

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

PAULO HENRIQUE BETTINI

**COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS APLICADAS PARA ANÁLISE
DA CONFIABILIDADE EM SISTEMAS COMPLEXOS REPARÁVEIS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2016

PAULO HENRIQUE BETTINI

**COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS APLICADAS PARA ANÁLISE
DA CONFIABILIDADE EM SISTEMAS COMPLEXOS REPARÁVEIS**

Trabalho de Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Emerson Rigoni Dr. Eng.
Co-orientador: Claudio Caiani Spanó

CURITIBA

2016



TERMO DE APROVAÇÃO

COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS APLICADAS PARA ANÁLISE DA CONFIABILIDADE EM SISTEMAS COMPLEXOS REPARÁVEIS

por

PAULO HENRIQUE BETTINI

Esta Monografia foi apresentada em 15 de dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de em Engenharia da Confiabilidade. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Orientador

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
UTFPR

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à minha esposa
Cassiana, pelo apoio incondicional e a
minha filha Alice fonte de inspiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Emerson Rigoni e co-orientando Claudio Caiani Spanó, pelo conhecimento transmitido durante o curso e a orientação do trabalho de monografia.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“[...] proved to have a major influence on today’s accepted definition of reliability in terms of probabilities. It may seem strange today, but at that time there was considerable resistance to recognizing the stochastic nature of the time to failure, and hence reliability.”
(ARINC, 1952)

RESUMO

BETTINI, Paulo Henrique. **Comparativo entre as técnicas aplicadas para análise da confiabilidade em sistemas complexos reparáveis**. 2016. 69 folhas. Trabalho de Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Este trabalho apresenta a teoria da confiabilidade para sistemas reparáveis, com foco na Análise de Eventos Recorrentes. São apresentadas as principais diferenças entre as técnicas de Análise de Eventos Recorrentes: Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação e Processo Geral de Renovação. Esses modelos de Análise de Eventos Recorrentes paramétricos foram aplicados para avaliação da confiabilidade de válvulas de controle utilizadas nos Oleodutos. Também foi proposta uma metodologia para avaliação do melhor modelo paramétrico, através da comparação com resultados obtidos na Média da Função Cumulativa que é uma análise de Eventos Recorrentes não paramétrica. Foi discutido a importância e os cuidados que se deve ter na análise de sistemas múltiplos e suas influências nos resultados da confiabilidade. Como resultado determinou-se o melhor modelo de Análise de Eventos Recorrentes paramétricos para análise de confiabilidade das válvulas de controle.

Palavras-chave: Sistemas Complexos Reparáveis. Análise de Eventos Recorrentes. Válvula de Controle.

ABSTRACT

BETTINI, Paulo Henrique Bettini. **Comparison of techniques applied to reliability analysis for complex repairable systems**. 2016. 69 folhas. Trabalho de Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

This paper presents the theory of reliability for repairable systems, focusing on Recurrent Event Analysis. The main differences between Recurrent Event Analysis techniques will be presented: Crow-AMSAA, Perfect Renewal Process and General Renewal Process. These parametric Recurrent Events Analysis models were applied to evaluate the reliability of control valves used in pipelines. It was also proposed a methodology for the evaluation of the best parametric model, through the comparison with results obtained in the Mean Cumulative Function which is a nonparametric Recurrent Events analysis. It was discussed the importance and care that should be taken in the analysis of multiple systems and their influences on the reliability results. As a result, the best parametric Recurrent Events Analysis model was determined for control valve reliability analysis.

Keywords: Complex Repairable Systems. Parametric Recurrent Event Data Analysis. Control Valve.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Abrangência e exclusões para Oleodutos	18
Figura 2 – Perfil do Duto e Gradiente hidráulico em regime permanente	19
Figura 3 – Perfil do Duto e Gradiente hidráulico em regime estático	19
Figura 4 - Set de pressão no recebimento para manter a coluna cheia do Oleoduto em regime permanente	20
Figura 5 – Set de pressão no recebimento para manter a coluna cheia do Oleoduto em regime estático.....	21
Figura 6 – Sistema de medição e controle de oleoduto	22
Figura 7 – Detalhe do sistema e controle pressão do oleoduto	22
Figura 8 – Relatório de falhas das válvulas de controle do Sistema de Gerenciamento da Manutenção.	23
Figura 9 – Bloco de Confiabilidade no nível do componente	25
Figura 10 – Sistema estável.....	29
Figura 11 – Sistema com redução da intensidade de falha	29
Figura 12 - Sistema com aumento da intensidade de falha	30
Figura 13 - Número de Falhas Acumuladas por modelo para Grupo I.....	38
Figura 14 - Intensidade de Falha Acumulada por modelo para Grupo I	38
Figura 15 - Intensidade de Falha Instantânea por modelo para Grupo I.....	39
Figura 16 - Confiabilidade Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo I.....	40
Figura 17 - Probabilidade de Falha Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo I	41
Figura 18 - Número de Falhas Acumuladas por modelo para Grupo II.....	42
Figura 19 - Intensidade de Falha Acumulada por modelo para Grupo II	43
Figura 20 - Intensidade de Falha Instantânea por modelo para Grupo II.....	43
Figura 21 - Confiabilidade Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo II.....	44
Figura 22 - Probabilidade de Falha Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo II	45
Figura 23 - Número de Falhas Acumuladas por modelo para Grupo III.....	46
Figura 24 - Intensidade de Falha Acumulada por modelo para Grupo III.....	47
Figura 25 - Intensidade de Falha Instantânea por modelo para Grupo III.....	47
Figura 26 - Confiabilidade Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo III.....	48
Figura 27 - Probabilidade de Falha Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo III	49
Figura 28 - Número de Falhas Acumuladas por modelo para Grupo IV	50
Figura 29 - Intensidade de Falha Acumulada por modelo para Grupo IV	51
Figura 30 - Intensidade de Falha Instantânea por modelo para Grupo IV	51

Figura 31 - Confiabilidade Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo IV	52
Figura 32 - Probabilidade de Falha Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo IV	53
Figura 33 – Comparativo entre a Função Média Acumulada e Número de Falhas Acumuladas para Grupo I	54
Figura 34 - Comparativo entre a Função Média Acumulada e Número de Falhas Acumuladas para Grupo II	55
Figura 35 - Comparativo entre a Função Média Acumulada e Número de Falhas Acumuladas para Grupo III	56
Figura 36 - Comparativo entre a Função Média Acumulada e Número de Falhas Acumuladas para Grupo IV	57
Figura 37 - Número de Falhas Acumuladas Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV	59
Figura 38 - Intensidade de Falha Acumulada Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV	60
Figura 39 - Intensidade de Falha Instantânea Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV	60
Figura 40 - Tempo entre Falhas Acumulado Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV	61
Figura 41 - Tempo entre Falhas Instantâneo Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV	62
Figura 42 - Confiabilidade Condicional Missão Constante (180 dias) Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV	63
Figura 43 - Probabilidade de Falha Condicional Missão Constante (180 dias) Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo entre Falhas em dias dos Sistemas Reparáveis de 1 a 8	33
Tabela 2 - Tempo entre Falhas em dias dos Sistemas Reparáveis de 9 a 16	34
Tabela 3 – Grupos dos Sistemas Múltiplos	35
Tabela 4 – Cálculo dos Parâmetros para Grupo I	36
Tabela 5 – Cálculo dos Parâmetros para Grupo II	36
Tabela 6 – Cálculo dos Parâmetros para Grupo III	36
Tabela 7 – Cálculo dos Parâmetros para Grupo IV	37
Tabela 8 – Seleção do Modelo para Grupo I,II,III e IV	58

LISTA DE SIGLAS

GRP	General Renewal Process
GRP I	General Renewal Process Type I
GRP II	General Renewal Process Type II
MCF	Mean Cumulative Function
MTBF	Mean Time Between Failures
NHPP	Non-homogeneous Poisson Process
PRP	Perfect Renewal Process
RDA	Recurrent Event Data Analysis
RGA	Reliability Growth Analysis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.2 OBJETIVO.....	15
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 METODOLOGIA.....	16
1.4 JUSTIFICATIVA.....	17
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	18
2.1 OLEODUTOS	18
2.2 SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE OLEODUTOS.....	20
2.3 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO.....	23
2.4 SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO 2.....	23
3 REFERENCIAL TEÓRICO PARA SISTEMA COMPLEXOS REPARÁVEIS.....	25
3.1 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E MANTENABILIDADE 25	
3.2 ANÁLISE DE EVENTOS RECORRENTES.....	26
3.2.1 Crow-AMSA	26
3.2.2 Processo Perfeito de Renovação.....	27
3.2.3 Processo Geral de Renovação	27
3.2.4 Média da Função Cumulativa	28
3.3 LIMITES DE CONFIANÇA	30
3.4 ANÁLISE DE SISTEMAS UTILIZANDO DADOS DE SISTEMAS MÚLTIPLOS (TEMPO DE OPERAÇÃO CONCORRENTE)	31
3.5 SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO 3.....	31
4 APLICAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO NO CASO PRÁTICO	33
4.1 DADOS DE COLETA DE FALHAS DOS SISTEMAS.....	33
4.2 DADOS DOS SISTEMAS MÚLTIPLOS AGRUPADOS.....	34
4.3 RESULTADOS DOS PARÂMETROS DOS MODELOS PARAMÉTRICOS PARA CADA GRUPO.....	35
4.4 RESULTADOS DA CONFIABILIDADE DOS MODELOS PARAMÉTRICOS PARA CADA GRUPO.....	37
4.4.1 Resultados da Confiabilidade para Grupo I	37
4.4.2 Resultados da confiabilidade para Grupo II	41
4.4.3 Resultados da confiabilidade para Grupo III	45
4.4.4 Resultados da confiabilidade para Grupo IV	49
4.5 SELEÇÃO DO MELHOR MODELO DE ANÁLISE DE EVENTOS RECORRENTES PARAMÉTRICOS	53
4.5.1 Comparação para Grupo I	54

4.5.2 Comparação para Grupo II	55
4.5.3 Comparação para Grupo III	56
4.5.4 Comparação para Grupo IV	57
4.5.5 Seleção dos Modelos de Análise de Eventos Recorrentes Paramétricos	58
4.6 COMPARATIVOS DOS RESULTADOS DOS GRUPOS I, II, III E IV CONSIDERANDO OS MODELOS CROW-AMSAA SELECIONADOS.....	58
4.7 SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO 4.....	65
5 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Atualmente um tema muito debatido nas organizações é a gestão de ativos, que é o gerenciamento adequado durante toda vida dos ativos físicos de modo a maximizar seu valor (Seixas, 2012). A Gestão de Ativos adequada permite gerenciar os custos, maximizar a disponibilidade e os rendimentos dos ativos.

A Engenharia da Confiabilidade pode suportar a implantação da Gestão de Ativos nas empresas, pois suas ferramentas são ideais para analisar o desempenho dos ativos.

Entre as principais ferramentas da Engenharia da Confiabilidade que podemos utilizar na Gestão de Ativos se destacam: Manutenção Centrada na Confiabilidade; Análise de Dados de Vida; Análise de Degradação; Análise de Eventos Recorrentes; Análise de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade; Análise de Causa Raiz (METTAS; SPANÓ, 2010).

Neste trabalho abordará a ferramenta da Engenharia da Confiabilidade conhecida como Análise de Eventos Recorrentes que pode ser aplicado na fase de análise da Gestão de Ativos.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Comparar as técnicas existentes de Análise de Eventos Recorrentes: Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação e Processo Geral de Renovação para determinar o melhor modelo para representar a confiabilidade das válvulas de controle utilizadas no controle dos Oleodutos. Esses resultados de confiabilidade também são importantes para avaliação do desempenho das válvulas de controle.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar as técnicas de Análise de Eventos Recorrentes: Crow-AMSAA, Processo de Renovamento Perfeito e Processo de Renovamento Geral e avaliar as diferenças nos resultados de confiabilidade para cada modelo e escolher o melhor

modelo para representar a confiabilidade das válvulas de controle utilizadas nos Oleodutos. Para determinar a confiabilidade das válvulas serão utilizados os dados de falhas existentes no sistema de gerenciamento da manutenção.

1.2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho deverá também atender aos seguintes objetivos específicos, para cumprimento de seu objetivo geral:

- Apresentar as principais funções das válvulas de controle utilizadas nos Oleodutos;
- Apresentar as técnicas aplicadas em Análise de Eventos Recorrentes;
- Levantar os dados de falhas das válvulas de controle no sistema de gerenciamento da manutenção;
- Utilizar esses dados de falhas para determinar os parâmetros e resultados de confiabilidade dos modelos de Análise de Eventos Recorrentes para cada grupo de análise sistemas múltiplos;
- Dividir os sistemas de válvulas de controle em grupos de sistemas múltiplos e avaliar a influência dos resultados dos indicadores de confiabilidade;
- Propor uma metodologia para avaliar qual melhor modelo de Análise de Evento Recorrente paramétrico para representar a confiabilidade das válvulas de controle utilizadas nos oleodutos que fazem parte do estudo;
- Obter os resultados de confiabilidade para as válvulas de controle em estudo.

1.3 METODOLOGIA

Será utilizada a técnica de Análise de Eventos Recorrentes para elaboração do modelo matemático de confiabilidade para válvulas de controle responsável pela operação dos Oleodutos em coluna cheia, através do levantamento de falhas no sistema de gerenciamento de manutenção.

Para avaliar o melhor modelo, comparam-se os resultados dos modelos paramétricos de Análise de Eventos Recorrentes com os resultados da técnica de Média da Função Cumulativa que é uma Análise de Eventos Recorrentes não paramétrica.

Após a seleção do modelo de melhor aderência as válvulas de controle serão agrupadas em quatro grupos para avaliação da influência de agrupamentos diferentes dos sistemas múltiplos nos resultados de confiabilidade.

1.4 JUSTIFICATIVA

Comparar a técnicas de Análise de Eventos Recorrentes e mensurar através desses modelos a confiabilidade das válvulas de controle utilizadas nas operações dos oleodutos, pois esses equipamentos são estratégicos para operação segura dos mesmos.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Neste primeiro capítulo, procurou-se introduzir o tema apresentando de forma superficial e o problema a ser estudado.

No capítulo 2, serão apresentadas em detalhes as válvulas de controle de oleodutos que serão objeto de estudo, com suas particularidades.

O capítulo 3 servirá de referencial teórico para análise de sistemas complexos reparáveis, principalmente a técnicas de Análise de Dados Recorrentes utilizadas no trabalho.

O capítulo 4 fará a conexão entre os capítulos 2 e 3 apresentando a aplicação do referencial teórico na situação real descrita.

A análise dos resultados será discutida no capítulo 5.

2 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Neste capítulo será apresentada uma introdução dos Oleodutos e seus sistemas medição e controle de pressão, bem como o sistema Gerenciamento de Manutenção utilizado no levantamento dos eventos de falha.

2.1 OLEODUTOS

Oleodutos são instalações utilizadas transporte de petróleo e seus derivados, entre fronteiras de unidades operacionais geograficamente distintas. Essas Unidades operacionais podem ser instalações de produção, refinarias, petroquímica, terminais terrestres, terminais marítimos e base de distribuições (ANP, 2011). A Figura 1 apresenta exemplos das principais instalações interligadas por oleodutos. As linhas vermelhas da figura representam os Oleodutos, as figuras geométricas as unidades operacionais.

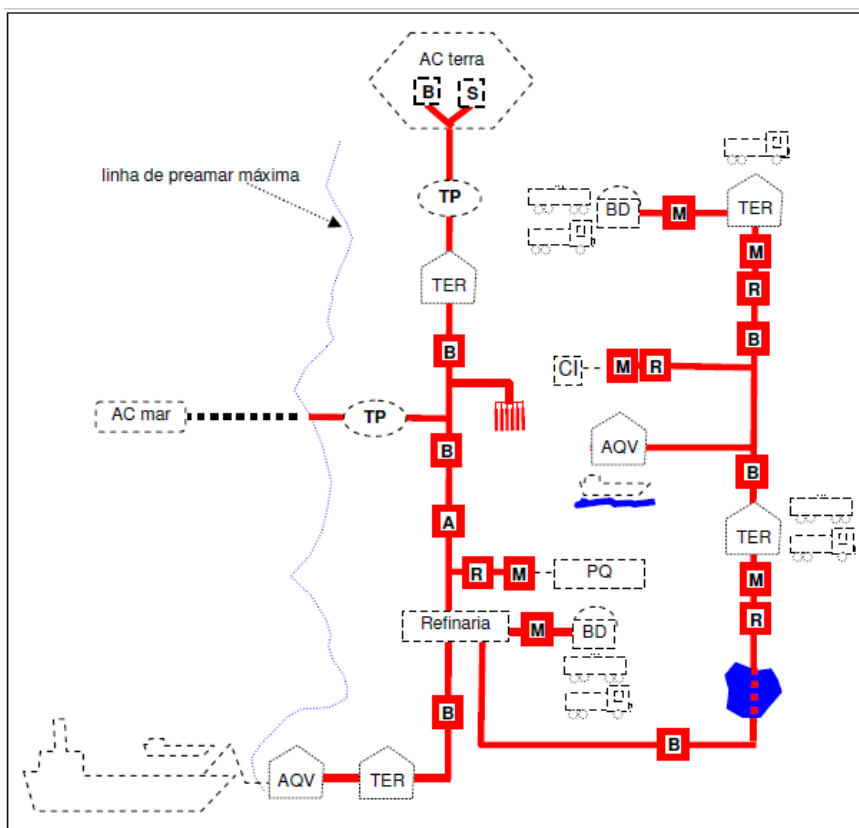


Figura 1 – Abrangência e exclusões para Oleodutos
Fonte: ANP (2011)

Na operação de Oleodutos é importante operar com coluna cheia, ou seja, não haverá produto na fase vapor. Isso é importante para um melhor controle da detecção de vazamento nos Oleoduto. A figura 2 ilustra uma operação com oleoduto com coluna cheia em regime permanente, no qual a coluna do gradiente hidráulico é sempre maior que altura do perfil do Duto por um ΔH .

