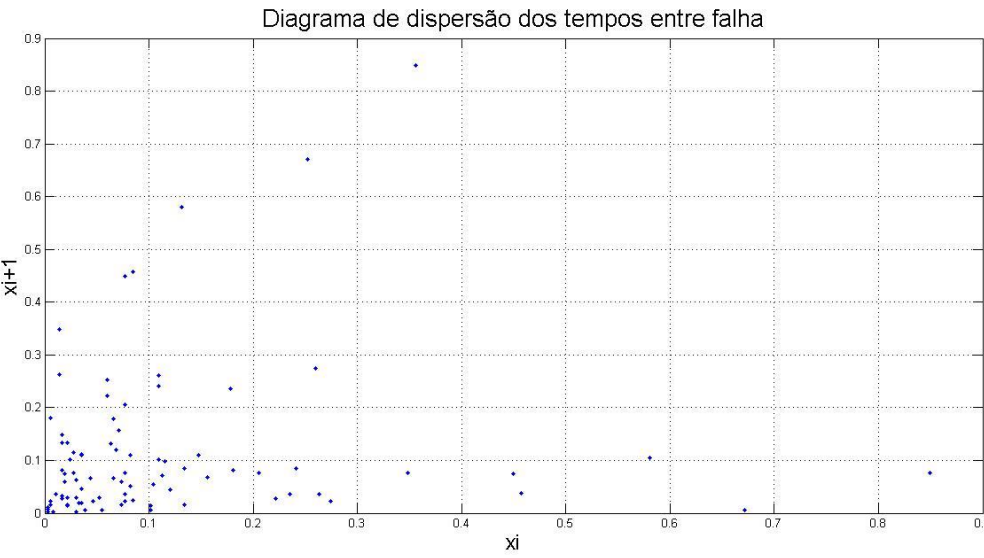
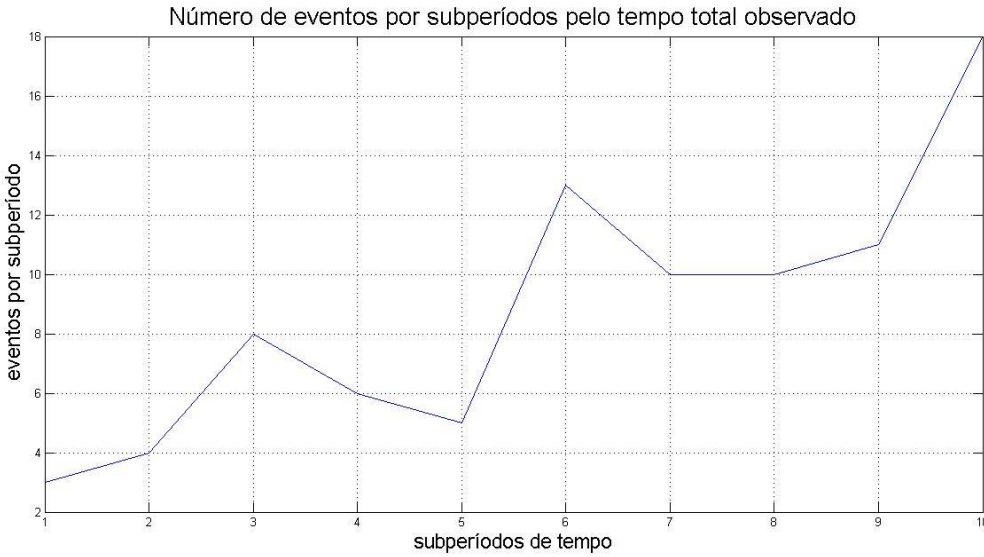
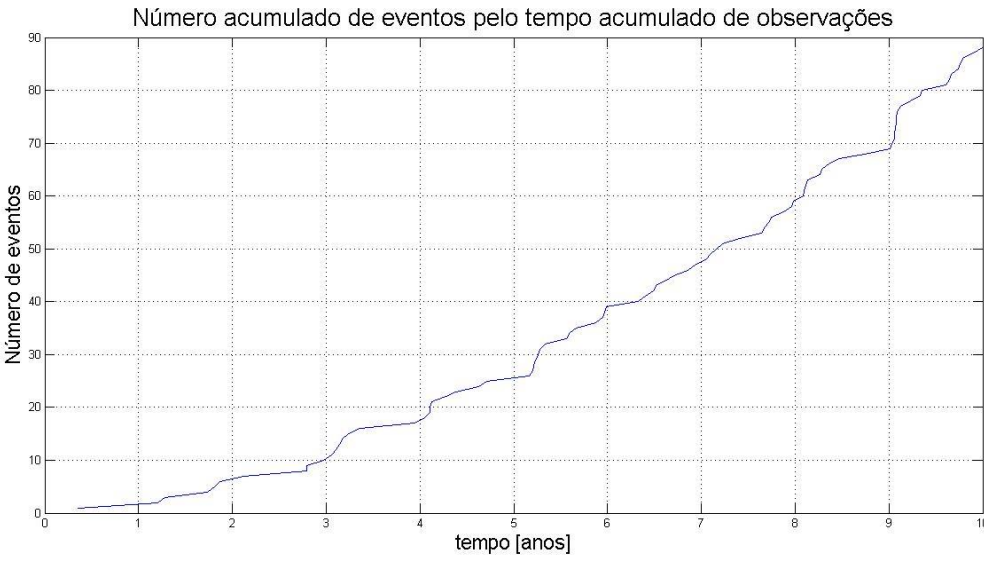


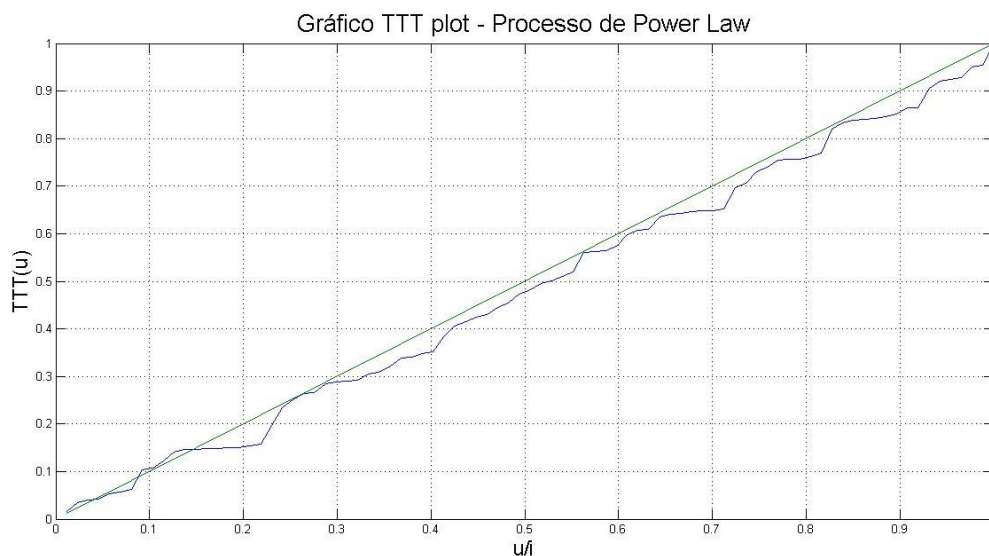


C.3. Resultados do alimentador P1-A4

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
88	88	0	0	33	
média	sdev	cv%	outliers	min	max
0,1136	0,1485	130,7565	3	0,0027	0,8493
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL		4,2454		Laplace	
ULR		3,2468		Lewis Robinson	
Teste de Hipótese		confiança 95%			
HPP=		NÃO			
RP=		NÃO			
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda		1,7526		Parâmetro de escala	
Beta		1,701		Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM		K-S test	







C.4. Resultados do alimentador P1-A6

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
21	21	0	0	1	
média	sdev	cv%	outliers	min	max
0,4637	0,4012	86,5262	0	0,0082	1,4219

Teste de Tendência: Método Analítico

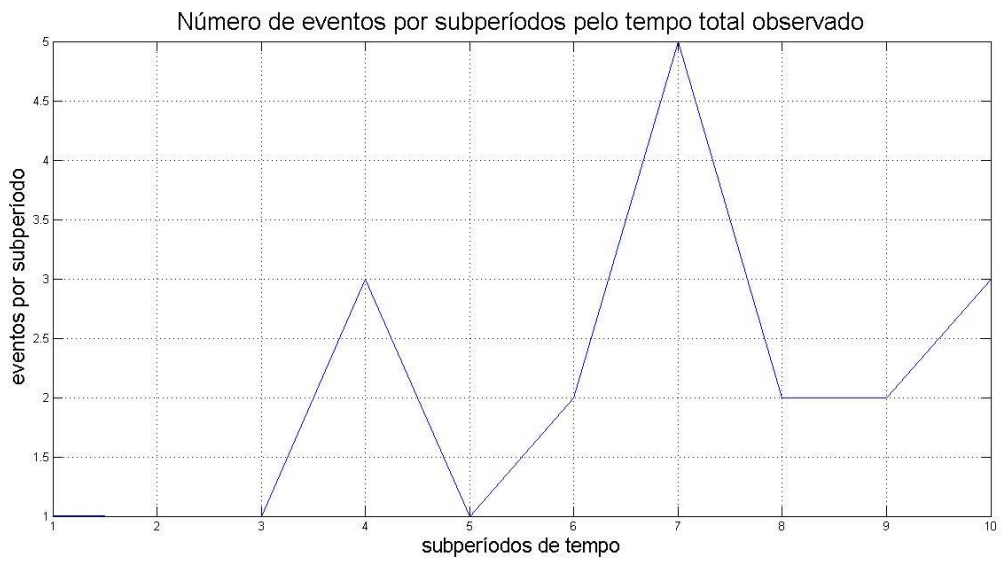
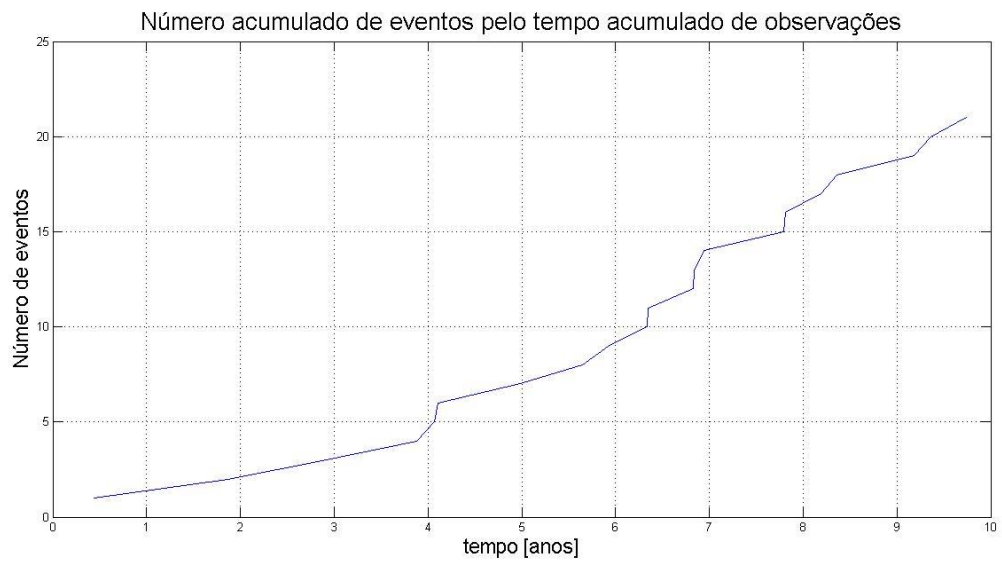
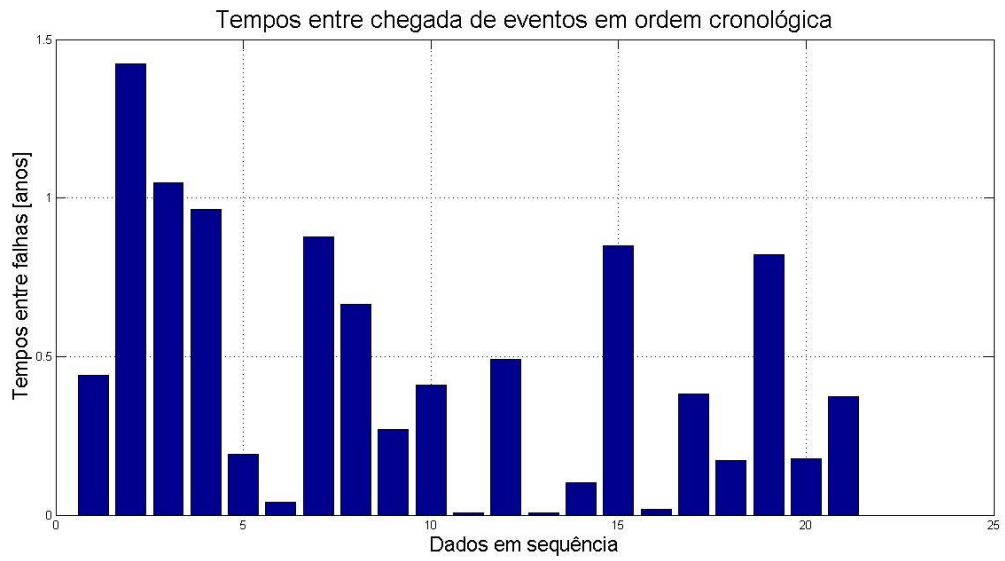
UL	1,6281	Laplace
ULR	1,8816	Lewis Robinson
Teste de Hipótese	confiança 95%	
HPP=	SIM	
RP=	SIM	

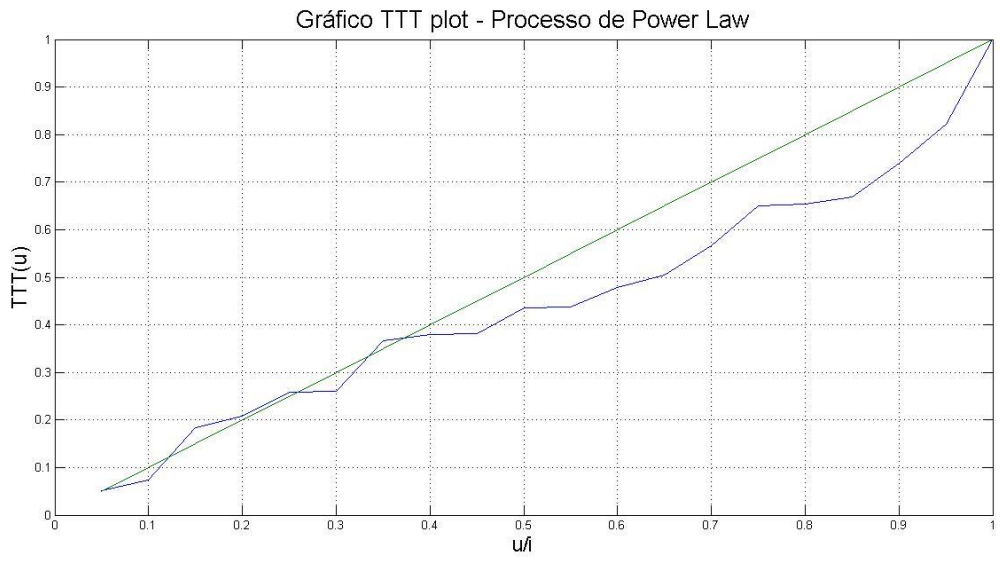
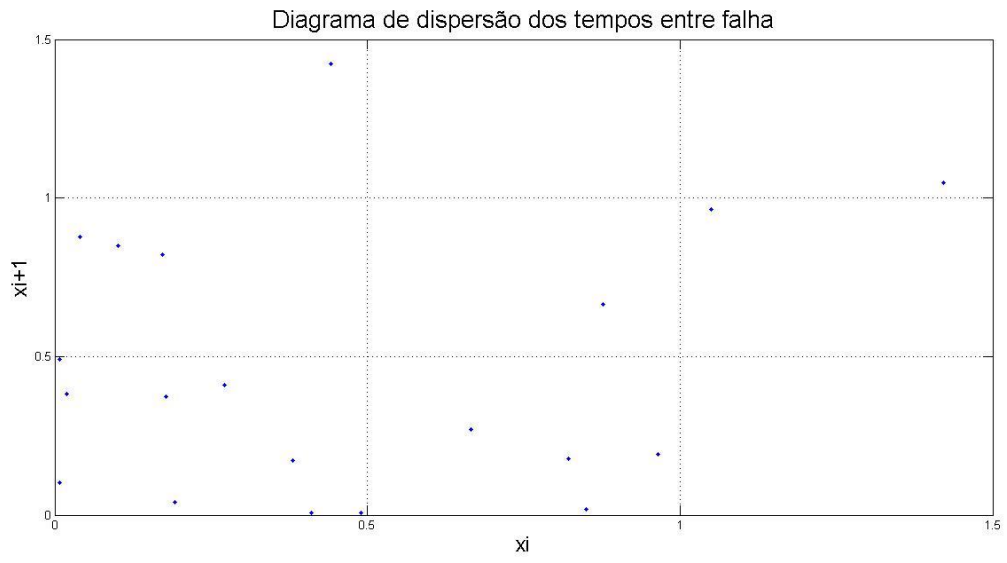
Possíveis modelos para representar os dados

Modelo	Função de Intensidade	Parâmetros		Ex	STDx	Valor K-S Test (D)	Método de Estimação
		"1"	"2"				
Exponencial	2,1567	0,46	0	0,4637	0,4637	0,1237	MLE, MOM
Weibull	2,151	0,46	0,9604	0,4649	0,4842	0,1321	MLE
Gama	2,1567	0,87	0,5353	0,4637	0,4982	0,1395	MLE
Normal	2,1567	0,46	0,4012	0,4637	0,4012	0,1415	MLE, MOM
Logistic	2,1567	0,46	0,2212	0,4637	0,4012	0,1546	MOM
Uniforme	2,1567	-0,23	1,1586	0,4637	0,4012	0,1723	MOM

Processo de Power Law - 95% confiança

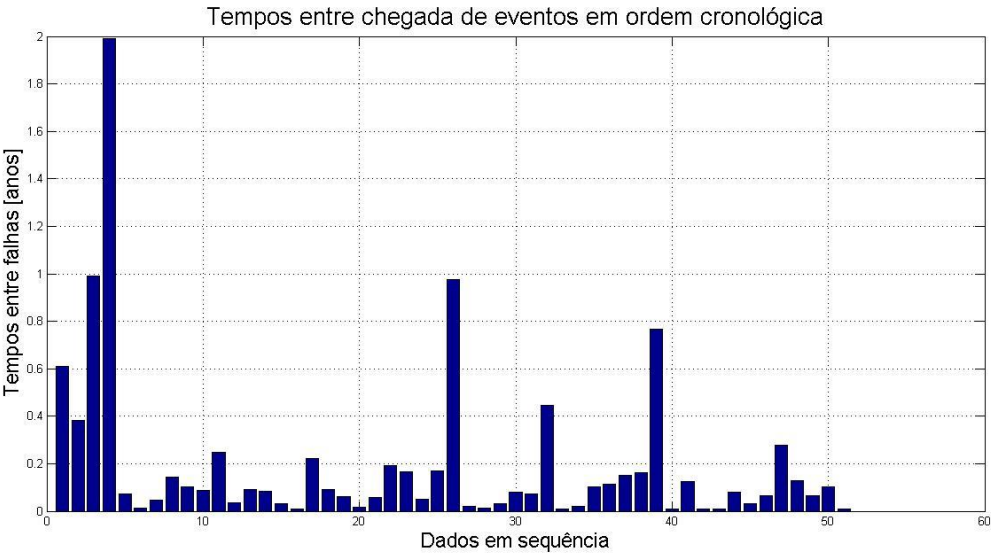
Lambda	0,772	Parâmetro de escala
Beta	1,4514	Parâmetro de forma
Existe ajuste?	SIM	K-S test

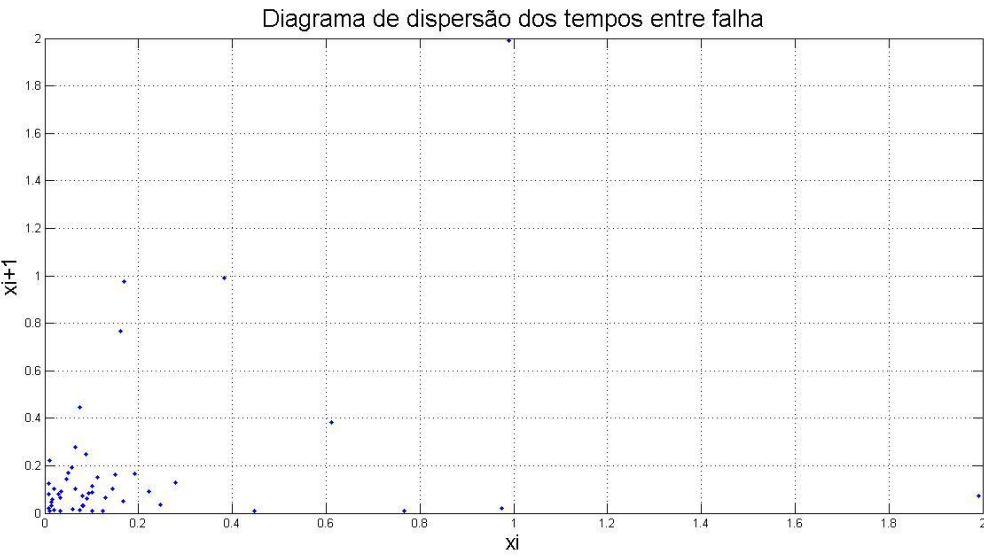
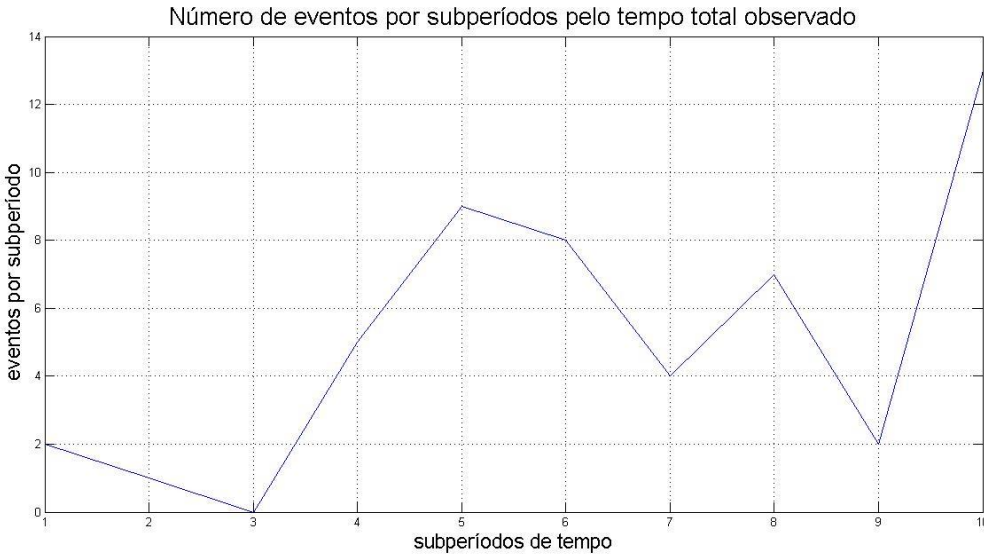
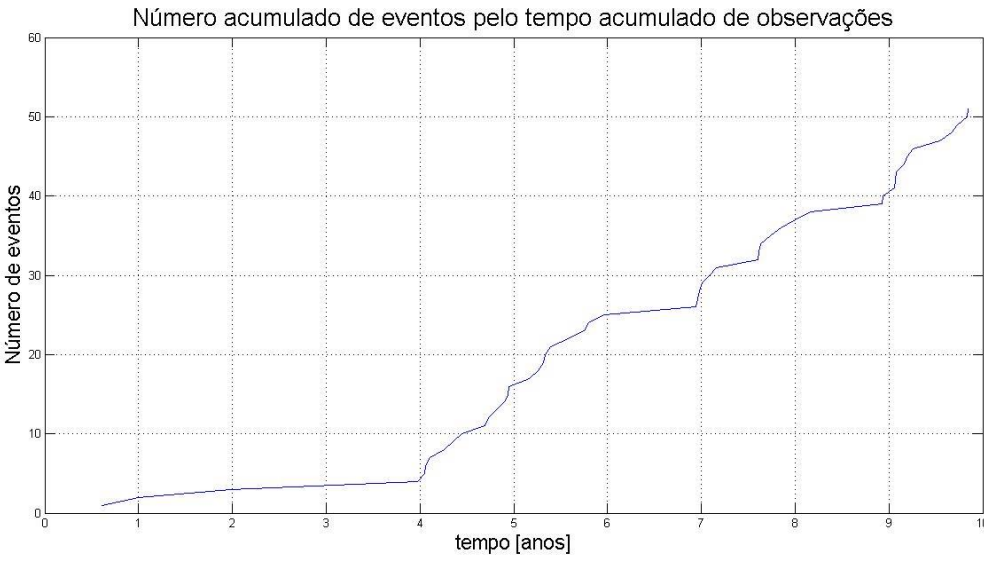


