

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE DE CONFIABILIDADE APLICADA AOS ENSAIOS DE
ÓLEOS LUBRIFICANTES PARA MOTORES DE TRATORES**

GILMAR FERREIRA ALVES

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Junho – 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE DE CONFIABILIDADE APLICADA AOS ENSAIOS
DE ÓLEOS LUBRIFICANTES PARA MOTORES DE TRATORES**

GILMAR FERREIRA ALVES
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof.Dr.Marcos Roberto Bormio

Co-Orientador: Prof.Dr. João Cândido Fernandes

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Junho – 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Alves, Gilmar Ferreira, 1958-
A472a Análise de confiabilidade aplicada aos ensaios de óleos lubrificantes para motores de tratores / Gilmar Ferreira Alves. - Botucatu : [s.n.], 2007.
xviii, 121 f. : grafs., tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007
Orientador: Marcos Roberto Bormio
Co-orientador: João Cândido Fernandes
Inclui bibliografia

1. Óleos lubrificantes. 2. Tratores. 3. Motores. 4. Confiabilidade (Probabilidades). I. Bormio, Marcos Roberto. II. Fernandes, João Cândido. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

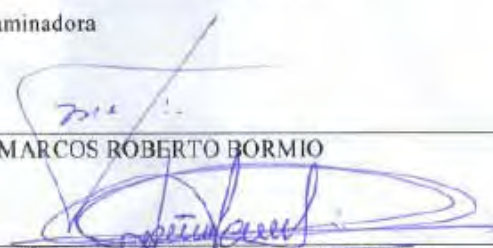
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **"ANÁLISE DE CONFIABILIDADE APLICADA AOS ENSAIOS DE ÓLEOS LUBRIFICANTES PARA MOTORES DE TRATORES"**

ALUNO: GILMAR FERREIRA ALVES

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCOS ROBERTO BORMIO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. MARCOS ROBERTO BORMIO

PROF. DR. JOÃO EDUARDO GUARNETTI SANTOS



PROF. DR. JOSÉ EDUARDO CORRENTE



DR. JAIR ROSAS DA SILVA



PROF. DR. ABÍLIO GARCIA DOS SANTOS FILHO

Data da Realização: 29 de junho de 2007.

Aos meus pais,

José Inácio e Macrina.

Aos meus irmãos,

Vilma, Gilberto, Jilvan, Gildeny e Gibeon.

Dedico

Aos meus tios, em especial Mário e Zeli, primos e sobrinhos.

Aos meus filhos,

Gilmar, Iulo e Tainá, ofereço.

Agradeço em primeiro lugar a Deus por toda ajuda e proteção dada a mim e a minha família.

Ao Prof.Dr. Marcos Roberto Bormio, pela amizade e compreensão e segura orientação.

Ao Prof.Dr.João Cândido Fernandes, pela co-orientação e sugestões apresentadas.

Ao Prof.Dr. José Eduardo Corrente, do Departamento de Bioestatística, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho- UNESP, campus de Botucatu, pela os ensinamentos e sugestões sem medir esforços.

Ao Professores do programa do Doutorado em Agronomia(Energia na Agricultura),Campus de Botucatu, pelos ensinamentos..

Aos funcionários da Biblioteca e da Seção de pós-graduação da Faculdade de Ciências Agronômicas, campus de Botucatu, pela amizade e atenção dispensada.

À Universidade do Estado da Bahia-UNEB pela oportunidade concedida.

Aos Professores do Departamento de Ciências Exatas e da Terra, UNEB, Campus I, pelo incentivo e companheirismo. Em particular, a Tânia Regina Dias Silva.

Ao Doutor Lauter Silva Souto pela amizade e contribuições na elaboração desse trabalho.

Ao Doutorando Adriano Dawison de Lima pelo apoio e incentivo durante esta jornada.

Ao Prof.Dr. Saulo Phillipe Sebastião Guerra, pelo apoio, incentivo e sugestões apresentadas.

Aos colegas da Pós-graduação da FCA, durante o período do curso. Em especial, Lauter Orlando, Manzini, Luíza, Eraldo, Rogério, Leopoldo, Cleuza, José Hiran, Gustavo e José Guilherme, pela amizade.

Aos amigos José Luiz Siqueira e Nágela Siqueira pelo incentivo e colaboração.

Ao José Carlos Soares(Magrão) pelo apoio durante as horas no laboratório de informática.

Ao Sr. Antonio Gomes Abreu e família pela amizade.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho meu muito obrigado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xviii
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	2
3 INTRODUÇÃO	3
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
4.1 Análise de óleo lubrificante.....	5
4.2 Análise de confiabilidade.....	14
4.2.1 Conceitos básicos.....	14
4.2.1.1 Função densidade de probabilidade.....	15
4.2.1.2 Função de confiabilidade.....	15
4.2.1.3 Função risco ou função de taxa de falha.....	17
4.2.3 Censura.....	18
4.2.4 Estimação da função de confiabilidade.....	19
4.2.4.1 Tabela de vida.....	19
4.2.4.2 Estimador de Kaplan-Meier.....	20
4.2.5 Modelo de riscos proporcionais de Cox.....	22
5 MATERIAL.....	23
5.1 Dois grupos de tratores.....	23
5.1.1 Tratores Analisados.....	24
5.1.2 Material para coleta e análise do óleo lubrificante.....	24
5.1.3 Equipamentos do Laboratório de Análises de lubrificantes.....	25
5.1.4 Reagentes utilizados.....	25
5.1.5 Especificação dos óleos lubrificantes novos.....	26
5.1.5.1. Do primeiro grupo.....	26

5.1.5.2 Do segundo grupo.....	26
5.1.6 Valores de referência para as análises.....	26
5.1.7 Análise estatística dos dados.....	27
6 METODOLOGIA.....	28
6.1 - Medição da viscosidade.....	28
6.2 Determinação da presença de água.....	29
6.3 Determinação do ponto de fulgor.....	29
6.4 Determinação da porcentagem de fuligem.....	30
6.5 Determinação da presença de metais.....	30
6.6 Análise estatística.....	30
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
7.1 Tratores analisados do grupo 1.....	32
7.1.1 Trator nº 1.....	32
7.1.2 Trator nº 2	35
7.1.3 Trator nº 3.....	38
7.1.4 Trator nº 4.....	42
7.1.5 Trator nº 5.....	47
7.1.6 Trator nº 6.....	51
7.2 Influência das variáveis explanatórias na confiabilidade de utilização do óleo lubrificante dos tratores do grupo 1.....	55
7.3 Tratores analisados do grupo 2.....	56
7.3.1 Trator nº 1.....	56
7.3.2 Trator nº 2.....	62
7.3.3 Trator nº 3.....	67
7.3.4 Trator nº 4.....	73
7.3.5 Trator nº 5.....	82
7.3.6 Trator nº 6.....	84
7.3.7 Trator nº 7.....	88
7.4 Influência das variáveis explanatórias na confiabilidade de utilização do óleo lubrificante dos tratores do grupo 2.....	91
8 CONCLUSÃO.....	92

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
10 APÊNDICE.....	100

LISTA DE TABELAS

	página
Tabela 1. Causas prováveis de contaminação do óleo do motor.....	6
Tabela 2. Fontes típicas de elementos metálicos.....	7
Tabela 3. Capacidade total instalada da Unidade Da Barra.....	24
Tabela 4. Identificação dos tratores que tiveram seu óleos lubrificantes analisados...	24
Tabela 5. Valores máximos de referência para as análises de óleos lubrificantes dos dois grupos de tratores.....	26
Tabela 6. Valores máximos de contaminação metálica dos dois grupos de tratores...	27

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1. Os p-valores das variáveis explanatórias para o grupo 1.....	55
Quadro 2. Os p-valores das variáveis explanatórias para o grupo 2.....	91

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 1. Curvas de confiabilidade para dois tratores.....	32
Figura 2. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 1 do grupo 1.....	33
Figura 3. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função da viscosidade do óleo lubrificante para o motor do trator nº 1 do grupo 1.....	34
Figura 4. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (horas) em função do ponto de fulgor do óleo lubrificante para o motor do trator nº 1 do grupo 1.....	35
Figura 5. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (horas) de troca do óleo lubrificante do trator nº 2 do grupo 1.....	36
Figura 6. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (horas) em função da viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº 2 do grupo 1.....	37
Figura 7. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor do trator nº 2 do grupo 1.....	38
Figura 8. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 3 do grupo 1.....	39
Figura 9. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função da viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº 3 do grupo 1.....	40
Figura 10. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor do trator nº 3 do grupo 1.....	41
Figura 11. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de cobre do óleo lubrificante do motor do trator nº 3 do grupo 1.....	42