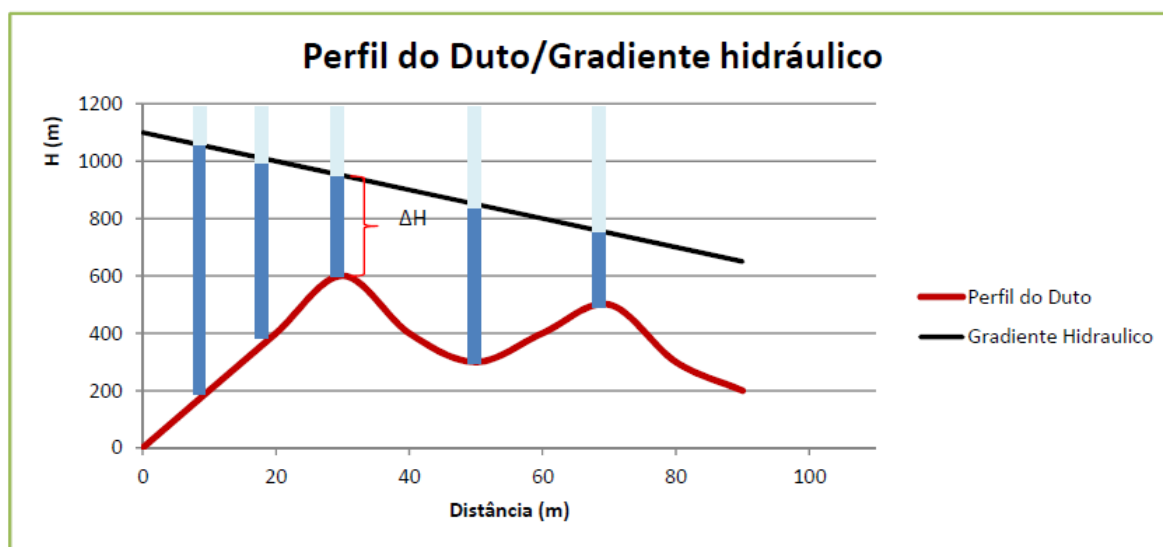


Figura 2 – Perfil do Duto e Gradiente hidráulico em regime permanente
Fonte: Souza (2016)

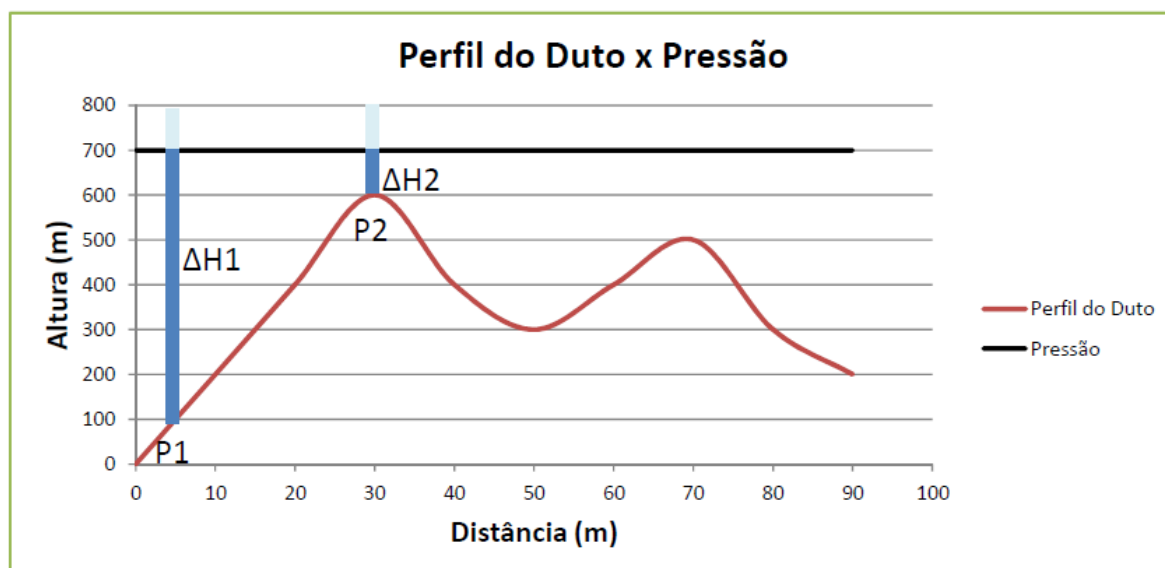


Figura 3 – Perfil do Duto e Gradiente hidráulico em regime estático
Fonte: Souza (2016)

Quando o oleoduto está parado também é importante manter o produto na fase líquida em todo o perfil do oleoduto conforme ilustra a figura 3, na qual observar-se um valor de ΔH acima da altura do perfil do duto.

2.2 SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE OLEODUTOS

O sistema de medição e controle de oleodutos é o responsável por realizar as medições das variáveis de processo como vazão, pressão, temperatura e densidade que são utilizados em sistemas especialistas de detecção de vazamento e por manter a pressão no ponto de recebimento no valor de pressão que garanta pressão de coluna cheia ao longo do Duto.

A Figura 4 representa no eixo vertical esquerdo o valor do Head na origem do bombeio e os números 1,2 e 3 indicam os seus respectivos valores para arranjo de bombeio com 1, 2, ou 3 bombas operando na origem no regime permanente. No eixo vertical a direita representa o Head no destino e os números 1,2 e 3 representa o set de pressão da válvula de controle para os respectivos arranjos de bombeio.

Na operação com três bombas em regime permanente o valor de pressão na válvula de controle para garantir o oleoduto com coluna cheia é menor do que o set de pressão na válvula de controle na operação com apenas uma bomba.

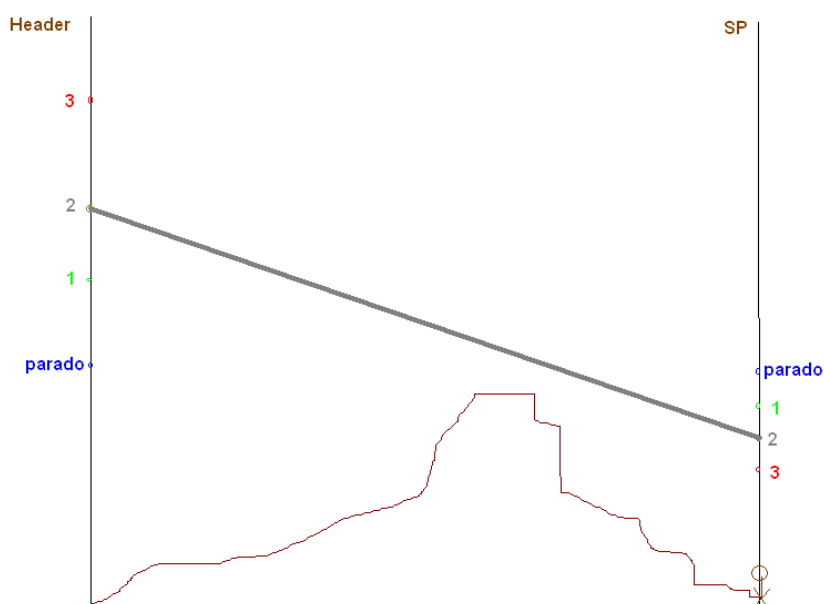


Figura 4 - Set de pressão no recebimento para manter a coluna cheia do Oleoduto em regime permanente
Fonte: Braz (2009)

A Figura 5 representa no eixo vertical esquerdo o valor do Head na origem do bombeio no regime estático, ou seja, com Oleoduto sem movimentação de produto. No eixo vertical a direita representa o Head no destino para condição de regime estático.

Na condição de regime estático o valor do set de pressão na válvula de controle para garantir o Oleoduto com coluna cheia é maior do que os sets para regime permanente em qualquer condição de arranjo de bombeio.

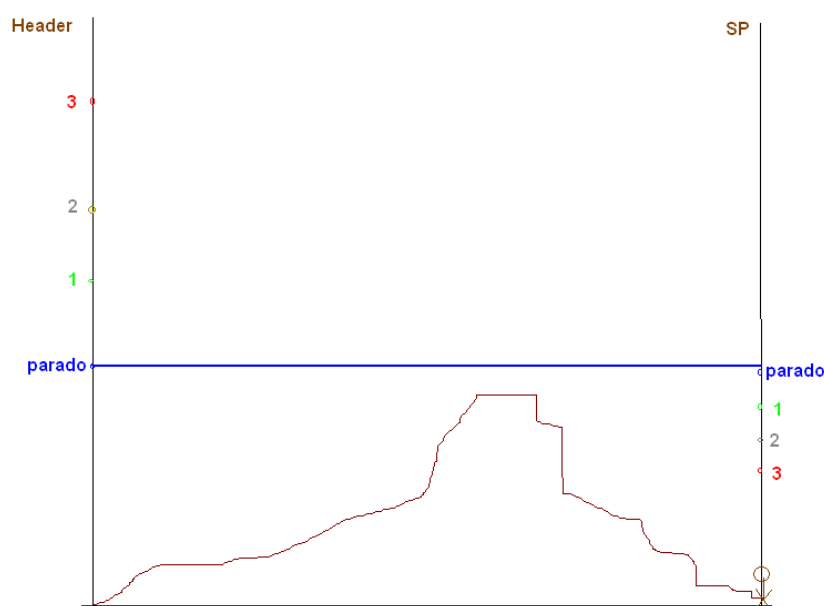


Figura 5 – Set de pressão no recebimento para manter a coluna cheia do Oleoduto em regime estático
Fonte: Braz (2009)

O sistema de medição é composto por transmissor de vazão, transmissor de pressão, transmissor de temperatura e densímetro. O sistema de controle é composto por dois tramos de controle um operacional e outro em Stand-by, para Oleodutos bidirecionais existem também o tramo de by-pass que não possui válvula de controle, conforme ilustra a figura 6 que representa o diagrama de um Sistema de Medição e Controle de Oleoduto pertencente ao Terminal de Guararema.

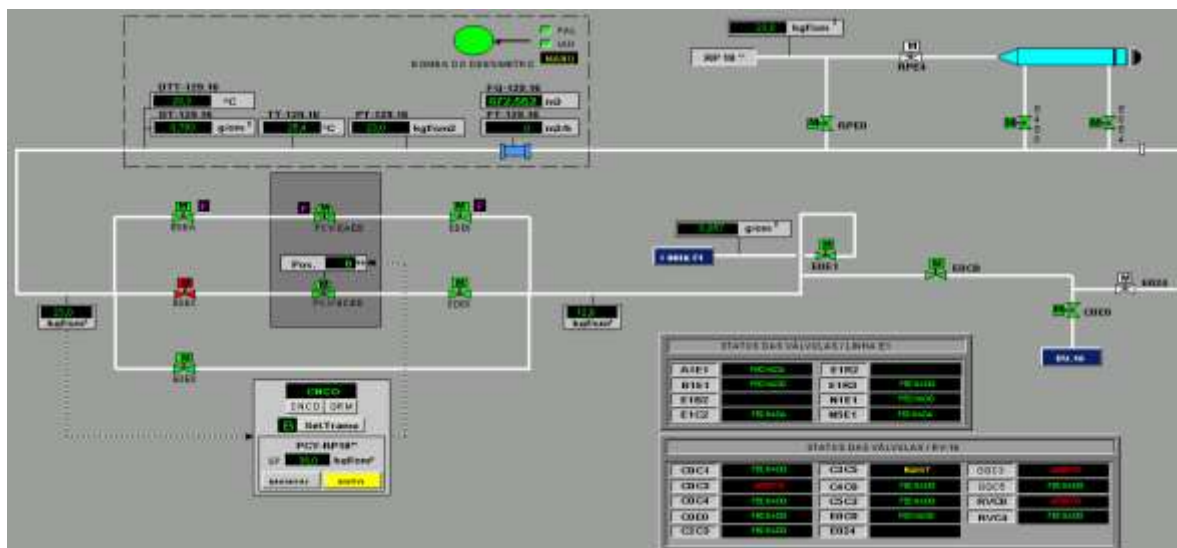


Figura 6 – Sistema de medição e controle de oleoduto
Fonte: Autoria própria

O sistema de controle de pressão de Oleoduto é composto por dois tramo de controle, cada tramo de controle é composto por uma válvula de controle e duas válvulas de bloqueio. Nesse trabalho será estudado a confiabilidade de dezesseis válvulas de controle pertencentes a oito oleodutos.

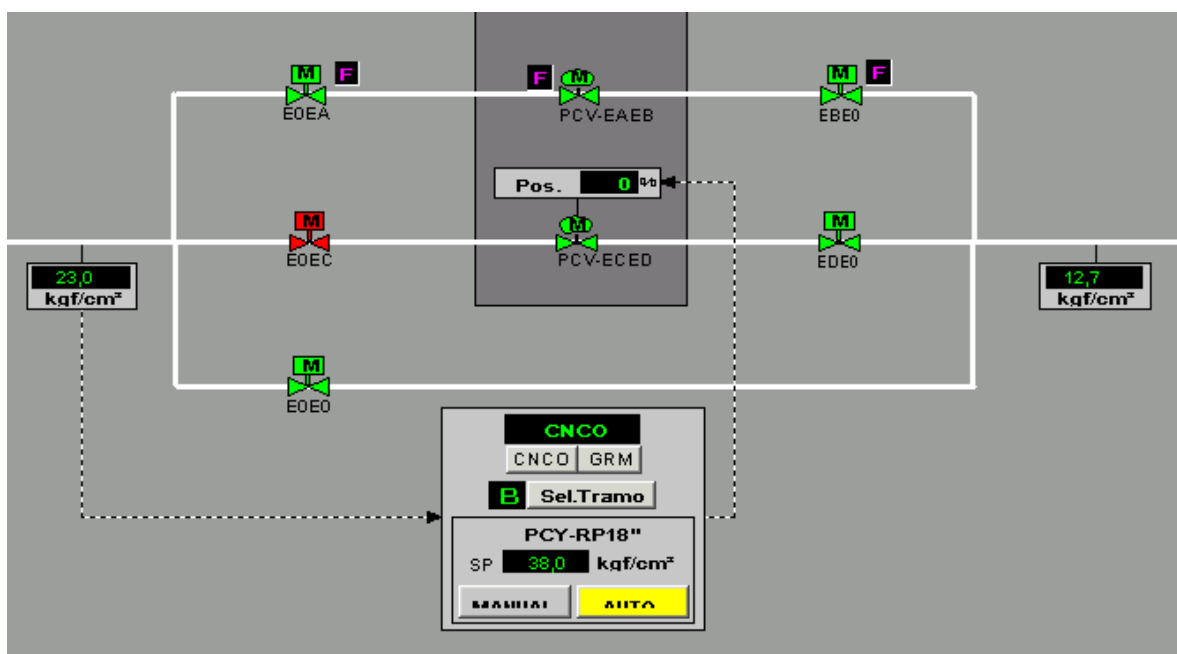


Figura 7 – Detalhe do sistema e controle pressão do oleoduto
Fonte: Autoria própria

O correto funcionamento dos sistemas de controle e de medição dos Oleodutos é fundamental para sua operação segura.

2.3 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO.

Os Terminais e Oleodutos possuem um sistema de gerenciamento da manutenção no qual estão inseridos os Locais de instalação, Equipamentos, Planos de Manutenção, Ordem de Manutenção e as Notas de Manutenção.

Para avaliação da confiabilidade das válvulas de controle foram utilizados os relatórios de falhas do sistema de gerenciamento da manutenção conforme ilustra o relatório da figura 8 que compila as informações dos dados de falhas armazenados neste banco de dados.

5 - Campo de anotação	Equipamento	Nota	Ordem	Tp.	Data-base do inicio	Texto breve
PCV-ECEB	10121205	10859837	51863183	ZCOR	10.02.2012	Senar vazamento na PCV - ECEB
PV-EAEB	10121291	10859830	51863184	ZCOR	10.02.2012	Senar vazamento na PV - EAEB
ATU-PV-EAEB	10121290	10862396	51861339	ZCOR	16.02.2012	Inverter atuadores eletricos transo RP18
PV-EAEB	10121291	11030834	51940539	ZCOR	17.02.2013	Senar vazamento válvula PV-EAEB.
PCV-ECEB	10121305	11030840	51940545	ZCOR	17.02.2013	Senar vazamento válvula PV-ECEB.
PV-EAEB	10121291	11068909	51889506	ZCOR	21.04.2013	Senar vazamento da válvula PV-EAEB.
PV-EAEB	10121291	11100395	51114183	ZCOR	23.06.2013	Verificar passagem interna PV-EAEB (ONCO
PCV-ECEB	10121305	11114303	51120345	ZCOR	21.07.2013	Verificar funcionamento válvula PCV-ECEB
ATU-PV-ECEB	10121306	11144953	51163131	ZCOR	23.06.2013	Restabelecer funcionamento V - ECEB
ATU-PV-ECEB	10121306	11182631	51204649	ZCOR	13.12.2013	MANUTENÇÃO CORRETIVA PCV-ECEB
ATU-PV-ECEB	10121306	11200114	51204208	ZCOR	27.01.2014	ECEB (CONTROLADORA DO RP18
ATU-PV-ECEB	10121306	11200110	51224210	ZCOR	27.01.2014	Restabelecer funcionamento da V - ECEB
PCV-ECEB	10121305	11249248	51279837	ZCOR	16.05.2014	Trocamento intemntente
PV-EAEB	10121291	11266573	51320495	ZCOR	05.06.2014	Verificar funcionamento válvula PCV-EAEB
PCV-ECEB	10121305	11304191	51340488	ZCOR	12.09.2014	Inverter V - ECEB transo controle RP18
ATU-PV-EAEB	10121290	11321388	51359110	ZCOR	21.10.2014	Verificar travamento controladora EAEB.
PV-EAEB	10121291	11339932	51401630	ZCOR	09.02.2015	Restabelecer funcionamento PCV-EAEB
ATU-PV-ECEB	10121306	11432862	51488972	ZCOR	02.06.2015	Manut.corretiva válvula ECEB - RP18
PCV-ECEB	10121305	11433080	51487305	ZCOR	10.06.2015	Restabelecer funcionamento V-ECEB
PV-EAEB	10121291	11449156	51498376	ZCOR	31.07.2015	Verificarcompr funcon. PCV-EAEB
PCV-ECEB	10121305	11497601	51558643	ZCOR	23.11.2015	Verificar funcionamento válu. ECEB
PV-EAEB	10121291	11518810	51573454	ZCOR	13.01.2016	Verificar funcionamento válvula PV-EAEB
PCV-ECEB	10121305	11519918	51574682	ZCOR	22.03.2016	Verificar funcionamento válu. ECEB
PV-EAEB	10121291	11538918	51595795	ZCOR	02.03.2016	Restabelecer funcionamento da V - EAEB
PV-EAEB	10121291	11561377	51620276	ZCOR	26.04.2016	CORRETIVA V. CONTROLE EAEB
PCV-ECEB	10121305	11562925	51643598	ZCOR	20.06.2016	Restabelecer funcionamento válvula ECEB

Figura 8 – Relatório de falhas das válvulas de controle do Sistema de Gerenciamento da Manutenção.

Fonte: Autoria própria

Por isso é de fundamental importância o correto preenchimento das ocorrências de falhas, principalmente as informações das datas de parada e retorno operacional dos equipamentos para o correto cálculo da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos e sistemas.

2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO 2

Neste capítulo foi apresentada uma breve descrição dos oleodutos, bem como foi discutido a função principal das válvulas de controle e sua importância na operação segura dos oleodutos. Também foi apresentada uma introdução ao sistema de gerenciamento de manutenção que foi a base de dados para cálculos de confiabilidade das válvulas de controle.

No próximo capítulo será apresentado o referencial teórico para análise de sistemas complexos reparáveis, principalmente a técnicas de Análise de Dados Recorrentes utilizadas neste trabalho.

3 REFERENCIAL TEÓRICO PARA SISTEMA COMPLEXOS REPARÁVEIS

Para análise de sistemas reparáveis complexos existem dois métodos utilizados para a análise da confiabilidade, a primeiro é Análise de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade e o segundo é Análise de Eventos Recorrentes.

3.1 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E MANTENABILIDADE

Na Análise de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade inicia com a criação do diagrama do sistema que representa os principais subsistemas, esse diagrama é denominado Bloco de Confiabilidade. O próximo passo é transformar os subsistema e novos subsistemas e repetir até chegar ao nível do componente.

A análise será baseada na configuração dos itens e suas propriedades de falhas e reparos. A propriedade de falha determina à confiabilidade e a propriedade do reparo à disponibilidade do sistema (METTAS; SPANÓ, 2010). Esse método utiliza a coleta e análise dos dados ao nível dos componentes.

A Figura 9 representa um exemplo de Bloco de Confiabilidade no nível do componente de um sistema veicular de um carro de corrida.

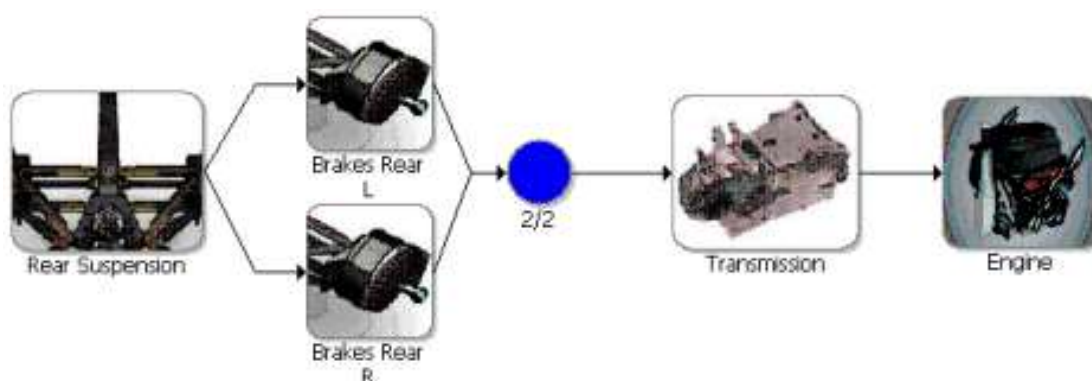


Figura 9 – Bloco de Confiabilidade no nível do componente
 Fonte: Reliability EDGE, volume 7 edição 1

As vantagens de utilizar Análise de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade é que ela permite a análise de criticidade e sensibilidade; a otimização da confiabilidade do sistema; a disponibilidade e o tempo indisponível são estimados; e número esperado de falhas dos componentes também são previstos (RELIASOFT; 2015).