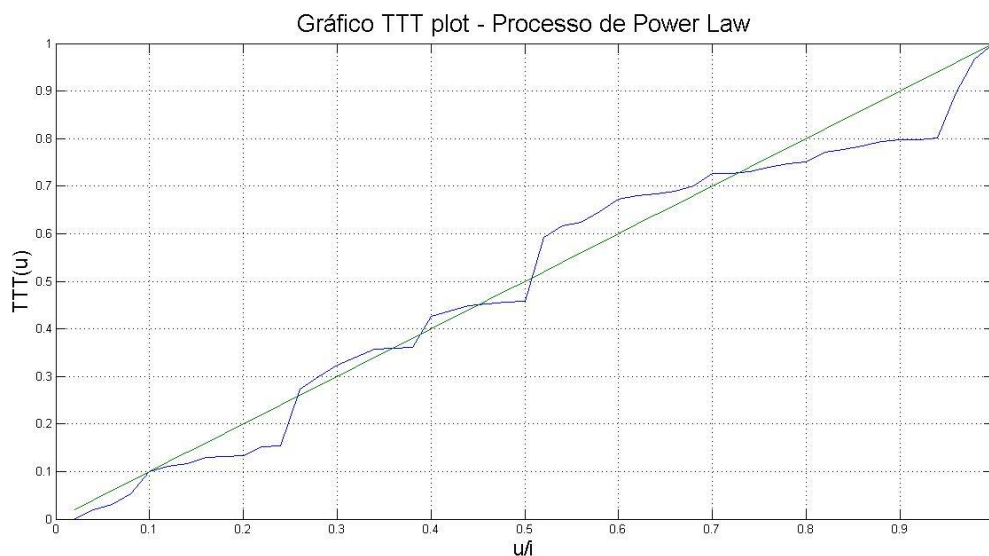


C.5. Resultados do alimentador P1-A8

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
51	51	0	0	12	
média	sdev	cv%	outliers	min	max
0,193	0,341	176,7194	1	0,0082	1,9918
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL		3,6643		Laplace	
ULR		2,0735		Lewis Robinson	
Teste de Hipótese		confiança 95%			
HPP=		NÃO			
RP=		NÃO			
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda		0,7465		Parâmetro de escala	
Beta		1,8474		Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM		K-S test	

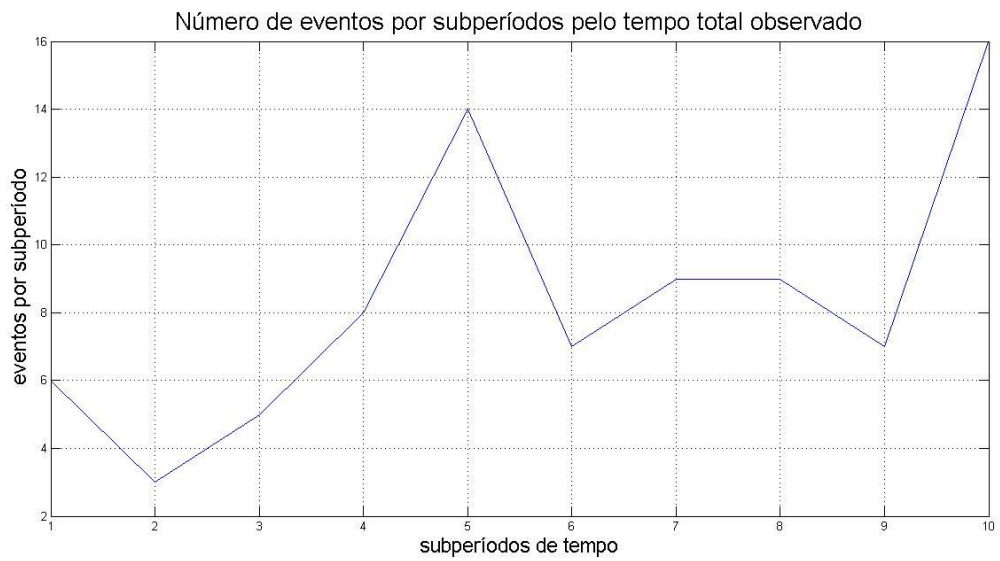
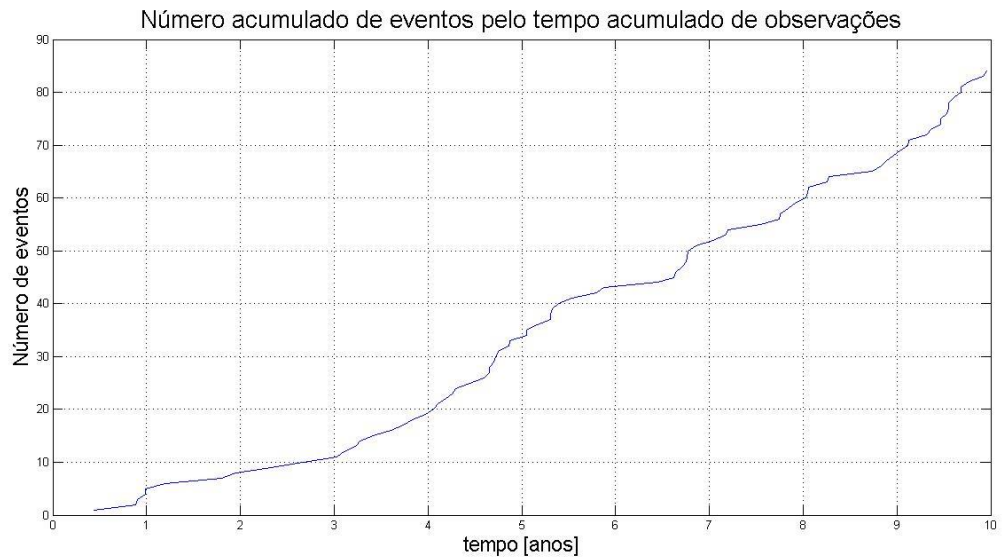
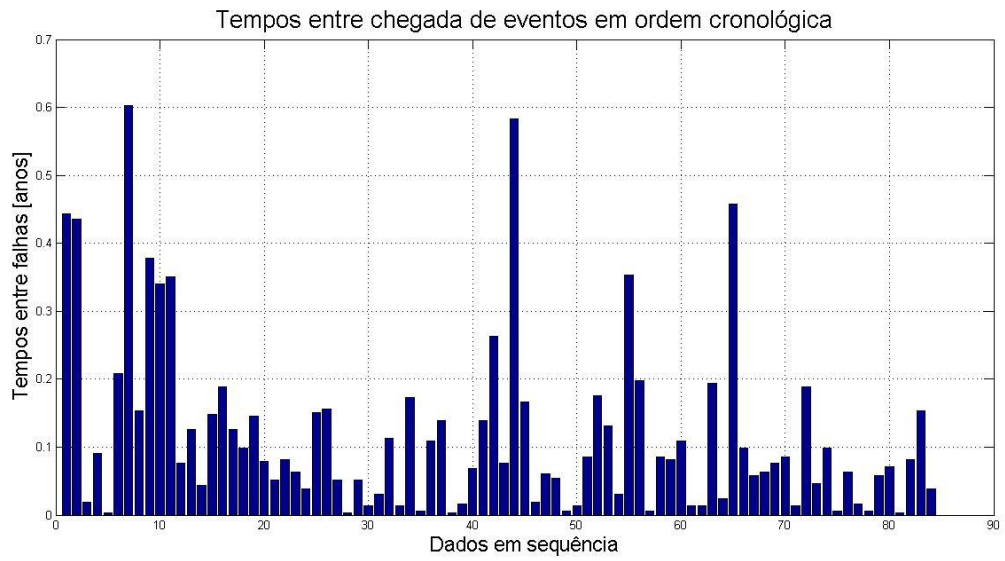


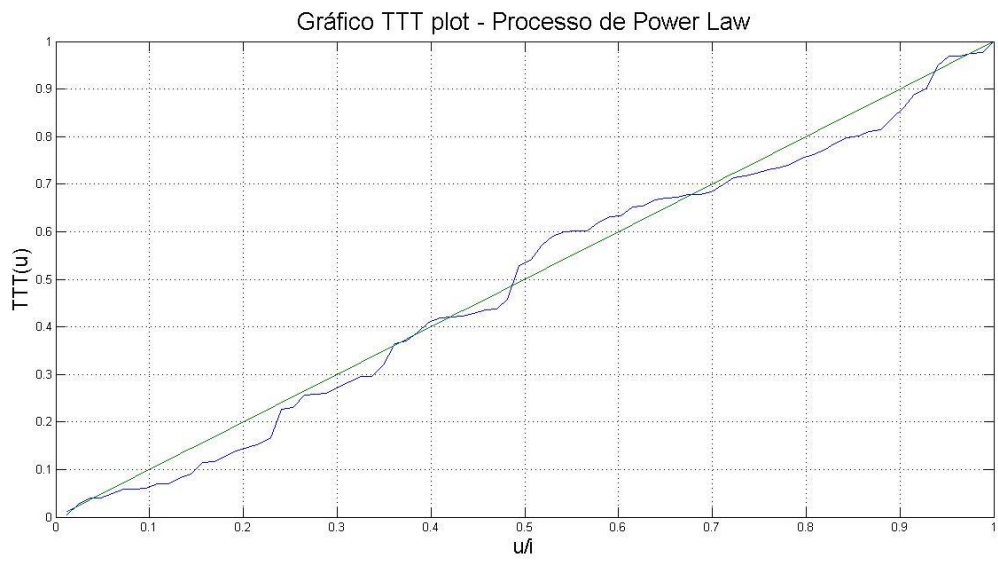
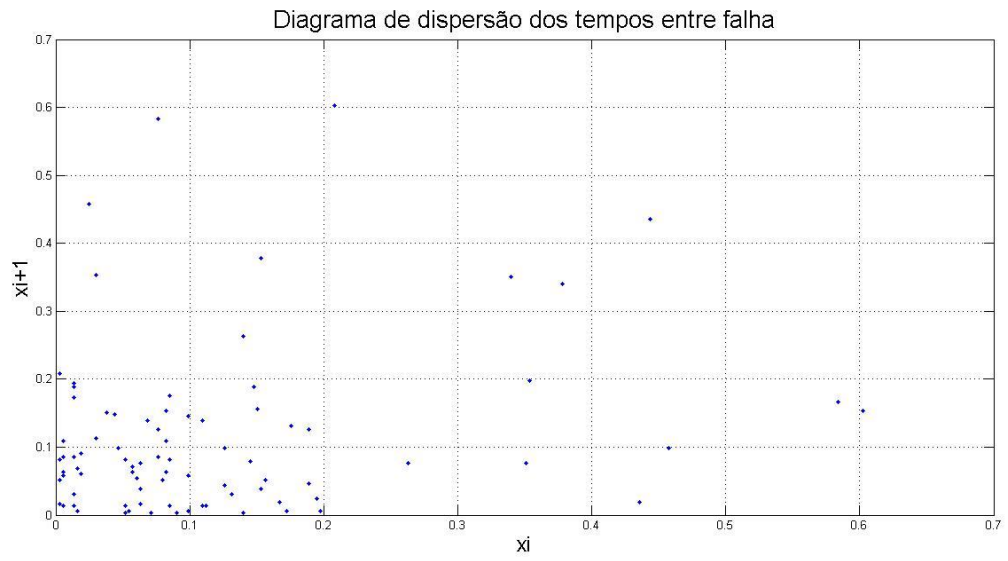




C.6. Resultados do alimentador P3-A1

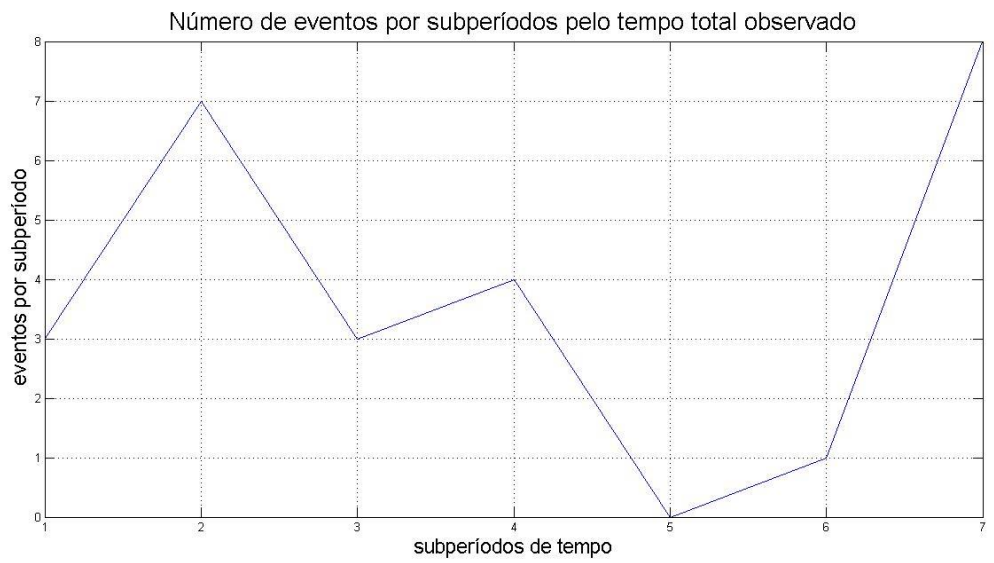
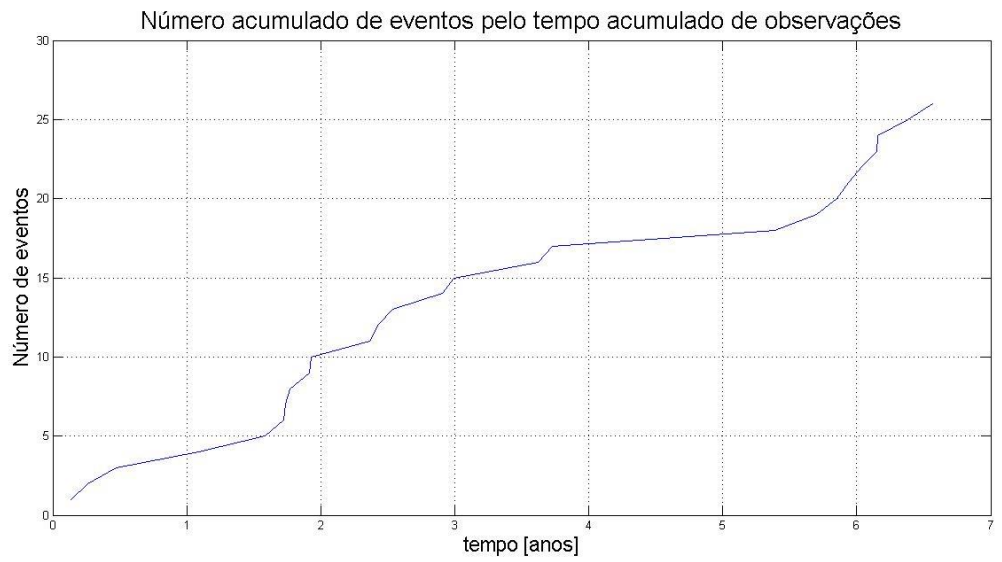
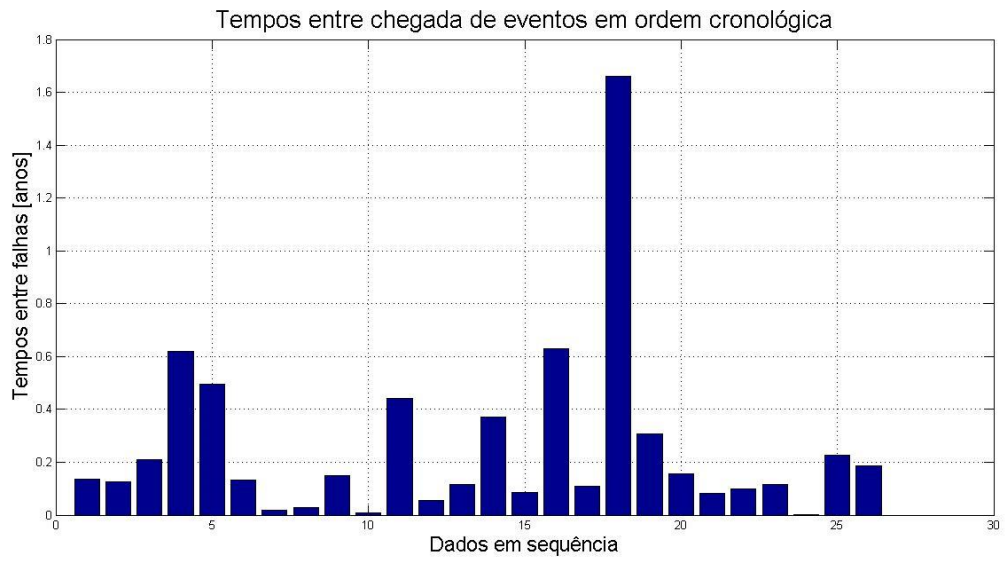
Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	max
84	84	0	0	34	0,6027
média	sdev	cv%	outliers	min	
0,1186	0,1296	109,3458	2	0,0027	
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL		3,0957		Laplace	
ULR		2,8311		Lewis Robinson	
Teste de Hipótese		confiança 95%			
HPP=		NÃO			
RP=		NÃO			
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda		2,7715		Parâmetro de escala	
Beta		1,4842		Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM		K-S test	

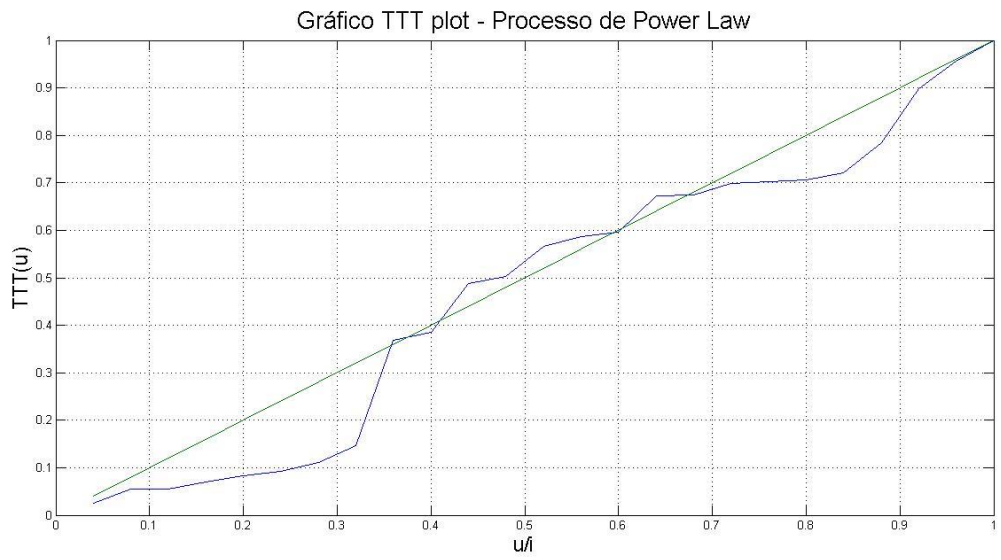
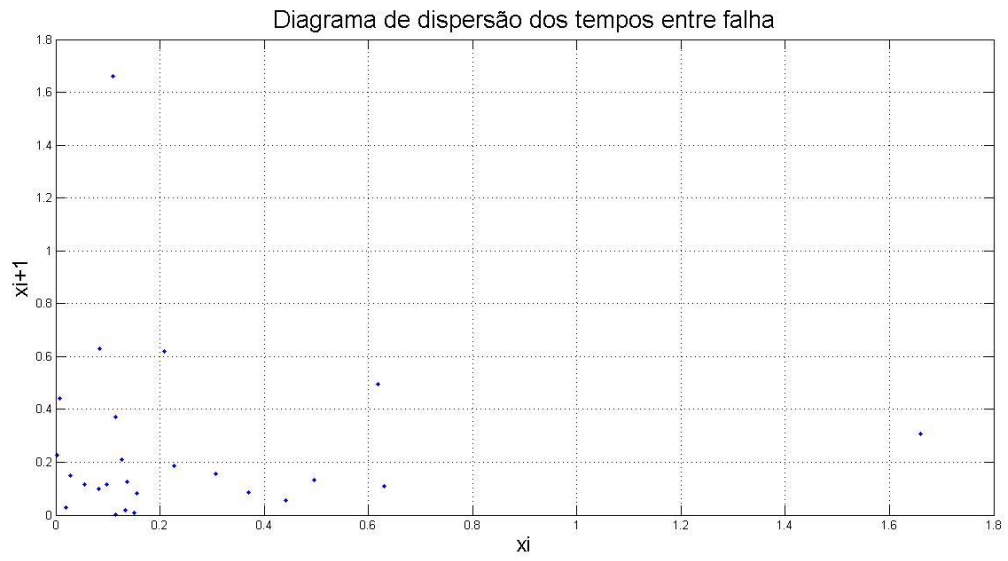




B.7. Resultados do alimentador P3-A3

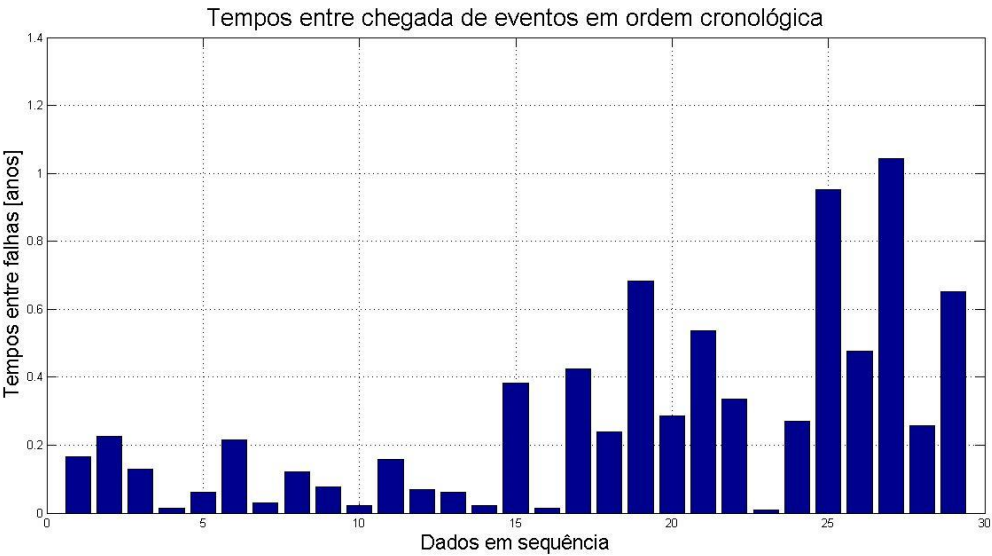
Análise estatística dos dados							
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido			
26	26	0	0	1			
média	sdev	cv%	outliers	min	max		
0,2526	0,3374	133,571	1	0,0027	1,6603		
Teste de Tendência: Método Analítico							
UL		-0,136		Laplace			
ULR		-0,1018		Lewis Robinson			
Teste de Hipótese		confiança 95%					
HPP=		SIM					
RP=		SIM					
Possíveis modelos para representar os dados							
Modelo	Função de Intensidade	Parâmetros		Ex	STDx	Valor K-S Test (D)	Método de Estimação
		"1"	"2"				
Lognormal	3,9591	-1,888	1,0119	0,2526	0,3374	0,1082	MOM
Gama	3,9591	0,8558	0,2951	0,2526	0,273	0,1299	MLE
Weibull	3,9817	0,236	0,8816	0,2511	0,2856	0,1338	MLE
Exponencial	3,9591	0,2526	0	0,2526	0,2526	0,1543	MLE,MOM
Weibull	3,9591	0,2141	0,7587	0,2526	0,3374	0,1911	MOM
Normal	3,9591	0,2526	0,3374	0,2526	0,3374	0,2605	MLE,MOM
Logistic	3,9591	0,2526	0,186	0,2526	0,3374	0,2646	MOM
Proc, de Power Law - 95% confiança							
Lambda		4,5469			Parâmetro de escala		
Beta		0,9265			Parâmetro de forma		
Existe ajuste?		SIM			K-S test		