Figura 12. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) da troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 1.....	43
Figura 13. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função da viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 1.....	44
Figura 14. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 1.....	45
Figura 15. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de ferro e do alumínio do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 1.....	46
Figura 16. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (horas) em função do nível de chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 1.....	47
Figura 17. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 5 do grupo 1.....	48
Figura 18. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função da viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº 5 do grupo 1.....	49
Figura 19. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor do trator nº 5 do grupo 1.....	50
Figura 20. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº 5 do grupo 1.....	51
Figura 21. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 6 do grupo 1.....	52
Figura 22. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função da viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº 6 do grupo 1.....	53
Figura 23. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora)	

em função do ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor trator nº 6 do grupo 1.....	54
Figura 24. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de chumbo do óleo lubrificante do motor do trator trator nº 6 do grupo 1.....	55
Figura 25. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 1 do grupo 2.....	56
Figura 26. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor do trator nº 1 do grupo 2.....	57
Figura 27. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de ferro do óleo lubrificante do motor do trator nº 1 do grupo 2.....	58
Figura 28. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de cromo e chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº 1 do grupo 2.....	59
Figura 29. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de níquel do óleo lubrificante do motor do trator nº 1 do grupo 2.....	60
Figura 30. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de silício do óleo lubrificante do motor do trator nº 1 do grupo 2.....	61
Figura 31. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 2 do grupo 2.....	62
Figura 32. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função da viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº 2 do grupo 2.....	63
Figura 33. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de cobre, do óleo lubrificante do motor do trator nº 2 do grupo 2.....	64

Figura 34. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de cromo, do óleo lubrificante do motor do trator nº 2 do grupo 2.....	65
Figura 35. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº 2 do grupo 2.....	66
Figura 36. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 3 do grupo 2.....	67
Figura 37. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função da viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº 3 do grupo 2.....	68
Figura 38. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de ferro e de cromo do óleo lubrificante do motor do trator nº 3 do grupo 2.....	69
Figura 39. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de níquel do óleo lubrificante do motor do trator nº 3 do grupo 2.....	70
Figura 40. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de silício do óleo lubrificante do motor do trator nº 3 do grupo 2.....	71
Figura 41. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do nível de alumínio do óleo lubrificante do motor trator nº 3 do grupo 2.....	72
Figura 42. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 2.....	73
Figura 43. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função da viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 2.....	74
Figura 44. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do ferro do óleo lubrificante do trator nº 4 do grupo 2.....	75
Figura 45. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora)	

em função do cobre do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 2.....	76
Figura 46. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do cromo do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 2.....	77
Figura 47. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 2.....	78
Figura 48. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do níquel do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 2.....	79
Figura 49. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do alumínio do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 2.....	80
Figura 50. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do silício do óleo lubrificante do motor do trator nº 4 do grupo 2.....	81
Figura 51. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 5 do grupo 2....	82
Figura 52. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do cromo e do chumbo do óleo lubrificante do trator nº 5 do grupo 2.....	83
Figura 53. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 6 do grupo 2.....	84
Figura 54. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do cobre e o chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº 6 do grupo 2.....	85
Figura 55. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do cromo do óleo lubrificante do motor do trator nº 6 do grupo 2.....	86
Figura 56. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora)	

em função do níquel do óleo lubrificante do motor do trator nº 6 do grupo 2.....	87
Figura 57. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº 7 do grupo 2.....	88
Figura 58. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do cromo do óleo lubrificante do motor do trator nº 7 do grupo 2.....	89
Figura 59. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus tempo (hora) em função do chumbo e o silício do óleo lubrificante do motor do trator nº 7 do grupo 2.....	90

LISTA DE EQUAÇÕES

Página

$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{P(\text{Produto falhar em } [t, t + \Delta t])}{\Delta t}$	14
$R(t) = P[T > t] = 1 - F(t)$	15
$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t / T \geq t)}{\Delta t}$	16
$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)}$	17
$f(t) \frac{df(t)}{dt} = d[1 - S(t)] = -S(t)$	17
$h(t) = \frac{S'(t)}{S(t)} = \frac{d \log(S(t))}{dt}$	17
$f(t) = h(t) \exp[-H(t)]$	17
$qi = P(T \leq t_i / T \geq t_{i-1}) = \frac{P(t_{i-1} \leq T \leq t_i)}{P(T \geq t_{i-1})} = \frac{F(t_i) - F(t_{i-1})}{1 - F(t_{i-1})}$	19
$\hat{R}(t_i) = \hat{p}_1 \hat{p}_2 \dots \hat{p}_i$	19
$\hat{R}(t) = \prod_{4n < i} \left(\frac{n_i - d_i}{n_i} \right) \therefore R(t) = ((n_1 - d_1) / n_1) ((n_2 - d_2) / n_2) ((n_k - d_k) / n_k)$	20
$\hat{V}(\hat{R}(t)) = \hat{R}(t)^2 [(d_1 / n_1 (n_1 - d_1)) + (d_2 / n_2 (n_2 - d_2)) + \dots + (d_0 / n_0 - d_{t_0})]$	21
$\hat{R}(t) = z_0 \sqrt{\hat{V}_{ar}(\hat{R}(t))}$	21
$h \left(\frac{t}{x_i} \right) = h_0(t) * \exp * (\beta' x_i)$	21
$\frac{h_i(t/x_i)}{h_j(t/x_j)} = \frac{h_0(t) \exp(\beta' x_i)}{h_0(t) \exp(\beta' x_j)} = \exp(\beta' x_i - \beta' x_j)$	21
$L(\beta) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{\exp(x_i \beta)}{\sum_{j \in R(t_i)} \exp(x_j \beta)} \right)^{\delta_i}$	22

LISTA DE ABREVIATURAS

Alumínio.....	Al
Chumbo.....	Pb
Cobre.....	Cu
Cromo.....	Cr
Ferro.....	Fe
Molibdênio.....	Mo
Níquel.....	Ni
Silício.....	Si

1 RESUMO

As análises de óleos lubrificantes de motores de tratores agrícolas são importantes como meio gerador de informações à manutenção mecânica e da racionalização quando da substituição dos mesmos. Porém, a confiabilidade da permanência destes óleos no cárter pode ser tratada de maneira formal através de métodos estatísticos. Foram utilizados dados referentes ao tempo, em horas, de uso dos óleos lubrificantes dos motores de dois grupos de tratores, marca Massey Ferguson, modelo 275 4x2. Os dados do primeiro grupo são oriundos de seis tratores onde foram obtidas setenta observações. Os do segundo grupo de sete tratores foram verificadas quarenta e seis observações. Avaliou-se o tempo de uso do óleo através das seguintes variáveis explanatórias: viscosidade, ponto de fulgor, diluição por combustível, fuligem, presença de água e desgaste metálico (Fe, Cu, Cr, Pb, Al e Si) para ambos os grupos de tratores. No segundo grupo foram verificados também níquel e molibdênio. O modelo de Cox foi utilizado para análise de tais variáveis. Estudaram-se as curvas de confiabilidade do óleo lubrificante para cada trator, utilizando-se o estimador de Kaplan-Meier. No primeiro grupo, as variáveis explanatórias não foram significativas para o período de troca do óleo lubrificante de motores dos tratores. Para o segundo grupo apenas o Pb apresentou diferença significativa com relação ao tempo de troca do óleo lubrificante. A utilização do estimador de Kaplan-Meier permitiu identificar o comportamento do óleo lubrificante durante o período de uso. O modelo de Cox mostrou-se apropriado para explicar o comportamento das variáveis explanatórias.