Como desvantagens apresenta a necessidade de informações detalhadas de dados de falha e reparo ao nível do componente.

Podem ser utilizadas várias distribuições de vida como modelo para determinar a vida dos componentes como, por exemplo: distribuição Weibull, Normal, Lognormal, Exponencial e etc.

3.2 ANÁLISE DE EVENTOS RECORRENTES

A Análise de Eventos Recorrentes é diferente da Análise de Dados de Vida, também conhecida como Análise de Distribuição, pois ela é aplicada no nível de dados do equipamento ou sistema. Os dados são utilizados para construir modelos dos equipamentos ou sistemas, ao invés dos componentes ou peças. Na Análise de Dados de Vida o tempo até a falha é utilizado e cada falha representa um evento independente. Na Análise de Eventos Recorrentes os dados utilizados são o tempo acumulado de operação e número acumulado de eventos. Neste caso o modelo é utilizado para prever o comportamento do número de eventos pelo tempo acumulado de operação e entender a efetividade dos reparos (METTAS; SPANÓ, 2010). Esse método utiliza a coleta e análise dos dados ao nível de sistema.

Os modelos mais utilizados para analisar para Análise de Eventos Recorrentes são Crow-AMSAA e o Processo Geral de Renovação. Também se pode utilizar o Processo Perfeito de Renovação.

Na Análise de Eventos Recorrentes não paramétrica podemos utilizar a Média da Função Cumulativa para representar o comportamento do sistema.

As vantagens de utilizar esse método são: a obtenção rápida dos resultados e a não necessidade de informações detalhadas. Como desvantagens: apresenta resultados limitados; disponibilidade e tempo indisponível não são estimados; e não apresenta os resultados de criticidade e sensibilidade.

3.2.1 Crow-AMSAA

O modelo Crow-AMSAA, também conhecido como Processo de Poisson não homogêneo é utilizado em sistemas complexos reparáveis e considera que o reparo do sistema é mínimo, ou seja, suficiente apenas para retornar o sistema à operação.

O sistema é considerado tão ruim quanto velho, um exemplo seria a troca de uma bomba de água de um automóvel que nesse caso podemos considerar que não promove um aumento expressivo da confiabilidade do sistema em comparação à confiabilidade do sistema antes da falha (RELIASOFT; 2015).

Neste caso considera-se que as falhas do sistema seguem o Processo de Poisson não-homogêneo e a intensidade de falha segue a Lei da Potência conforme equação apresentada abaixo.

$$u(t) = \lambda \beta t^{\beta-1}$$

Para $\beta = 1$ não há alteração da intensidade de falhas fase de vida útil, quando $\beta > 1$ a intensidade de falha está aumentando que é a fase de desgaste e quando $\beta < 1$ a intensidade de falha está diminuindo que é a fase de mortalidade infantil.

3.2.2 Processo Perfeito de Renovação

O modelo de Processo de Renovamento Perfeito é utilizado em sistemas complexos reparáveis e considera que após o reparo o sistema é tão bom quanto novo. Nesses casos pode considerar que os eventos dos sistemas são independentes e identicamente distribuídos (METTAS; ZHAO, 2005)

Nestes casos podem ser utilizadas várias distribuições de vidas como modelo para determinar a vida do sistema como, por exemplo: distribuição Weibull, Normal, Lognormal, Exponencial e etc.

Entretanto em sistemas reparáveis reais, normalmente os eventos de falhas dos sistemas são dependentes. Portanto só se utiliza as distribuições de vida no nível de sistemas em raras ocasiões.

3.2.3 Processo Geral de Renovação

O modelo de Processo de Renovamento Geral é utilizado em sistemas complexos reparáveis e considera que após o reparo no sistema o mesmo não é tão bom quanto novo e nem tão ruim quanto velho, o sistema é parcialmente rejuvenescido após o reparo.

Neste modelo o conceito de idade virtual é introduzido v_1, v_2, \dots, v_n . No qual t_1, t_2, \dots, t_n são tempo das falhas sucessivas e x_1, x_2, \dots, x_n representa o tempo entre falhas. Assume que a cada evento, ações são tomadas para melhoria do desempenho do sistema e q é o fator de não efetividade do reparo (RELIASOFT; 2015).

No modelo Tipo I assume que o reparo não pode remover o dano ocorrido antes da ultima falha conforme a equação abaixo.

$$v_i = v_{i-1} + qx_i$$

No modelo Tipo II assume que o reparo remove o dano acumulado da falha corrente e falhas anteriores conforme a equação abaixo.

$$v_i = q(v_{i-1} + x_i)$$

A Lei da Potência é utilizada para modelar a taxa de recorrência conforme equação abaixo.

$$\lambda(t) = \lambda\beta t^{\beta-1}$$

Como não existe uma expressão fechada para determinar a intensidade de falha que são funções do número de falhas e idade virtual, a simulação de Monte Carlo é utilizada para determinar os valores de idade virtual.

Quando $q = 0$ corresponde ao Processo Perfeito de Renovação, quando $q = 1$ corresponde ao Crow-AMSAA e $0 < q < 1$ corresponde ao Processo Parcial de Renovação, também conhecido como reparo imperfeito.

3.2.4 Média da Função Cumulativa

É uma Análise de Eventos Recorrentes não paramétrica que estima a Média da Função Cumulativa do número de recorrência de falhas pelo tempo de operação acumulado.

Pode ser utilizada para avaliar se a taxa de reparo da população aumenta ou diminui com idade, estimar a média do número de reparo no período de garantia ou qualquer outro período, comparar diferentes projetos, políticas de manutenção ou condições de operação.

A Média da Função Cumulativa é simples de aplicar através de planilhas eletrônicas e de fácil entendimento (TRINDADE; NATHAN, 2008).

A Figura 10 ilustra o gráfico de sistema reparável estável no qual não há tendência de aumento da intensidade de falha, como pode ser notado no gráfico da Média da Função Cumulativa formando uma reta.

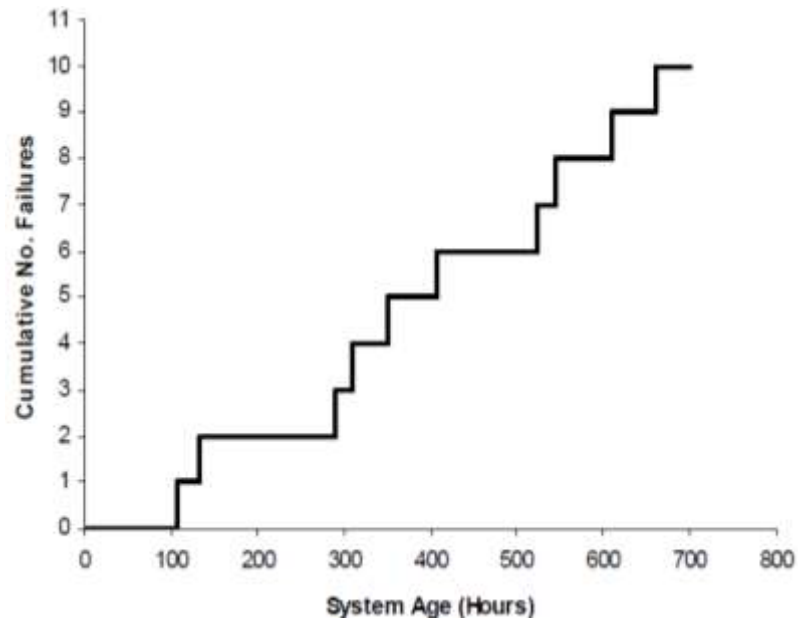


Figura 10 – Sistema estável
Fonte: (Trindade, Nathan, 2008)

A Figura 11 ilustra o gráfico de sistema reparável que está apresentando redução da intensidade de falha, como pode ser notado no gráfico da Média da Função Cumulativa formando uma curva côncava.

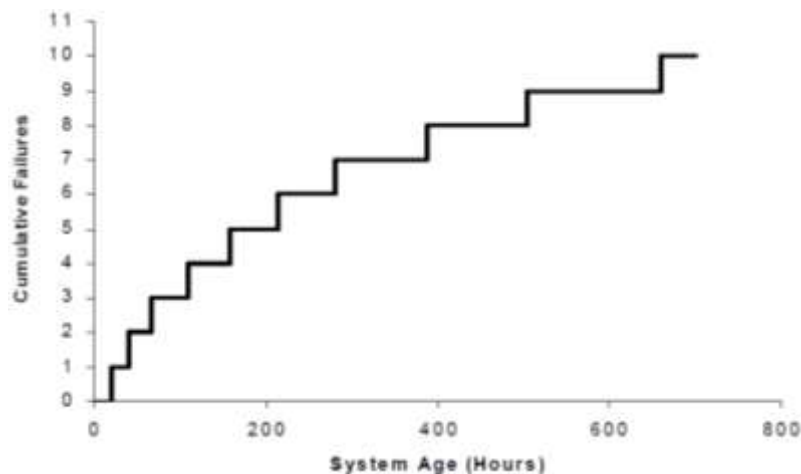


Figura 11 – Sistema com redução da intensidade de falha
Fonte: (Trindade, Nathan, 2008)

A Figura 12 ilustra o gráfico de sistema reparável que está apresentando aumento da intensidade de falha, como pode ser notado no gráfico da Média da Função Cumulativa formando uma curva convexa.

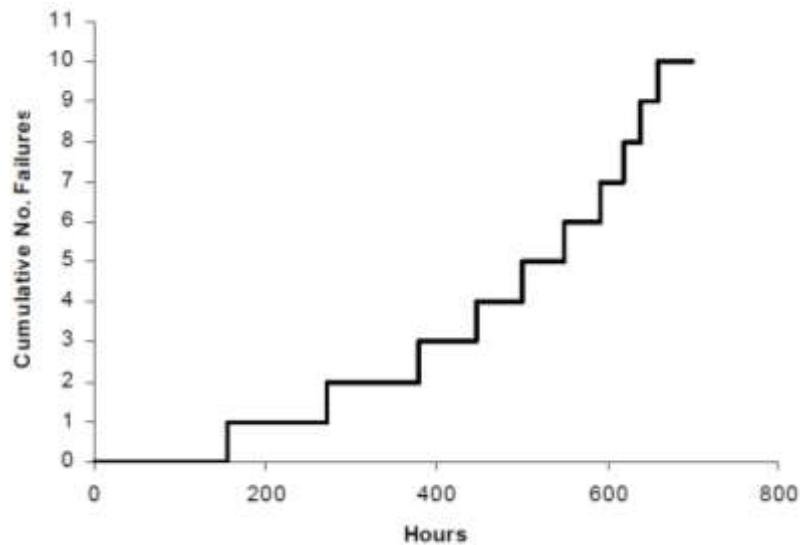


Figura 12 - Sistema com aumento da intensidade de falha
Fonte: (Trindade, Nathan, 2008)

Como foi visto a utilização da Média da Função Cumulativa para avaliar sistemas reparáveis é simples de implementar. Também podemos obter as tendências falhas dos sistemas e com base nessas informações alterar os planos de manutenção.

3.3 LIMITES DE CONFIANÇA

É utilizado para estimar a precisão dos modelos utilizados para representar os dados das amostras, ele nos permite especificar a probabilidade de que o valor do parâmetro desconhecido pertença ao intervalo em questão. Para os modelos de Análise de Eventos Recorrentes paramétricos utilizaremos o método de Matriz de Fisher para cálculos dos limites superior e inferior dos parâmetros, considerando um intervalo de confiança de 90%.

3.4 ANÁLISE DE SISTEMAS UTILIZANDO DADOS DE SISTEMAS MÚLTIPLOS (TEMPO DE OPERAÇÃO CONCORRENTE)

Na análise de sistemas utilizando dados de sistemas múltiplos o início, os tempos entre falhas e o término do teste de cada sistema deve ser coletado. Esse tipo de dados assume que os sistemas em teste estão funcionando simultaneamente e acumulam o mesmo tempo de utilização. Os sistemas em teste deverão ter a mesma configuração (RELIASOFT; 2015).

Quando se coletam dados de sistemas múltiplos reparáveis, que estão instalados em diferentes plantas, diferentes condições de operação e diferentes rotinas de manutenção. Esses equipamentos e sistemas idênticos podem revelar diferentes desempenhos de confiabilidade (GARMABAKI; et al, 2016).

Portanto, população de múltiplos sistemas reparáveis podem incluir unidades com diferentes padrões e níveis de homogeneidade e heterogeneidade. Considerar um modelo para toda a população pode levar erros na estimação dos parâmetros do processo estocástico e na escolha do melhor modelo paramétrico.

3.5 SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO 3

Neste capítulo foi apresentado a teoria da análise de confiabilidade de sistemas reparáveis e os dois métodos existentes para esta análise. O método Análise de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade que é uma análise dos dados no nível do componente e a Análise de Eventos Recorrentes que é uma análise dos dados no nível do sistema.

Dentro dos modelos para Análise de Recorrentes paramétricos foi apresentado à teoria de três modelos: Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação e Processo Geral Renovação. Na Análise de Eventos Recorrentes não paramétrico foi apresentado a teoria da Média da Função Cumulativa.

No próximo capítulo será aplicado os três modelos de Análise de Eventos Recorrentes na avaliação da confiabilidade das válvulas de controle utilizadas nos Oleodutos. Para definir o melhor modelo paramétrico para cada grupo será proposto um método de comparação entre os modelos paramétricos e a Média da Função Cumulativa. O modelo paramétrico selecionado será o que apresentar os resultados mais próximos dos resultados da Análise de Eventos Recorrentes não paramétrica.

As válvulas de controle serão divididas em quatro grupos de sistemas múltiplos para se comparar o desempenho de confiabilidade entre os grupos.

4 APLICAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO NO CASO PRÁTICO

Neste capítulo serão apresentados os dados de falhas utilizados nos cálculos, os resultados dos cálculos dos parâmetros para os modelos de Análise de Eventos Recorrentes paramétrico, os resultados dos cálculos de confiabilidade dos modelos paramétricos para os Grupos I, II, III e IV. Será selecionado o melhor modelo para representar a confiabilidade das válvulas de controle e apresentado o comparativo entre os resultados dos Grupos I, II, III e IV utilizando o modelo de Análise de Eventos Recorrentes Paramétrico selecionado para cada grupo.

4.1 DADOS DE COLETA DE FALHAS DOS SISTEMAS

Os dados de falhas pelo tempo acumulado em dias estão apresentados na tabela 1 para os sistemas de 1 à 8 e na tabela 2 para sistemas 9 à 16 que representam às 16 válvulas de controle utilizadas em 8 Oleodutos selecionadas para estudo de caso.

Tabela 1 – Tempo entre Falhas em dias dos Sistemas Reparáveis de 1 a 8

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6	Sistema 7	Sistema 8
Início	0	0	0	0	0	0	0	0
Fim	1040	906	1822	1624	1038	997	1149	1158
1	67	67	99	186	99	80	414	847
2	101	101	169	323	233	206		
3	238	114	278		310			
4	280	127	324		511			
5	365	197	517		993			
6	415	233	657					
7	815	328	741					
8	904	489	997					
9	942	633	1253					
10		682						
11		738						

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 - Tempo entre Falhas em dias dos Sistemas Reparáveis de 9 a 16

	Sistema 9	Sistema 10	Sistema 11	Sistema 12	Sistema 13	Sistema 14	Sistema 15	Sistema 16
Início	0	0	0	0	0	0	0	0
Fim	2325	1846	503	762	1158	1272	1178	708
1	166	571	112	228	29	407	191	303
2	374	602	424	287	805	604	466	548
3	865	727	483	762	868	860	707	
4	1173	814	503		1158	923	784	
5	1208	872						
6	1279	963						
7	1349	1004						
8	1387	1053						
9	1394	1110						
10	1452	1348						
11	1543	1571						
12	1633							
13	1737							
14	1838							
15	2137							
16	2269							
17	2325							

Fonte: Autoria própria

4.2 DADOS DOS SISTEMAS MÚLTIPLOS AGRUPADOS

Os dados de falhas dos sistemas múltiplos foram agrupados em diferentes Grupos para avaliar os resultados de confiabilidade de cada Grupo. O Grupo I é composto por todos os sistemas, o Grupo II pelos sistemas que apresentam menor tempo entre falhas, o Grupo III pelos sistemas que apresentam tempo entre falhas intermediários e o Grupo IV o que apresentam o maior tempo entre falhas.

Tabela 3 – Grupos dos Sistemas Múltiplos

Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
Sistema 1	Sistema 1	Sistema 12	Sistema 4
Sistema 2	Sistema 2	Sistema 13	Sistema 6
Sistema 3	Sistema 3	Sistema 14	Sistema 7
Sistema 4	Sistema 5	Sistema 15	Sistema 8
Sistema 5	Sistema 9	Sistema 16	
Sistema 6	Sistema 10		
Sistema 7	Sistema 11		
Sistema 8			
Sistema 9			
Sistema 10			
Sistema 11			
Sistema 12			
Sistema 13			
Sistema 14			
Sistema 15			
Sistema 16			

Fonte: Autoria própria

4.3 RESULTADOS DOS PARÂMETROS DOS MODELOS PARAMÉTRICOS PARA CADA GRUPO

Serão apresentados nas Tabelas 4, 5, 6, 7 os resultados dos cálculos dos parâmetros para os modelos de Análise de Eventos Recorrentes Paramétrico: Crow-AMSAA, Processo de Renovamento Perfeito, Processo de Renovamento Geral Tipo I, Processo de Renovamento Geral Tipo II para cada Grupo utilizando os softwares Weibull ++ e Crescimento da Confiabilidade da Reliasoft.

Tabela 4 – Cálculo dos Parâmetros para Grupo I

	NHPP (RGA)	NHPP (RDA)	PRP (RDA)	GRP I (RDA)	GRP II (RDA)
β	1,0405	1,0405	0,9835	0,9367	0,8610
λ	0,0034	0,0034	0,0050	0,0067	0,0109
q	-	1	0	0,0495	0,3648
RF	-	0	1	0,9505	0,6352
η (dias)	-	234,7116	217,8281	209,8199	189,3594
LKV	-	-568,5257	-568,5828	-568,4139	-567,7803

Fonte: Autoria própria

Tabela 5 – Cálculo dos Parâmetros para Grupo II

	NHPP (RGA)	NHPP (RDA)	PRP (RDA)	GRP I (RDA)	GRP II (RDA)
β	0,9874	0,9874	1,1453	1,1453	1,1453
λ	0,0076	0,0076	0,0032	0,0032	0,0032
q	-	1	0	0	0
RF	-	0	1	1	1
η (dias)	-	139,3886	149,8118	149,8118	149,8118
LKV	-	-393,8345	-392,8176	-392,8176	-392,8176

Fonte: Autoria própria

Tabela 6 – Cálculo dos Parâmetros para Grupo III

	NHPP (RGA)	NHPP (RDA)	PRP (RDA)	GRP I (RDA)	GRP II (RDA)
β	1,2062	1,2062	1,4342	1,4342	1,7435
λ	0,0008	0,0008	0,0003	0,0003	3,50E-05
q	1	1	0	0	0,2816
RF	0	0	1	1	0,7184
η (dias)	-	370,2732	310,6671	310,6671	359,4690
LKV	-	-113,5917	-112,4054	-112,4054	-111,8941

Fonte: Autoria própria

Tabela 7 – Cálculo dos Parâmetros para Grupo IV

	NHPP (RGA)	NHPP (RDA)	PRP (RDA)	GRP I (RDA)	GRP II (RDA)
β	0,6488	0,6488	0,9059	0,6488	0,6488
λ	0,0149	0,0149	0,0022	0,0149	0,0149
q	-	1	0	1	1
RF	-	0	1	0	0
η (dias)	-	655,5291	841,0889	655,5291	655,5291
LKV	-	-45,6007	-46,2223	-45,6007	-45,6007

Fonte: Autoria própria

4.4 RESULTADOS DA CONFIABILIDADE DOS MODELOS PARAMÉTRICOS PARA CADA GRUPO

Nesta seção serão apresentados os gráficos com resultados dos indicadores da confiabilidade para cada Grupo utilizando os modelos de Análise de Eventos Recorrentes Paramétrico: Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação e Processo Geral de Renovação Tipo I, Processo Geral de Renovação Tipo II utilizando o software Weibull ++ da Reliasoft.