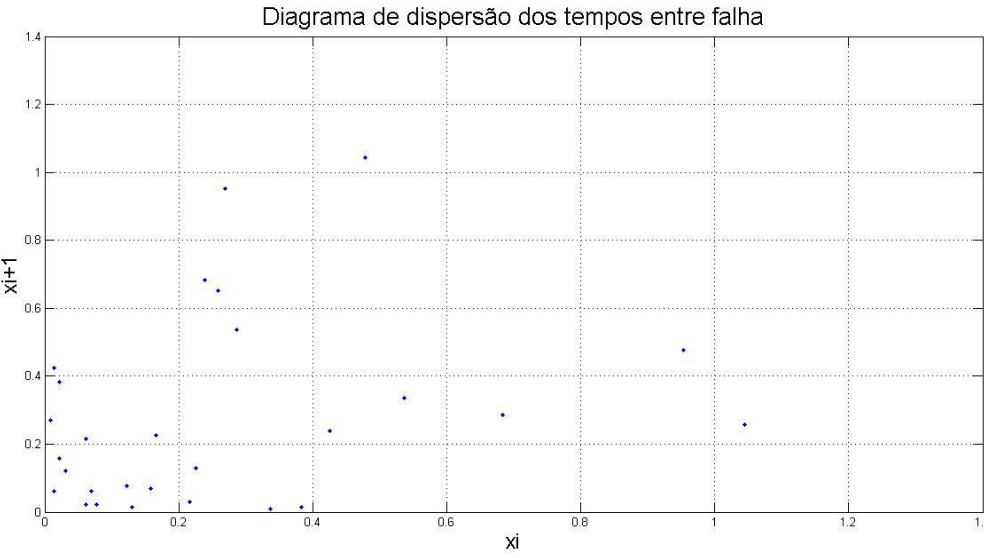
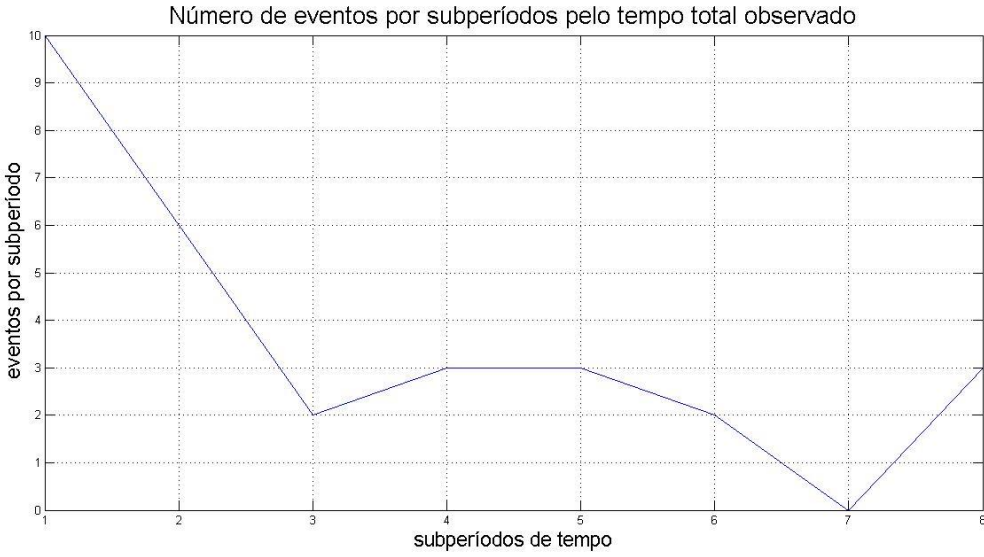
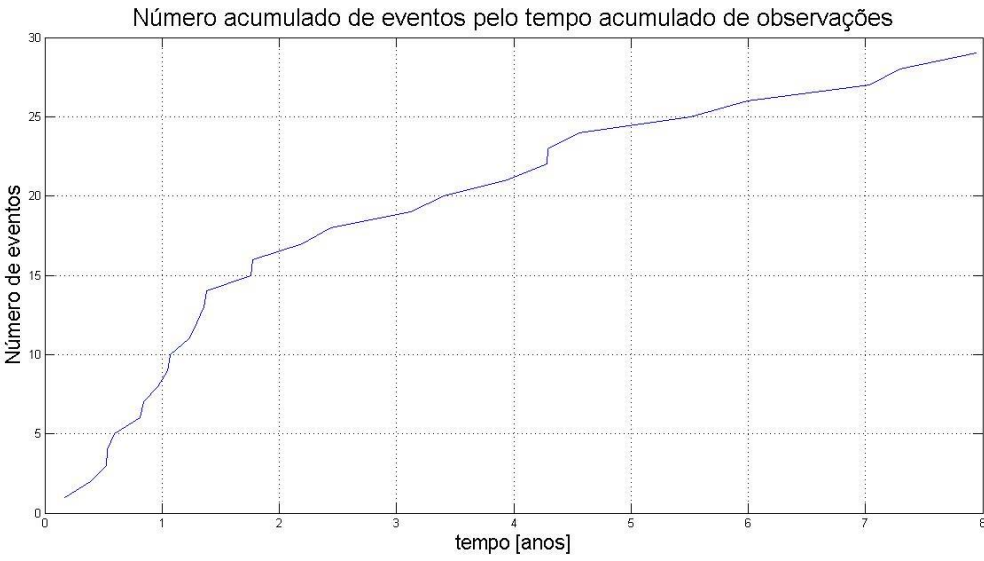


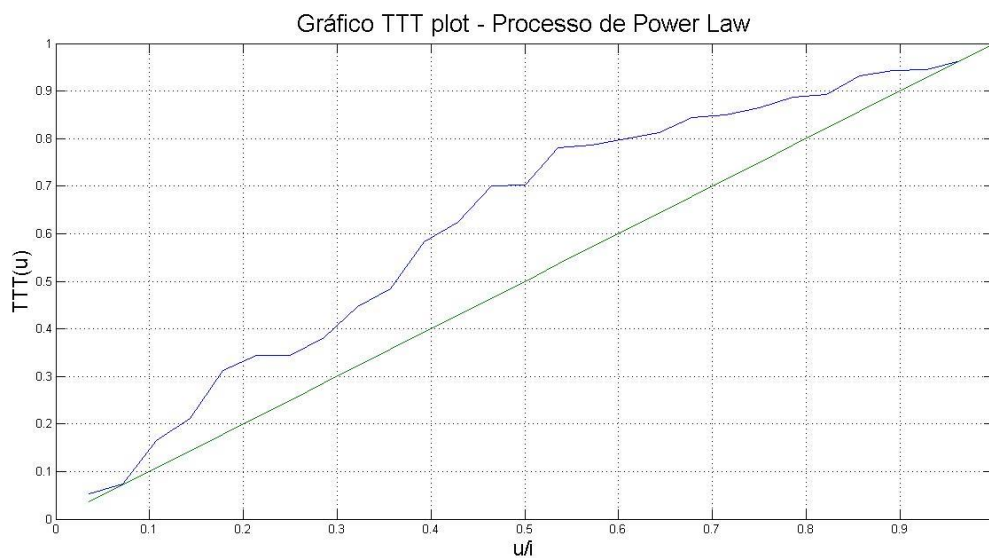


C.8. Resultados do alimentador P3-A4

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	max
29	29	0	0	3	1,044
média	sdev	cv%	outliers	min	
0,2739	0,2733	101,22	0	0,0083	
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL		-3,4129		Laplace	
ULR		-3.3717		Lewis Robinson	
Teste de Hipótese		confiança 95%			
HPP=		NÃO			
RP=		NÃO			
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda		7,5267		Parâmetro de escala	
Beta		0,5891		Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM		K-S test	







C.9. Resultados do alimentador P3-A5

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
112	112	0	0	55	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,0893	0,1242	139,113	1	0,0027	1
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL		4,6203		Laplace	
ULR		3,3213		Lewis Robinson	
Teste de Hipótese		confiança 95%			
HPP=		NÃO			
RP=		NÃO			
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda		2,0691		Parâmetro de escala	
Beta		1,7334		Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM		K-S test	

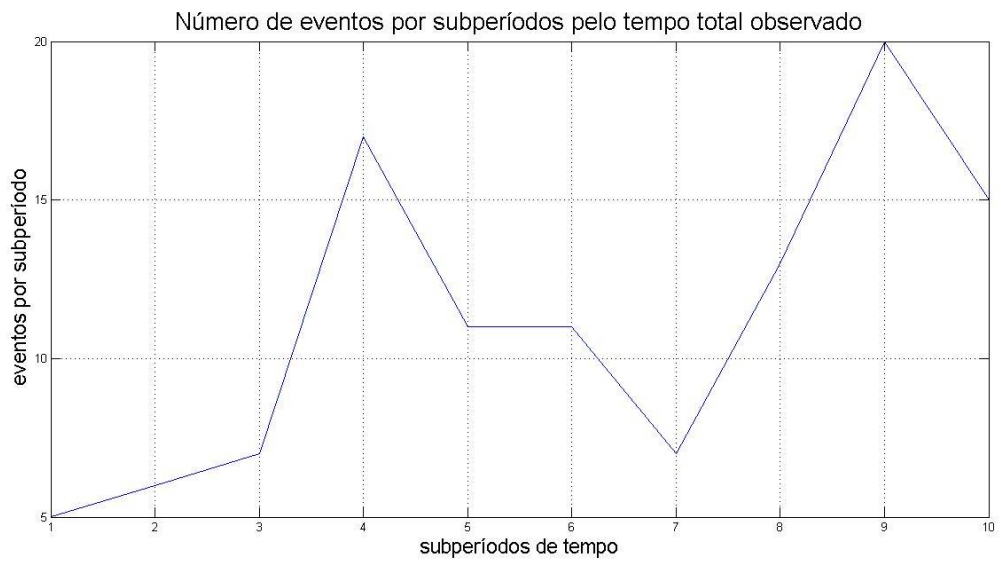
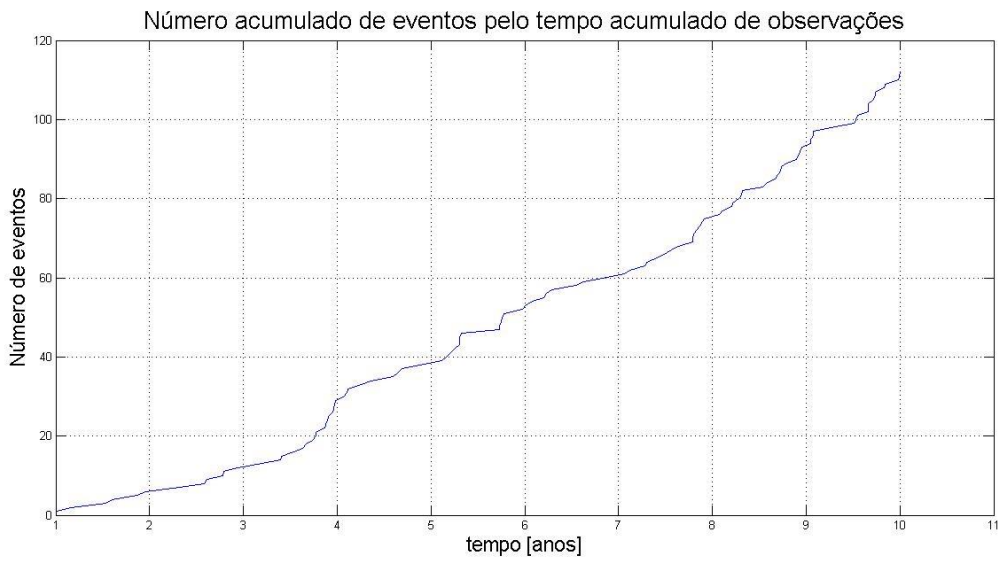
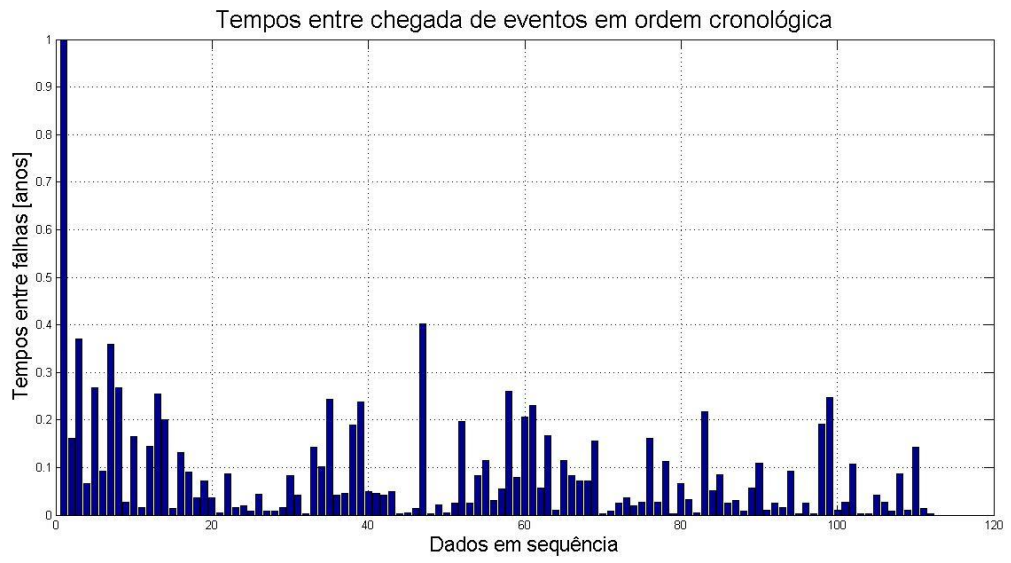


Diagrama de dispersão dos tempos entre falha

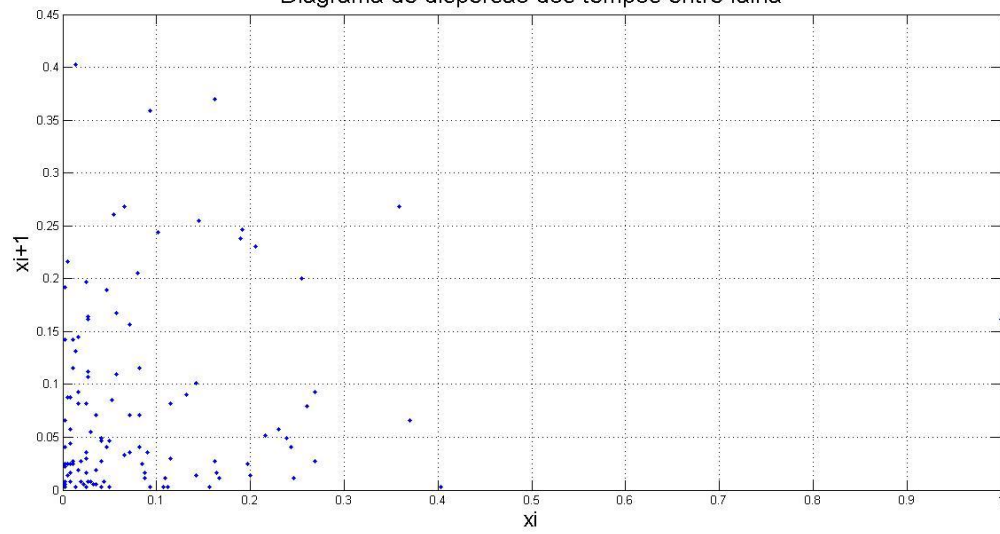
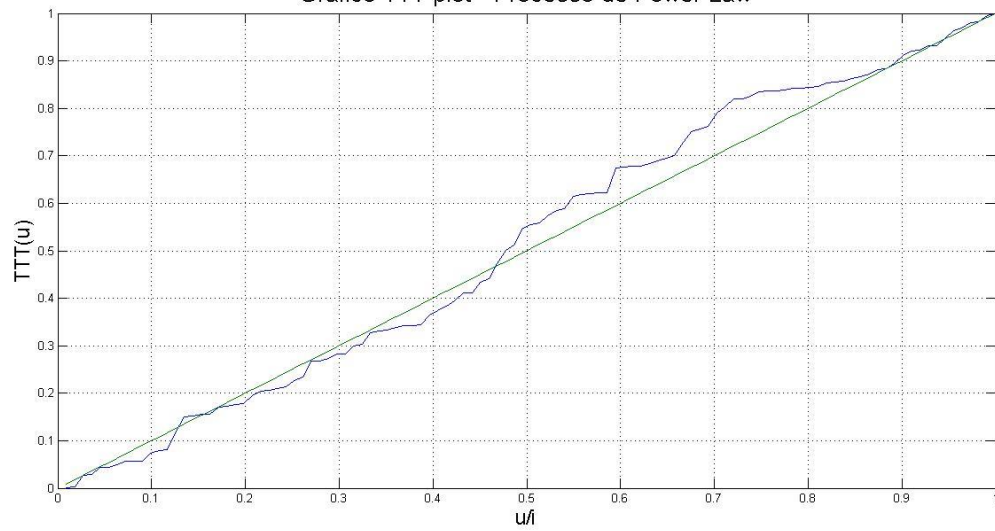


Gráfico TTT plot - Processo de Power Law



C.10. Resultados do alimentador P3-A6

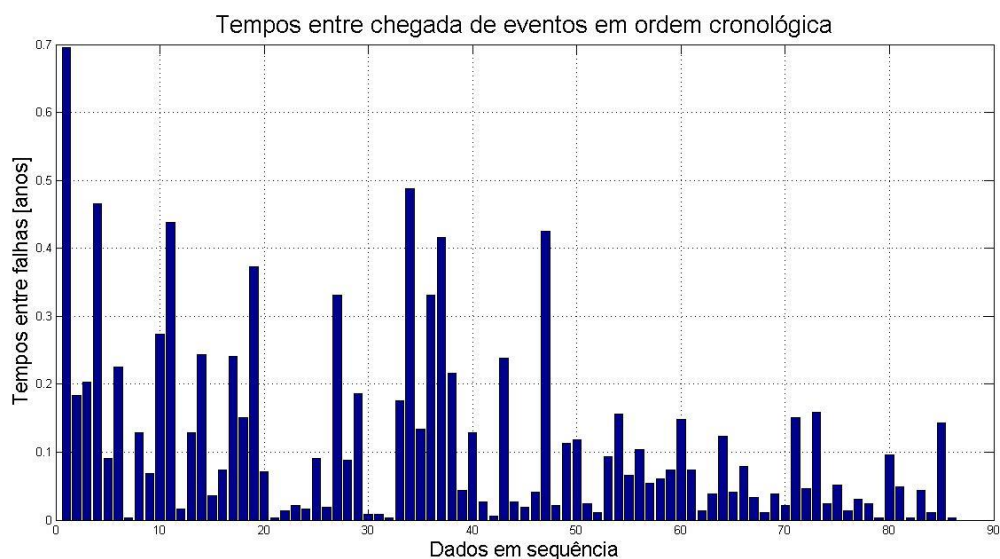
Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
86	86	0	0	27	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,1161	0,1347	115,9819	1	0,0027	0,6959

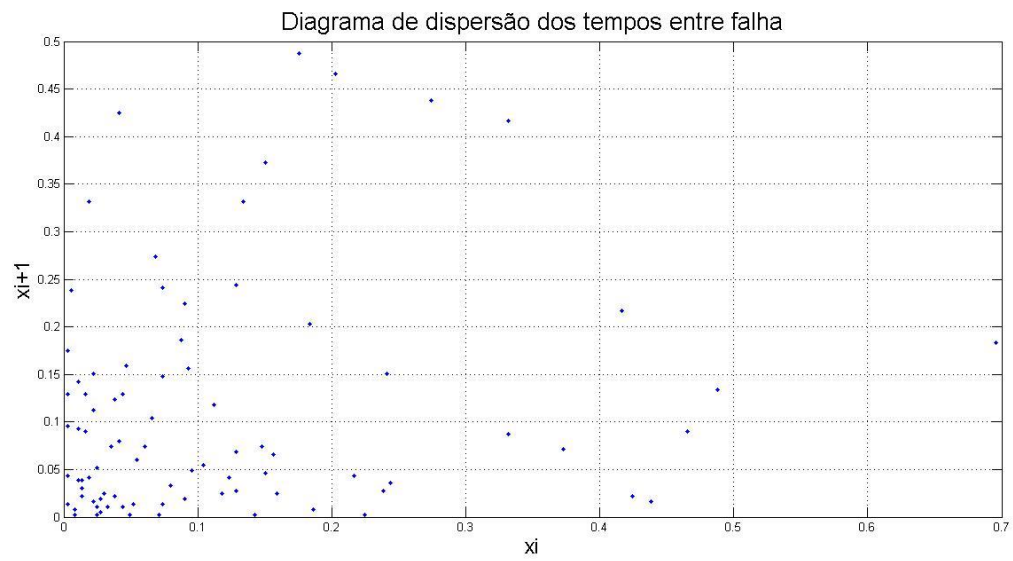
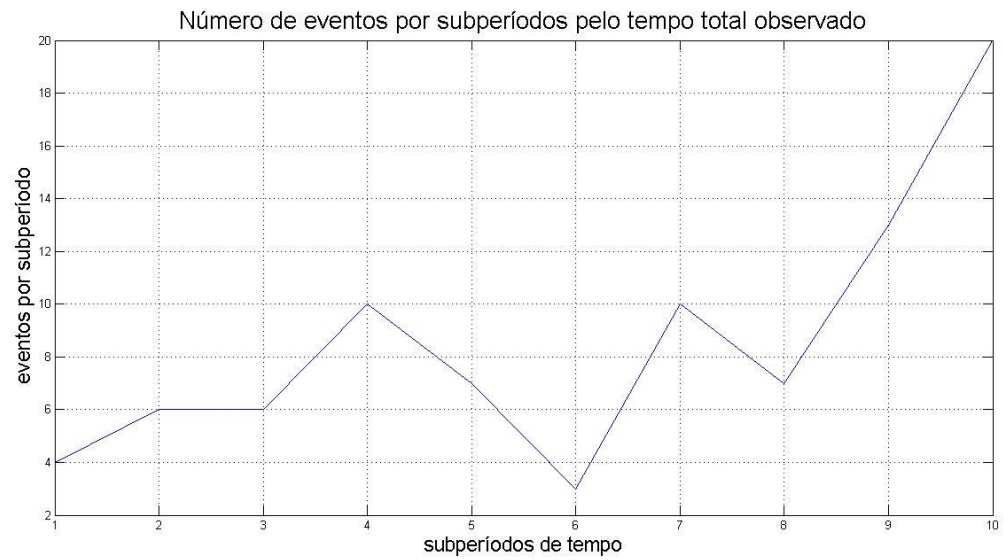
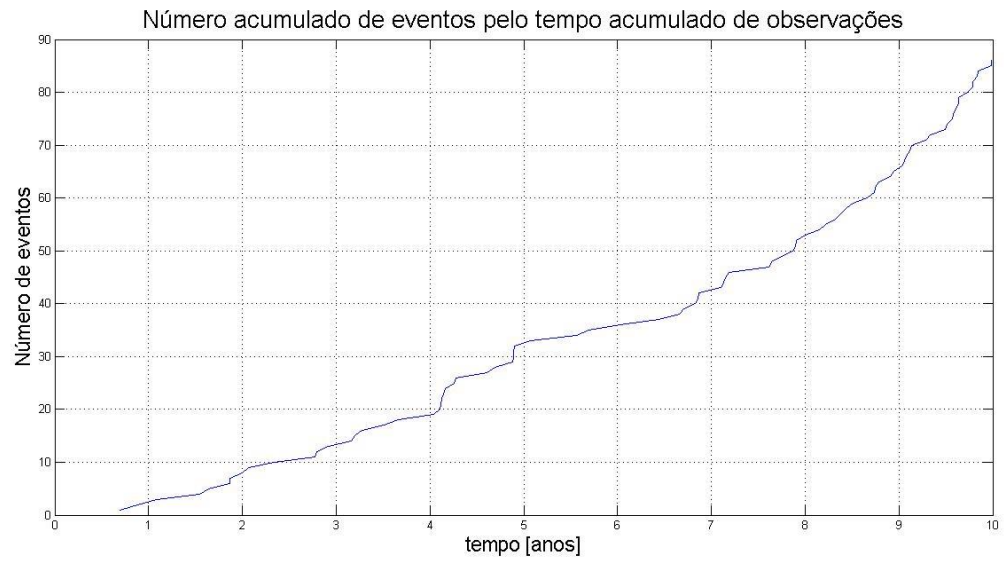
Teste de Tendência: Método Analítico

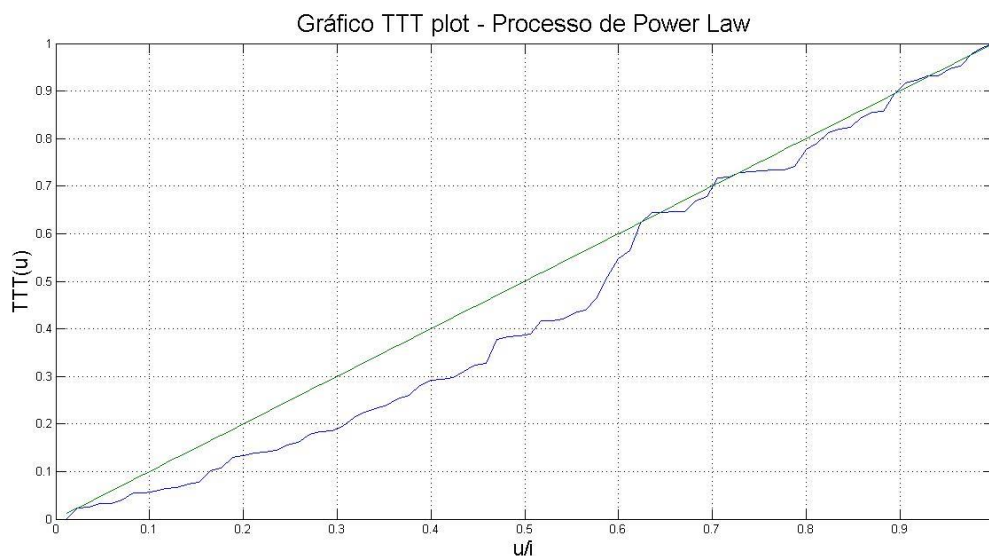
UL	4,4306	Laplace
ULR	3,8201	Lewis Robinson
Teste de Hipótese	confiança 95%	
HPP=	NÃO	
RP=	NÃO	