Palavras-chave: Confiabilidade, lubrificante, Cox, Kaplan-Meier

RELIABILITY TRACTORS APPLIED TO THE MOTORS LUBRICANT OIL ANALYSIS FOR AGRICULTURAL TRACTORS. Botucatu, 2007. 113 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: GILMAR FERREIRA ALVES

Adviser: MARCOS ROBERTO BORMIO

Co-adviser: JOÃO CÂNDIDO FERNANDES

2 SUMMARY

The analysis of the motors lubricant oil of agricultural tractors are important as information generating to the mechanical maintenance and to the rationalization when of its substitution. However, the permanence reliability of these oils in the crankcase can be treated to formal way through the statistical methods. Data over time, in hours, of the use of motor lubricant oils of two tractors groups, all Massey Ferguson 275 model 4x2 were utilized. The data of the first group are from six tractors and seventy observations were obtained. The data of the second group are fom seven tractors, obtaining forty-six observations. It was evaluated the oil use time according to the following explanatory variables: viscosity, glow point, dilution by fuel, soot, water and metallic wear (Fe, Cu, Cr, Pb, Al, Si) for both groups; molybdenum for the second group. The Cox model was utilized for analyses of these variables. The reliability curves were studied for each tractor using Kaplan-Meier estimator. In the first group, the explanatory variables were not significant for the time of lubricant oil exchange to the motors of tractors second group only Pb showed difference in relation to time of lubricant oil exchange. The Kaplan-Meier estimator allowed to visualize the lubricant oil behavior during the use time. The Cox model was appropriated to explain the explanatory variables behavior.

Key-words: Reliability, Lubricant oil, Cox model, Kaplan-Meier.

3 INTRODUÇÃO

A mecanização na agricultura brasileira, a cada dia, vem se tornando indispensável, haja vista, o manejo de grandes áreas cultivadas com cana-de-açúcar, que sem a utilização do trator agrícola seria inviável do ponto de vista operacional e econômico. Portanto, torna-se necessário que este receba uma manutenção adequada com o objetivo de obter vida útil prolongada e evitar paralisações desnecessárias durante a execução de serviços. Para isso, as análises de óleos lubrificantes de motores despontam como meio gerador de informações para a manutenção mecânica e objeto de definição do período de substituição dos mesmos, proporcionando menores custos aos seus proprietários.

A fim de avaliar a confiabilidade durante esse período, utilizou-se o estimador de Kaplan-Meier para construção de curvas de cada trator e cada variável explanatória em dois grupos de tratores, marca Massey Ferguson, modelo 275 4x2, que eram utilizados em operações de pulverizações, distribuição de calcário e transporte de insumos. O primeiro grupo era formado por seis tratores, e as variáveis explanatórias analisadas foram viscosidade, ponto de fulgor, fuligem, água e as de desgastes metálicos (Fe, Co, Cr, Pb, Al e Si). Para o segundo grupo, constituído de sete tratores, além das variáveis analisadas no primeiro grupo, acresceu-se a diluição por combustível e o níquel.

O modelo de riscos proporcionais de Cox (1972) foi utilizado para verificar dentre as variáveis explanatórias aquelas que poderia influir no tempo de troca do óleo lubrificante.

Este trabalho teve como objetivo estimar as curvas de confiabilidade para avaliar o tempo de uso do óleo lubrificante do motor de tratores agrícolas, e estudar a viabilidade da aplicação do modelo de Cox considerando as variáveis explanatórias.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Análise de óleo lubrificante

As análises de óleos lubrificantes para motores de combustão interna são importantes não só para o controle de sua própria qualidade, mas também, para o aumento da vida útil dos equipamentos em que são usados. Com as análises obtém-se preciosas informações acerca do estado de conservação em que se encontram . Assim, para o trator que representa a máquina mais cara e importante nas diversas operações agrícolas, a eficiência das análises de óleos lubrificantes no auxílio ao controle do tempo de utilização do óleo do motor dos tratores agrícolas é de suma importância (LANÇAS; BORMIO, 1993).

Segundo Snook (1988) a degradação e contaminação do óleo usado são as principais causas em prejuízos à eficiência do óleo lubrificante. O autor estabeleceu um programa básico de ensaios de óleos usados em motores e descreveu os procedimentos em laboratório, bem como os meios e causas de contaminação e degradação, correlacionando os contaminantes com respectivos defeitos das máquinas e seus pontos de origem, conforme mostra a Tabela 1. Concluiu que as razões principais para se analisar amostras de óleos de motores são: verificar se óleo lubrificante está em condições de continuar em serviço e revelar problemas de ambiente e operação.

Tabela 1. Causas Prováveis de contaminação do óleo do motor de tratores.

Contaminação por água	<ol style="list-style-type: none"> 1- Condensação: operações a baixa temperatura, ventilação inadequada cárter, uso excessivo em marcha lenta, períodos curtos em serviços intermitentes; 2- Elevado vazamento de gases: anéis ou camisas gastas, restrições no sistema de escape; 3- Vazamento de líquido de refrigeração, juntas do cabeçote vazando, cabeçote apertado com torque indevido, bloco ou cabeçote rachados.
Redução de viscosidade	<ol style="list-style-type: none"> 1- Uso de óleo lubrificante com viscosidade abaixo da indicada; 2- Diluição do óleo pelo combustível, bicos injetores gotejando, alimentação de ar ou sistema de escape obstruído.
Aumento de viscosidade	<ol style="list-style-type: none"> 1- Uso de produto mais viscoso; 2- Contaminação por água e por fuligem do combustível; 3- Degradação: refrigeração inadequada, operação com mistura pobre, períodos de drenagem excessivamente prolongados.
Contaminação por insolúveis	<ol style="list-style-type: none"> 1- Fuligem no combustível: operação com mistura rica, bicos injetores defeituosos, entrada de ar de admissão obstruída; 2- Entrada de poeira: manutenção inadequada do filtro de ar, vazamento de ar no sistema de admissão; 3- Desgaste metálico: geralmente relacionado com a quantidade de impurezas aspiradas, manutenção inadequada do filtro de ar.

Fonte: Snook (1998).

A eficiência das análises de óleos lubrificantes na manutenção de equipamentos mecânicos e do próprio óleo lubrificante foi estudada por Snowden e Westerheid (1976), os quais estabeleceram um programa de análise, onde o desgaste metálico, a concentração de impurezas e a composição dos depósitos de borra foram analisados, determinando assim, limites máximos de concentração de contaminantes em redutores de engrenagens. Concluíram que as análises de óleo lubrificante são uma excelente ferramenta de manutenção preventiva desde que haja uma comunicação rápida e eficiente entre o laboratório e a manutenção

Steenberger (1978) estudou as análises de óleo lubrificante como instrumento de manutenção preventiva. Estabeleceu frequência de recolhimento de

amostras de óleo lubrificante em equipamentos como caixas de engrenagens, turbinas a gás e os motores estacionários. O autor concluiu que a simplicidade de um programa do laboratório e de manutenção onde a comunicação rápida e eficaz entre eles é extremamente importante para que tenham sucesso.

Gasparini (1983a) visualizou a necessidade de controlar os fatores que afetam os lubrificantes com a finalidade de otimizar a sua utilização e implantou, na Açucareira Zillo-Lorenzetti S.A, em Macatuba, Estado de São Paulo, um laboratório para avaliar as características de óleos lubrificantes usados. Os resultados eram comparados com as análises de óleo novo e correlacionados com causas mecânicas de contaminação para todos os equipamentos da área agrícola e industrial. Chegou a conclusão que a análise periódica do óleo usado tem lugar de destaque entre os métodos de manutenção, sendo considerada como um dos melhores sistemas auxiliares para acompanhamento e controle do funcionamento de equipamentos mecânicos.

As análises de óleo lubrificante são indicadores das condições do lubrificante, possibilitando a otimização dos intervalos de troca e tempo de serviços, diminuindo os custos com a lubrificação. Também permite verificar a deterioração precoce do óleo e a procedência dos contaminantes metálicos, como indicado na Tabela 2, evitando danos aos mecanismos lubrificados.

Tabela 2. Fontes típicas de elementos metálicos

Elemento	Fontes típicas
Alumínio	Pistões, mancais e poeiras
Antimônio	Mancais
Cromo	Cilindros, anéis, refrigerante, virabrequim e engrenagens
Cobre	Mancais, buchas e peças de bronze
Ferro	Cilindros, camisas, ferrugem, e virabrequim
Chumbo	Mancais, gasolina, graxas e tinta
Níquel	Eixos, anéis e válvulas
Silício	Poeira e ante-espumantes
Estanho	Solda e mancais
Titânio	Molas, válvulas e componentes de turbinas
Zinco	Aditivo, mancais e chapas galvanizadas

Fonte: Gasparini (1983b)

À primeira vista, um programa de análise de óleo usado, embora aparentemente simples, exige empenho do pessoal de laboratório e da manutenção mecânica, sendo necessária uma comunicação imediata entre ambos. Porém, não se deve

esperar a eliminação de todos os problemas em mecanismos lubrificados apenas com as análises dos óleos (GASPARINI, 1983b).