4.4.1 Resultados da Confiabilidade para Grupo I

Nesta análise do Grupo I são apresentados os resultados da confiabilidade dos quatro modelos Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação, Processo Geral de Renovação Tipo I e Processo Geral Tipo II.

Nas figuras 13, 14 e 15 são apresentados respectivamente os gráficos do Número de Falhas Acumuladas, Intensidade de Falhas Acumuladas e Intensidade de Falhas Instantânea pela idade. Analisando os resultados destes gráficos infere-se que os valores encontrados para cada modelo são bem próximos, mas quando se avalia os limites superior e inferior dos resultados para intervalo de confiança 90% o modelo Crow-AMSAA é o modelo que apresenta limites inferiores e superiores menores em relação aos outros modelos.

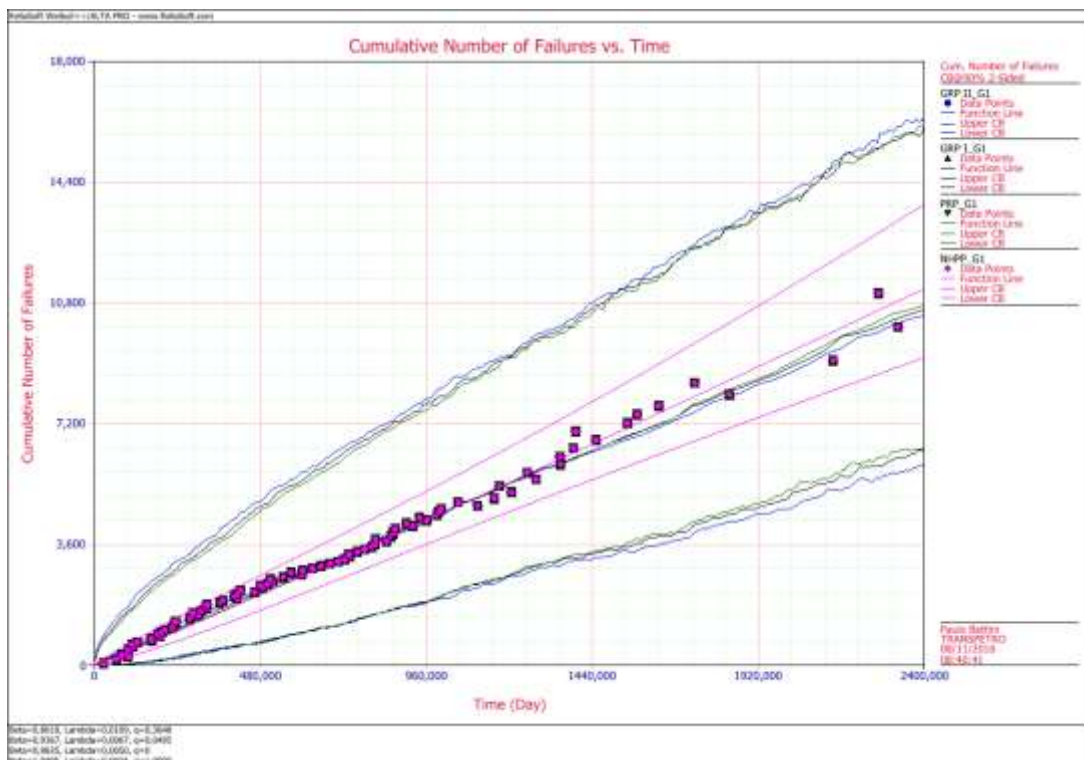


Figura 13 - Número de Falhas Acumuladas por modelo para Grupo I
 Fonte: Autoria própria

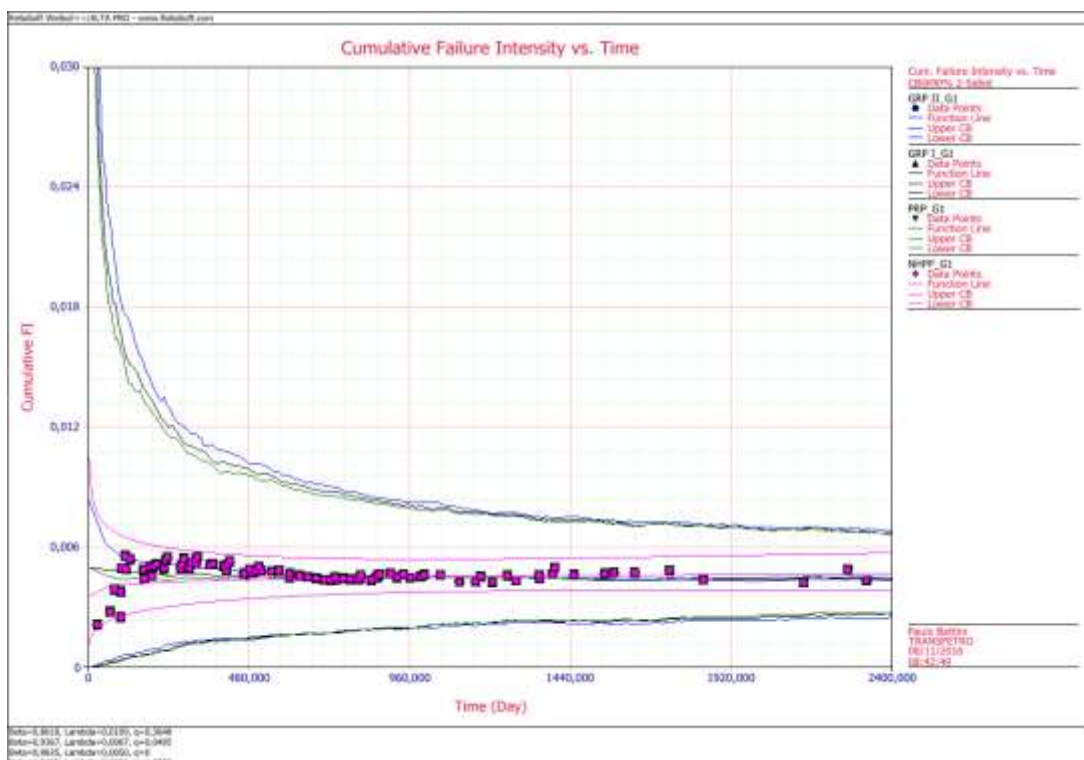


Figura 14 - Intensidade de Falha Acumulada por modelo para Grupo I
 Fonte: Autoria própria

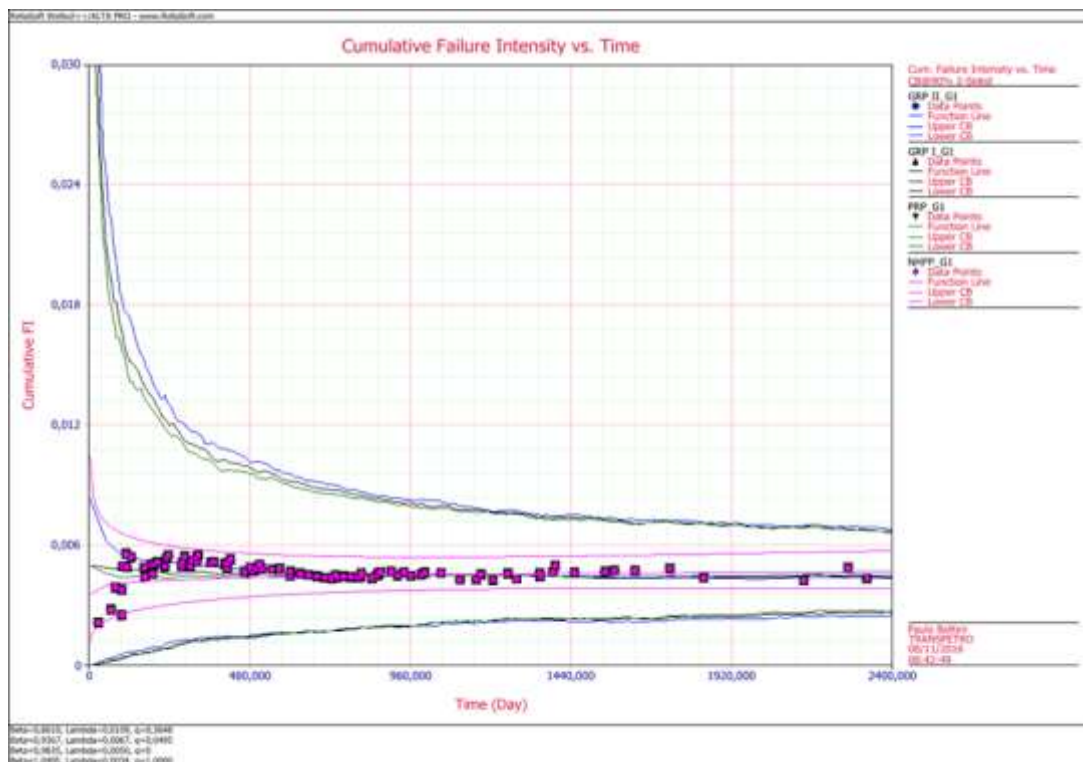


Figura 15 - Intensidade de Falha Instantânea por modelo para Grupo I
Fonte: Autoria própria

Na figura 16 quando se analisa os resultados de confiabilidade condicional para missão constante de 180 dias e variando a idade, infere-se que o modelo Crow-AMSAA apresenta uma pequena tendência de diminuição da confiabilidade pela idade e o modelo Processo Geral de Renovação Tipo II uma pequena tendência de aumento da confiabilidade pela idade. Já modelos Processo Perfeito de Renovação e Processo Geral de Renovação Tipo I apresentam um valor constante de confiabilidade pela idade. Estas tendências são explicadas pelos valores de β calculados para modelos.

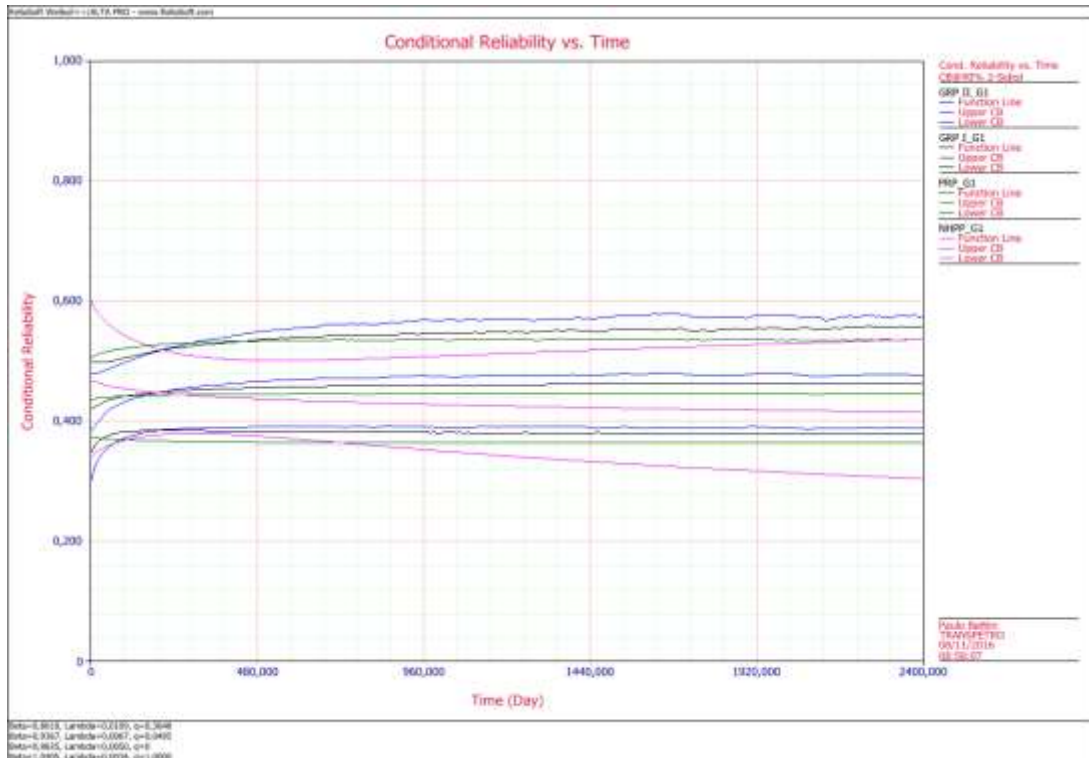


Figura 16 - Confiabilidade Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo I
Fonte: Autoria própria

Na figura 17 quando se analisa os resultados a probabilidade de falha condicional para missão constante de 180 dias e variando a idade infere-se que o modelo Crow-AMSAA apresenta uma pequena tendência de aumento da probabilidade de falha pela idade e o modelo Processo Geral de Renovação Tipo II uma pequena tendência de diminuição da probabilidade de falha pela idade. Já modelos Processo Perfeito de Renovação e Processo Geral de Renovação Tipo I apresentam um valor constante de probabilidade de falha pela idade. Estas tendências são explicadas pelos valores de β calculados para modelos.

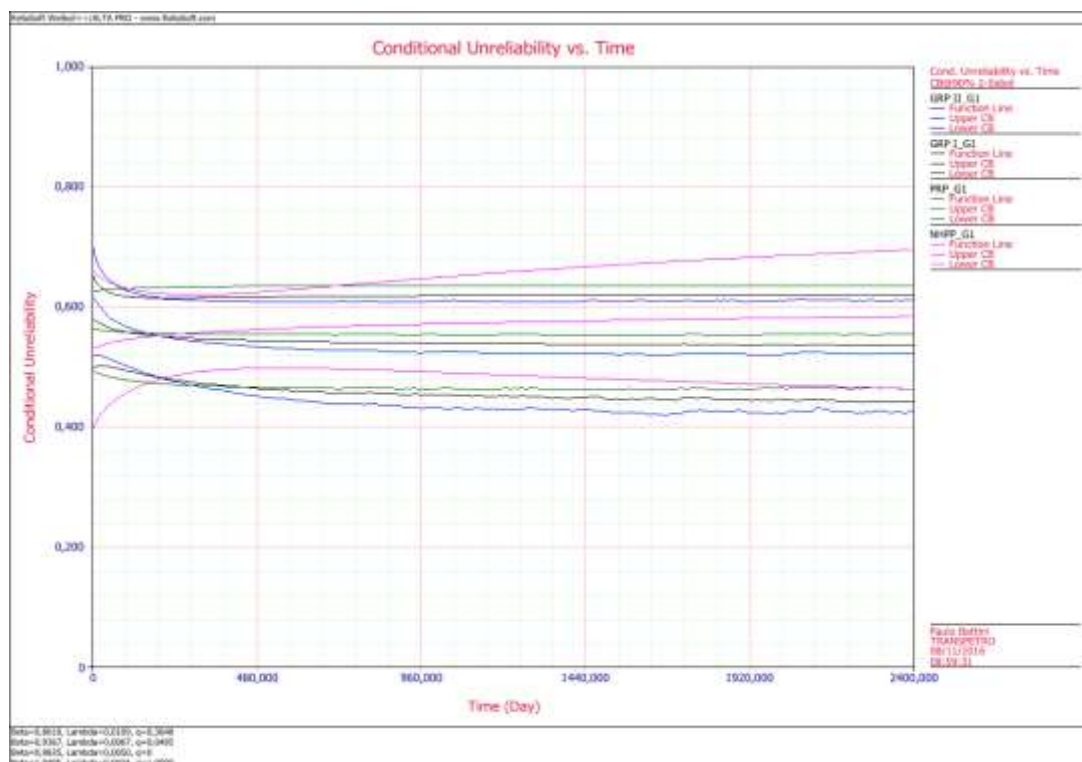


Figura 17 - Probabilidade de Falha Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo I
Fonte: Autoria própria

Quando o valor de $\beta > 1$ ocorre à diminuição da confiabilidade pela idade, quando $\beta < 1$ ocorre o aumento da confiabilidade pela idade e quando o valor de $\beta = 1$ não há aumento e nem diminuição da confiabilidade com o avançar do tempo. Os valores de β para o modelos do Grupo I estão apresentados na Tabela 4.

4.4.2 Resultados da confiabilidade para Grupo II

Nesta análise do Grupo II são apresentados os resultados da confiabilidade de dois modelos Crow-AMSAA e Processo Perfeito de Renovação, pois para valores de $q = 0$ o Processo Geral de Renovação Tipo I e II representam um Processo Perfeito de Renovação. Os valores dos parâmetros q estão apresentados na Tabela 5.

Nas figuras 18, 19 e 20 são apresentados respectivamente os gráficos do Número de Falhas Acumuladas, Intensidade de Falhas Acumuladas e Intensidade de Falhas Instantânea pela idade. Analisando os resultados destes gráficos infere-se que os valores encontrados para cada modelo são bem próximos, mas quando se analisa os limites superior e inferior dos resultados para intervalo de confiança 90%

o modelo Crow-AMSAA é o que apresenta limites inferiores e superiores menores em relação ao modelo de Processo Perfeito de Renovação.

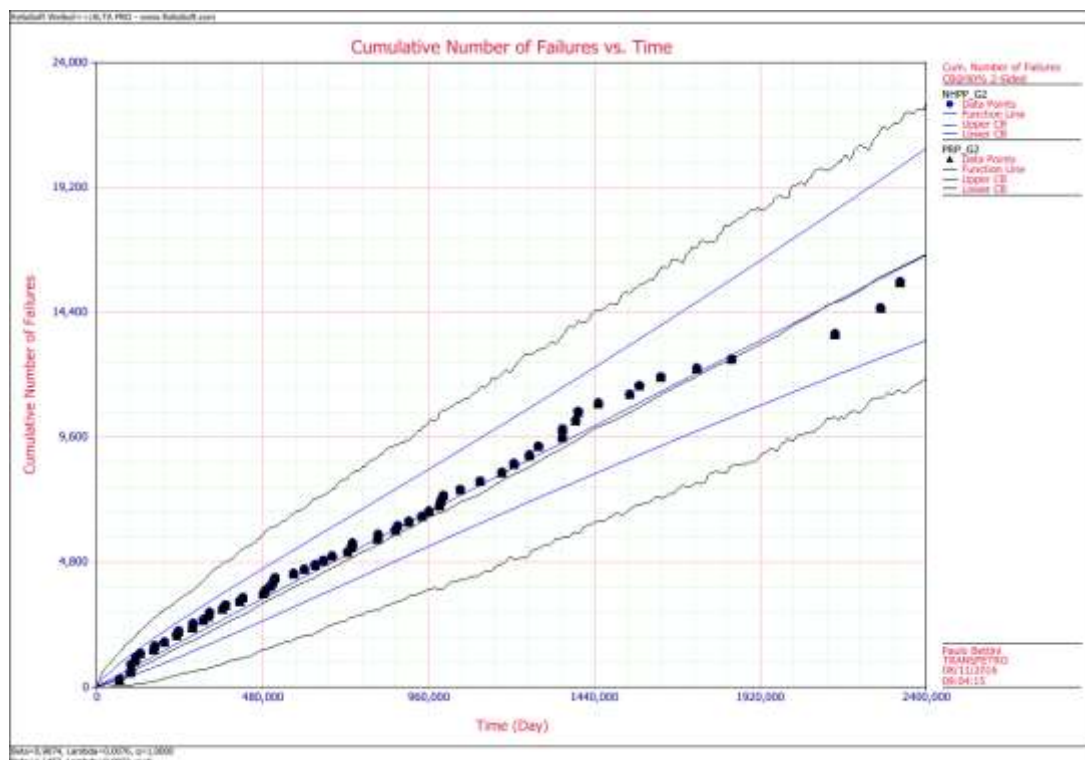


Figura 18 - Número de Falhas Acumuladas por modelo para Grupo II
Fonte: Autoria própria



Figura 19 - Intensidade de Falha Acumulada por modelo para Grupo II
 Fonte: Autoria própria

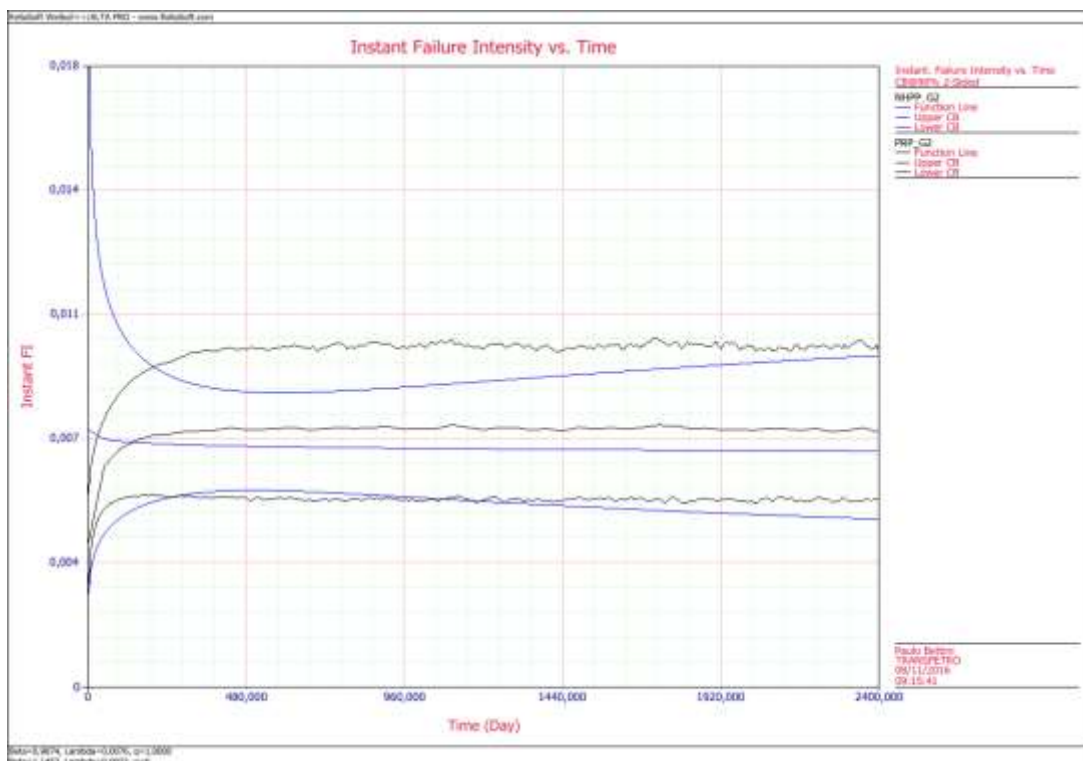


Figura 20 - Intensidade de Falha Instantânea por modelo para Grupo II
 Fonte: Autoria própria

Na figura 21 quando se analisa os resultados de confiabilidade condicional para missão constante de 180 e variando a idade infere-se que o modelo Processo Perfeito de Renovação apresenta uma pequena tendência de diminuição da confiabilidade pela idade e o modelo Crow-AMSAA apresenta um valor constante de confiabilidade pela idade. Estas tendências são explicadas pelos valores de β calculados para modelos.