Processo de Power Law - 95% confiança

Lambda	1,8334	Parâmetro de escala
Beta	1,6722	Parâmetro de forma
Existe ajuste?	SIM	K-S test

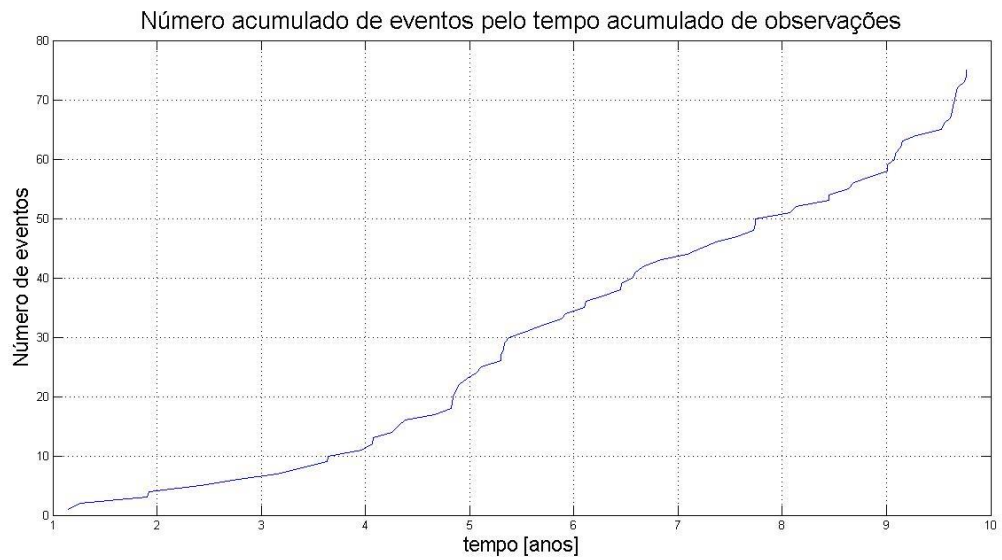
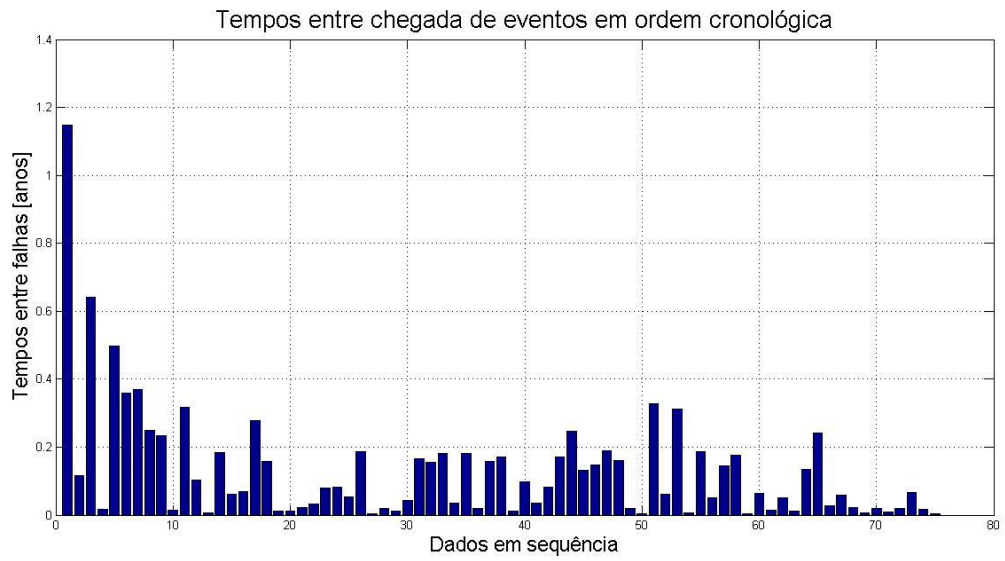


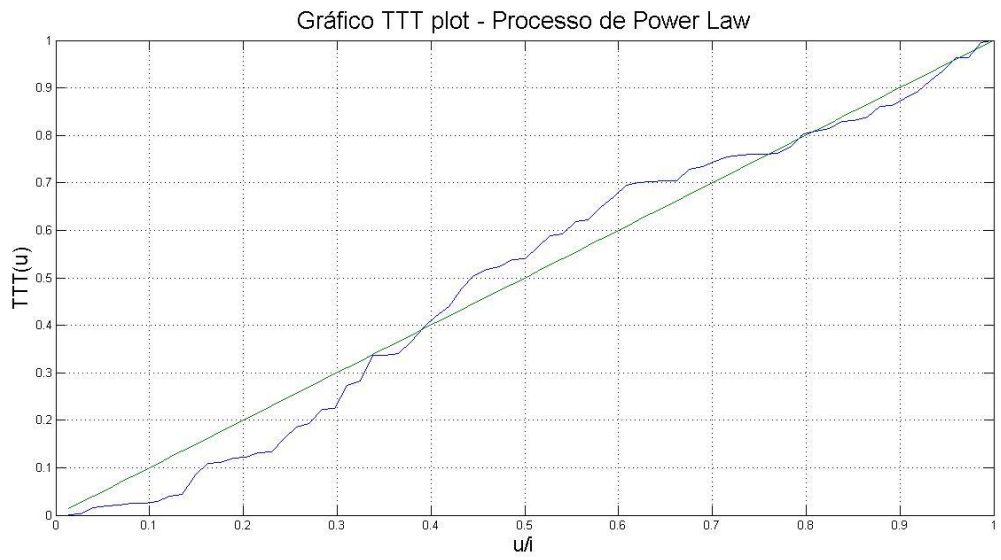
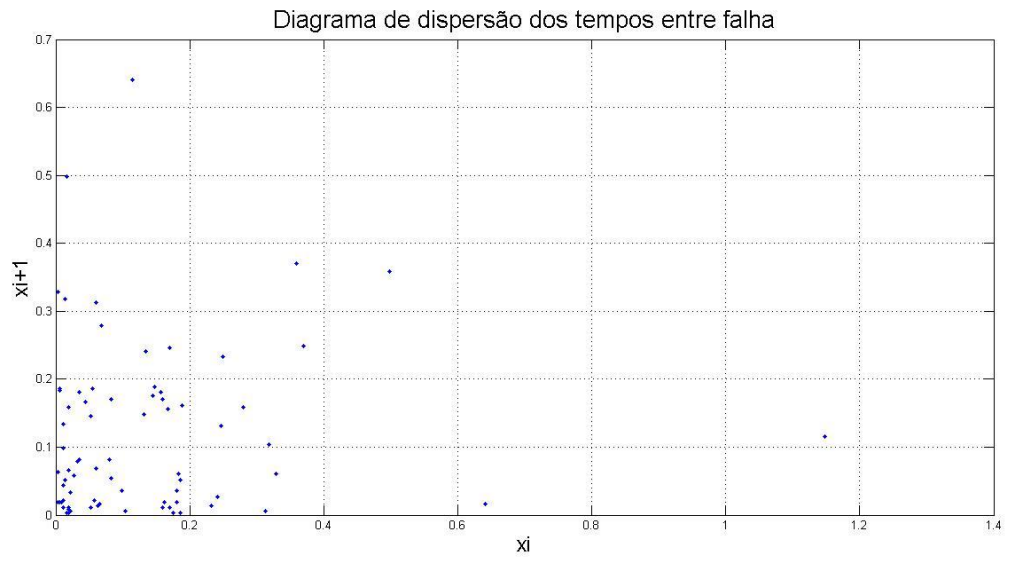




C.11. Resultados do alimentador P3-A8

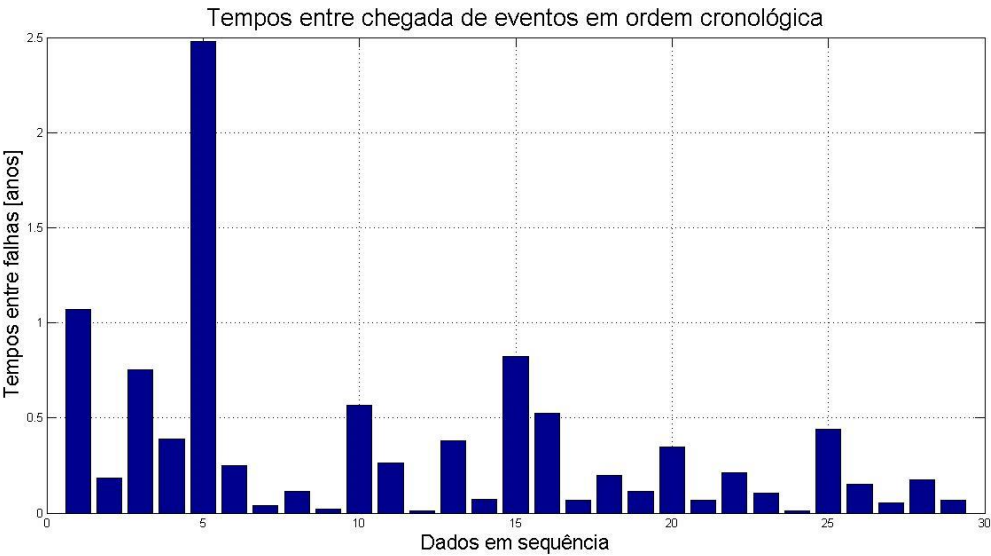
Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
75	75	0	0	24	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,1303	0,1719	131,9642	1	0,0027	1,148
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL		4,6407		Laplace	
ULR		3,5166		Lewis Robinson	
Teste de Hipótese		confiança 95%			
HPP=		NÃO			
RP=		NÃO			
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda		0,9366		Parâmetro de escala	
Beta		1,923		Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM		K-S test	

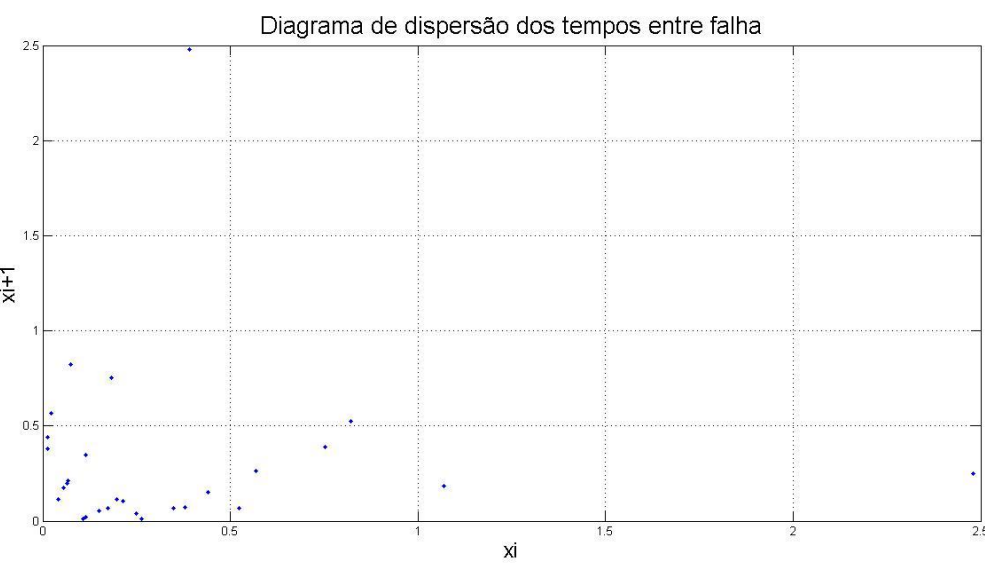
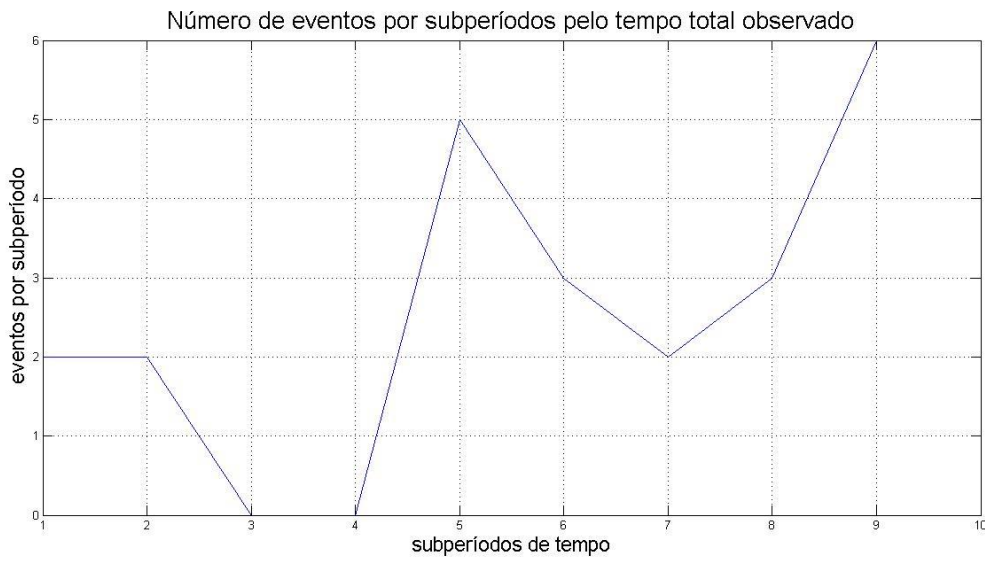
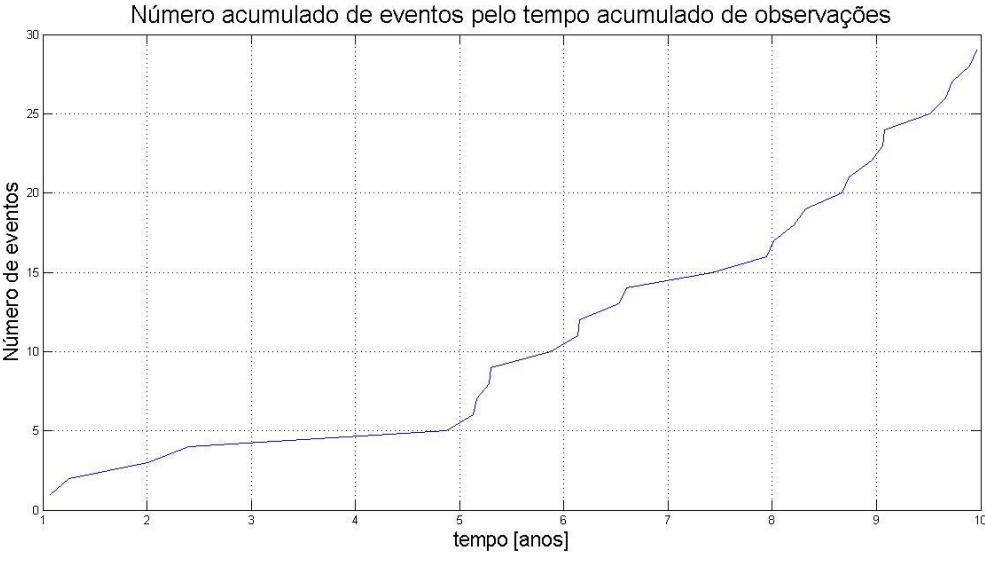


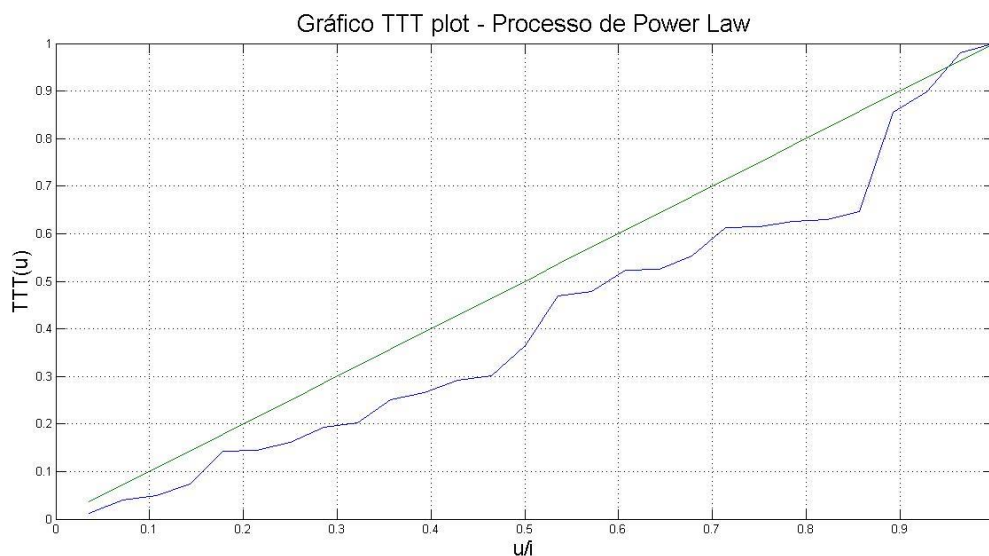


C.12. Resultados do alimentador P4-A2

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
29	29	0	0	3	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,3434	0,4886	142,279	1	0,0137	2,4794
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL			3,1249	Laplace	
ULR			2,1963	Lewis Robinson	
Teste de Hipótese			confiança 95%		
HPP=			NÃO		
RP=			NÃO		
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda		0,4305		Parâmetro de escala	
Beta		1,8317		Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM		K-S test	







C.13. Resultados do alimentador P4-A3

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
29	29	0	0	0	
média	sdev	cv%	outliers	min	max
0,3391	0,4201	123,8941	0	0,0027	1,4685

Teste de Tendência: Método Analítico

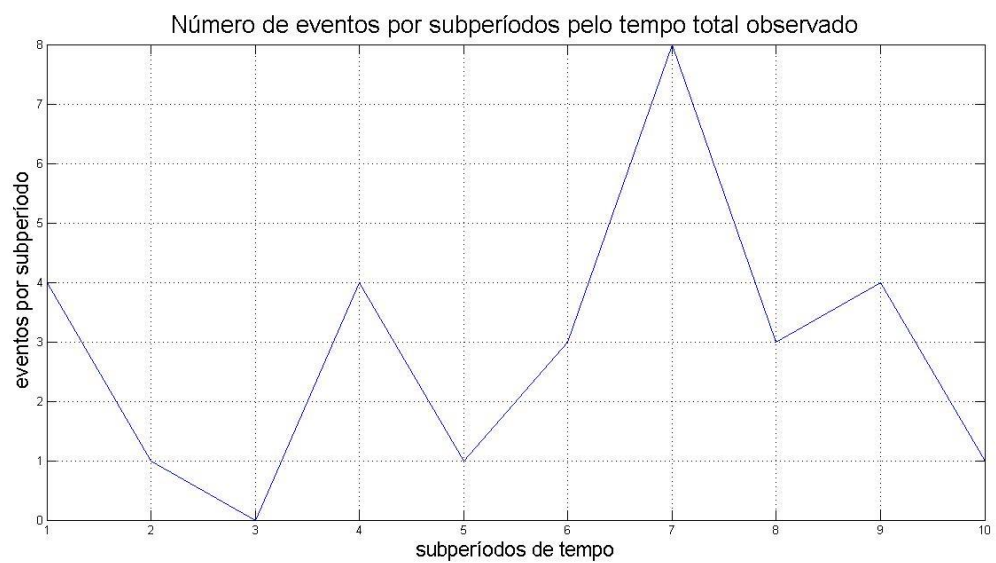
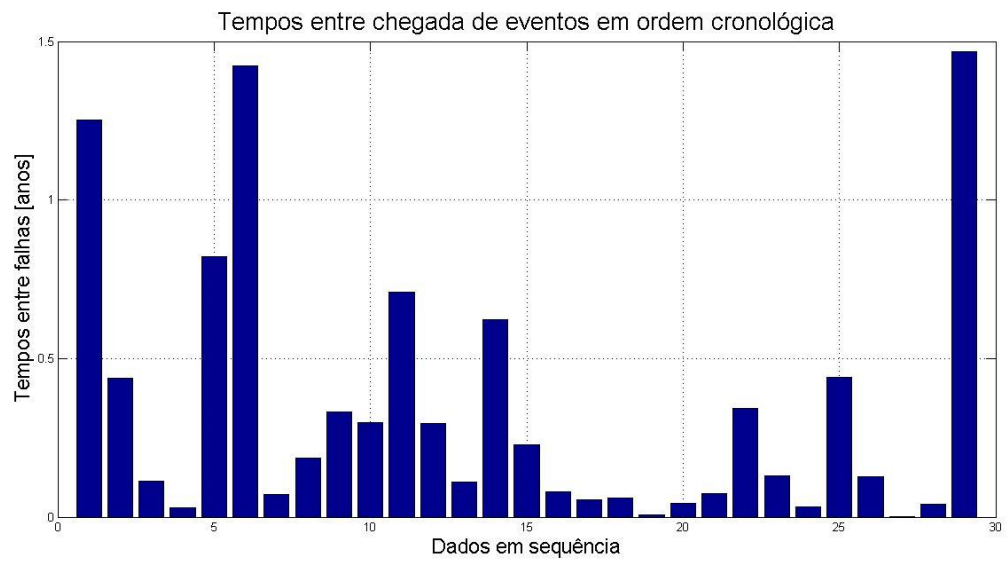
UL	1,6068	Laplace
ULR	1,2969	Lewis Robinson
Teste de Hipótese	confiança 95%	
HPP=	SIM	
RP=	SIM	

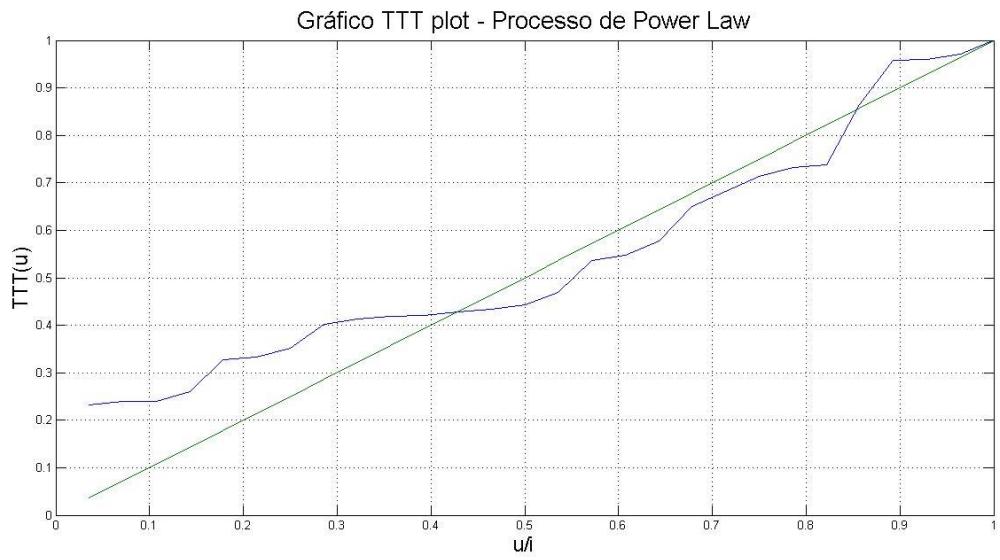
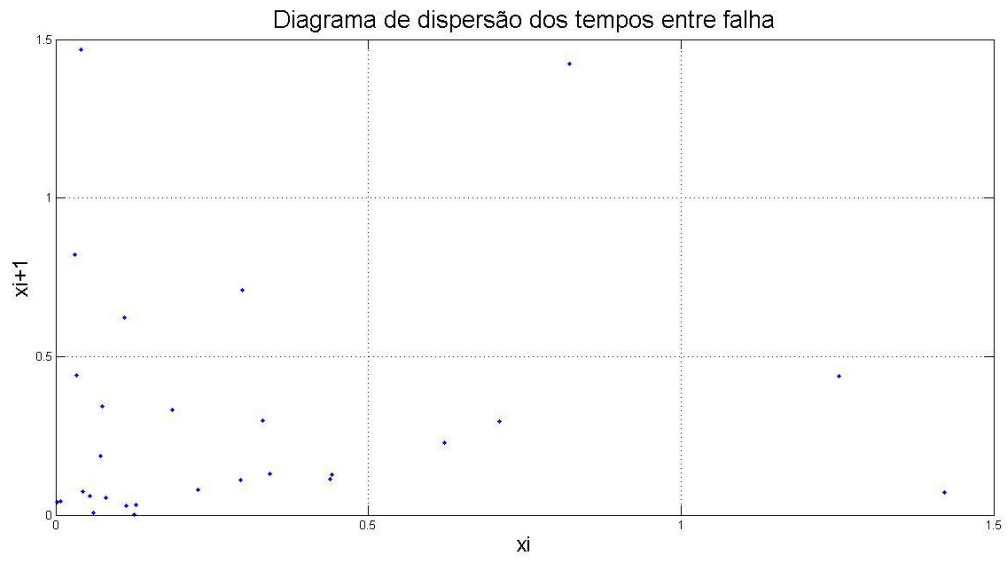
Possíveis modelos para representar os dados