Segundo Erickson e Taylor Jr. (1984), a análise do óleo lubrificante usado se constitui num importante fator na implantação dos programas de manutenção preventiva, devendo-se coletar as amostras segundo um plano baseado em horas de operação e imediatamente enviadas ao laboratório. Os resultados com as anormalidades devem ser prontamente comunicados à manutenção para que possam evitar avaria no equipamento.

Nepomuceno (1985) ressaltou a importância da análise do óleo usado em um programa de manutenção preventiva, visando o monitoramento do equipamento e economia do lubrificante, deixando de substituir o óleo lubrificante a cada período de operação e passando a executar a troca só quando necessário. Salientou que um programa de análises requer investimentos especiais e treinamento adequado do pessoal envolvido, devendo ser realizado com bastante rigor, organização e racionalização, para que os resultados das análises sejam bem utilizados. Estabeleceu uma metodologia de análise, com ensaios físicos-químicos, tais como, a medida da viscosidade cinemática, determinação de água no óleo, análise metalográfica. Salientou ainda, as limitações do processo devido ao alto custo imposto a uma monitoração permanente, na determinação de avarias de evolução rápida.

Gasparini et al. (1987) implantaram na Usina da Barra S.A, em Barra Bonita, Estado de São Paulo, um laboratório para análises de lubrificantes a fim de suplementar os programas de manutenção das áreas agrícola e industrial, sendo justificado tal procedimento pela importância das análises na manutenção e racionalização no uso de lubrificantes. Estabeleceram um programa de recolhimento das amostras e utilizaram para os exames a metodologia da ASTM¹, trabalhando com aproximadamente noventa e cinco amostras diárias durante a safra, e trinta e cinco na entressafra. Foram detectados 28,7% de anormalidades, que geraram por dia, uma ou duas recomendações à manutenção mecânica. Obtiveram uma economia de 47,6% no consumo de lubrificantes no período de 1982 a 1986. Concluíram que o laboratório é um sistema eficiente para suplementar os programas de manutenção, pois, as informações obtidas controlam as condições do óleo, dos

¹ American Society for Testing Materials

mecanismos em operação, fornece diagnósticos à manutenção, permitindo abreviar ou estender o período das trocas de óleo, racionalizando o consumo e reduzindo os custos.

Segundo o API² (1988) os serviços de troca do óleo, troca do elemento filtrante do óleo e a manutenção e a troca dos elementos do sistema de filtragem do ar de admissão, quando não forem monitorados através de análises dos lubrificantes, devem ser realizados observando as recomendações dos fabricantes do motor. Ainda segundo o API, as principais fontes de contaminação dos óleos lubrificantes de motores. Dentre os contaminantes destacou a poeira, as partículas provenientes de desgaste das peças e os subprodutos da combustão, tais como água, ácidos, fuligem e a diluição por combustível.

Bowen (1988) verificou as fontes de contaminação nos motores agrícolas, ou seja, entrada de poeira, água e combustível, relacionando-as com os motivos de contaminação. Estabeleceu um programa de análise que inclui a coleta da amostra, análise do aspecto e do odor, avaliação da presença de água, a destilação para determinar a quantidade de água, viscosidade Saybolt a 38°C, o ponto de fulgor para verificar a quantidade de combustível presente e a presença de metais de desgaste. Enfatizou que o tempo gasto durante coleta do óleo durante o serviço rotineiro do trator, evita que problemas menores se transformem em reparos custosos.

Stauffer e Thompson (1988) justificaram a avaliação de bancadas de testes de oxidação do óleo lubrificante, por serem os testes de campo caros e requererem um tempo para a sua realização. Estes testes procuravam duplicar as condições de combustão, variar os métodos de entrada de ar de admissão, a exposição a metais catalisadores e a aditivação periódica do óleo em teste, visando uma resposta rápida nos testes de oxidação. Os principais usuários dos testes eram: fábricas de aditivo, construtores de motores e fabricantes de óleos lubrificantes. O objetivo dos testes é melhorar a estabilidade à oxidação do óleo lubrificante visando prolongar a vida útil dos motores, pois segundo os autores, a vida útil do lubrificante está intimamente ligada com a sua capacidade de controle do aumento da viscosidade, retenção da alcalinidade e prevenção na formação de insolúveis.

A aplicação da ferrografia no monitoramento de óleos lubrificantes

² American Petroleum Institute

de motor a combustão em desenvolvimento, através do acompanhamento da evolução do nível de desgaste de novos componentes é uma técnica adequada para prever mudanças no desgaste do motor, possibilita a identificação do componente que estava sofrendo desgaste e permitia visualizar o tipo e tamanho das partículas (CORSO; ADAMO, 1989).

Segundo Godfrey (1989) de setenta a oitenta e cinco por cento das deficiências e problemas de desgaste em máquinas lubrificadas são causadas por contaminação do óleo lubrificante. A manutenção do óleo limpo e isento de água proporciona o prolongamento da vida útil da máquina, baixo custo de manutenção, aumenta a vida útil do lubrificante e eleva a produtividade. Estabeleceu um método de testes de presença de água e os testes com espectrofotômetro de absorção atômica para determinação de metais.

Fox et al. (1990) investigaram os efeitos da água sobre as propriedades do ácido base dos óleos lubrificantes novos e usados de motores à combustão interna. Verificaram que quanto mais velho estava o óleo, mais suscetível ficava a degradação pela água. Concluíram, também, que um novo método de determinação da quantidade de água no óleo deveria ser desenvolvido, pois os métodos existentes eram imprecisos ou demorados.

Schumacker et al. (1991) testaram cem tratores em dinamômetro com a finalidade de verificar o aumento de potência e da eficiência do combustível devido às trocas de filtros de ar de admissão e de combustível, segundo as recomendações dos fabricantes de tratores. Ao mesmo tempo, amostras de óleo do motor eram recolhidas para a verificação do desgaste metálico dos componentes do motor. Concluíram que os tratores foram conservados, ganharam potência e o desgaste metálico estava dentro dos limites estabelecidos.

Bormio (1992) realizou estudos para verificar a eficiência das análises de óleo lubrificante como instrumento auxiliar de manutenção preventiva de tratores utilizados em operações agrícolas, como por exemplo, calagem, pulverizações de herbicidas, transporte de insumos. Além das análises dos óleos lubrificantes do motor e elementos de transmissão, foram também comparados os procedimentos relativos a trocas de óleo lubrificante do motor e transmissão, substituição dos elementos filtrantes do lubrificante do motor e elemento filtrante do ar de admissão. Para isso, comparou os

resultados de dois grupos de tratores. Observou que no primeiro grupo, em que foram realizadas as análises periódicas, os testes revelaram 18,30% de anormalidades nos óleos lubrificantes dos motores e 63,60% nas da transmissão. Enquanto que no segundo grupo, foram detectados 70,00% de problemas nos óleos dos motores e 100,00% nos das transmissões. Os testes foram: odor, aparência, viscosidade, presença de água, presença de fuligem, ponto de fulgor e aqueles para determinação da presença e quantidade de elementos metálicos (ferro, cobre, cromo, chumbo, alumínio, níquel e silício). Como houve diferença significativa do número de problemas entre o primeiro e o segundo grupo, o autor concluiu pela eficiência do procedimento das análises de lubrificantes como instrumento de manutenção preventiva de tratores agrícolas.

As análises de óleos lubrificantes aliadas a um bom diagnóstico são um excelente auxiliar da manutenção, além de baixar os custos, gastos com lubrificantes e determinar as intervenções necessárias ao bom desempenho da máquina em serviço. Podem, ainda revelar alteração da viscosidade, contaminação por elementos sólidos e elementos líquidos externos ao motor, contaminação pelo líquido de refrigeração, por elementos metálicos internos do motor e a diluição do lubrificante por combustível (DESQUIBES et al, 1993).

A influência das análises de óleos lubrificantes sobre as trocas de óleos dos motores de dois grupos de tratores foi verificada por Lanças e Bormio (1993). No primeiro grupo as análises eram realizadas periodicamente, enquanto que no segundo, tal fato não ocorria. Os resultados mostraram que no primeiro grupo as trocas eram realizadas com 186,5 horas médias de trabalho e no segundo, com 272 horas, contra as 200 horas para as trocas periódicas recomendadas pelo fabricante do trator. A diferença verificada no primeiro grupo deveu-se à contaminação prematura da carga de lubrificante e a troca antecipada proporcionou a proteção do motor contra possíveis avarias que poderiam ocorrer devido ao mal estado do lubrificante. No segundo grupo, como os óleos não eram monitorados por análises ficou evidente o risco de operação dos motores, uma vez que, segundo o fabricante do trator, o óleo lubrificante estava fora das condições de utilização por ter ultrapassado o número de horas recomendado para substituição.