Figura 21 - Confiabilidade Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo II
Fonte: Autoria própria

Na figura 22 quando avaliamos os resultados da probabilidade de falha condicional para missão constante de 180 dias e variando a idade infere-se que o modelo Processo Perfeito de Renovação apresenta uma pequena tendência de aumento da probabilidade de falha pela idade e o modelo Crow-AMSAA apresenta um valor constante de confiabilidade pela idade. Estas tendências são explicadas pelos valores de β calculados para modelos.

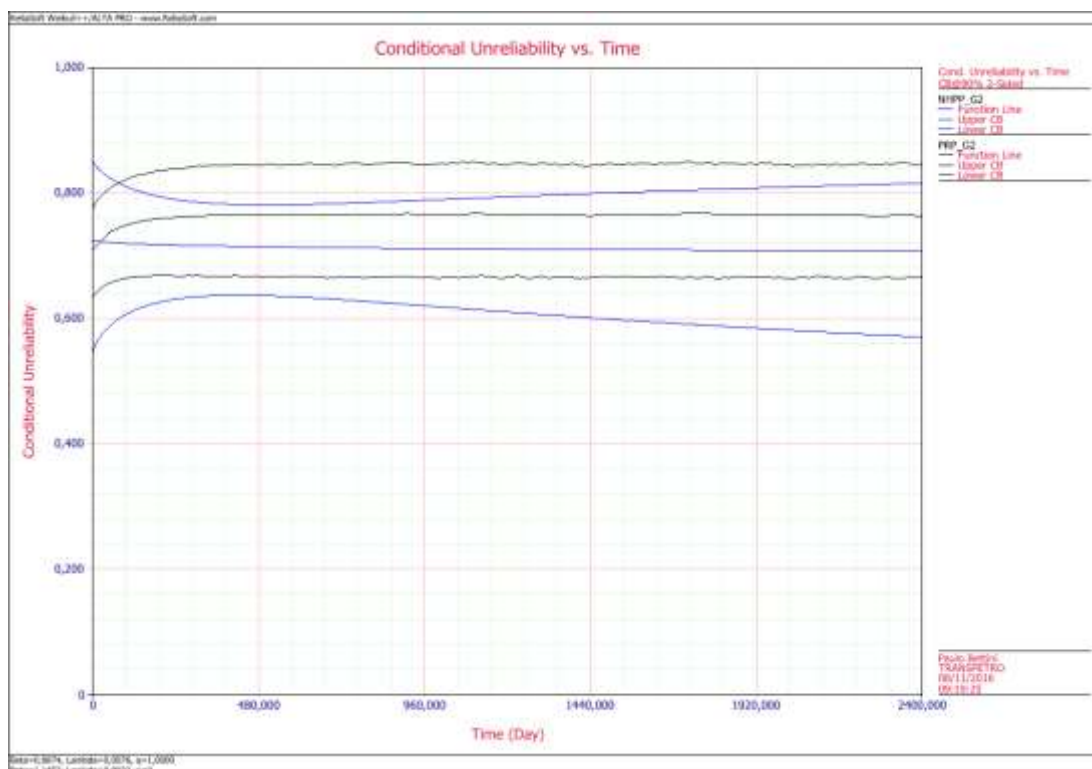


Figura 22 - Probabilidade de Falha Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo II
Fonte: Autoria própria

Quando o valor de $\beta > 1$ ocorre à diminuição da confiabilidade pela idade, quando $\beta < 1$ ocorre o aumento da confiabilidade pela idade e quando o valor de $\beta = 1$ não há aumento e nem diminuição da confiabilidade com o avançar do tempo. Os valores de β para o modelos do Grupo II estão apresentados na Tabela 5.

4.4.3 Resultados da confiabilidade para Grupo III

Nesta análise do Grupo III são apresentados os resultados da confiabilidade de três modelos Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação e Processo Geral de Renovação Tipo II, pois para valores de $q = 0$ o Processo Geral de Renovação Tipo I representa um Processo Perfeito de Renovação. Os valores dos parâmetros q estão apresentados na Tabela 6.

Nas figuras 23, 24 e 25 são apresentados respectivamente os gráficos do Número de Falhas Acumuladas, Intensidade de Falhas Acumuladas e Intensidade de Falhas Instantânea pela idade. Analisando os resultados destes gráficos infere-se que os valores encontrados para cada modelo são bem próximos, mas quando se analisa os limites superior e inferior dos resultados para intervalo de confiança 90%

o modelo Crow-AMSAA é o que apresenta limites inferiores e superiores menores em relação aos modelos de Processo Perfeito de Renovação e Processo Geral Tipo II.

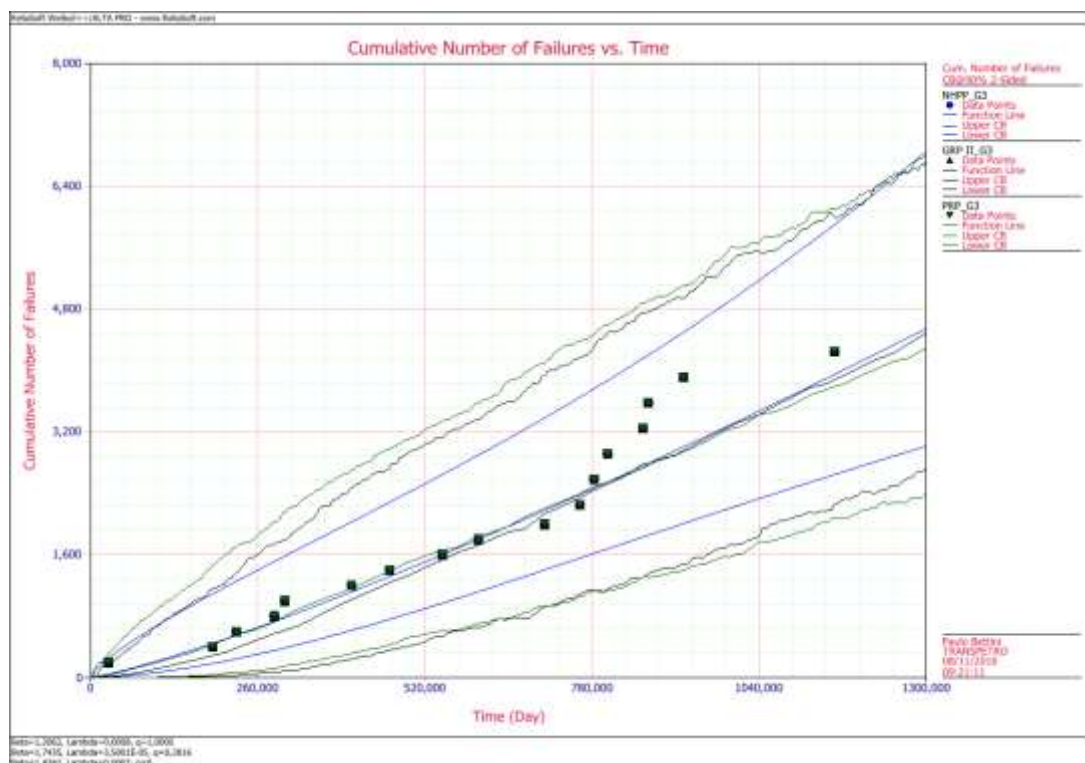


Figura 23 - Número de Falhas Acumuladas por modelo para Grupo III
Fonte: Autoria própria



Figura 24 - Intensidade de Falha Acumulada por modelo para Grupo III
 Fonte: Autoria própria

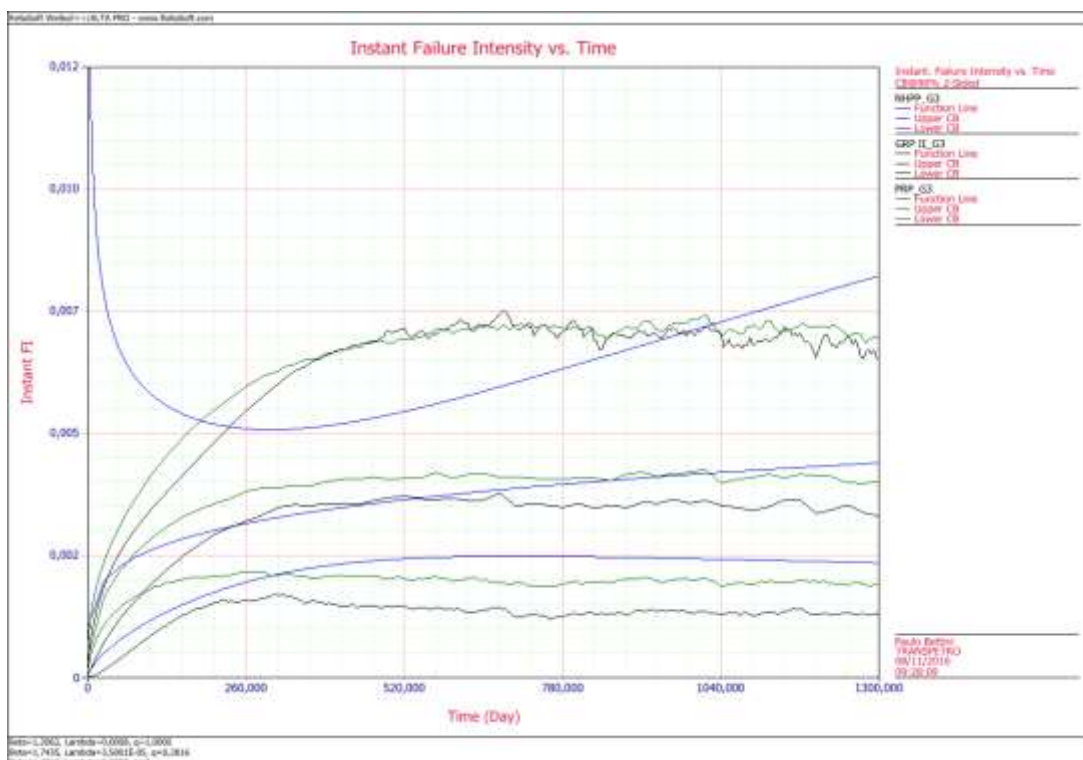


Figura 25 - Intensidade de Falha Instantânea por modelo para Grupo III
 Fonte: Autoria própria

Na figura 26 quando se analisa os resultados de confiabilidade condicional para missão constante de 180 dias e variando a idade infere-se que o modelo Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação e Processo Geral de Renovação Tipo II apresentam uma tendência de diminuição da confiabilidade pela idade. A maior tendência de diminuição da confiabilidade é do modelo Processo Geral de Renovação que apresenta o maior valor de β calculado para modelos.

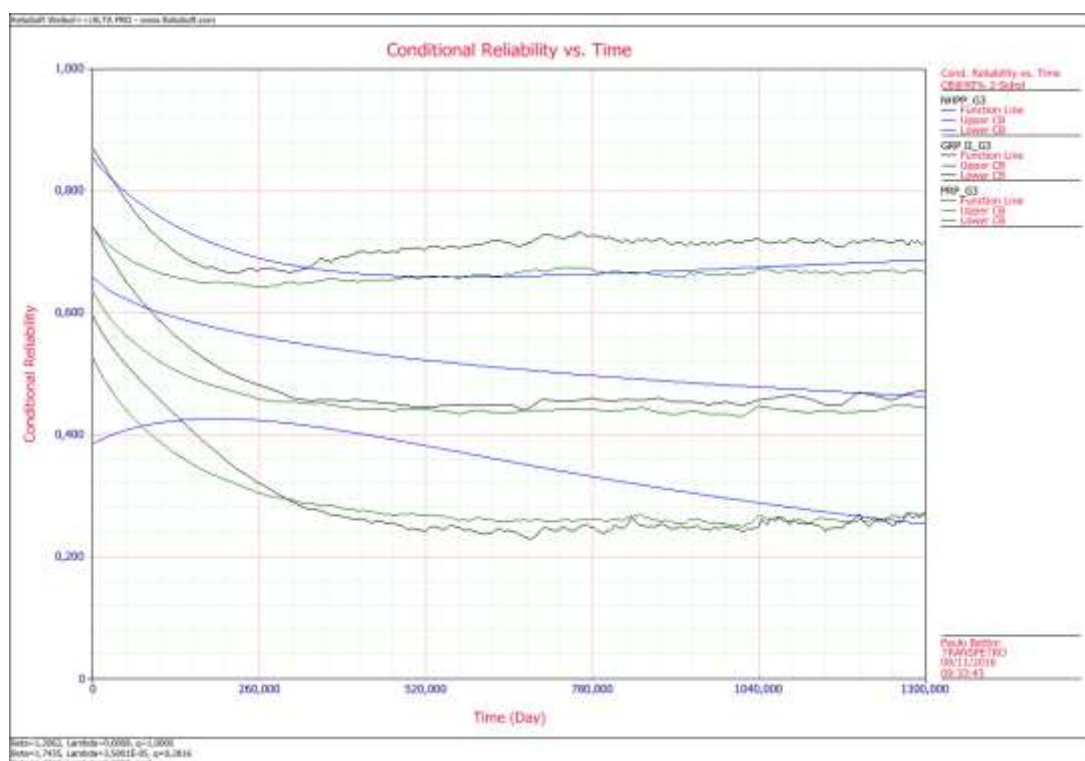


Figura 26 - Confiabilidade Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo III
Fonte: Autoria própria

Na figura 27 quando se analisa os resultados a probabilidade de falha condicional para missão constante de 180 dias e variando a idade infere-se que o que o modelo Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação e Processo Geral de Renovação Tipo II apresentam uma tendência de aumento da probabilidade de falha pela idade. A maior tendência de aumento da probabilidade de falha é do modelo Processo Geral de Renovação que apresenta o maior valor de β calculado para modelos.

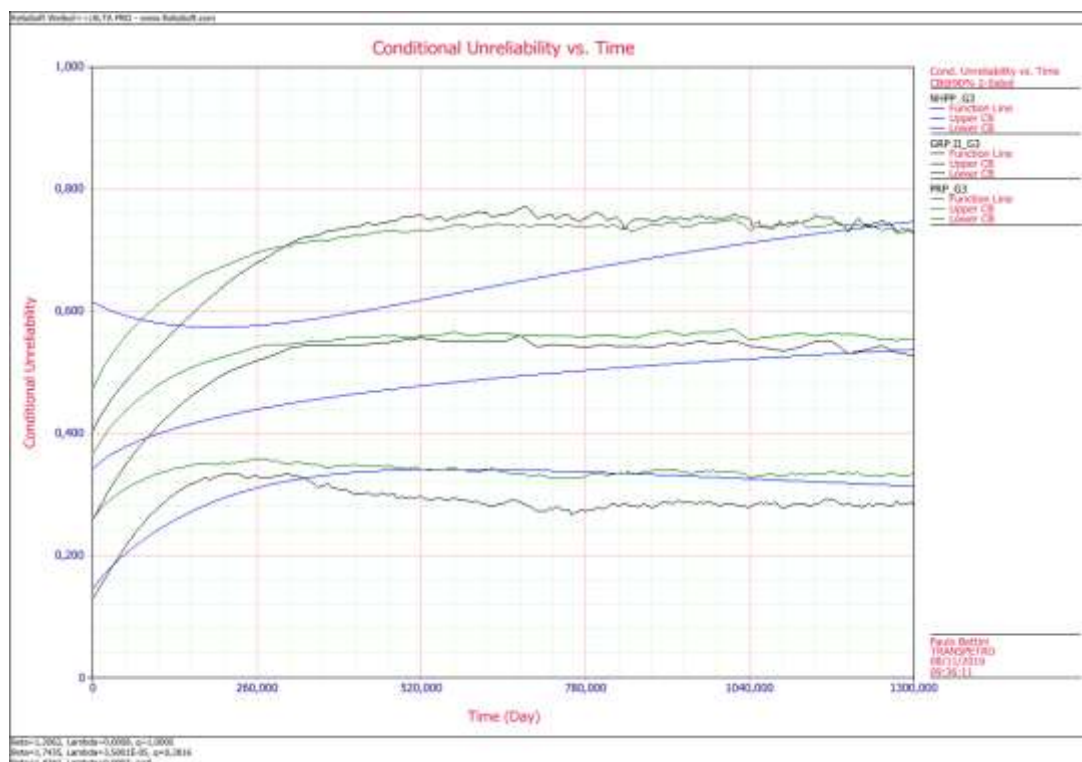


Figura 27 - Probabilidade de Falha Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo III
Fonte: Autoria própria

Quando o valor de $\beta > 1$ ocorre à diminuição da confiabilidade pela idade, quando $\beta < 1$ ocorre o aumento da confiabilidade pela idade e quando o valor de $\beta = 1$ não há aumento e nem diminuição da confiabilidade com o avançar do tempo. Os valores de β para o modelos do Grupo III estão apresentados na Tabela 6.

4.4.4 Resultados da confiabilidade para Grupo IV

Nesta análise do Grupo IV são apresentados os resultados da confiabilidade de dois modelos Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação, pois para valores de $q = 1$ o Processo Geral de Renovação Tipo I e II representam um Crow-AMSAA. Os valores dos parâmetros q estão apresentados na Tabela 7.

Nas figuras 28, 29 e 30 são apresentados respectivamente os gráficos do Número de Falhas Acumuladas, Intensidade de Falhas Acumuladas e Intensidade de Falhas Instantânea pela idade. Analisando os resultados destes gráficos infere-se que os valores encontrados para cada modelo são bem próximos, mas quando se analisa os limites superior e inferior dos resultados para intervalo de confiança 90% o modelo Crow-AMSAA é o que apresenta limites inferiores e superiores menores

em relação aos modelos de Processo Perfeito de Renovação. Também se infere que devido ao menor número de falhas destes sistemas analisados no Grupo IV a incerteza dos resultados dos modelos são maiores.