Modelo	Função de Intensidade	Parâmetros		Ex	STDx	Valor K-S Test (D)	Método de Estimação
		"1"	"2"				
Lognormal	2,1962	-1,9106	1,4992	0,4553	1,3248	0,0918	MLE
Gama	2,9493	0,6515	0,5205	0,3391	0,4201	0,1106	MOM
Weibull	2,9632	0,2979	0,8001	0,3375	0,4253	0,117	MLE
Exponencial	2,9493	0,3391	0	0,3391	0,3391	0,2013	MLE,MOM
Normal	2,9493	0,3391	0,4201	0,3391	0,4201	0,2209	MLE,MOM
Logistic	2,9493	0,3391	0,2316	0,3391	0,4201	0,2298	MOM

Proc, de Power Law - 95% confiança

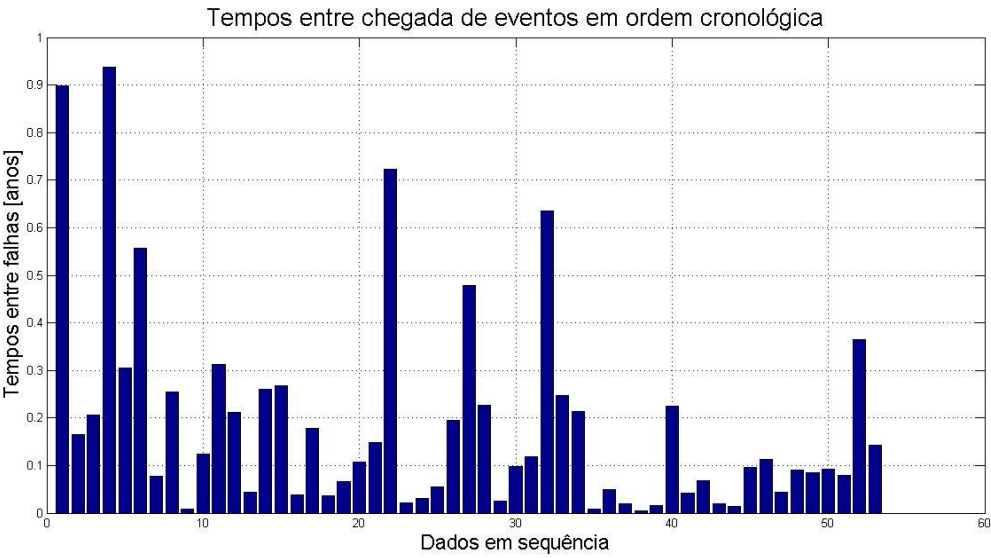
Lambda	0,9605	Parâmetro de escala
Beta	1,4908	Parâmetro de forma
Existe ajuste?	SIM	K-S test

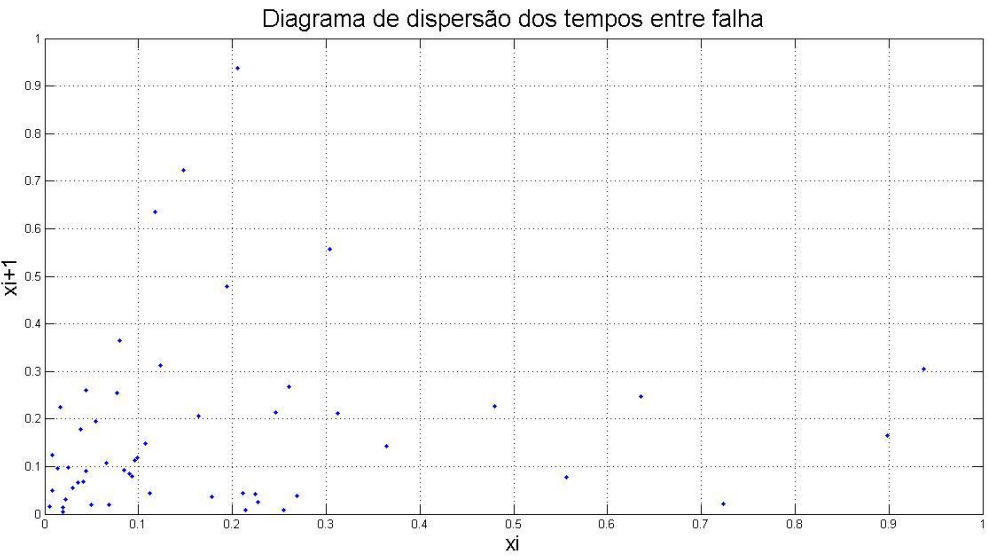
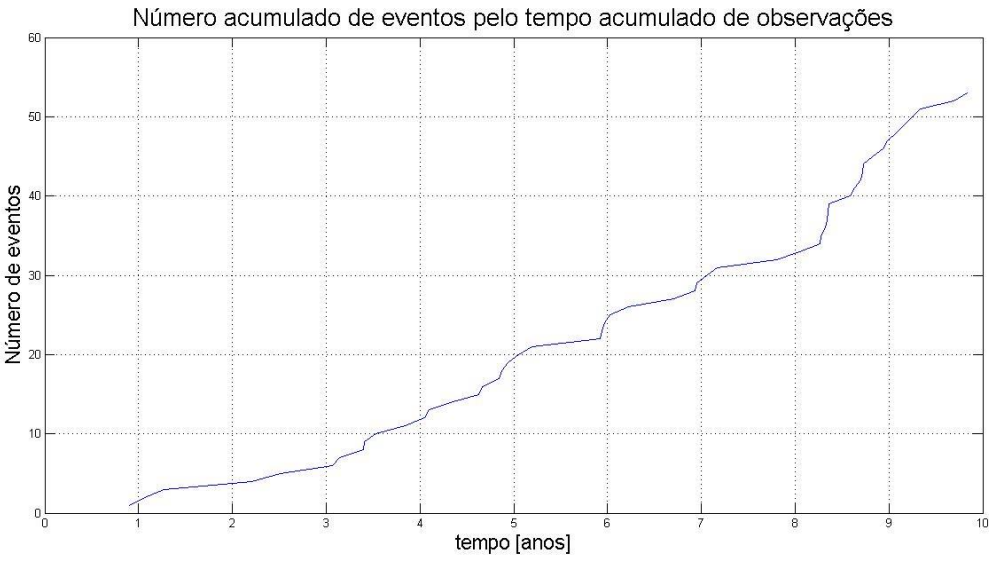


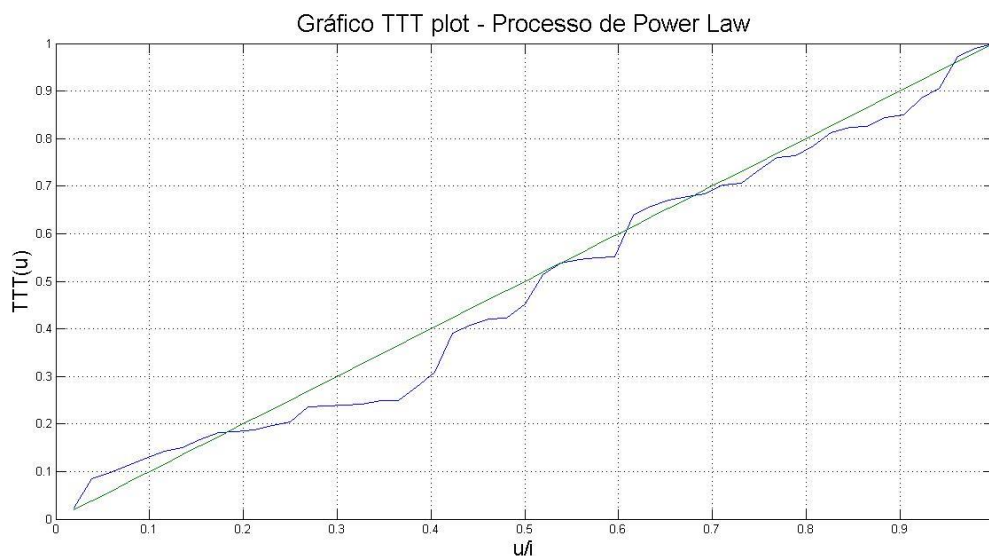


C.14. Resultados do alimentador P4-A4

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
53	53	0	0	3	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,1856	0,2158	116,2522	2	0,0055	0,937
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL	3,2482		Laplace		
ULR	2,7941		Lewis Robinson		
Teste de Hipótese	confiança 95%				
HPP=	NÃO				
RP=	NÃO				
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda	1,1219		Parâmetro de escala		
Beta	1,6862		Parâmetro de forma		
Existe ajuste?	SIM		K-S test		

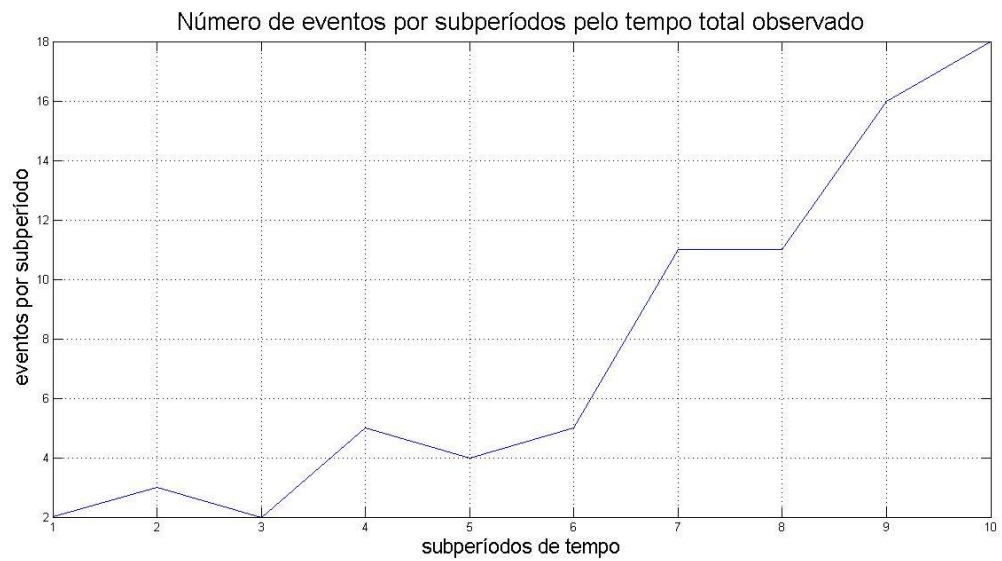
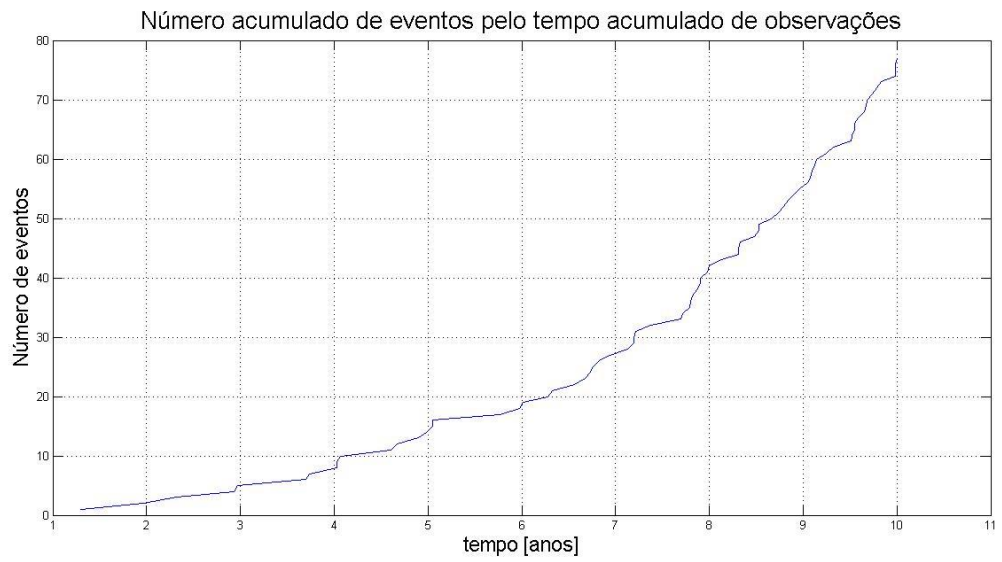
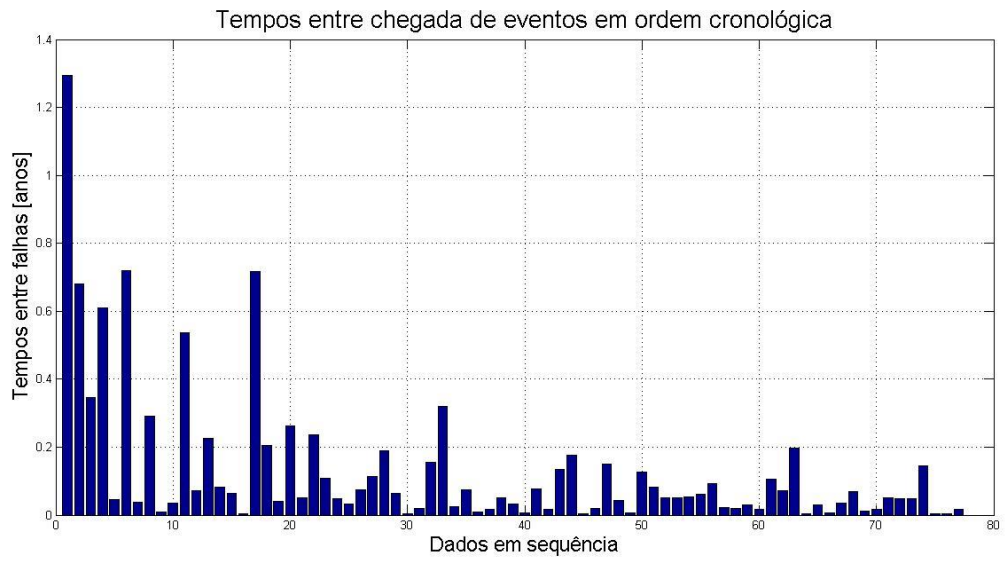


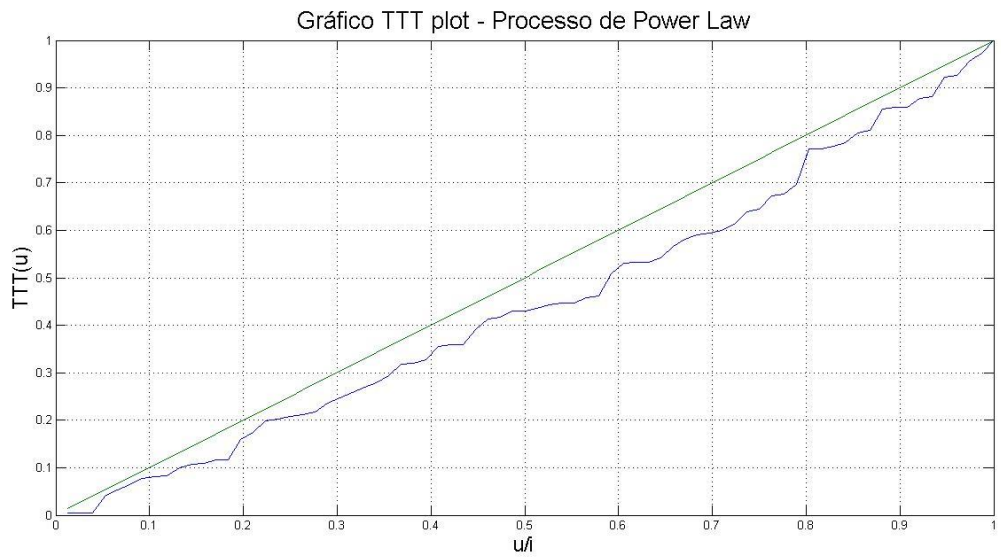
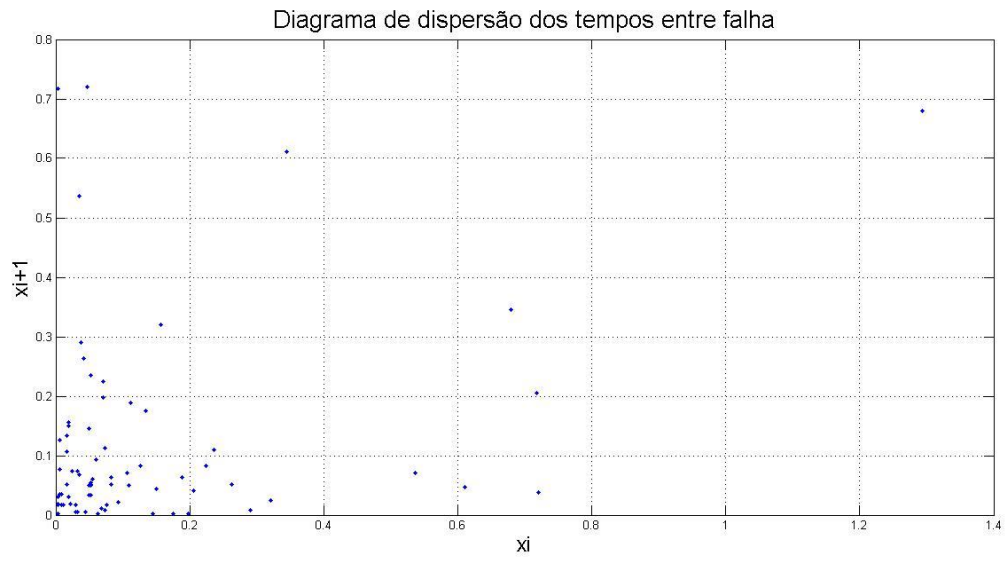




C.15. Resultados do alimentador P4-A5

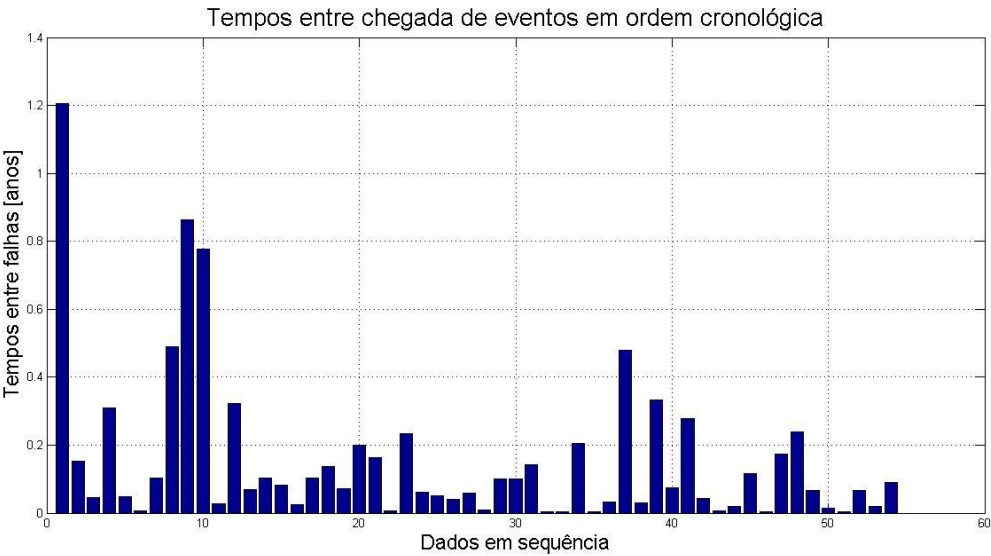
Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
77	77	0	0	27	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,1299	0,2117	162,9303	1	0,0027	1,2932
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL			7,0413	Laplace	
ULR			4,3217	Lewis Robinson	
Teste de Hipótese			confiança 95%		
HPP=			NÃO		
RP=			NÃO		
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda			0,1811	Parâmetro de escala	
Beta			2,6282	Parâmetro de forma	
Existe ajuste?			SIM	K-S test	

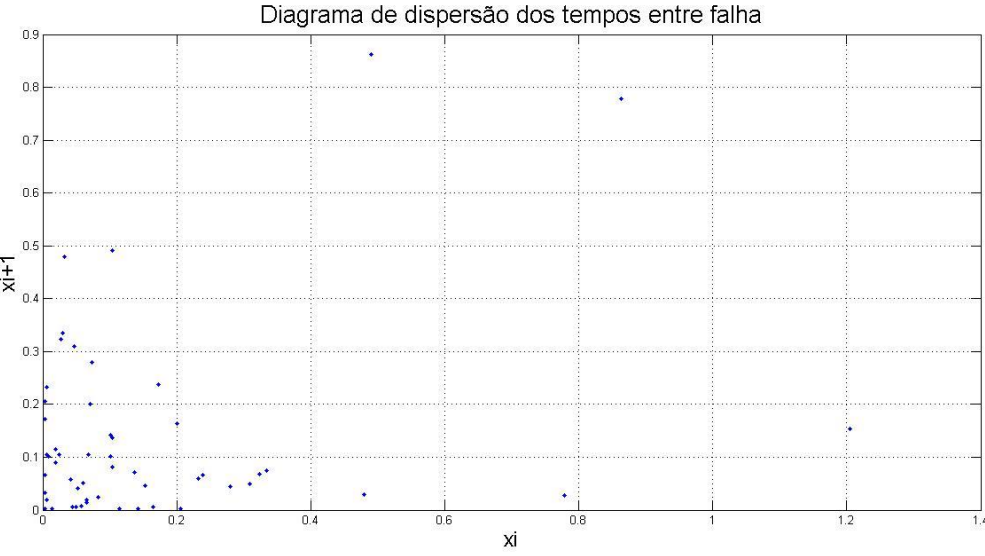
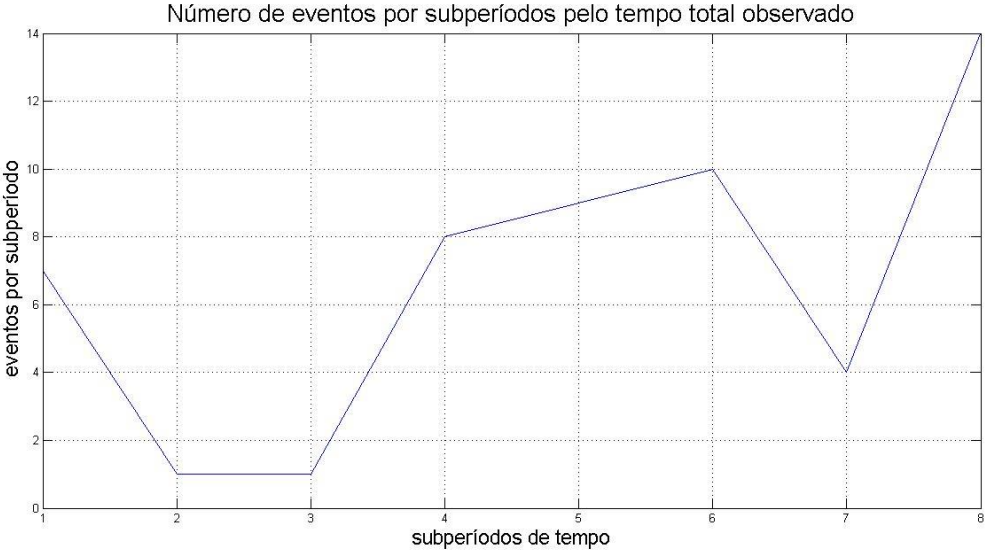
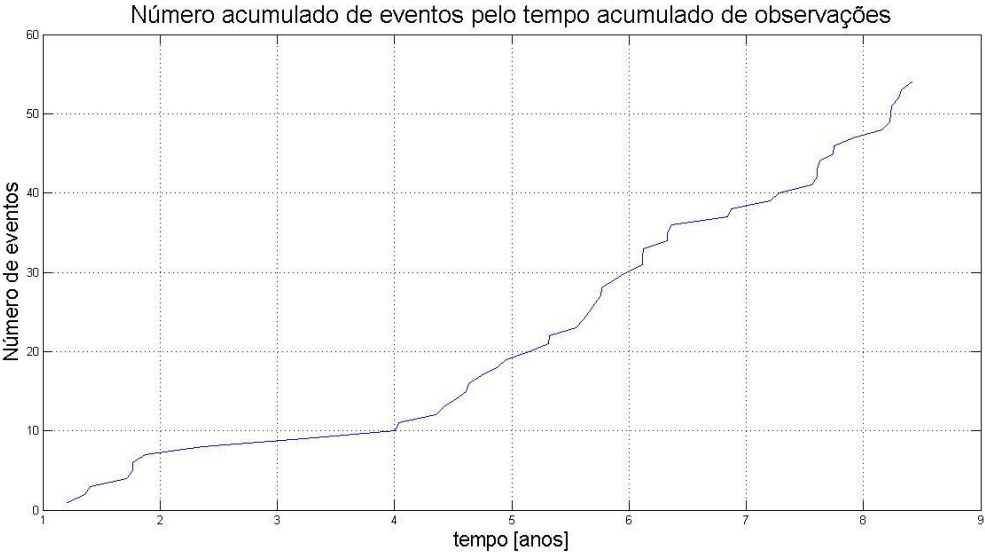