Com a finalidade de verificar o estado do motor e a manutenção recebida por uma máquina, Bormio et al. (1994) avaliaram o óleo lubrificante do motor de

um trator agrícola de um pequeno agricultor. Os resultados das análises mostraram um aumento 44,00% da viscosidade. Para elementos metálicos; ferro, 50,00% de contaminação, alumínio, 41,20%, cobre 67,00% e silício 93,00%. Como estes valores estavam acima do limite normal recomendado, concluíram que o óleo lubrificante estava em péssimo estado devido à manutenção inadequada recebida pela máquina.

A viscosidade é a característica mais importante no controle do uso do lubrificante. Sua variação tem influência sobre o desgaste metálico apresentado pelos motores de tratores agrícolas. Com o objetivo de verificar esta influência, Bormio et al. (1995) analisaram óleos lubrificantes provenientes de motores de tratores de dois grupos distintos. As máquinas do primeiro grupo tinham seus óleos monitorados rotineiramente e não apresentavam nenhuma influência da variação da viscosidade sobre o desgaste detectado. As do segundo grupo não recebiam este tipo de controle e de dez análises realizadas sete apresentaram desgastes considerados anormais, sendo duas delas claramente devidas à alteração da viscosidade. Nas outras quatro análises também ocorreu a variação da viscosidade, porém, o resultado foi ocultado por outros parâmetros tais como, a contaminação por água e por fuligem, tendo a diminuição da medida da viscosidade confirmada pelo abaixamento do ponto de fulgor. Devido aos dados apresentados, os autores concluíram que a variação da viscosidade do óleo lubrificante tem influência no nível de desgaste apresentado por motores de tratores agrícolas.

Segundo Marshal, (1995) um programa de análises de óleos lubrificantes usados, como elemento auxiliar de programas de manutenção, oferece um panorama geral de um óleo em serviço e que deve ser empregado para determinar a conveniência do lubrificante permanecer em serviço e os períodos de tempo ideais para a execução dos trabalhos de manutenção preventiva. Concluiu que para que as análises sejam eficazes como instrumento de manutenção preventiva ou preditiva, é extremamente importante determinar, em primeiro lugar, qual máquina será monitorada e que testes darão informações úteis, pois, com testes incorretos podem chegar a interpretações e conclusões enganosas que afetariam a credibilidade deste procedimento de manutenção.

A revista MANUTENÇÃO (1994), publicou um artigo sobre o aumento da disponibilidade operacional de máquinas proporcionada pelo sistema de manutenção preditiva. Custos mais reduzidos e benefícios cada vez mais valorizados,

levaram à utilização de programas computacionais e aparelhos de predição, principalmente aqueles que possibilitam o monitoramento contínuo do equipamento. Ainda o autor determina dentre os novos equipamentos relacionados, os analisadores portáteis de óleos e os coletores de contagem de partículas para análise do óleo lubrificante devido à sua importância nas operações agrícolas, os tratores devem receber especial atenção, ante a grande facilidade de contaminação dos óleos lubrificantes advindas do seu ambiente de trabalho.

Bormio (1995) realizou análises de óleo lubrificante de motores Diesel de tratores agrícolas com maletas Solotest e Petrolab. Concluiu que as análises com estes equipamentos portáteis não diferiram significativamente com os resultados obtidos pela laboratório convencional de análise de lubrificante da Usina da Barra., justificando, então a sua utilização devido à rapidez em mostrar em que condição se encontra o óleo lubrificante.

A confiabilidade e a eficiência das análises de óleos lubrificantes com Maleta Solotest e Petrolab, foram verificadas por Bormio e Razuk (1996). Compararam os resultados das análises realizadas usando as maletas com os resultados dos testes realizados com o mesmo óleo lubrificante no laboratório da Usina da Barra, Barra Bonita, Estado de São Paulo, e verificaram que não apresentaram diferença significativa a 1,00% de significância entre eles, e, portanto, concluíram pela confiabilidade das análises de óleos lubrificantes realizadas com estes equipamentos portáteis. Dentre as análises, Bormio et. al,(2000) verificaram também que as medições da viscosidade do óleo lubrificante quando utilizando viscosímetro portátil foram significativamente eficientes e confiáveis.

A importância da substituição do óleo lubrificante de um motor dentro dos prazos estabelecidos pelo fabricante só pode ser desprezada quando houver controle do estado deste óleo lubrificante, através de acompanhamento de suas características por análise de óleo. Este procedimento assegurará que o motor trabalhe adequadamente lubrificado. Bormio et al. (2002) analisaram dez amostras de óleos lubrificantes do motor de cinco tratores agrícolas e verificaram que somente em duas amostras o óleo estaria apto a continuar o serviço, justamente aquelas em que o tempo de utilização estava aquém do tempo estabelecido para a troca pelo fabricante. Concluíram,

portanto, que não havendo o acompanhamento através das análises de óleo, o melhor procedimento é a substituição da carga do óleo lubrificante em intervalos estabelecidos pelo fabricante.

Borin (2003) propôs metodologias quantitativas para determinação de contaminantes e parâmetros de qualidade, como a viscosidade e o número de base total (TBN), em óleos lubrificantes para motores automotivos. Essas metodologias baseadas na espectroscopia no infravermelho médio por reflectância total atenuada (STR) e quimiometria, que é a utilização de métodos computacionais para tratamento de dados químicos, podem ser empregadas no controle de qualidade de lubrificantes com o objetivo de tornar as análises rápidas, práticas, econômicas, seguras e eficientes. Verificou para o parâmetro viscosidade a 100°C (cSt), que em trinta e três amostras do óleo lubrificante em motores de ônibus, oito amostras tinham mesmo a necessidade de serem descartadas.

4.2 Análise de confiabilidade

4.2.1 Conceitos básicos

“Confiabilidade de um produto é a probabilidade de bom funcionamento do mesmo durante período de tempo e condições de uso especificados”(BORGES,1999).

Quando se trabalha com dados de durabilidade, é necessário conhecer o que é uma função de confiabilidade e como calculá-la, e em geral o que se procura é a distribuição do tempo de durabilidade do produto. Para tanto, torna-se necessário se definir o período de tempo durante o qual o produto deve funcionar bem e em que condições de uso, com o intuito de se evitar a falha. Porém, a definição de falha deve se precisa, ou seja, quando o produto ou equipamento deixa de funcionar corretamente. Outros produtos deterioram-se gradativamente com o tempo. Esse é o caso em que a definição de falha deve ser clara, para que não ocorram dúvidas de que o equipamento falhou(BORGES,1999). Segundo Borges et al. (1996) o bom funcionamento de um produto é caracterizado pela qualidade de execução das funções para as quais o mesmo foi projetado e desenvolvido. Daí derivam-se critérios de falha e funcionamento degradado do

produto, que se referem, respectivamente, à sua incapacidade total e parcial de executar as funções que deveria. Pois, devido à ação de agentes tais como temperatura, umidade, salinidade, todo produto irá falhar ou funcionar de forma degradada a partir de algum instante.

4.2.1.1 Função densidade de probabilidade

Segundo Allison (1995), o tempo de confiabilidade T tem função de densidade de probabilidade, f(t), definida como a probabilidade de um produto falhar no intervalo [t, t + Δt] por unidade de tempo, que pode ser expressa por:.

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{P(\text{Produto falhar em } [t, t + \Delta t])}{\Delta t} \dots\dots\dots(1)$$

$$= \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \dots\dots\dots(2)$$

$$= \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{P(T \leq t + \Delta t) - P(T \leq t)}{\Delta t} \dots\dots\dots(3)$$

$$= \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \frac{dF(t)}{dt} \dots\dots\dots(4)$$

em que $F(t) = P[T \leq t]$ é definida como sendo a função de distribuição acumulada de T. Tem-se ainda que

$$F(t) > 0 \quad e \quad \int_0^{\infty} f(t) dt = 1 \dots\dots\dots(5)$$

O que caracteriza f(.) como uma função de densidade de probabilidade.