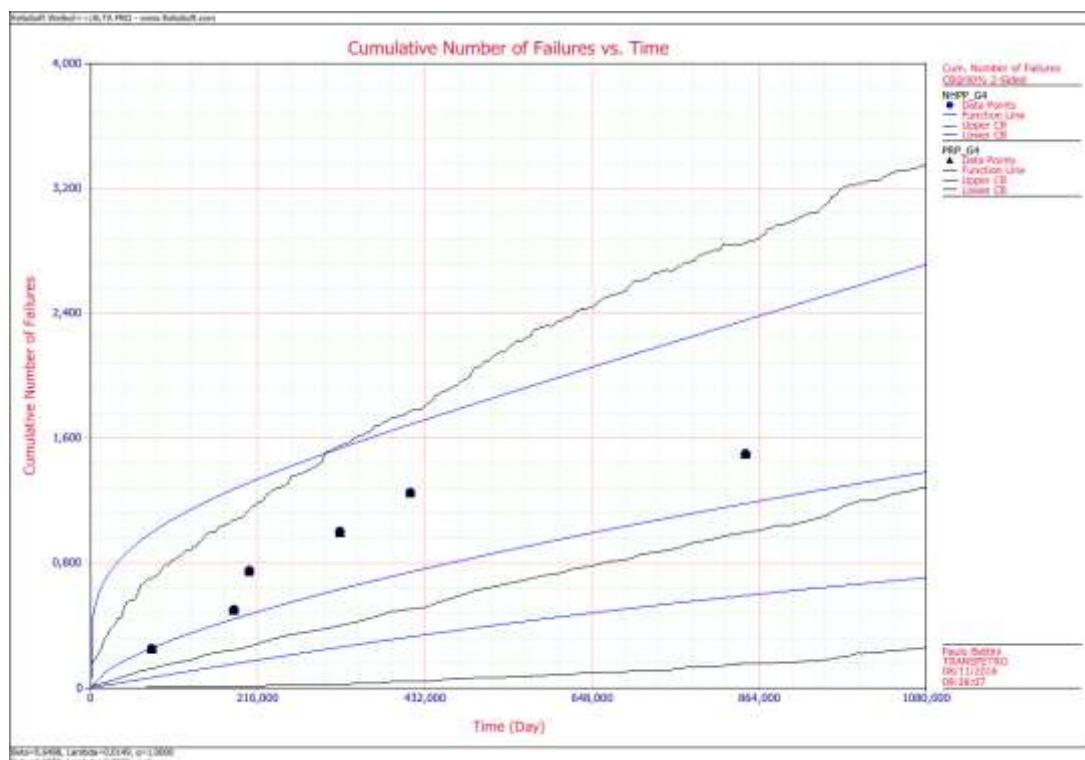


Figura 28 - Número de Falhas Acumuladas por modelo para Grupo IV
Fonte: Autoria própria

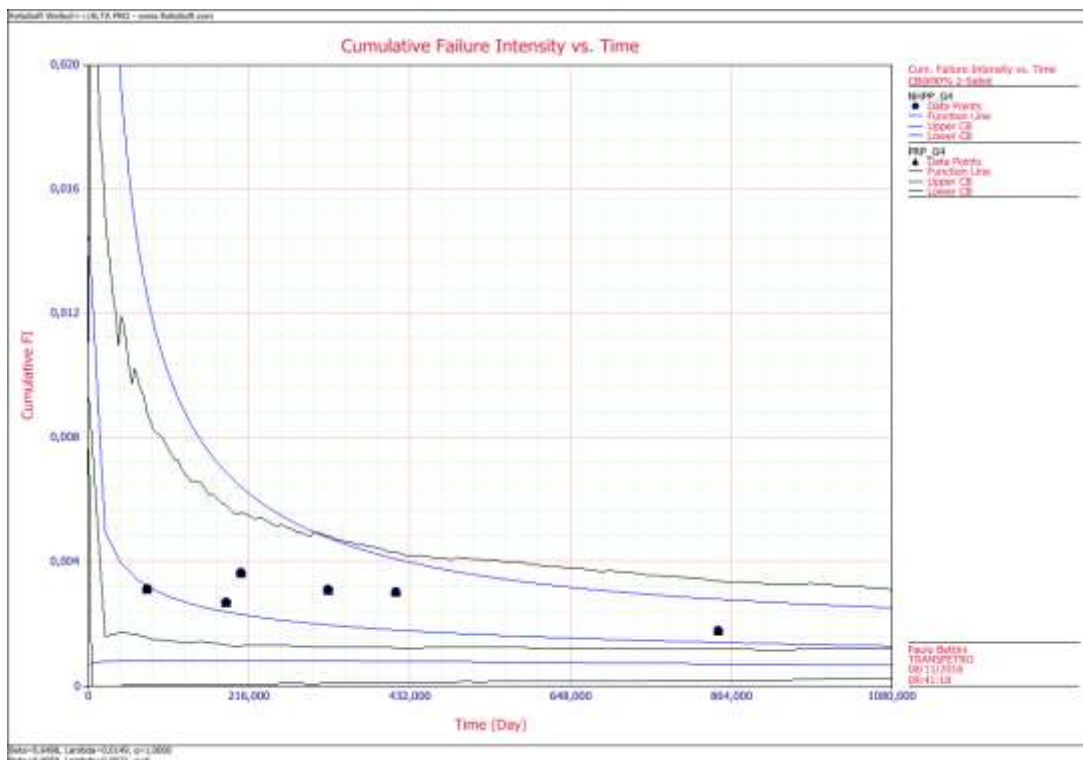


Figura 29 - Intensidade de Falha Acumulada por modelo para Grupo IV
 Fonte: Autoria própria

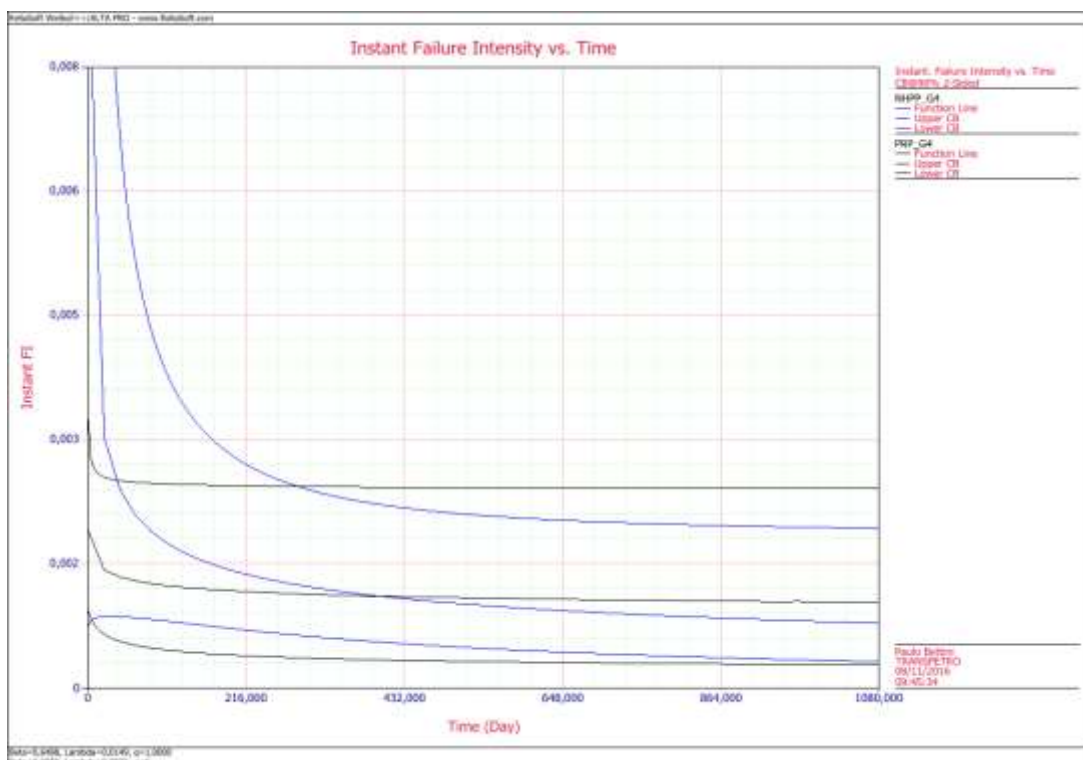


Figura 30 - Intensidade de Falha Instantânea por modelo para Grupo IV
 Fonte: Autoria própria

Na figura 31 quando se analisa os resultados de confiabilidade condicional para missão constante de 180 dias e variando a idade infere-se que o modelo Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação apresentam uma tendência de aumento da confiabilidade pela idade. A maior tendência de aumento da confiabilidade é do modelo Crow-AMSAA que apresenta o menor valor de β calculado para modelos.

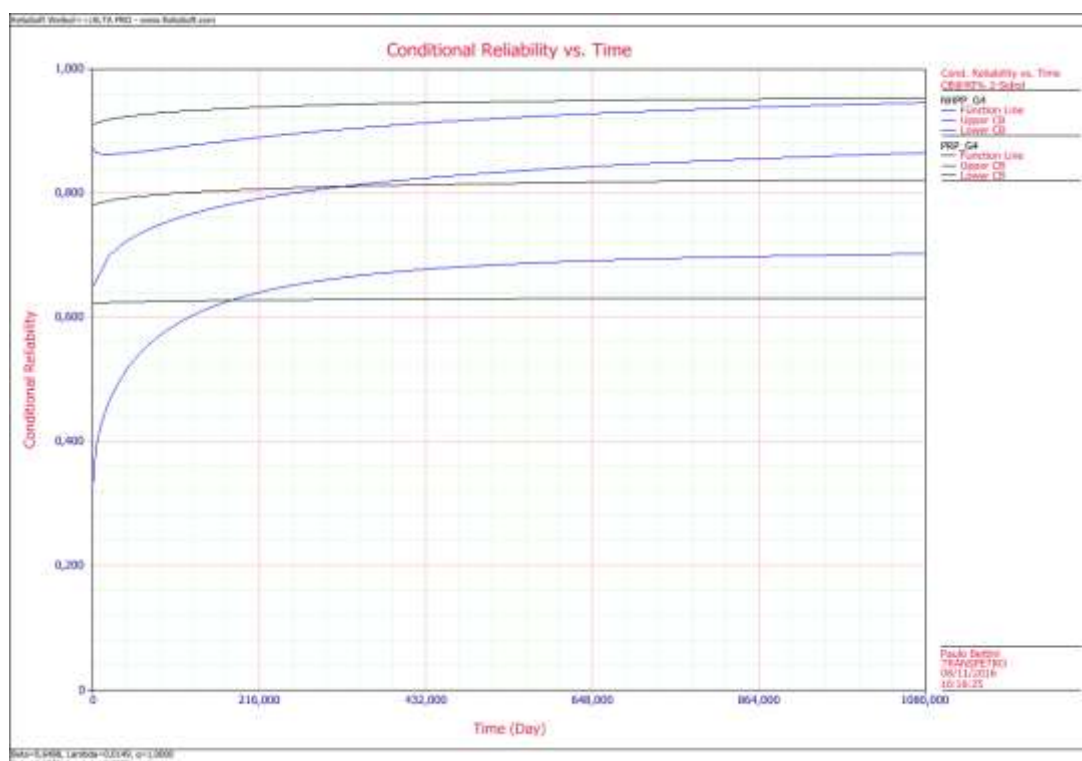


Figura 31 - Confiabilidade Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo IV
 Fonte: Autoria própria

Na figura 32 quando se avalia os resultados da probabilidade de falha condicional para missão constante de 180 dias e variando a idade infere-se que o modelo Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação apresentam uma tendência de aumento da probabilidade de falha pela idade. A maior tendência de diminuição da probabilidade de falha é do modelo Crow-AMSAA que apresenta o maior valor de β calculado para modelos.

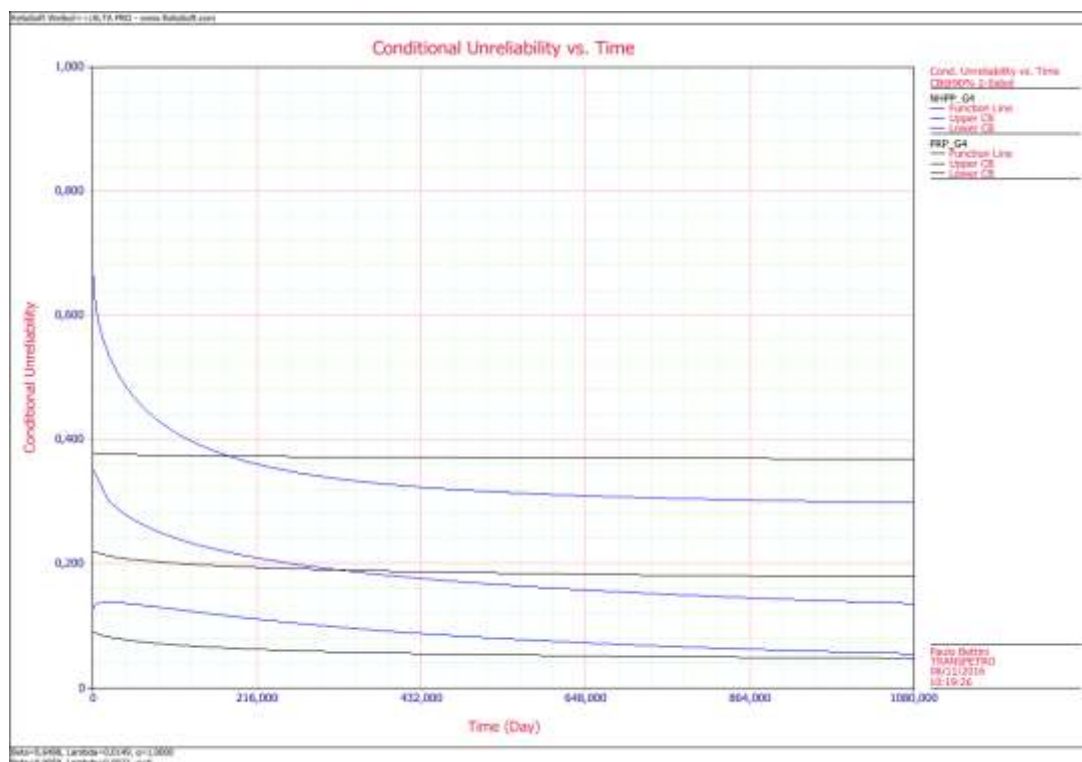


Figura 32 - Probabilidade de Falha Condicional Missão Constante (180 dias) por modelo para Grupo IV
Fonte: Autoria própria

Quando o valor de $\beta > 1$ ocorre à diminuição da confiabilidade pela idade, quando $\beta < 1$ ocorre o aumento da confiabilidade pela idade e quando o valor de $\beta = 1$ não há aumento e nem diminuição da confiabilidade com o avançar do tempo. Os valores de β para o modelos do Grupo IV estão apresentados na Tabela 7.

4.5 SELEÇÃO DO MELHOR MODELO DE ANÁLISE DE EVENTOS RECORRENTES PARAMÉTRICOS

Nesta seção são apresentados os gráficos da Média da Função Cumulativa e os gráficos do número de falhas para os modelos Análise de Eventos Recorrentes paramétricos: Crow-AMSAA, Processo Perfeito de Renovação, Processo Geral de Renovação Tipo I, Processo Geral de Renovação Tipo II para cada Grupo utilizando o software Weibull ++ da Reliasoft.

A partir da comparação dos gráficos selecionará os modelos paramétricos com resultados mais próximos dos gráficos da Função Média Acumulada para os Grupos I, II, III e IV. Também serão considerados os limites confiança na comparação e para seleção dos modelos.

4.5.1 Comparação para Grupo I

Para o Grupo I o modelo paramétrico Crow-AMSAA é o que apresenta resultado mais próximo dos resultados da Média da Função Cumulativa, principalmente quando se comparam os limites de confiança.

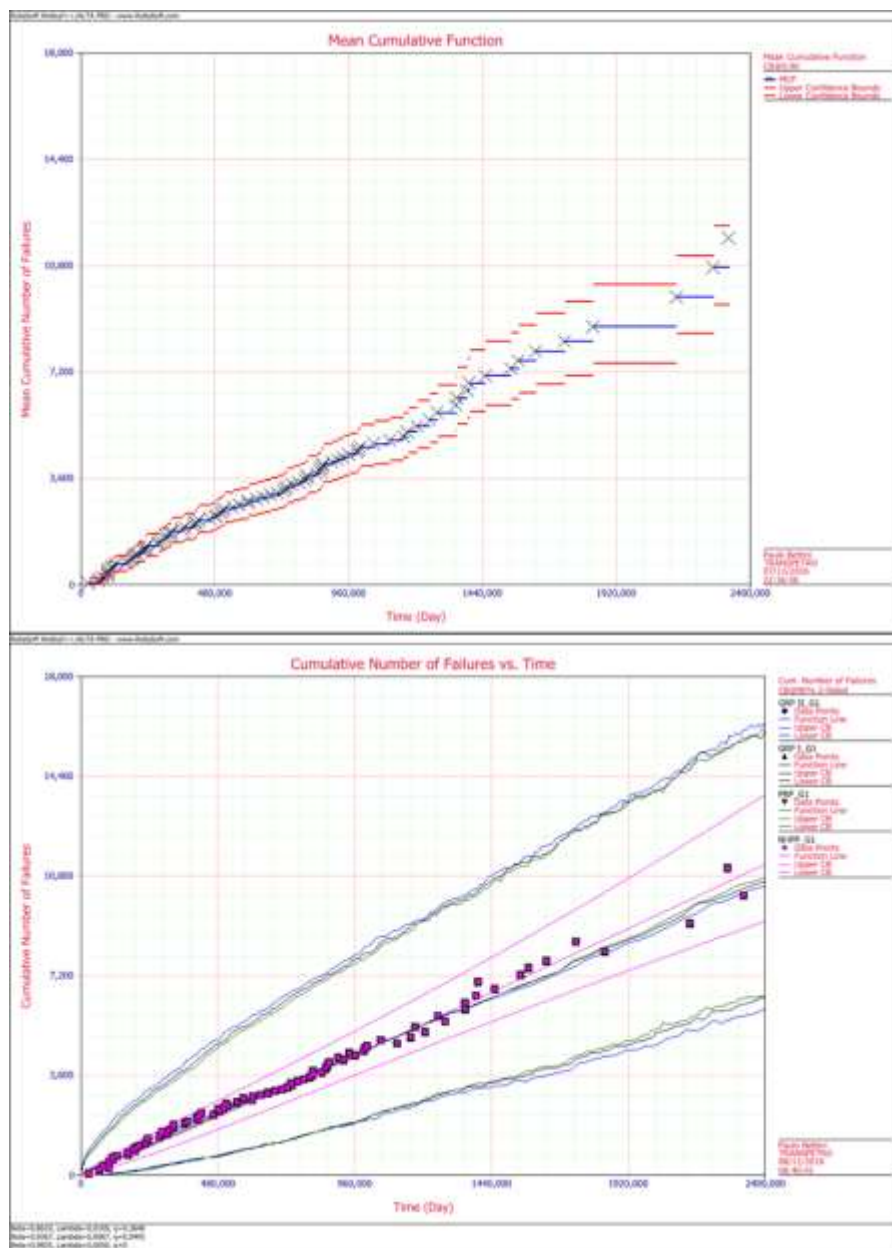


Figura 33 – Comparativo entre a Função Média Acumulada e Número de Falhas Acumuladas para Grupo I

Fonte: Autoria própria

Este modelo representa um sistema reparável, no qual após reparo não há um aumento expressivo na Confiabilidade do sistema em comparação à Confiabilidade antes da falha. Esta é a definição do conceito de mínimo reparo.

4.5.2 Comparação para Grupo II

Para o Grupo II o modelo paramétrico Crow-AMSAA é o que apresenta resultado mais próximo dos resultados da Média da Função Cumulativa, principalmente quando se comparam os limites de confiança.