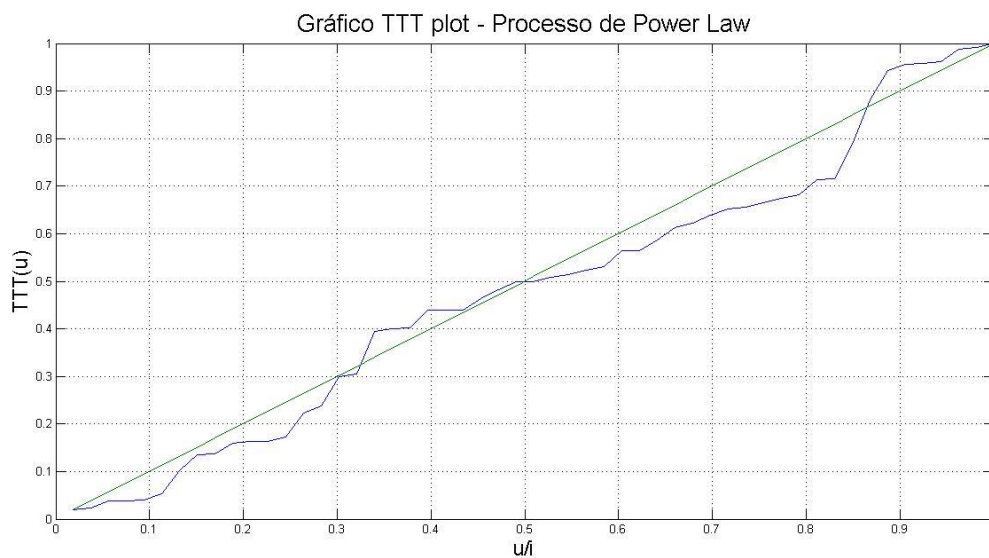


C.16. Resultados do alimentador P4-A6

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
54	54	0	0	11	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,1558	0,2296	147,3377	2	0,0027	1,2055
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL			3,9256	Laplace	
ULR			2,6643	Lewis Robinson	
Teste de Hipótese			confiança 95%		
HPP=			NÃO		
RP=			NÃO		
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda	1,0319		Parâmetro de escala		
Beta	1,8581		Parâmetro de forma		
Existe ajuste?	SIM		K-S test		

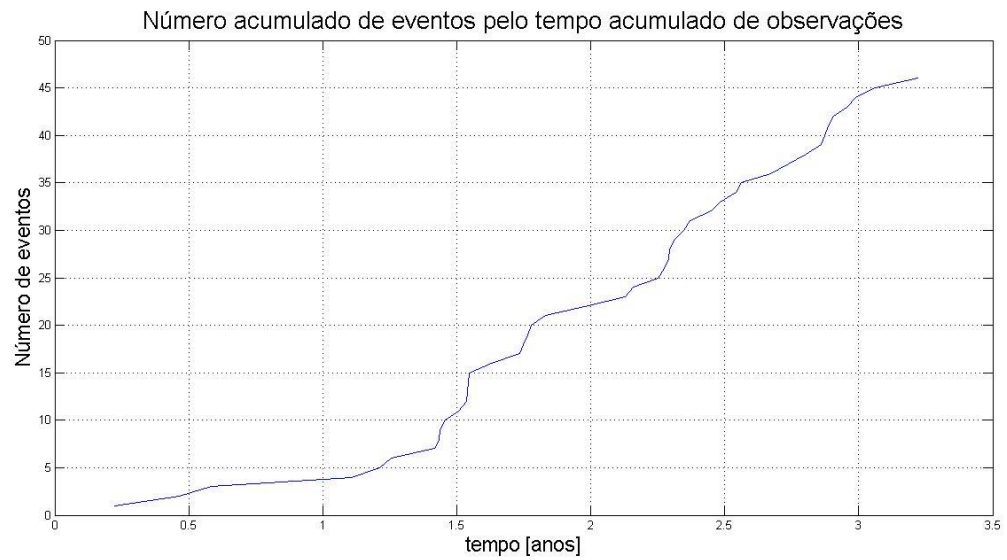
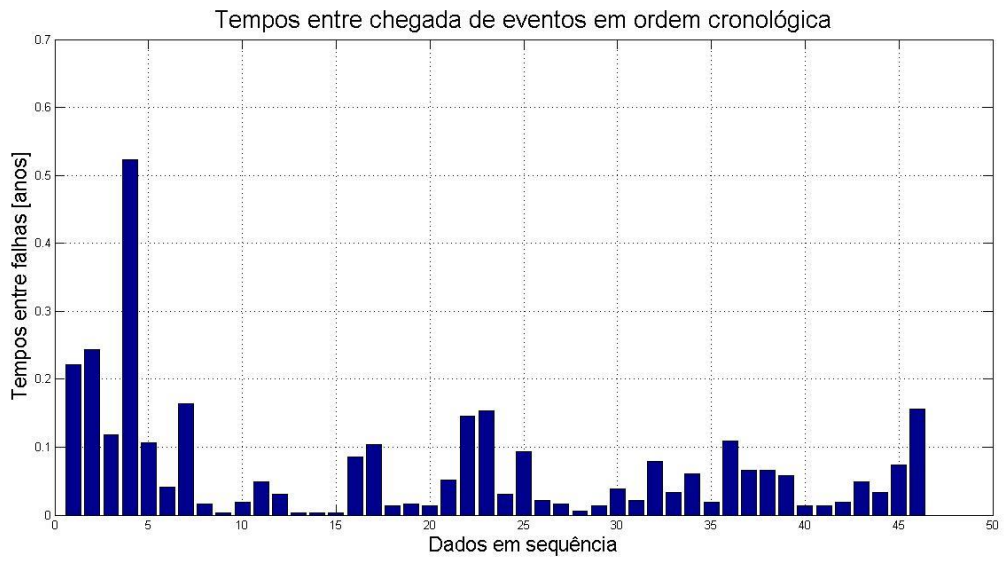


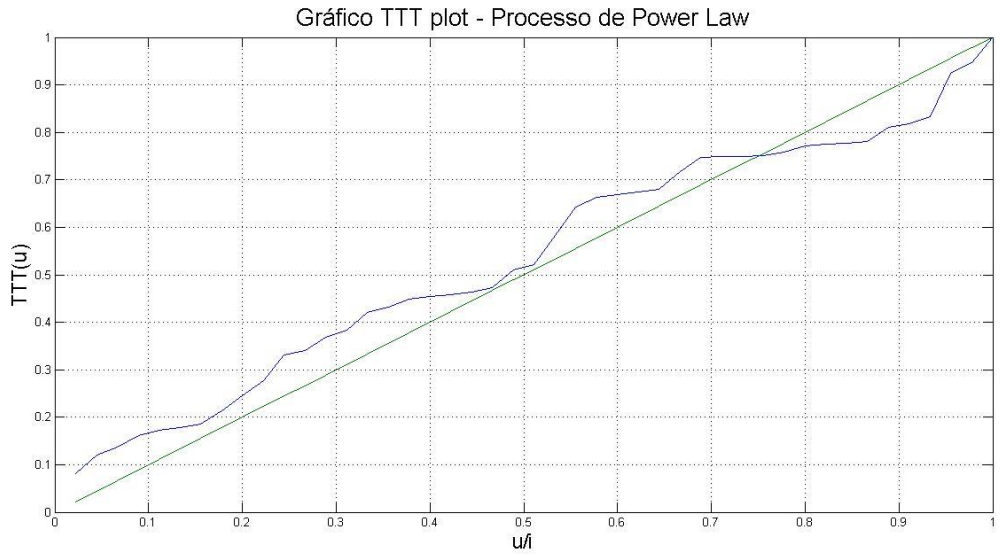
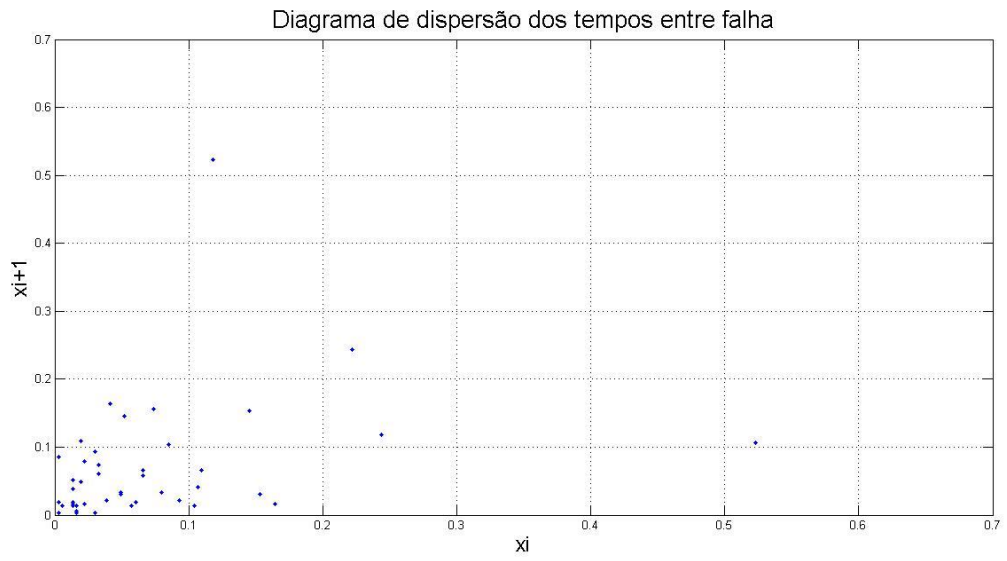




C.17. Resultados do alimentador P4-A7

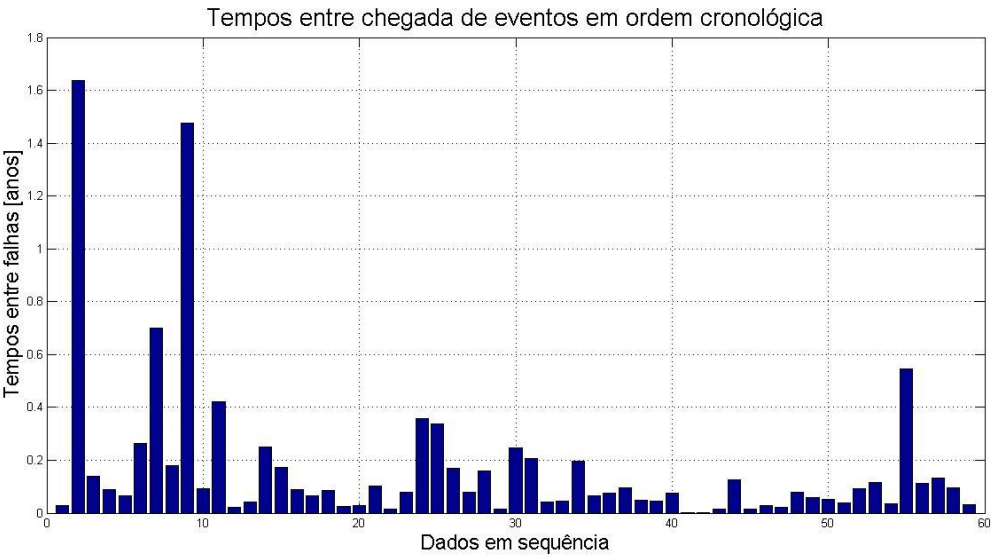
Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
46	46	0	0	16	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,07	0,0899	128,395	1	0,0027	0,5233
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL		2,8072		Laplace	
ULR		2,1864		Lewis Robinson	
Teste de Hipótese		confiança 95%			
HPP=		NÃO			
RP=		NÃO			
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda		6,206		Parâmetro de escala	
Beta		1,7134		Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM		K-S test	

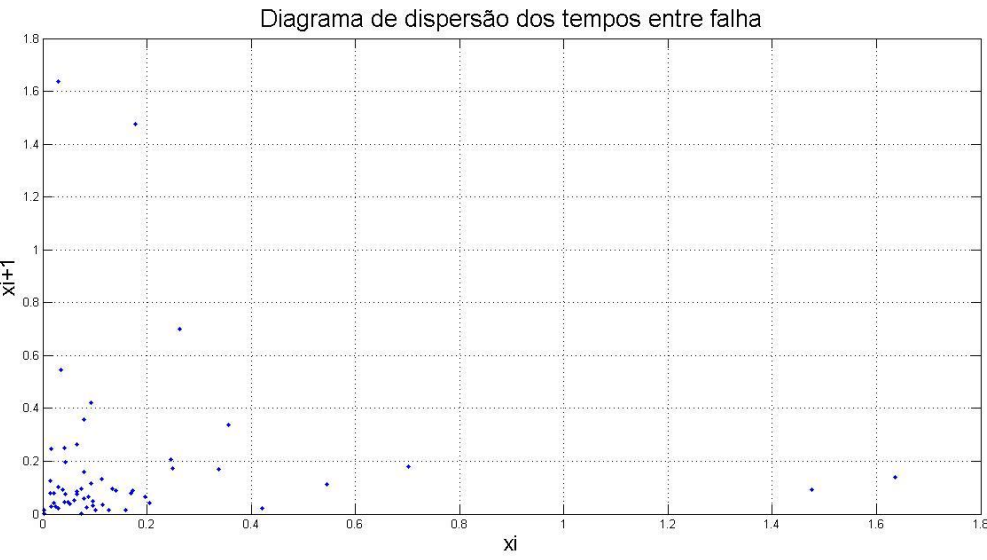
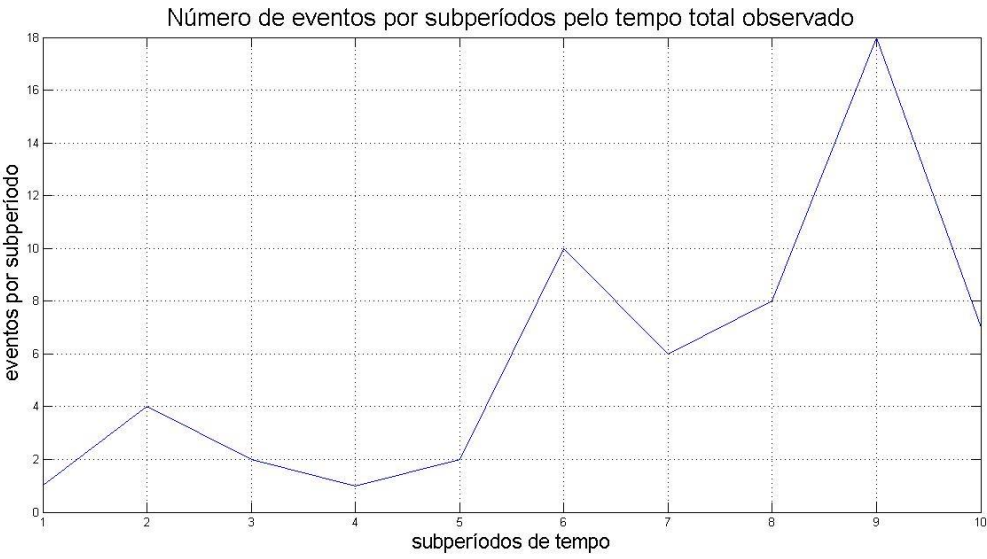
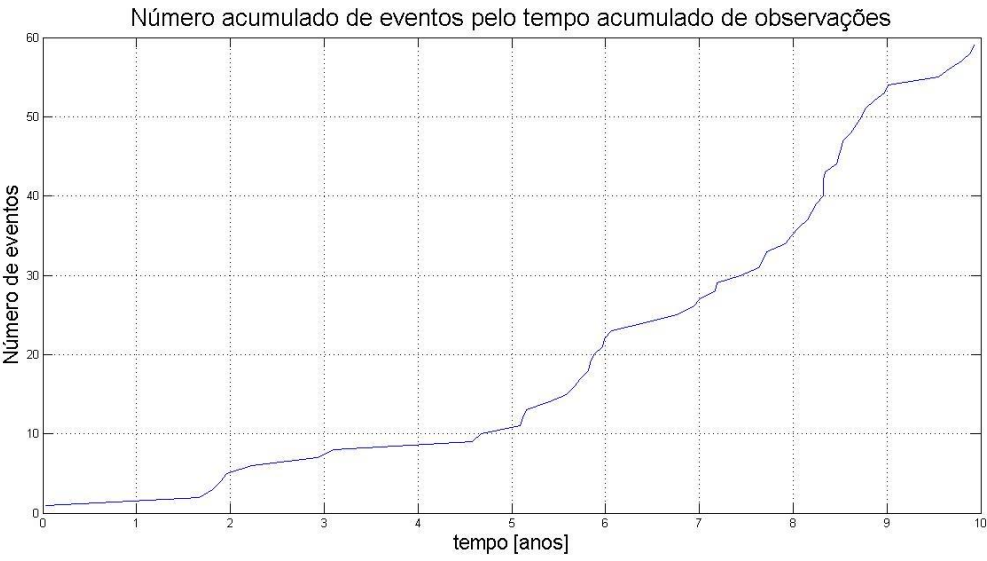




C.18. Resultados do alimentador P4-A8

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
59	59	0	0	16	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,1683	0,2935	174,4255	2	0,0027	1,6356
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL			4,5144	Laplace	
ULR			2,5882	Lewis Robinson	
Teste de Hipótese			confiança 95%		
HPP=			NÃO		
RP=			NÃO		
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda	0,9984		Parâmetro de escala		
Beta	1,7771		Parâmetro de forma		
Existe ajuste?	SIM		K-S test		







C.19. Resultados do alimentador P4-A9

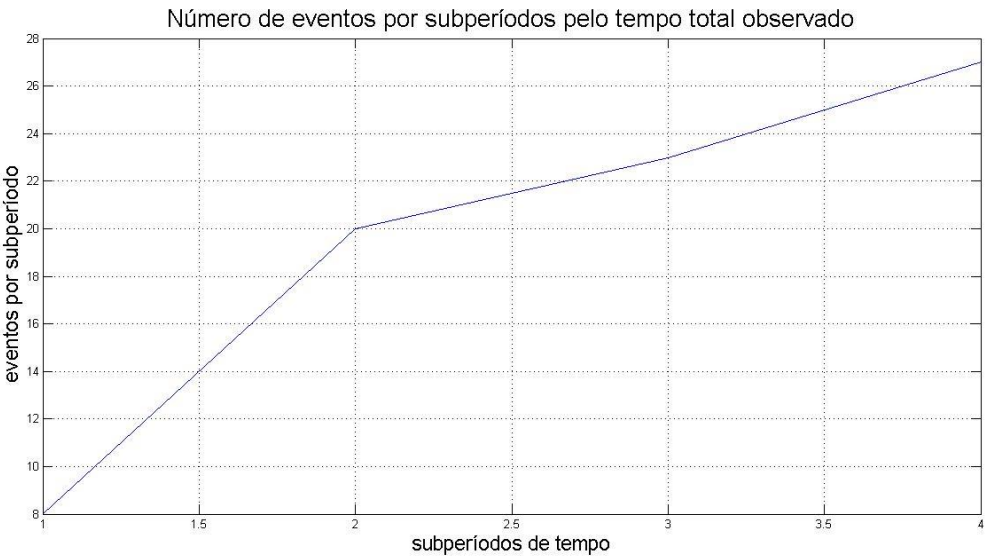
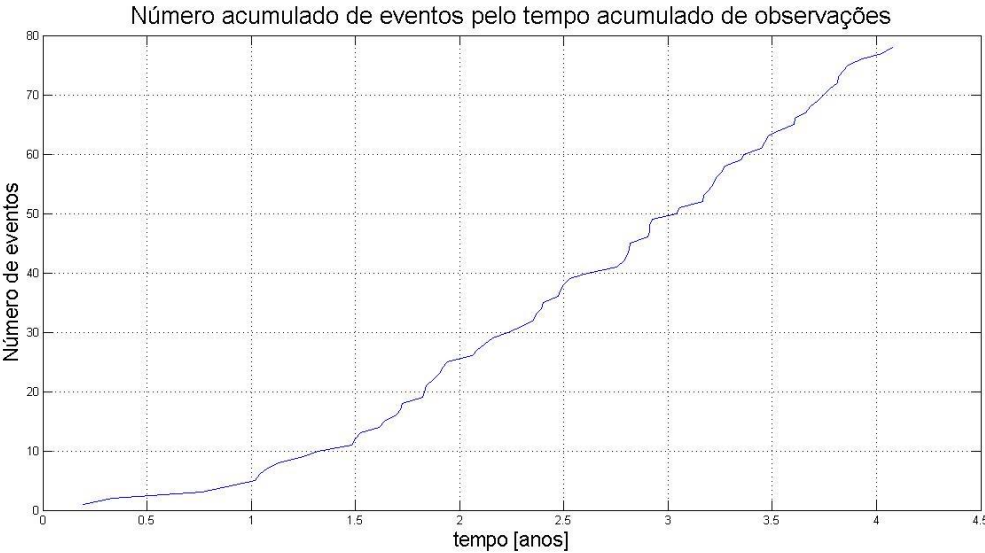
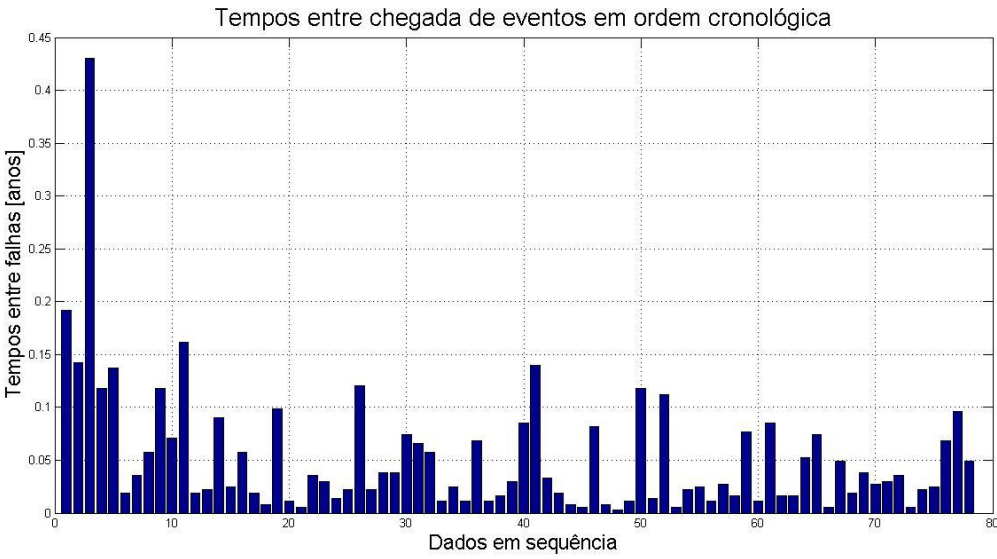
Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
78	78	0	0	42	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,0523	0,061	116,6863	1	0,0027	0,4301

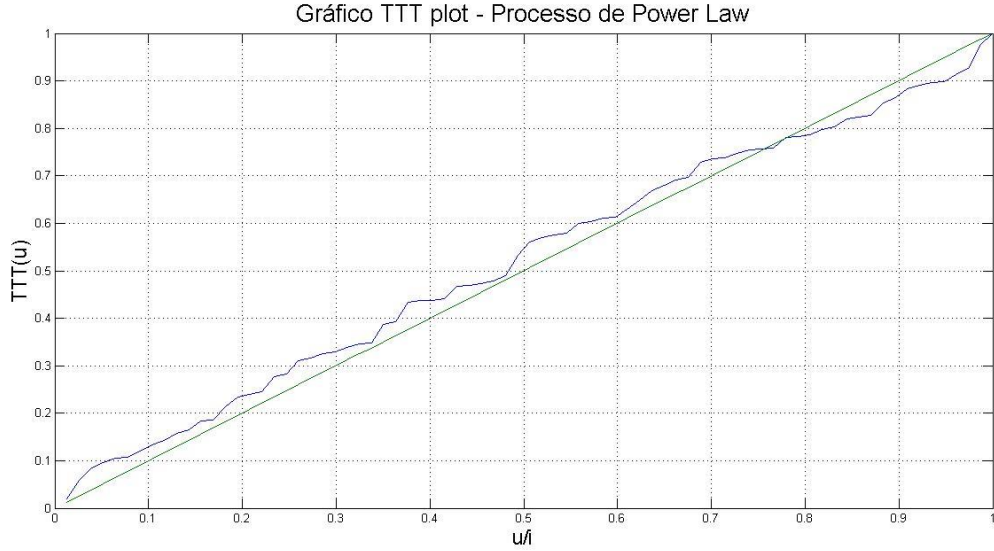
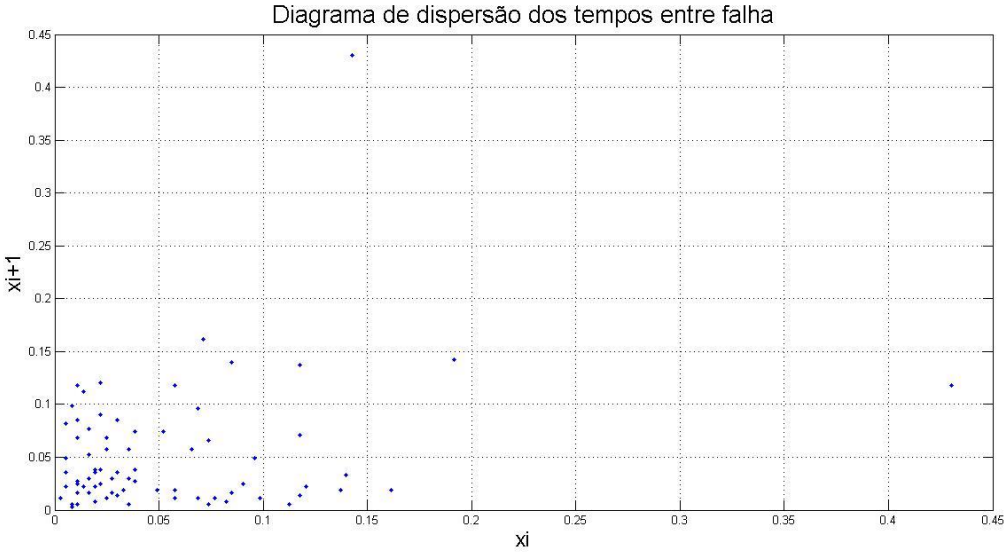
Teste de Tendência: Método Analítico