4.2.1.2 Função de confiabilidade

É uma das principais funções probabilísticas usadas para descrever

estudos provenientes de testes de durabilidade (Colosimo, 2001). Representa a probabilidade de um produto desenvolver sua função sem falhar até um certo tempo t , isto é,

$$R(t) = P[T > t] = 1 - F(t) \dots\dots\dots(6)$$

que é uma função monótona decrescente em que:

$$R(0) = 1 \text{ e } \lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$$

Na prática, a função de confiabilidade é estimada como a proporção de produtos em operação até o tempo t , isto é, $\hat{R}(t) = \frac{\text{número de produtos em operação até o tempo } t}{\text{número total de produtos}}^{-1}$.

A função de confiabilidade é também conhecida como razão de confiabilidade acumulada e sua representação gráfica, é chamada curva de confiabilidade que pode ser usada para encontrar qualquer percentil de interesse e também, como um primeiro elemento de comparação entre dois tratores em relação ao tempo de troca de óleo lubrificante do motor.

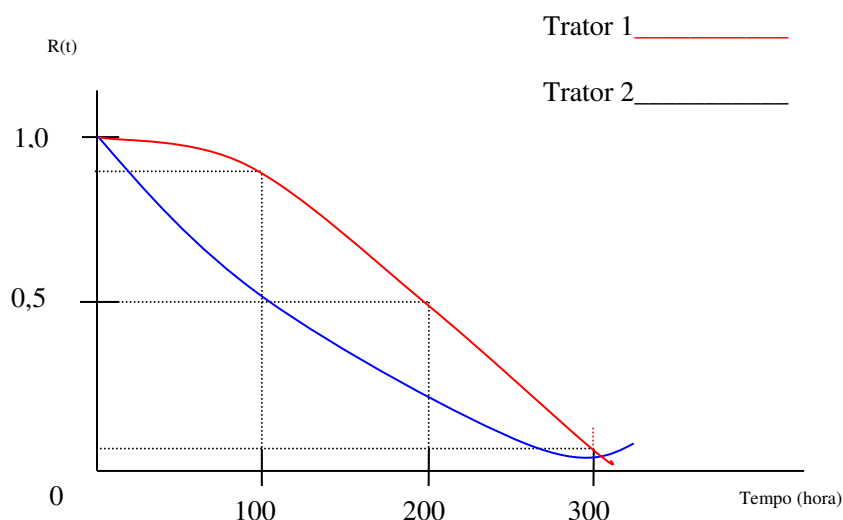


Figura 1. Curvas de confiabilidade para dois tratores (BORGES et al, 1996)

4.2.1.3. Função Risco ou Função de Taxa de Falha

Segundo Allison (1995) a função risco, denotada por $h(t)$, especifica a razão de falha condicional. Esta função é definida como o limite da probabilidade de o produto falhar entre os tempos t e $t + \Delta t$, dado que esteve em operação até o tempo t , quando $\Delta t \rightarrow 0^+$, ou seja,

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t / T \geq t)}{\Delta t} \dots\dots\dots(7)$$

$$= \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t, T \geq t)}{\Delta t P(T \geq t)} \dots\dots\dots(8)$$

3

$$= \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t)}{\Delta t P(T \geq t)} \dots\dots\dots(9)$$

pois, o intervalo $[t, t + \Delta t]$ está contido no intervalo $[t, \infty)$. Assim,

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t S(t)} = \frac{f(t)}{S(t)} \dots\dots\dots(10)$$

$$= \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

É possível relacionar as funções $f(t)$, $R(t)$ e $h(t)$. Tem-se que:

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)} \dots\dots\dots(11)$$

E sabe-se que

$$f(t) - \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d[1 - S(t)]}{dt} = -S'(t). \dots\dots\dots(12)$$

Substituindo a equação (5) em (4), segue-se que:

$$h(t) = \frac{-S'(t)}{S(t)} = \frac{-d \log(S(t))}{dt} \dots\dots\dots(13)$$

Integrando no intervalo $[0, t]$ e usando $S(0) = 1$ vê-se que:

$$\int_0^t h(x) dx = \log(S(t)) \dots\dots\dots(14)$$

ou,

$$H(t) = -\log(S(t)) \dots\dots\dots(15)$$

ou ainda,

$$S(t) = \exp[-H(t)] = \exp\left[-\int_0^t h(x) dx\right] \dots\dots\dots(16)$$

Das equações (15) e (16), obtém-se:

$$f(t) = h(t) \exp[-H(t)] \dots\dots\dots(17)$$

4.2.3 Censura

A principal característica de dados de durabilidade é a presença de censura que ocorre quando ao final do estudo, nem todos os produtos ou equipamentos falharam sendo importante considerar esses tempos nas análises. Segundo Colosimo e Giolo (2006), podem-se considerar três tipos de censuras:

a) Censura Tipo I

Ocorre quando o estudo é encerrado após ter ocorrido o evento de interesse em um número pré-estabelecido de tempo. Por exemplo, fixa-se um tempo, ao final do qual, encerra-se o estudo, independente dos produtos falharem, ou não, de forma que se perde informação sobre determinados produtos.

b) Censura Tipo II

Ocorre quando o estudo é encerrado após ter ocorrido o evento de interesse em um número pré-estabelecido de produtos. Portanto, encerra-se o estudo com os

produtos que falharam e nada se pode afirmar a respeito dos outros produtos.

c) Censura aleatória

Ocorre quando o produto é retirado no decorrer do estudo sem ter ocorrido a falha. Por exemplo, quando o produto falha por uma razão diferente da estudada.

4.2.4 Estimação da função de confiabilidade

A estimação da função de confiabilidade é o principal objetivo da análise de confiabilidade. Na ausência de censura os dados observados serão analisados com experimentos comuns, submetendo-os a testes menos específicos, como o da análise de variância (Pereira, 2002). Porém, na presença de censura, a estimação da função de confiabilidade requer técnicas estatísticas especializadas para acomodar a informação contida nos dados. A observação censurada informa que o tempo até a falha é maior do que aquele em que a censura foi registrada.

4.2.4.1 Tabela de vida

A tabela de vida ou método atuarial é uma das mais antigas técnicas estatísticas utilizadas para estimar características associadas à distribuição dos tempos de falha (BORGES et al., 1996).

Sua construção consiste em dividir o eixo do tempo de observações de n produtos em $k+1$ intervalos definidos pelos seguintes pontos de corte: t_1, t_2, \dots, t_k , isto é, $I_i = [t_{i-1}, t_i]; i = 1, 2, \dots, k+1$, em que $t = 0$ e $t_{k+1} = +\infty$. Para cada intervalo $I_i = [t_{i-1}, t_i]$ calculam-se as estimativas das probabilidades condicionais de a falha ocorrer até t , dado que não ocorreu até t , ou seja,

$$qi = P(T \leq t_i / T \geq t_{i-1}) = \frac{P(t_{i-1} \leq T \leq t_i)}{P(T \geq t_{i-1})} = \frac{F(t_i) - F(t_{i-1})}{1 - F(t_{i-1})} \dots\dots\dots(18)$$

e a probabilidade condicional de a falha não ocorrer até t , dado que não ocorreu até t_{i-1} é dada por

$$p_i = 1 - q_i = P(T \geq t_i / T \geq t_{i-1}) = \frac{R(t_i)}{R(t_{i-1})} \dots \dots \dots (19)$$

Portanto, a função de confiabilidade em t , é dada por

$$\begin{aligned} R(t_i) &= P(T \geq t_1 / T \geq t_0) P(T \geq t_2 / T \geq t_1) \dots \dots \dots (20) \\ P(T \geq t_i / T \geq t_{i-1}) &= p_1 p_2 \dots p_i, \end{aligned}$$

Assim, um estimador de $R(t)$ é dado por

$$\hat{R}(t_i) = \hat{p}_1 \hat{p}_2 \dots \hat{p}_i \dots \dots \dots (21)$$

em que,

$$\hat{p}_i = 1 - \hat{q}_i \dots \dots \dots (22)$$

$$\hat{q}_i = \frac{d_i}{n_i + \frac{w_i}{2}} \dots \dots \dots (23)$$

em que,

d_i = número de itens que falharam no intervalo $I_i = [t_{i-1}, t_i)$;

n_i = número de itens sob risco em t_{i-1} ;

w_i = número de censuras no intervalo I_i .

Verifica-se que em \hat{q}_i , o valor $\frac{w_i}{2}$ indica que os itens para os quais a censura ocorreu no intervalo I_i são tratados como se estivessem sob risco durante a metade do intervalo considerado.