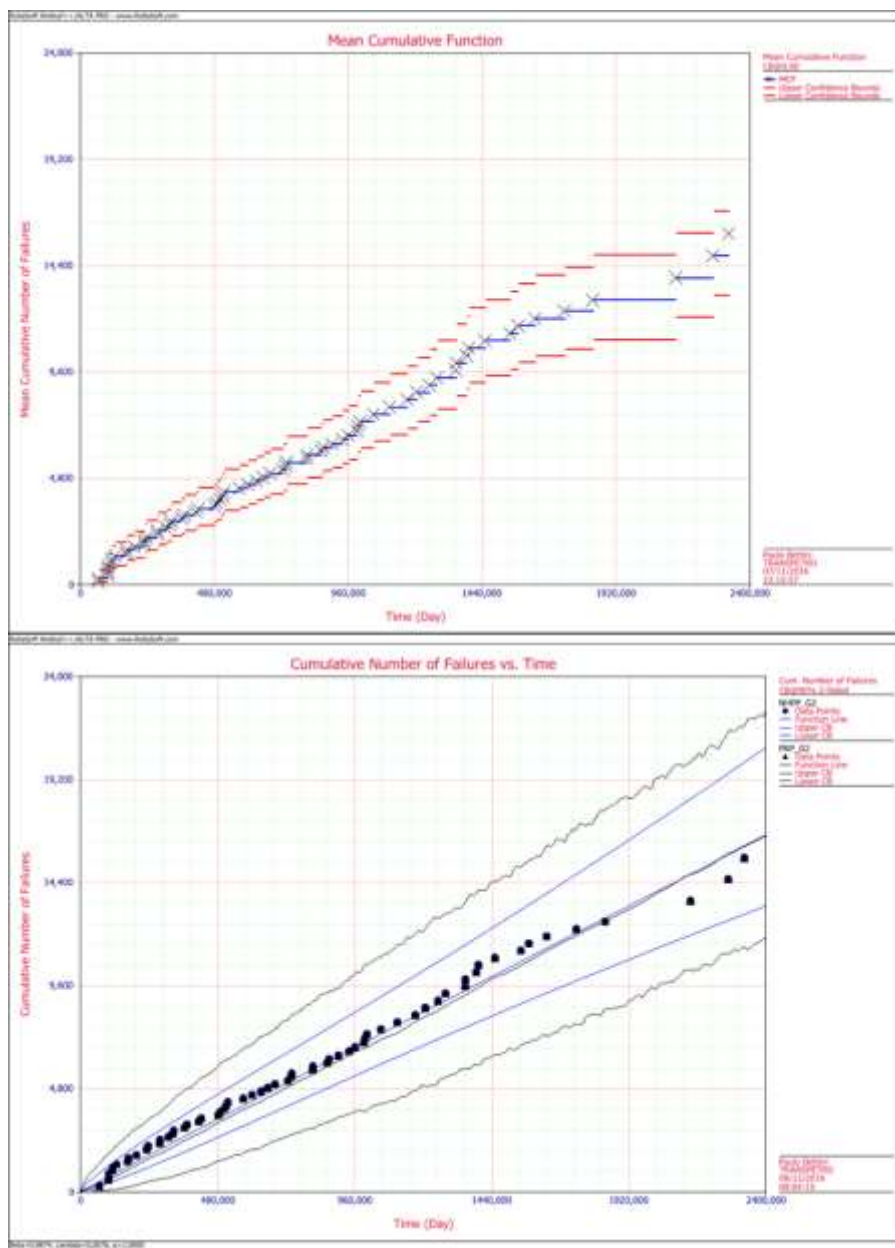


Figura 34 - Comparativo entre a Função Média Acumulada e Número de Falhas Acumuladas para Grupo II

Fonte: Autoria própria

Este modelo representa um sistema reparável, no qual após reparo não há um aumento expressivo na Confiabilidade do sistema em comparação à Confiabilidade antes da falha. Esta é a definição do conceito de mínimo reparo.

4.5.3 Comparação para Grupo III

Para o Grupo III o modelo paramétrico Crow-AMSAA é o que apresenta resultado mais próximo dos resultados da Média da Função Cumulativa, principalmente quando se comparam os limites de confiança.

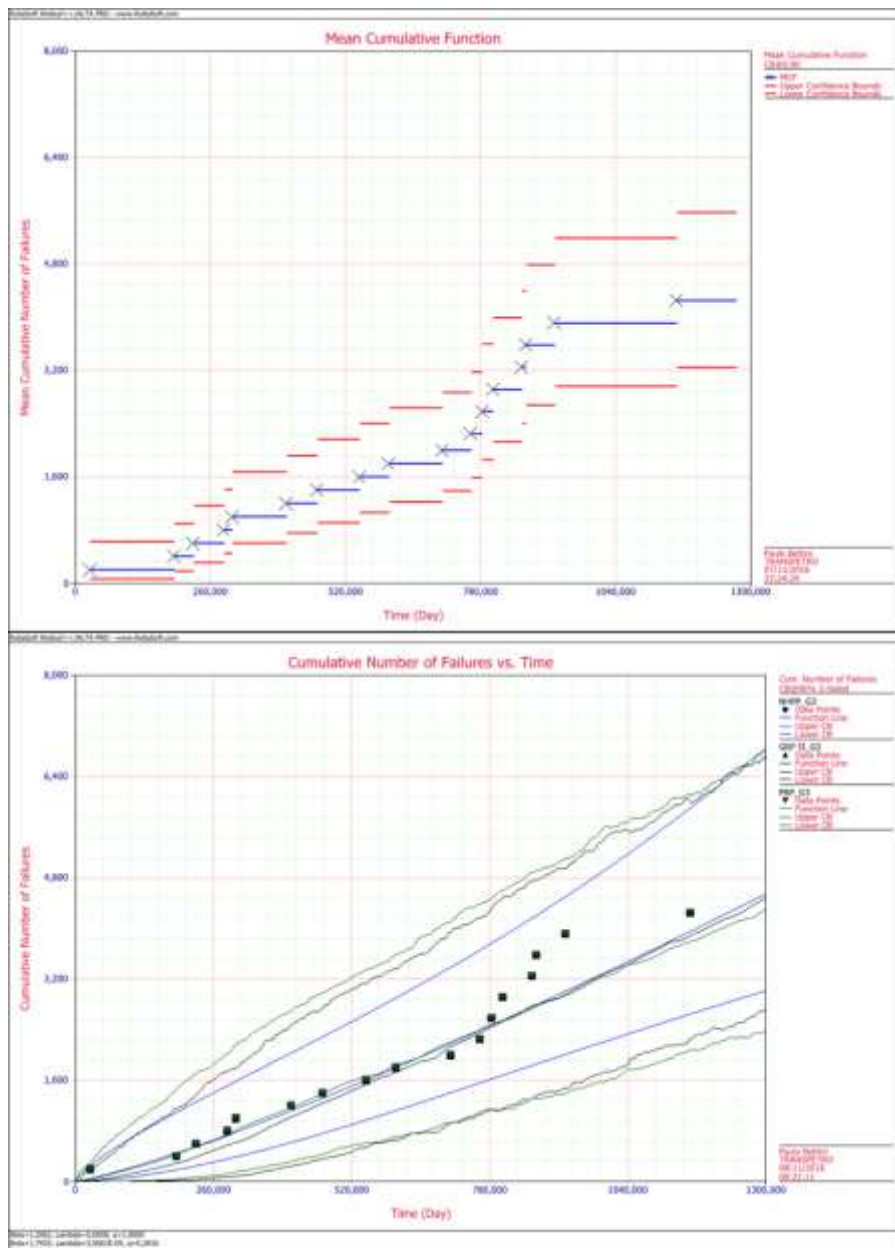


Figura 35 - Comparativo entre a Função Média Acumulada e Número de Falhas Acumuladas para Grupo III

Fonte: Autoria própria

Este modelo representa um sistema reparável, no qual após reparo não há um aumento expressivo na Confiabilidade do sistema em comparação à Confiabilidade antes da falha. Esta é a definição do conceito de mínimo reparo.

4.5.4 Comparação para Grupo IV

Para o Grupo IV o modelo paramétrico Crow-AMSAA é o que apresenta resultado mais próximo dos resultados da Média da Função Cumulativa, principalmente quando se comparam os limites de confiança.

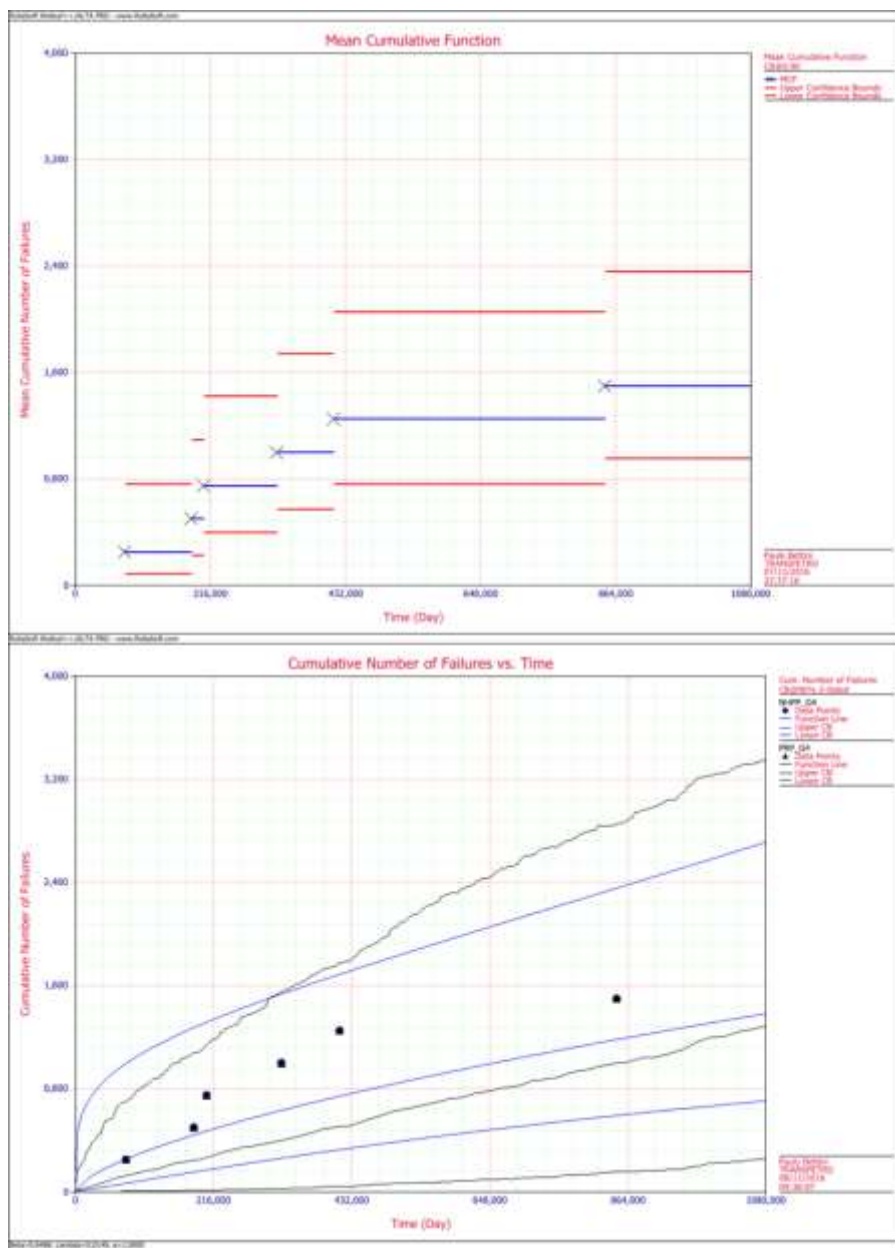


Figura 36 - Comparativo entre a Função Média Acumulada e Número de Falhas Acumuladas para Grupo IV

Fonte: Autoria própria

Este modelo representa um sistema reparável, no qual após reparo não há um aumento expressivo na Confiabilidade do sistema em comparação à Confiabilidade antes da falha. Esta é a definição do conceito de mínimo reparo.

4.5.5 Seleção dos Modelos de Análise de Eventos Recorrentes Paramétricos

Na tabela 8 apresenta os resultados da seleção dos modelos para os Grupos I, II, III e IV. Na seleção dos modelos consideramos o modelo paramétrico mais próximo da Média da Função Cumulativa que é uma Análise de Eventos não paramétrica.

Tabela 8 – Seleção do Modelo para Grupo I,II,III e IV

Grupo	Modelo Selecionado
I	Crow-AMSAA
II	Crow-AMSAA
III	Crow-AMSAA
IV	Crow-AMSAA

Fonte: Autoria própria

Para todos os grupos o modelo selecionado foi o Crow-AMSSA que representa um modelo de mínimo reparo.

4.6 COMPARATIVOS DOS RESULTADOS DOS GRUPOS I, II, III E IV CONSIDERANDO OS MODELOS CROW-AMSAA SELECIONADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados de Confiabilidade para os modelos selecionados Crow-AMSAA para Grupo I, II, III e IV utilizando o software Crescimento da Confiabilidade da Reliasoft.

Analisando a figura 37 que representa o gráfico do Número de Falhas Acumuladas pela idade, concluímos que o Grupo II é que apresenta o maior número de falhas, o Grupo IV o menor número de falhas pela idade. Também se observa que o Grupo I que possui todas as válvulas de controle o número de falhas está entre o Grupo II e o Grupo III.

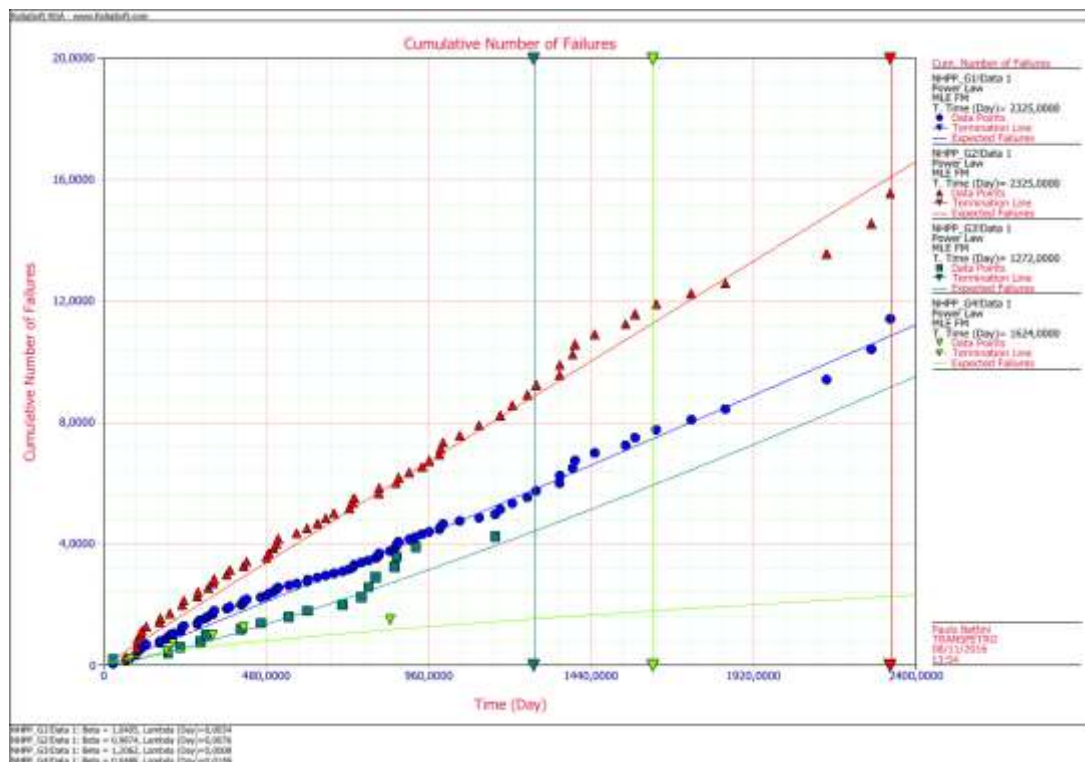


Figura 37 - Número de Falhas Acumuladas Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV
Fonte: Autoria própria

Analisando a figura 38, 39 que representam respectivamente os gráficos de Intensidade de Falha Acumulada pela idade e Intensidade de Falha Instantânea pela idade. Nota-se que os Grupos I e II apresentam uma intensidade de falha praticamente constante, o Grupo III uma tendência de aumento da intensidade de falha e no Grupo IV uma tendência de diminuição da intensidade de falha.

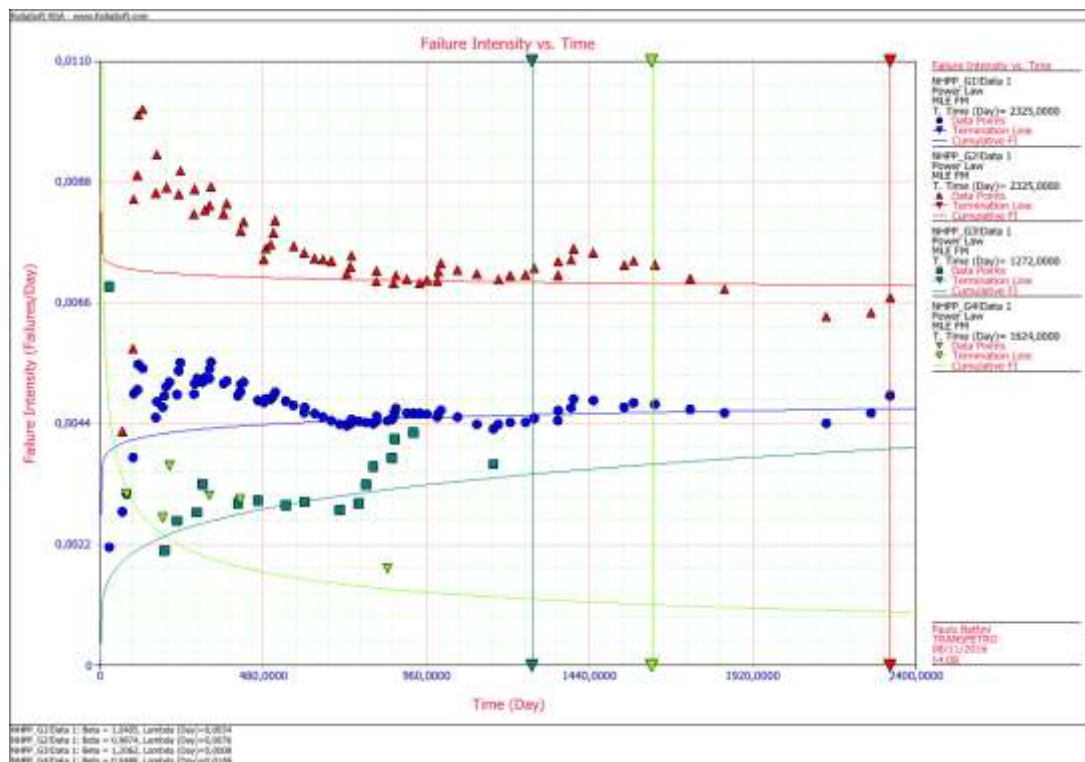


Figura 38 - Intensidade de Falha Acumulada Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV
Fonte: Autoria própria

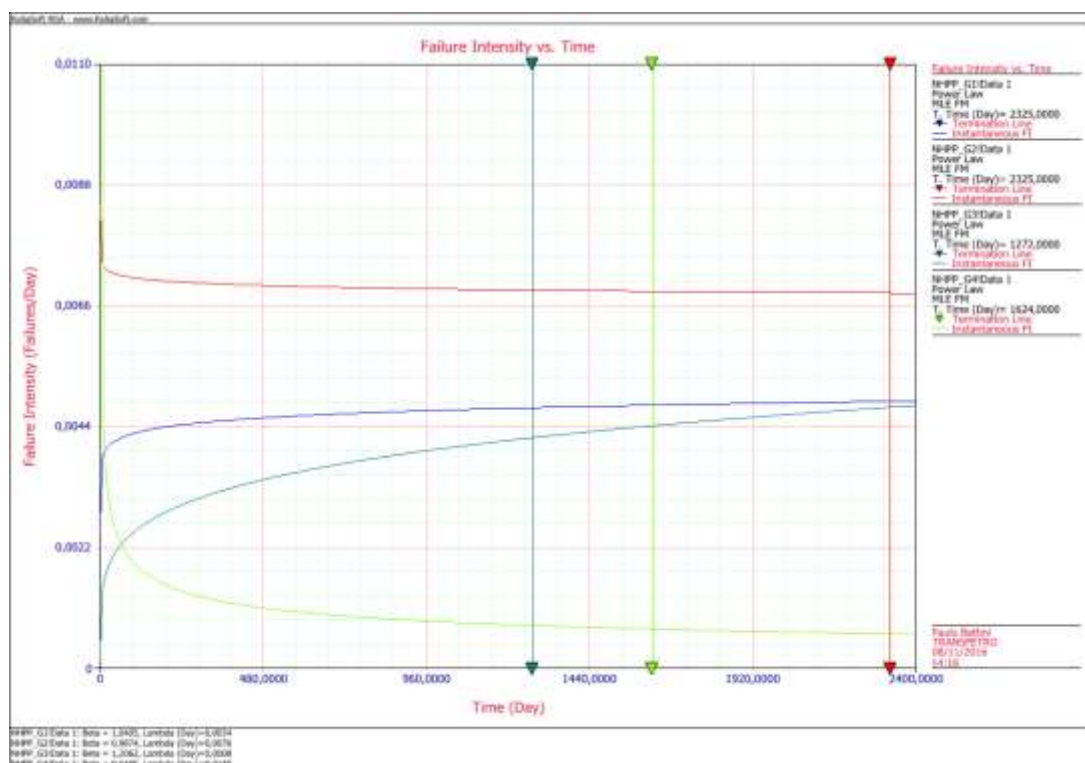


Figura 39 - Intensidade de Falha Instantânea Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV
Fonte: Autoria própria

Analisando a figura 40, 41 que representam respectivamente os gráficos de Tempo entre Falhas Acumulado pela idade e Tempo entre Falhas Instantâneo pela

idade. Nota-se que os Grupos I e II apresentam um Tempo entre Falhas praticamente constante, o Grupo III uma tendência de diminuição do Tempo entre Falhas e no Grupo IV uma tendência de aumento do Tempo entre Falhas.