UL	3,5912	Laplace
ULR	3,0777	Lewis Robinson
Teste de Hipótese	confiança 95%	
HPP=	NÃO	
RP=	NÃO	

Processo de Power Law - 95% confiança

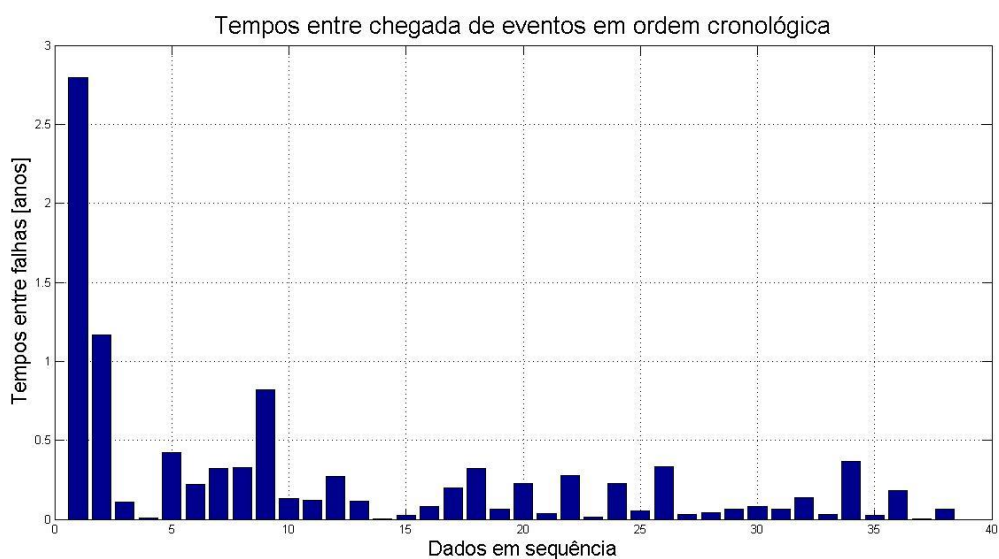
Lambda	7,3429	Parâmetro de escala
Beta	1,6815	Parâmetro de forma
Existe ajuste?	SIM	K-S test

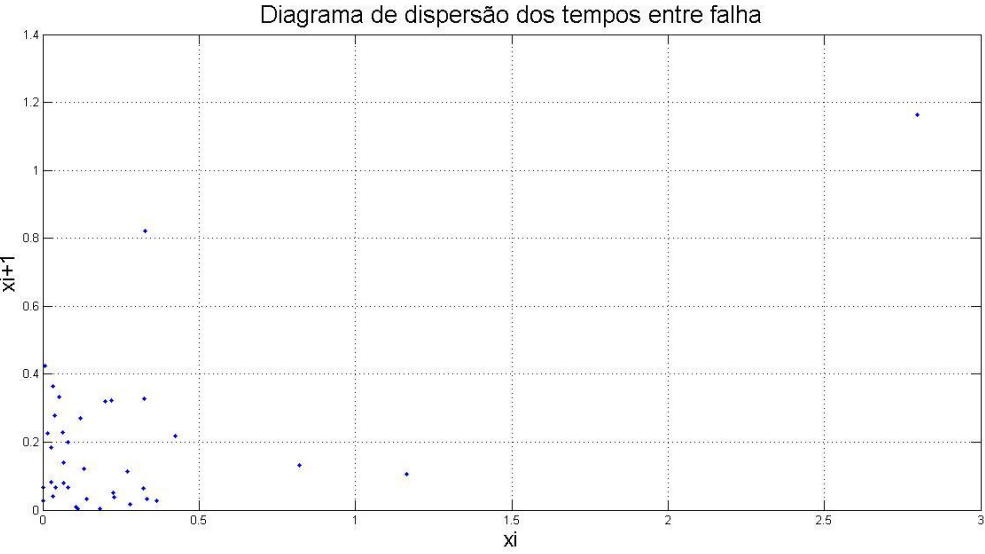
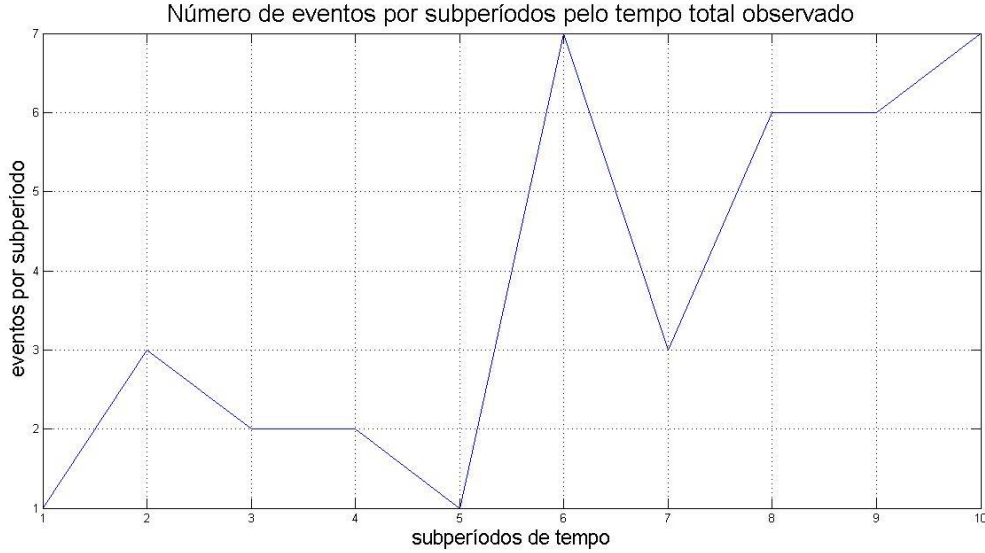
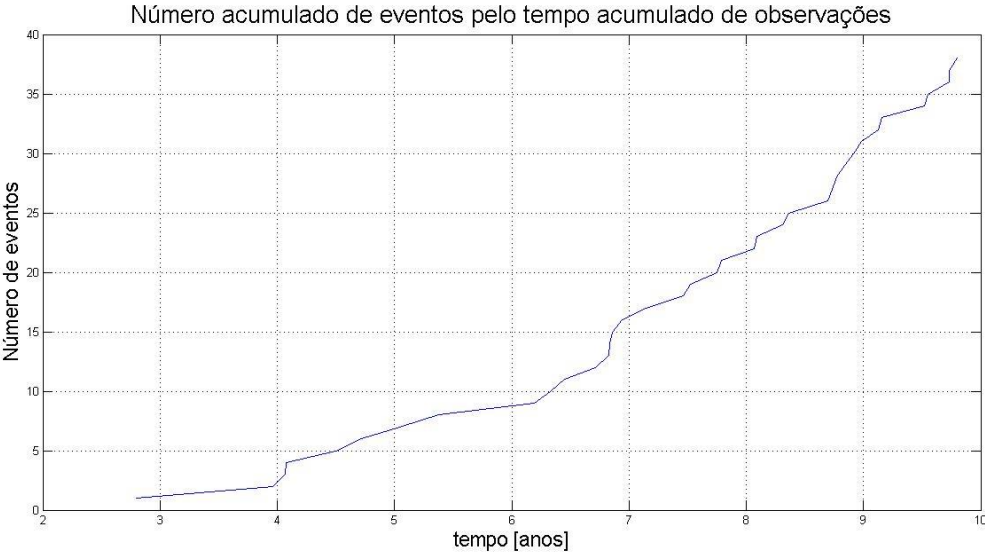


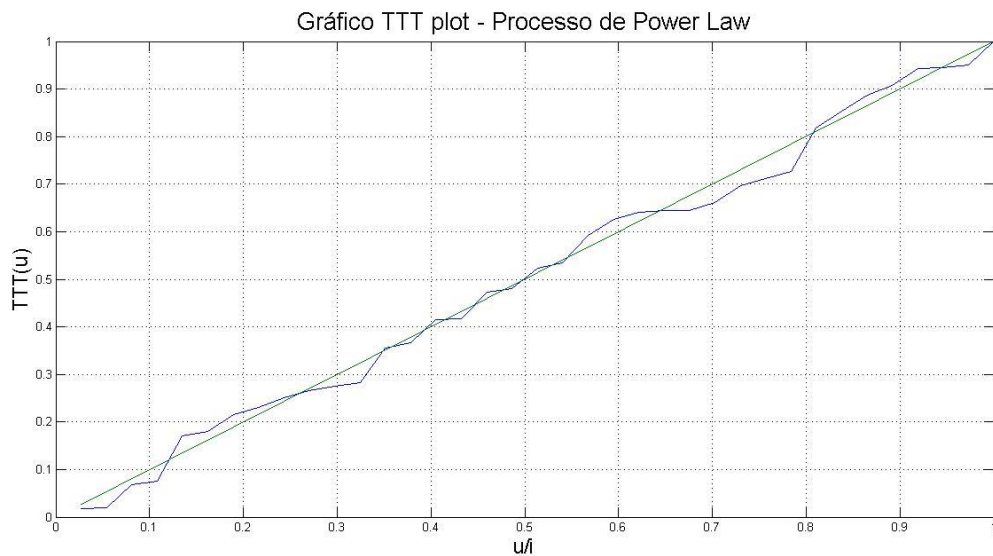


C.20. Resultados do alimentador P4-A10

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
38	38	0	0	5	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,2579	0,481	186,5023	1	0,0027	2,7973
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL		5,0361		Laplace	
ULR		2,7003		Lewis Robinson	
Teste de Hipótese		confiança 95%			
HPP=		NÃO			
RP=		NÃO			
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda		0,058		Parâmetro de escala	
Beta		2,8416		Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM		K-S test	

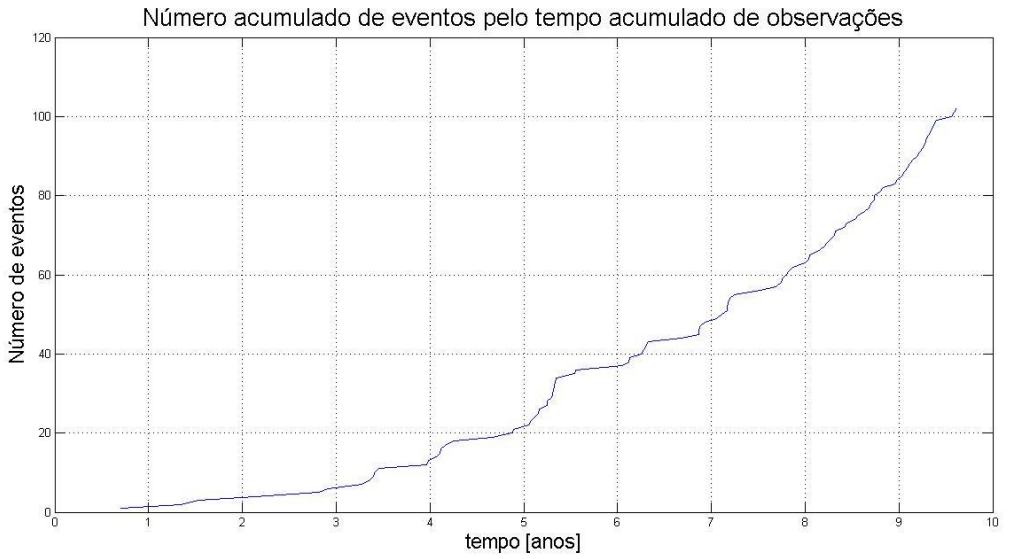
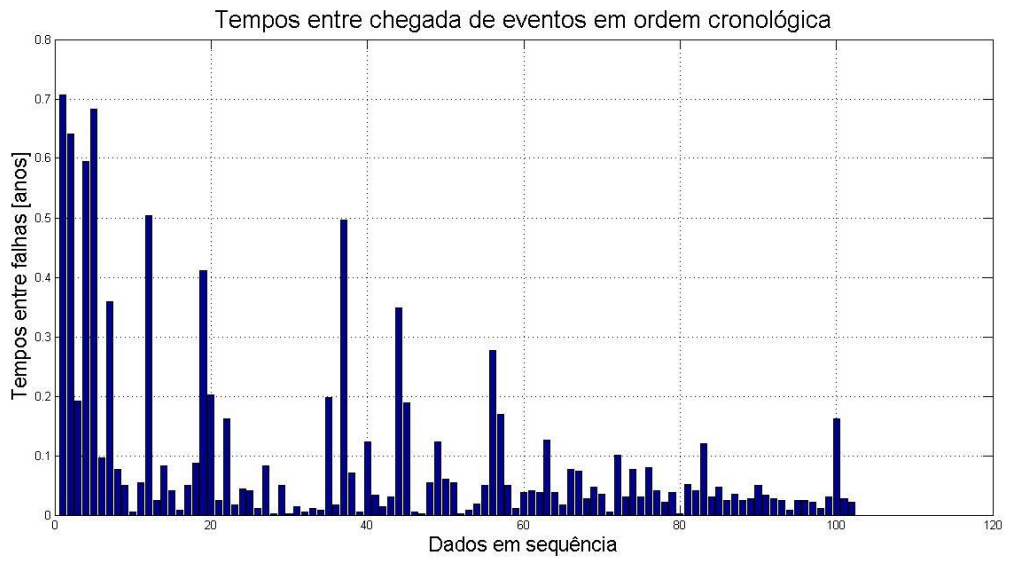


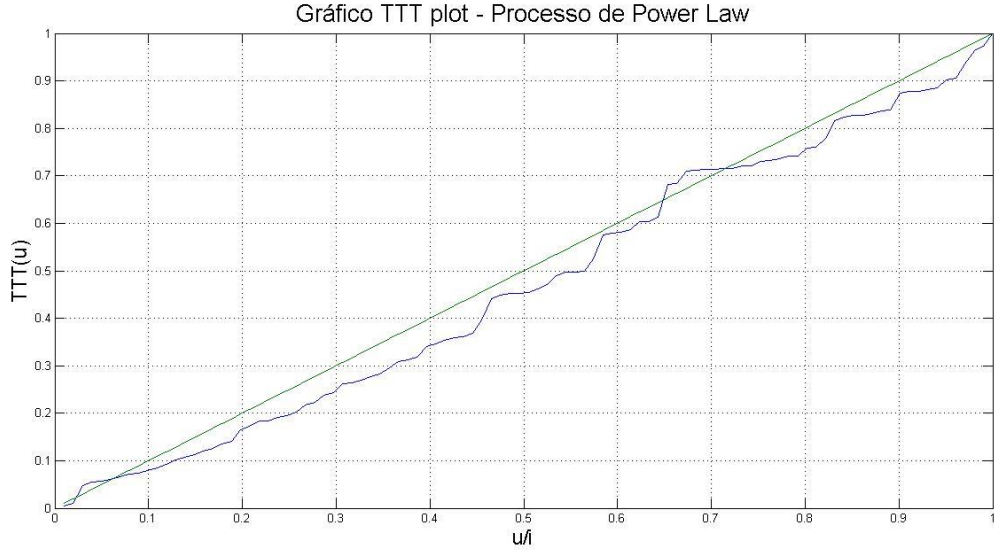
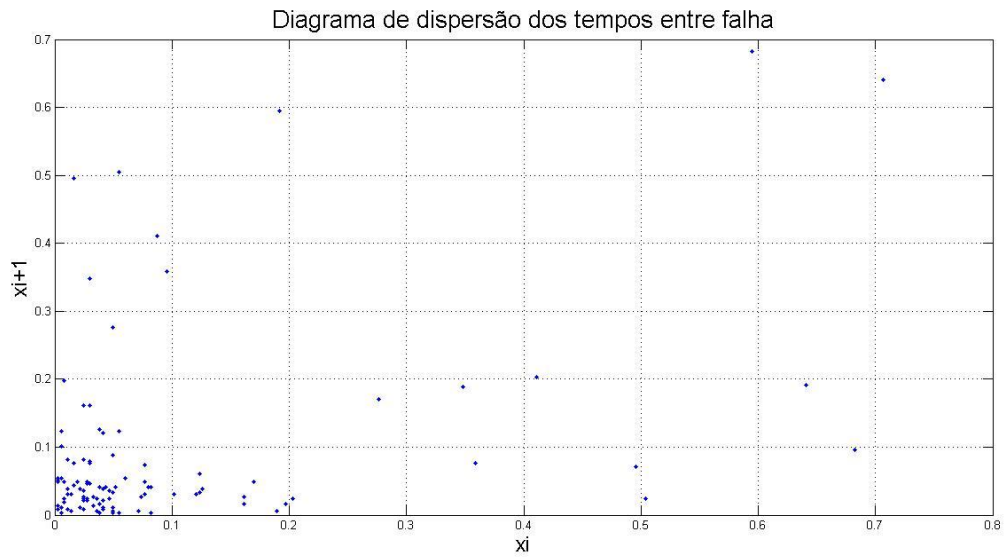




C.21. Resultados do alimentador P5-A1

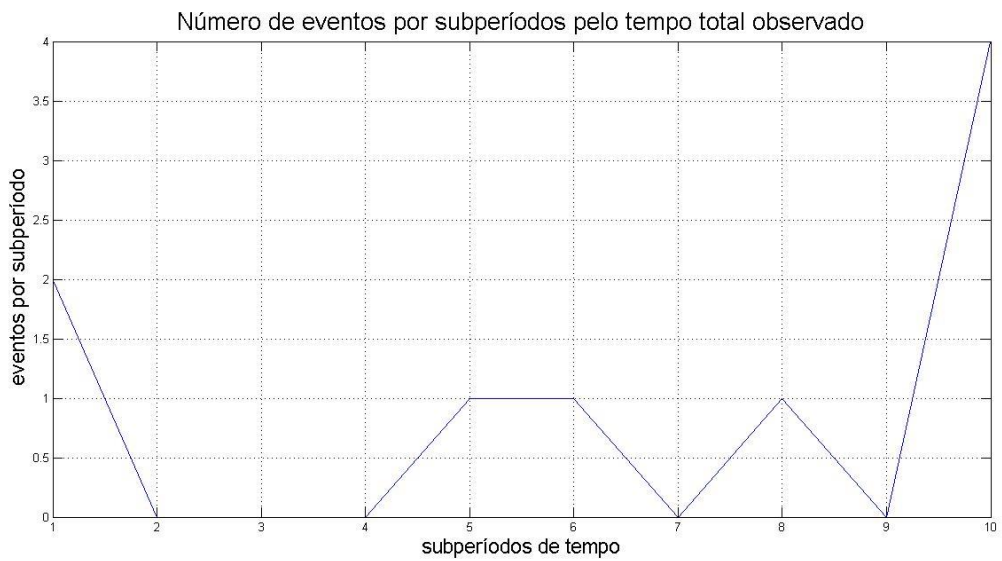
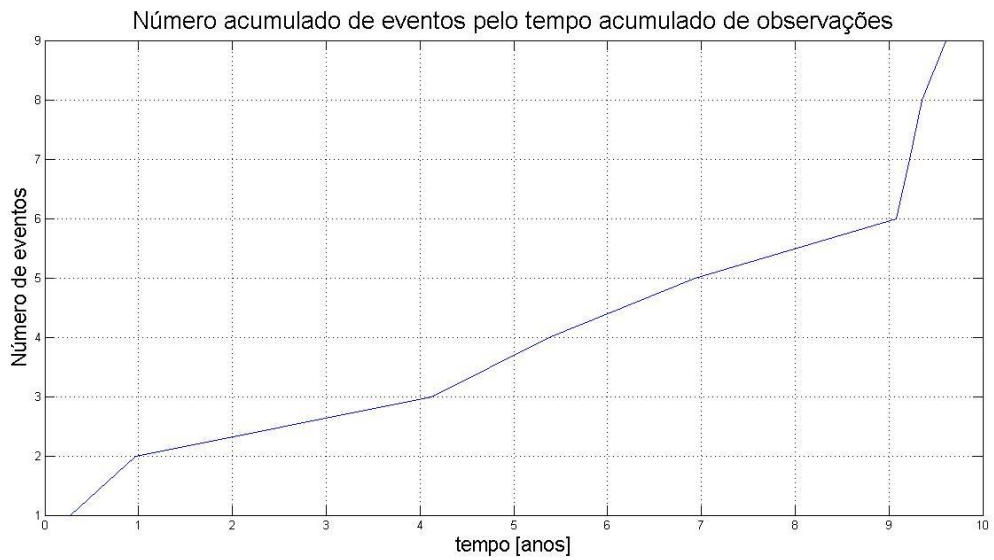
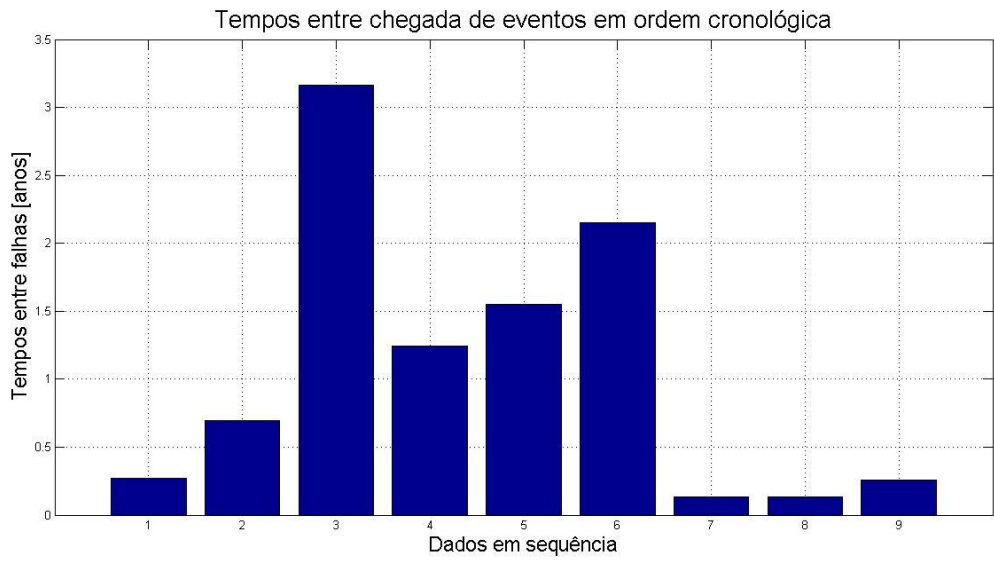
Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
102	102	0	0	54	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,0942	0,1496	158,8106	4	0,0027	0,7068
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL			6,8677	Laplace	
ULR			4,3244	Lewis Robinson	
Teste de Hipótese			confiança 95%		
HPP=			NÃO		
RP=			NÃO		
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda			0,6184	Parâmetro de escala	
Beta			2,2565	Parâmetro de forma	
Existe ajuste?			SIM	K-S test	