4.2.4.2 Estimador de Kaplan-Meier

O limite-produto, ou Kaplan-Meier como é usualmente chamado, é

um estimador não-paramétrico para a função de confiabilidade e foi proposto por Kaplan e Méier (1958).

Segundo Bonfarine et al (1991) este estimador é visto como o caso limite dos estimadores da tabela de vida quando o número de partições no intervalo $[0,t]$ tende a infinito. Para Lee (1980), a principal diferença entre o estimador de Kaplan-Meier e o estimador tabela de vida é o conhecimento exato de falha, enquanto que na tabela de vida, conhece-se apenas o intervalo em que ocorreu a falha. Assim, o estimador de Kaplan-Meier é um caso especial do estimador tabela de vida quando cada intervalo contém apenas uma observação.

Segundo Borges (1996), o estimador de Kaplan-Meier é obtido da seguinte forma: suponha que existem n itens sob teste e $k < n$ falha distintas nos tempos $t_1 < t_2 < \dots < t_k$.

Ocasionalmente, pode ocorrer mais de uma falha no mesmo tempo, o que é chamado de empate. Sejam d_i o número de falhas em t_i e n_i o número de itens sob risco (não falharam e não foi censurado) até o tempo t_i (exclusive). Podem ocorrer censuras e falhas empatadas. Ou seja, censuras e falhas ocorrendo simultaneamente. Nesta situação, adota-se que os tempos de censuras ocorrem imediatamente após os tempos de falhas. Assim, a função de confiabilidade será estimada por

$$\hat{R}(t) = \prod_{t_i < t} \frac{n_i - d_i}{n_i} \therefore R(t) = ((n_1 - d_1)/n_1)(n_2 - d_2)/n_2 \dots (n_k - d_k)/n_k \dots (24)$$

em que t_k é o maior tempo de falha menor que t .

Tanto os estimadores da tabela de vida quanto o de Kaplan-Meier são sujeitos a variação amostral e, então, é desejável que se tenha uma medida de sua precisão.

Assim, uma estimativa para a variância de Kaplan-Meier será:

$$\hat{V}(\hat{R}(t)) = \hat{R}(t)^2 \left[(d_1/n_1(n_1 - d_1)) + (d_2/n_2(n_2 - d_2)) + \dots + (d_k/n_k(n_k - d_k)) \right] \dots (25)$$

em que,

t é o maior tempo de falha menor que t .

A partir da estimativa da variância para R , constroem-se intervalos de confiança, como se seguem:

$$\hat{R}(t) \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{V}_{ar}(\hat{R}(t))} \dots (26)$$

e Z_0 é a normal reduzida com $\alpha - 1$ nível de significância.

4.2.5 Modelo de riscos proporcionais de COX

Foi proposto por Cox (1972), sendo um dos modelos mais utilizados na prática pela sua flexibilidade, ou seja, não requer que se escolha alguma distribuição de probabilidade para os tempos de falha, além de levar em consideração as covariáveis relacionadas com esse tempo. Supõe sua independência entre os tempos observados e modela a função de risco através da função

$$h\left(\frac{t}{x_l}\right) = h_0(t) \exp(\beta' x_l) \dots \dots \dots (27)$$

Onde, $h_0(t)$ é a função risco de base (taxa de risco para $x_l = 0$);
 β é o vetor de dimensão $p \times 1$ de parâmetros desconhecidos;
 x_l é o vetor de dimensão $p \times 1$ de covariáveis observadas para o l -ésimo produto.

O modelo dado por (27), é denominado de riscos proporcionais, pois, a razão das taxas de falhas de dois indivíduos diferentes é constante no tempo (Colosimo; Giolo, 2006). Isto é, a razão das funções de taxa de falha para indivíduos i e j é dada por:

$$\frac{h_i(t/x_i)}{h_j(t/x_j)} = \frac{h_0(t) \exp(\beta' x_i)}{h_0(t) \exp(\beta' x_j)} = \exp(\beta' x_i - \beta' x_j) \dots \dots \dots (28)$$

Devido a presença do componente não paramétrico $h_0(t/x_i)$ no modelo, o método da máxima verossimilhança usual não é apropriado para estimar os parâmetros, desse modo, Cox (1975) formalizou o método da máxima verossimilhança parcial que consiste em condicionar a função de verossimilhança nos tempos de ocorrência do evento de modo a eliminar a função de perturbação $h_0(t/x_i)$.

A perturbação básica para o uso do modelo de regressão de Cox é, portanto, que as taxas de falha sejam proporcionais. Este modelo é caracterizado pelos

coeficiente β_s' , que medem os efeitos das covariáveis sobre a função de taxa de falha. Estas quantidades devem ser estimadas a partir das observações amostrais para que o modelo fique determinado.

A função de verossimilhança a ser utilizada para fazer inferências acerca dos parâmetros do modelo é dada por:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{\exp(x'_i \beta)}{\sum_{j \in R(i)} \exp(x'_j \beta)} \right)^{\delta_i} \dots\dots\dots(29)$$

em que δ_i é o indicador de falha.

A função de verossimilhança parcial (15) assume que os tempos de sobrevivência são contínuos, e conseqüentemente, não pressupõe a possibilidade de empate de valores observados.

5 MATERIAL

5.1. Dois grupos de tratores

Os tratores foram divididos em dois grupos. Os dados do primeiro são oriundos de parte de um experimento realizado por Bormio (1992), que constou de seis tratores da marca Massey Ferguson¹, modelo 275, tração 4x2 (Tabela 4) e as análises do óleo lubrificante usado nos motores foram realizadas no laboratório da Usina da Barra S.A. Açúcar e Álcool.

No segundo grupo de tratores foram utilizados dados referentes ao uso do óleo lubrificante nos motores de sete tratores da marca Massey Ferguson³, modelo 275, tração 4x2. As análises dos lubrificantes foram realizadas no período de 2003 a 2005 no laboratório da unidade Da Barra (antiga Usina da Barra S.A.), hoje pertencente ao Grupo COSAN, situada no município de Barra Bonita, Estado de São Paulo, produtora de açúcar e álcool, proprietário dos tratores. Os tratores dos dois grupos eram utilizados em operações de pulverização, aplicação de calcário e transporte de insumos. O grupo COSAN mantém dezessete unidades produtoras de açúcar e álcool tendo na safra 2005/2006 produzido 27,9 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. A unidade Da Barra é a maior usina de açúcar e etanol do mundo em capacidade de moagem de cana. Possui também, oficinas e laboratório de análises de lubrificantes para manutenção de suas máquinas agrícolas, industriais e veículos transporte.

³ A citação de marcas ou produtos não indica recomendação do autor

A capacidade total instalada da Unidade Da Barra, do grupo COSAN encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Capacidade total instalada da Unidade Da Barra

Moagem de cana	36.500 t.dia ⁻¹
Produção de açúcar	60.000 sacos.dia ⁻¹
Produção de etanol	1.800 m ³ .dia ⁻¹
Área cultivada com cana-de-açúcar	85.000 ha

Fonte: Grupo COSAN

5.1.1 Tratores Analisados

Os tratores que tiveram seus óleos analisados são da marca Massey Ferguson, modelo 275 e tração 4x2.

A identificação dos tratores utilizados nos ensaios encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Identificação dos tratores que tiveram seus óleos lubrificantes dos motores analisados

Primeiro Grupo		Segundo Grupo	
Trator	Nº de frota	Trator	Nº de frota
1	22098	1	100362
2	22101	2	100363
3	22136	3	100364
4	22144	4	100365
5	22160	5	100375
6	22179	6	100380
7	-	7	100384

Fonte: Unidade Da Barra-COSAN (2005). Bormio (1992).

As características técnicas dos motores dos tratores ensaiados encontram-se na Tabela 5

5.1.2 Material para Coleta e Análise do Óleo Lubrificante

- Bomba de vácuo manual;

- Bomba de vácuo elétrica.

5.1.3 Equipamentos do Laboratório de Análises de Lubrificantes da Unidade

Da Barra:

- Viscosímetro de campo Visgage;
- Viscosímetro cinemático Cannon-Peuske;
- Aparelho para determinação do ponto de fulgor Cleveland open-cup;
- Aparelho para determinação de ponto de fulgor em vaso fechado Seta Flash;
- Espectrofotômetro de absorção atômica Varian Spectra A 400 A;
- Balança Acatex BEC 1000;
- Potenciômetro para determinação do número de basicidade total(TBN) Methron-Herisau E-536 com grupo titular E-655;
- Bico de Bunsen;
- Termômetro;
- Chapa para crepitação;
- Balão de fundo redondo;
- Condensador;
- Separador de condensados (trap).