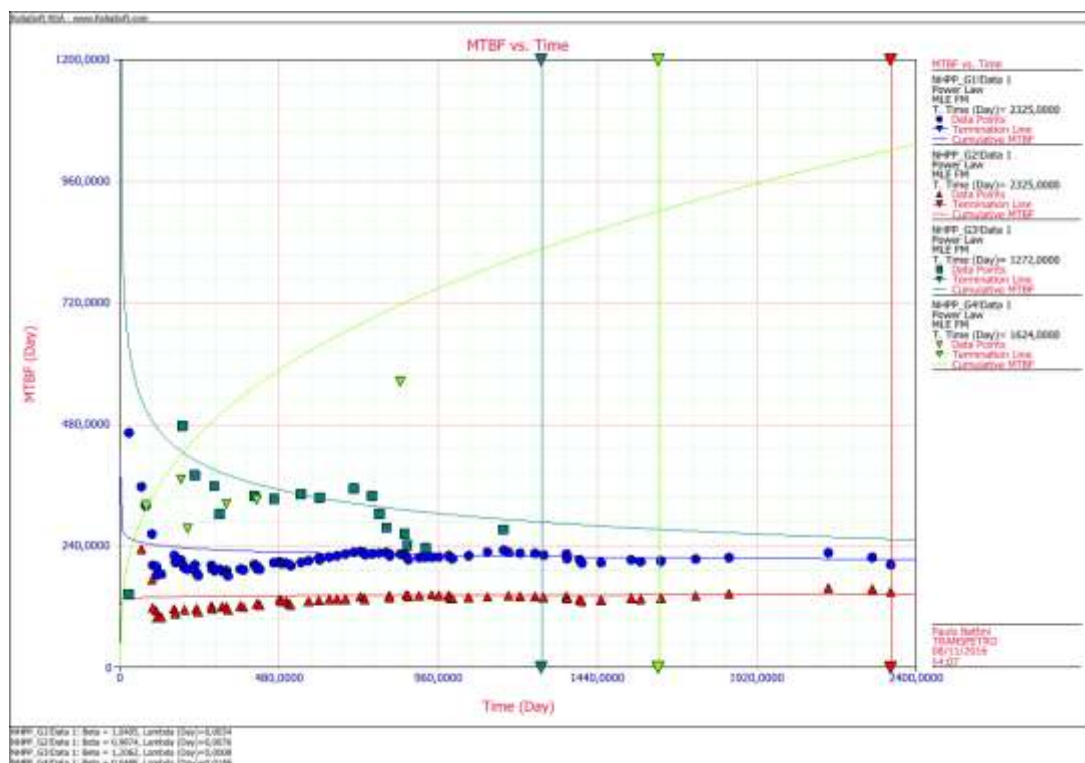


Figura 40 - Tempo entre Falhas Acumulado Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV
 Fonte: Autoria própria

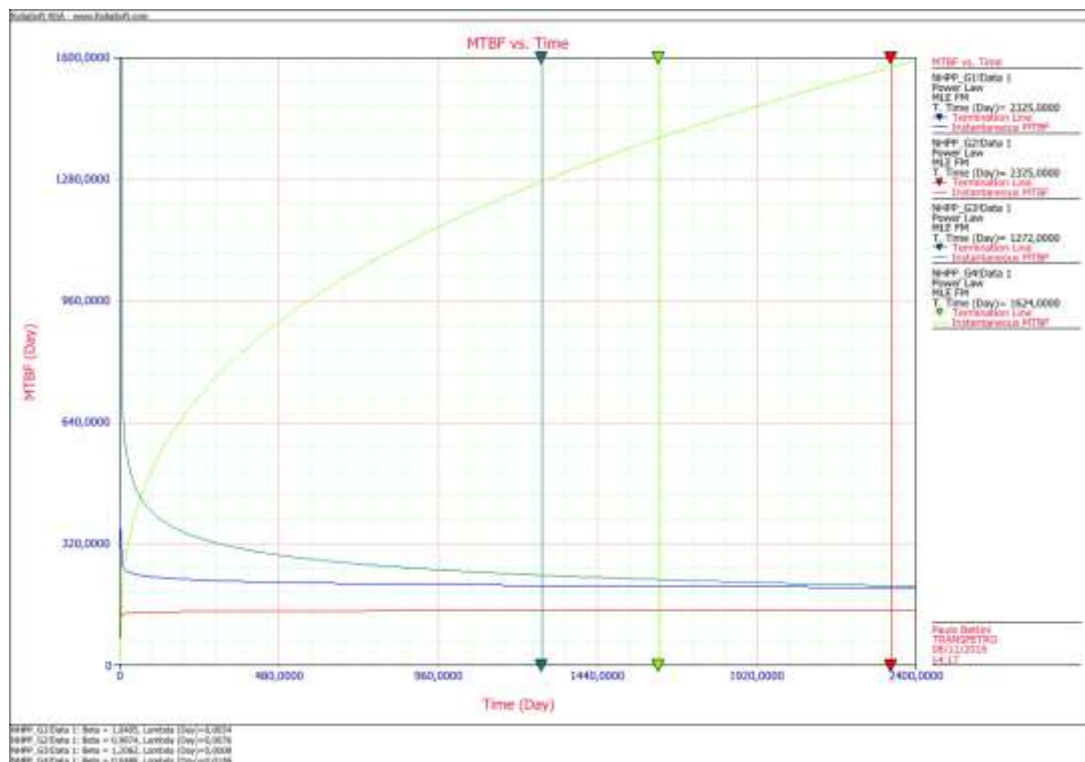


Figura 41 - Tempo entre Falhas Instantâneo Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV
Fonte: Autoria própria

Analisando a figura 42 que representa respectivamente o gráfico de Confiabilidade Condicional para missão constante de 180 dias conclui-se que o Grupo II apresenta o menor valor de confiabilidade e o Grupo IV maior valor de confiabilidade. Também se nota a tendência de diminuição da confiabilidade do Grupo III, a tendência do aumento da confiabilidade para Grupo IV e a confiabilidade praticamente constante para Grupos I e II.

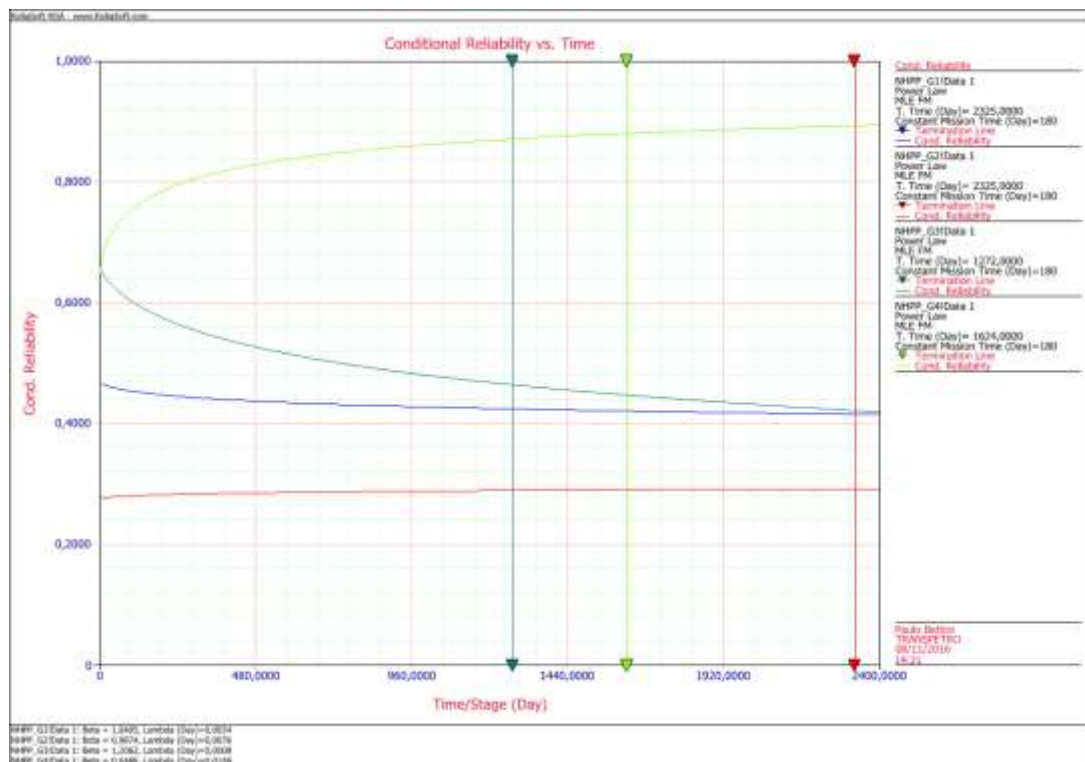


Figura 42 - Confiabilidade Condicional Missão Constante (180 dias) Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV
Fonte: Autoria própria

Analisando a figura 43 que representa respectivamente o gráfico de Probabilidade de Falha Condicional para missão constante de 180 dias conclui-se que o Grupo II apresenta o maior valor de probabilidade de falha e o Grupo IV menor valor de probabilidade de falha. Também se nota a tendência de aumento da probabilidade de falha do Grupo III, a tendência da diminuição da probabilidade de falha para Grupo IV e a probabilidade de falha praticamente constante para Grupos I e II.

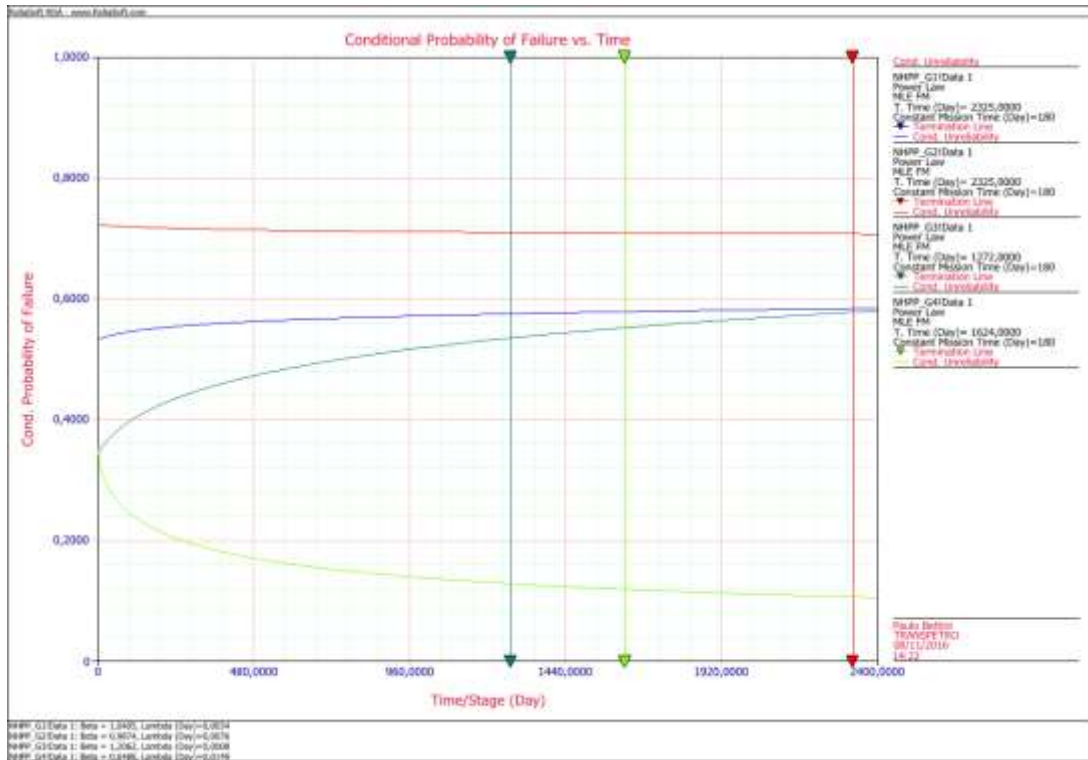


Figura 43 - Probabilidade de Falha Condicional Missão Constante (180 dias) Crow-AMSAA para os Grupos I, II, III, IV
Fonte: Autoria própria

Quando o valor de $\beta > 1$:

- A Confiabilidade pela idade diminui;
- A Probabilidade de Falha pela idade aumenta;
- A Intensidade de Falha pela idade aumenta;
- O Tempo entre Falhas pela idade diminui.

Quando o valor de $\beta < 1$:

- A Confiabilidade pela idade aumenta;
- A Probabilidade de falha pela idade diminui;
- A Intensidade de Falha pela idade diminui;
- O Tempo entre Falhas pela idade aumenta.

Quando o valor de $\beta = 1$:

- A Confiabilidade pela idade é constante;
- A Probabilidade de falha pela idade é constante;
- A Intensidade de Falha pela idade é constante;

- O Tempo entre Falhas pela idade é constante.

Os valores de β para o modelo Crow-AMSAA do Grupo I, II, III e IV estão respectivamente apresentados nas Tabelas 4, 5, 6 e 7.

4.7 SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO 4

Neste capítulo foram apresentados os dados de falhas coletados, os cálculos dos parâmetros dos modelos de Eventos Recorrentes paramétricos, os resultados de indicadores de confiabilidade para todos os modelos e Grupos. Também foi selecionado o melhor modelo para cada Grupo através de um método comparativo utilizando a Média da Função Cumulativa.

Depois de selecionado um modelo para cada Grupo, foi realizado um comparativo entre os resultados dos indicadores de confiabilidade entre os diferentes Grupos e analisou-se a tendências destes indicadores. Também se avaliou a influência dos valores de β na tendência dos indicadores de confiabilidade.

No próximo capítulo serão apresentados: os resultados da aplicação do referencial teórico, abordado no Capítulo 3, ao objeto de pesquisa abordado no Capítulo 2 e as proposições para trabalhos futuros.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho utilizou as técnicas de Análise de Eventos Recorrentes para avaliar a confiabilidade das válvulas controladoras de pressão de Oleodutos, propôs um método de comparação entre a Análise de Eventos Recorrente paramétrica e a não paramétrica para realizar a seleção do melhor modelo paramétrico.

Também foi proposta uma divisão dos sistemas de válvula de controle em Grupos diferentes para avaliar a influências dos valores obtidos de Confiabilidade para análise de sistemas múltiplos.

Verifica-se que as válvulas de controle do Grupo II são que apresentam um menor valor de Confiabilidade do que as válvulas de controle do Grupo III e IV. As válvulas de controle do Grupo IV são as que apresentam maior valor Confiabilidade.

Avaliando os Tempos entre Falha instantâneos e os valores de $\beta = 0,6488$ para Grupo IV podemos inferir que os sistemas do Grupo IV estão melhorando a confiabilidade com o tempo.

Avaliando os Tempos entre Falha instantâneos e os valores de $\beta = 1,2062$ para Grupo III, conclui-se que as válvulas de controle do Grupo III estão tendo queda da confiabilidade com o tempo.

Avaliando os Tempos entre Falha instantâneos e os valores de $\beta = 0,9874$ para Grupo II, conclui-se que os sistemas do Grupo II estão com confiabilidade constante com o tempo.

Também nota-se que as técnicas de Análise de Dados Recorrentes possuem algumas limitações como impossibilidade em determinar as disponibilidades dos sistemas, bem como não permite a análise de criticidade. A Disponibilidade e Análise de Criticidade só seriam possíveis com aplicação da técnica Análise de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade e com coleta de dados de falhas no nível dos componentes.

Como proposta de futuro trabalhos propõe-se a realização de estudos de análise de modo e efeito de Falha e análise de causa raiz para tratar os principais modos de falhas das válvulas de controles. Após implantação das correções analisa-se novamente a tendência do aumento do tempo entre falhas e do valor do parâmetro β utilizando o modelo Crow-AMSAA.

A técnica de Análise de Dados Recorrentes também pode ser utilizada para avaliação da confiabilidade de outros sistemas de Terminais e Oleodutos, como Estações de Bombeamento, Estações de Compressão.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível. **Regulamento Técnico de Dutos Terrestre Para Movimentação de Petróleo, Derivados, e Gás Natural (RTDT)**, Riode Janeiro, fev. 2011.

BRAZ, André Luiz. **Operação de tramo de controle**, Notas de Aula, 2009.

BRAZ, André Luiz. **Operação de tramo de controle**, Notas de Aula, 2009.

METTAS, Adamantios; SPANÓ, Claudio Caiani. Asset Managment Suported by Reliability Engineering. **Society for Maintenance and Reliability Professinals**, Milwauke, out. 2010.

METTAS, Adamantios; ZHAO, Wenbiao.. Modeling and Anlysis of Repairable Systems with General Repair. **Reliability and Maintainability**, Alexandria,p.24-27, Jan. 2005.

MUHAMMAD, Masd; MAJID, M. Amin Abd; IBRAHIM, Nurul Akma.. A Case Study of Reliability Assessment for Centrifugal Pumps in a Petrochemical Plant. **4th Word Congress on Engineering Asset Management**, Atenas, p.398-404, 2009.

RELIASOFT CORPORATION. Life Data Analysis Reference. Tucson.2015.

RELIASOFT CORPORATION. Reliability Growth & Repairable System Data Analysis Reference. Tucson.2015.

RELIASOFT CORPORATION. System Analysis Reference: Reliability, Availability & Optimization. Tucson.2015.

RELIASOFT CORPORATION. Avoiding a Common Mistake in the Analysis of Repairable Systems. **Reliability Edge**. Vol.7, ed. 01, Tucson.

SALEH, J. H.; MARAIS, K.. Highilights from the early (and pre-) history of reliability engineering. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 91, p. 249-256, 2006.

SEIXAS, Eduardo. Manutenção Focada na Gestão de Ativos. **2º Seminário Amazonense de Manutenção**, Apresentação, maio 2012.

SOUZA, Ricardo Dias de. **Projeto Mecânico de Dutos Dimensionamento Hidráulico**, Notas de Aula, 2016.

Swami GARMABAKI, A. H. S. et al.. Reliability Modelling of Multiple Repairable Units. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 32, p. 2329-2343, 2016.

TRINDADE, David; NATHAN, Swami. Field Data Analysis for Repairable Systems: Status and Industry Trends. **Handbook of Performability Engineering**, c. 26, p. 397-412, 2008.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas. Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos. Curitiba: UTFPR, 2009. Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/documentos/normas_trabalhos_utfpr.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2011.