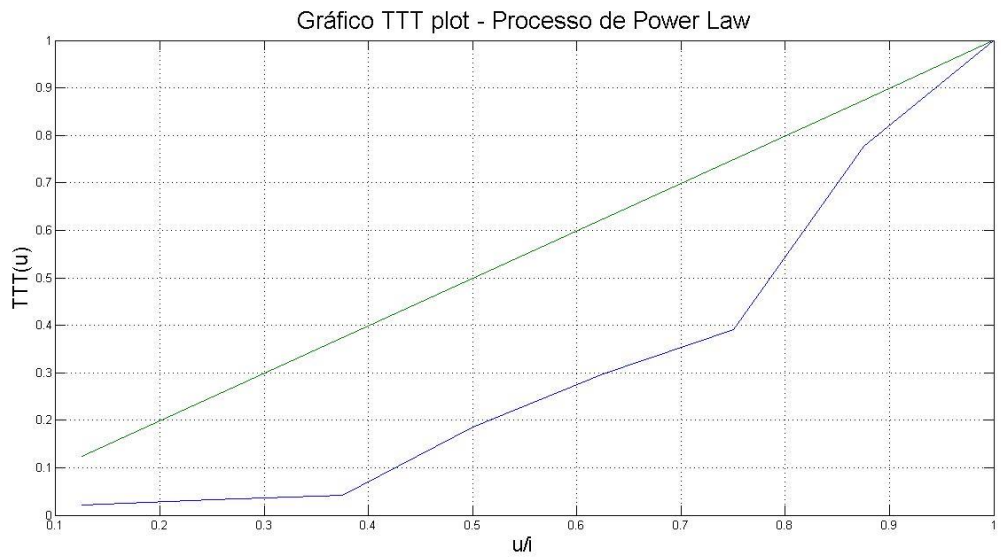
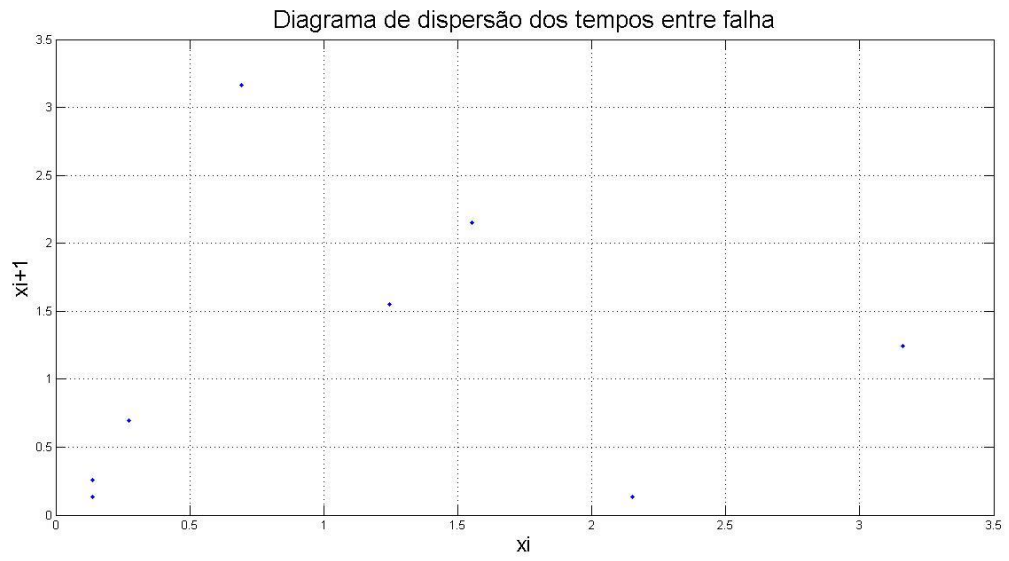




C.22. Resultados do alimentador P5-A2

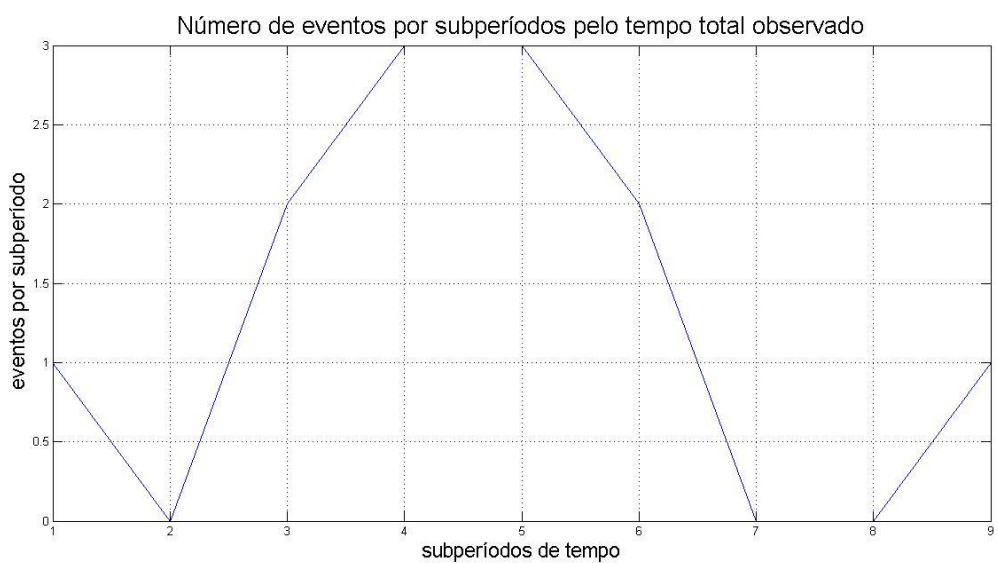
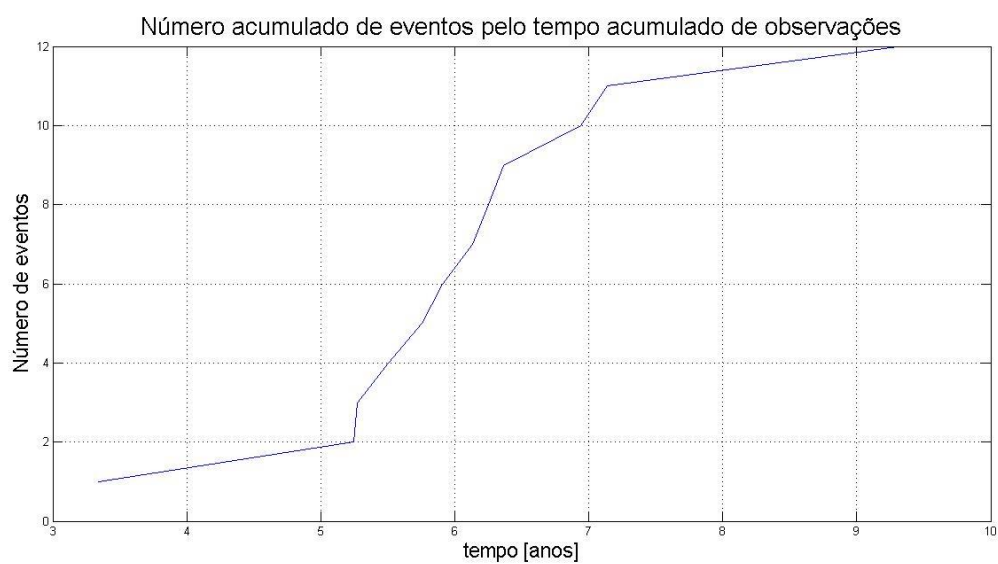
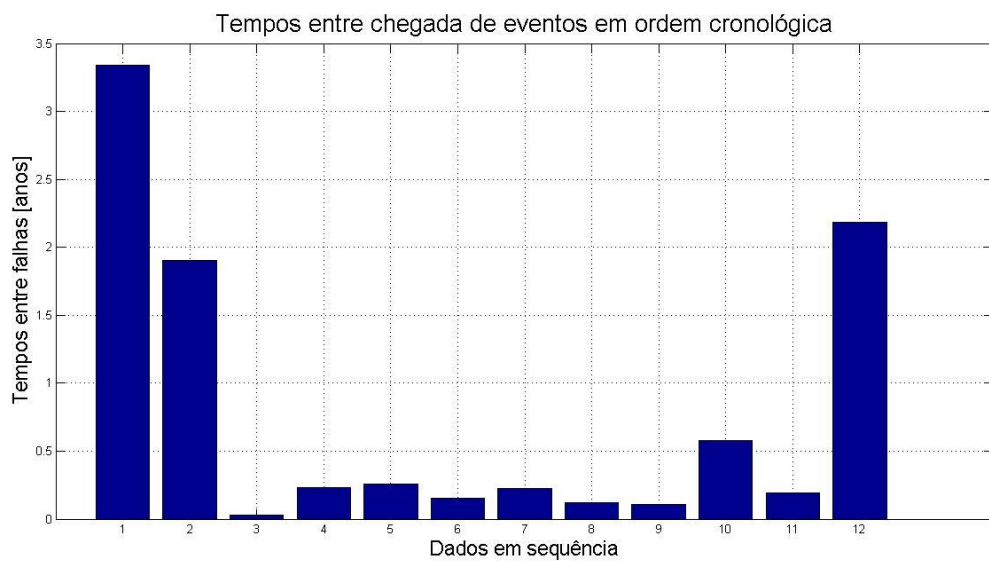
Análise estatística dos dados							
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido			
9	9	0	0	1			
média	sdev	cv%	outliers	min	max		
1,0679	1,0604	99,2952	0	0,137	3,1616		
Teste de Tendência: Método Analítico							
UL		0,8777		Laplace			
ULR		0,8839		Lewis Robinson			
Teste de Hipótese		confiança 95%					
HPP=		SIM					
RP=		SIM					
Possíveis modelos para representar os dados							
Modelo	Função de Intensidade	Parâmetros		Ex	STDx	Valor K-S Test (D)	Método de Estimação
		"1"	"2"				
Normal	0,9364	1,0679	1,0604	1,0679	1,0604	0,2174	MLE,MOM
Exponencial	0,9364	1,0679	0	1,0679	1,0679	0,2182	MLE,MOM
Weibull	0,9364	1,0711	1,0071	1,0679	1,0604	0,2207	MOM
Gama	0,9364	1,0142	1,0529	1,0679	1,0604	0,2213	MOM
Logistic	0,9364	1,0679	0,5846	1,0679	1,0604	0,2399	MOM
Uniforme	0,9364	-0,7687	2,9045	1,0679	1,0604	0,2466	MOM
Lognormal	0,9364	-0,2774	0,8283	1,0679	1,0604	0,3348	MOM
Loglogistic	0,9364	2,704	0,8433	1,0679	1,0604	0,3988	MOM
Proc, de Power Law - 95% confiança							
Lambda		1,1602				Parâmetro de escala	
Beta		0,9053				Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM				K-S test	

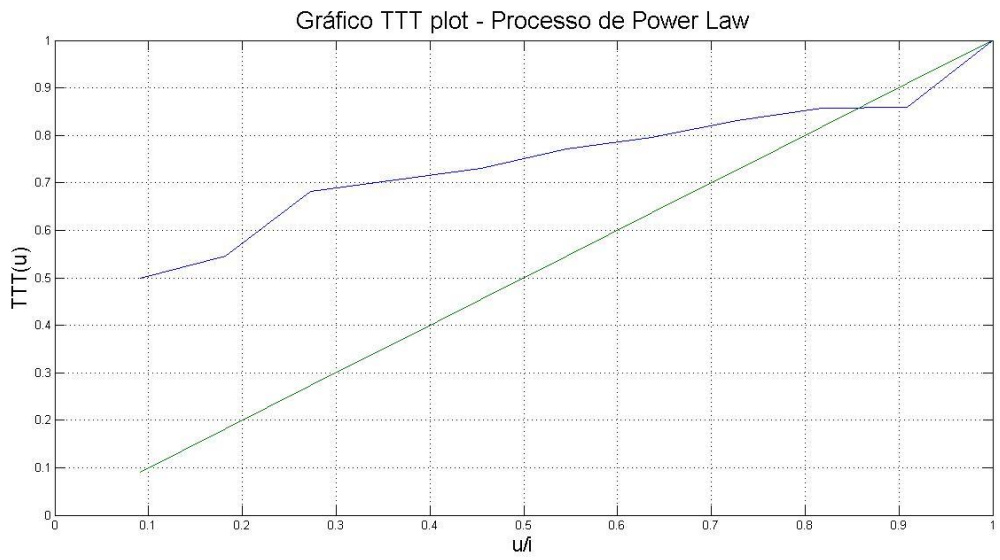
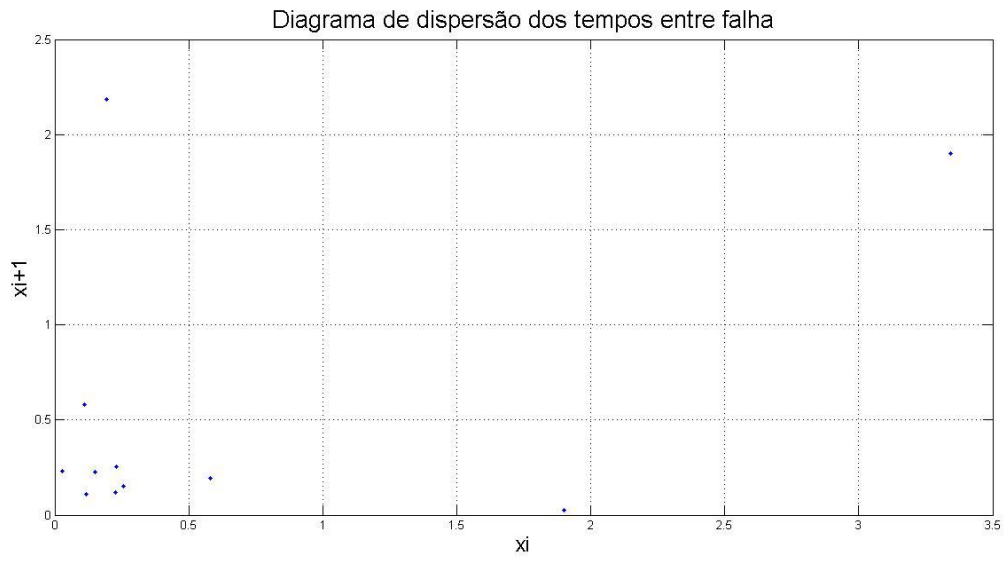




C.23. Resultados do alimentador P5-A3

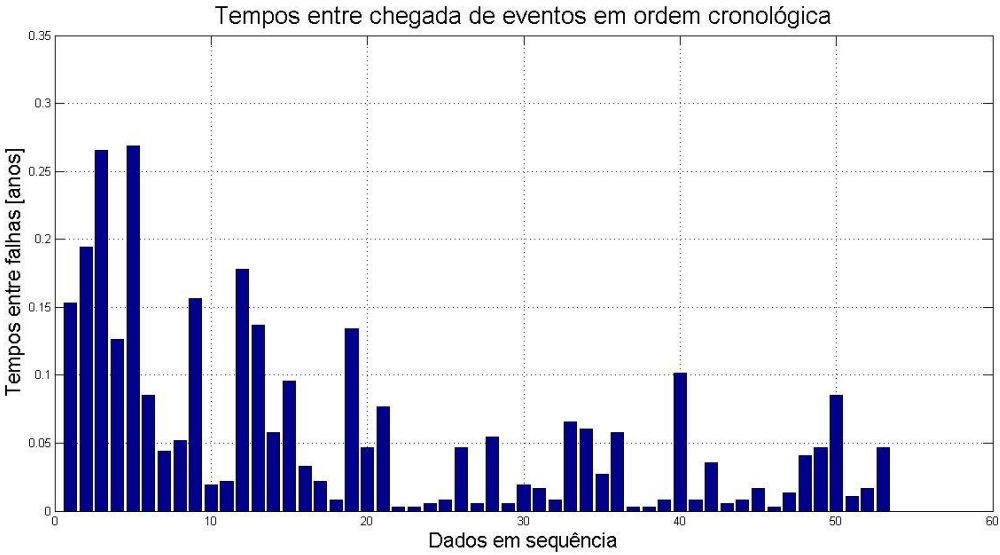
Análise estatística dos dados							
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido			
12	12	0	0	0			
média	sdev	cv%	outliers	min	max		
0,7769	1,0837	139,4789	0	0,0274	3,3425		
Teste de Tendência: Método Analítico							
UL		1,4083		Laplace			
ULR		1,0097		Lewis Robinson			
Teste de Hipótese		confiança 95%					
HPP=		SIM					
RP=		SIM					
Possíveis modelos para representar os dados							
Modelo	Função de Intensidade	Parâmetros		Ex	STDx	Valor K-S Test (D)	Método de Estimação
		"1"	"2"				
Lognormal	1,1524	-1,1422	1,4145	0,8678	2,1943	0,2299	MLE
Gama	1,2871	0,514	1,5115	0,7769	1,0837	0,2397	MOM
Weibull	1,2871	0,6376	0,7298	0,7769	1,0837	0,266	MOM
Weibull	1,3168	0,6395	0,7525	0,7594	1,0236	0,273	MLE
Gama	1,2871	0,6817	1,1397	0,7769	0,941	0,3025	MLE
Uniforme	1,2871	-1,1	2,6539	0,7769	1,0837	0,3058	MOM
Normal	1,2871	0,7769	1,0837	0,7769	1,0837	0,3517	MLE,MOM
Logistic	1,2871	0,7769	0,5975	0,7769	1,0837	0,3722	MOM
Lognormal	1,2871	-0,7925	1,0394	0,7769	1,0837	0,3765	MOM
Exponencial	1,2871	0,7769	0	0,7769	0,7769	0,3871	MLE,MOM
Proc, de Power Law - 95% confiança							
Lambda		0,1922				Parâmetro de escala	
Beta		1,8518				Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		NÃO				K-S test	

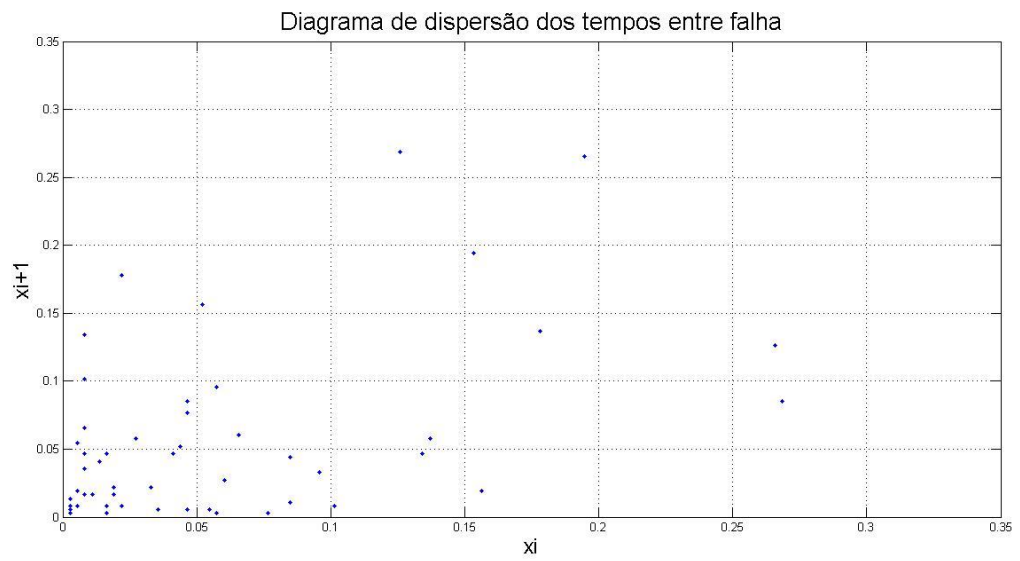
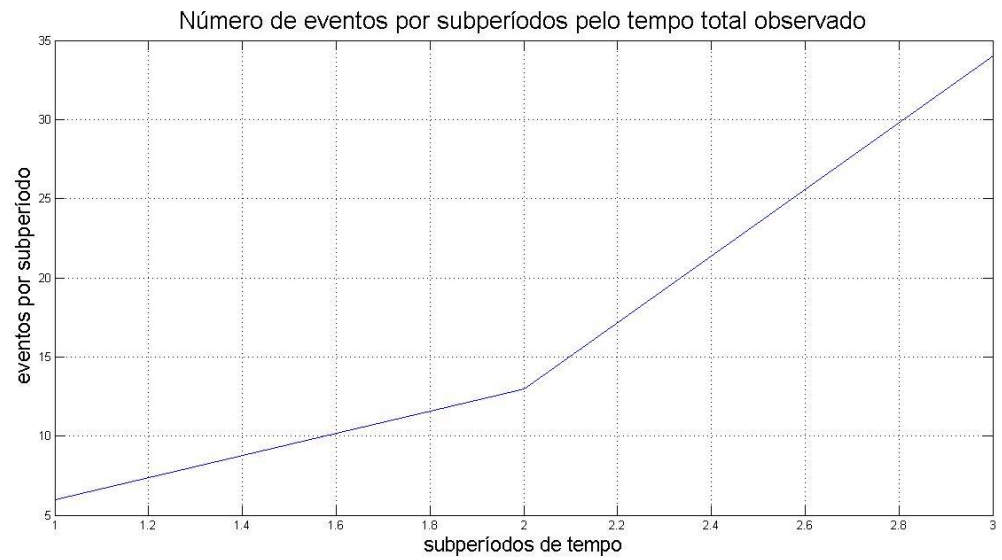
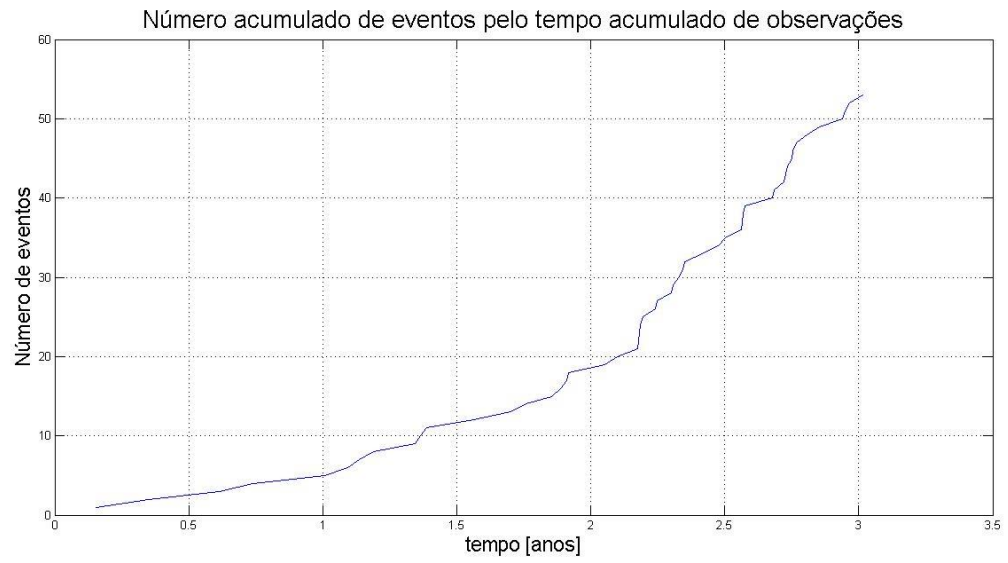


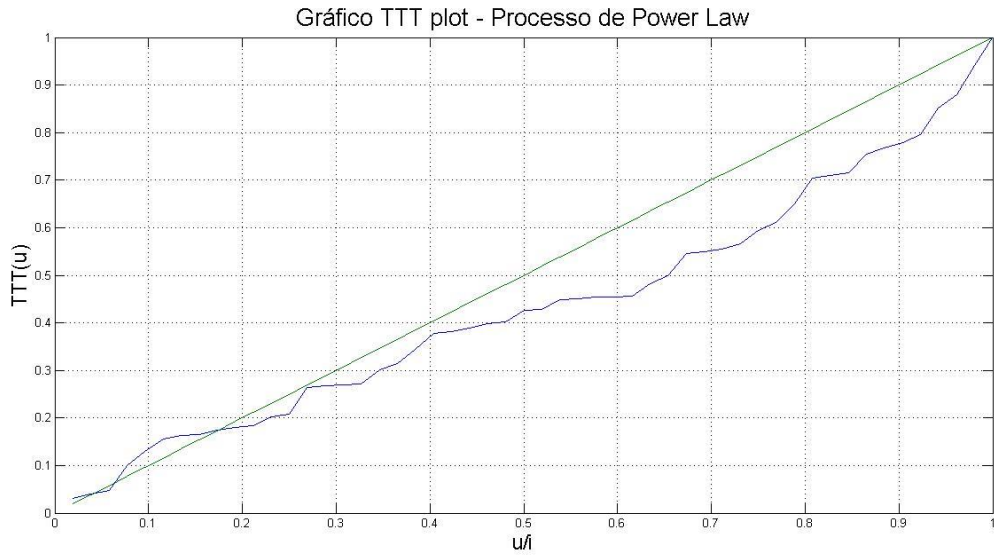


C.24. Resultados do alimentador P5-A4

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
53	53	0	0	21	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,0569	0,0651	114,4731	2	0,0027	0,2685
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL			4,7496	Laplace	
ULR			4,1491	Lewis Robinson	
Teste de Hipótese			confiança 95%		
HPP=			NÃO		
RP=			NÃO		
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda		5,396		Parâmetro de escala	
Beta		2,071		Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM		K-S test	







C.25. Resultados do alimentador P5-A6

Análise estatística dos dados					
tamanho	positivo	nulo	negativo	repetido	
65	65	0	0	12	
média	sdev	cv%	outliers	min	máx
0,1537	0,2203	143,3737	1	0,0027	1,4575
Teste de Tendência: Método Analítico					
UL		4,0016		Laplace	
ULR		2,7911		Lewis Robinson	
Teste de Hipótese		confiança 95%			
HPP=		NÃO			
RP=		NÃO			
Processo de Power Law - 95% confiança					
Lambda		1,6414		Parâmetro de escala	
Beta		1,5985		Parâmetro de forma	
Existe ajuste?		SIM		K-S test	