5.1.4 Reagentes Utilizados

- Xileno;
- Tolueno;
- Ácido acético glacial;
- Ácido perclórico;
- Monocloro benzeno;
- Álcool isopropileno;
- Hidróxido de potássio.

5.1.5 Especificações dos Óleos Lubrificantes Novos

5.1.5.1. Do Primeiro Grupo

- Marca: Shell Rimula CT 30,
- Viscosidade: 105,3 cSt. ou 486 SSU a 40°C,
- Ponto de fulgor: 230°C.
-

5.1.5.2 Do Segundo Grupo

- Marca: Shell Rimula X 15W 40,
- Viscosidade: 100,3 cSt. ou 463 SSU a 40°C,
- Ponto de fulgor: 230°C.

5.1.6 Valores de Referência para as Análises

Para as análises dos ensaios dos lubrificantes, os valores máximos utilizados como referência são os que constam nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 5. Valores máximos de referência para as análises de óleos lubrificantes dos dois grupos de tratores

Variável	Grupo 1	Grupo 2
Viscosidade	10%	22%
Ponto de fulgor	- 15°C	- 15%
Diluição por combustível	+ 6%	+ 6%
Fuligem	+ 2%	+ 2%
Água	+ 0,2%	+ 0,2 %

Fonte: Bormio (1992). Unidade da Barra (2006).

Tabela 6. Valores máximos de contaminação metálica dos dois grupos de tratores

Elemento	Grupo 1	Grupo 2
Ferro (Fé)	40 p.p.m.	150 p.p.m.
Cobre (Cu)	15 p.p.m.	35 p.p.m.
Cromo (Cr)	8 p.p.m.	10 p.p.m.
Chumbo (Pb)	12 p.p.m.	35 p.p.m.
Alumínio (AL)	8 p.p.m.	20 p.p.m.
Silício (Si)	15 p.p.m.	10 p.p.m.
Níquel (Ni)	-	10 p.p.m.
Molibdênio (Mo)	-	15 p.p.m.

*p.p.m.= partes por milhão.

Fonte: Unidade Da Barra (2006). Bormio (1992).

5.1.7 Análise Estatística dos Dados

Para realização das análises estatísticas utilizou-se o programa SAS v.9.1. (*Statistical Analysis System*), no laboratório de didática e informática da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu - São Paulo.

6 METODOLOGIA

Para a avaliação do tempo de uso dos óleos lubrificantes dos motores dos seis tratores do primeiro grupo utilizados no experimento realizado por Bormio (1992) foram consideradas as seguintes variáveis explanatórias: viscosidade, ponto de fulgor, presença de água, fuligem, Fe, Cu, Cr, Pb, Al e Si. Para os sete tratores do segundo grupo da Unidade da Barra, grupo COSAN, nos ensaios da própria usina onde os dados foram coletados, além das variáveis citadas para o primeiro grupo, inclui-se o Ni e o Mo.

A variação da viscosidade e dos níveis máximos de contaminação metálica utilizados no experimento de Bormio (1992), foi determinada levando-se em conta a média dos índices encontrados na literatura da época.

Nos ensaios realizados pela usina para o segundo grupo com os sete tratores, a variação da viscosidade e os níveis de desgastes metálicos foram definidos com base em programas estabelecidos pelo Laboratório de Análises de Lubrificantes da Usina. Os valores para ensaios encontram-se nas Tabelas 5 e 6.

6.1 Medição da Viscosidade

A fim de medir a viscosidade, utilizou-se o método Visgage, que consiste no uso de um viscosímetro que funciona através da comparação do deslocamento de duas esferas, uma padrão no tubo de óleo padrão e a outra no tubo de óleo a ser

analisado.

Esse aparelho dispensa o auxílio de termômetros, aquecedores. Sendo necessário apenas que fosse seguro por aproximadamente 4 minutos após a colocação da amostra. Isso faz com que as temperaturas dos fluidos se igualem, e a leitura seja realizada em SSU (segundos saybolt universal) a 37,8° C, conforme,.

A metodologia empregada na utilização do método de Visgage seguiu a orientação do Boletim Técnico nº 82, segundo Texaco do Brasil S. A (1967).

6.2 Determinação da Presença de Água

Foram efetuados dois testes em seqüência. O primeiro denominado “chapa quente” serviu para verificar se existia água no óleo. Para constatar a presença de água no óleo, foi utilizado o método da crepitação, que são estalos audíveis que a água provoca no óleo a uma temperatura de aproximadamente 100°C. Os engenheiros e técnicos do laboratório de lubrificante da Unidade da Barra desenvolveram um método próprio, que consiste em uma chapa fina de aço aquecida até se tornar rubra, sendo então pingadas as gotas de óleo sobre ela. Havendo água no óleo, os estalos serão ouvidos.

Com a constatação da presença de água no óleo, fez-se então um ensaio que determina a quantidade de água presente. Diante disso, realizava-se o segundo teste, que consiste do método de destilação segundo a norma D-95 da ASTM (American Society for Testing Materials,1970), a qual recomenda o aquecimento de uma mistura de água com o solvente xileno. O refluxo vaporizado arrasta o vapor da água até o condensador onde ambos voltam à forma líquida, sendo depositados em um tubo graduado. O ensaio estaria concluído quando toda água estivesse captada, o que seria notado quando a leitura não mais se alterasse.

6.3 Determinação do Ponto de Fulgor

Dois métodos foram empregados. No primeiro, foi aplicada a norma D-92 da ASTM (1985) para determinação do ponto de fulgor em vaso aberto. O outro em vaso fechado, de acordo a norma D-3828 da ASTM (1981).

Nos dois casos, a temperatura do óleo foi determinada ao ocorrer o primeiro lampejo proveniente da combustão de gases resultantes do aquecimento do óleo em teste. Após ter sido determinado o ponto de fulgor e, havendo dúvida quanto a temperatura alcançada, pode-se prosseguir o aquecimento e quanto os gases queimarem por cinco segundos continuamente, fica estabelecido o ponto de inflamação.

Uma diferença de aproximadamente 10°C na temperatura dos dois pontos, estabelece a confiabilidade do ensaio.

6.4 Determinação da porcentagem de fuligem

Utilizou-se o método do Boletim Técnico SP-24-C conforme Texaco do Brasil(1967). Foram preparadas diferentes amostras-padrão, misturando-se quantidades conhecidas de fuligem com o solvente xileno e acondicionando-as em frascos de vidro apropriados. Da mesma maneira, preparou-se a amostra proveniente do lubrificante que era analisado comparando-a com as amostras-padrão. A amostra de coloração mais próxima determinava a quantidade de fuligem presente no óleo testado.

6.5 Determinação da presença e teores de metais

A fim de verificar os níveis de metais presentes nos óleos lubrificantes foram utilizados espectrofotômetros de absorção atômica, que são aparelhos que medem a quantidade de luz absorvida pelos átomos dos elementos metálicos. Para as análises dos óleos do primeiro grupo de tratores foram verificadas a quantidade presente de: Fe, Cu, Cr, Pb, Al e Al. Para os sete tratores do segundo grupo além das variáveis citadas para o primeiro grupo, inclui-se o Ni e o Mo.

6.6 Análise estatística

Foram realizadas análises de sobrevivência considerando o evento como sendo o tempo até a troca do óleo lubrificante do motor para cada trator.

A censura foi considerada como sendo a adequação das variáveis

explanatórias analisadas nos tempos de troca, dentro dos padrões estabelecidos. Como os tempos eram fixados em 250 horas para o primeiro grupo e, 600 horas para o segundo, considerou-se uma censura do tipo 2.

As curvas de confiabilidade para cada variável explanatória e cada trator foram construídas através do Estimador de Kaplan-Meier(1959).

A fim de verificar a influência das variáveis explanatórias na determinação do período de troca do óleo lubrificante, foi utilizado o modelo de riscos proporcionais de Cox.

Para todos os testes, foi considerado p-valor obtido como nível de significância.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Tratores analisados do grupo 1

7.1.1 Trator nº 1

Observando-se a Figura 2, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 85,71% em 146 horas, em seguida, para 42,86% em 200 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante em 257 horas de uso.

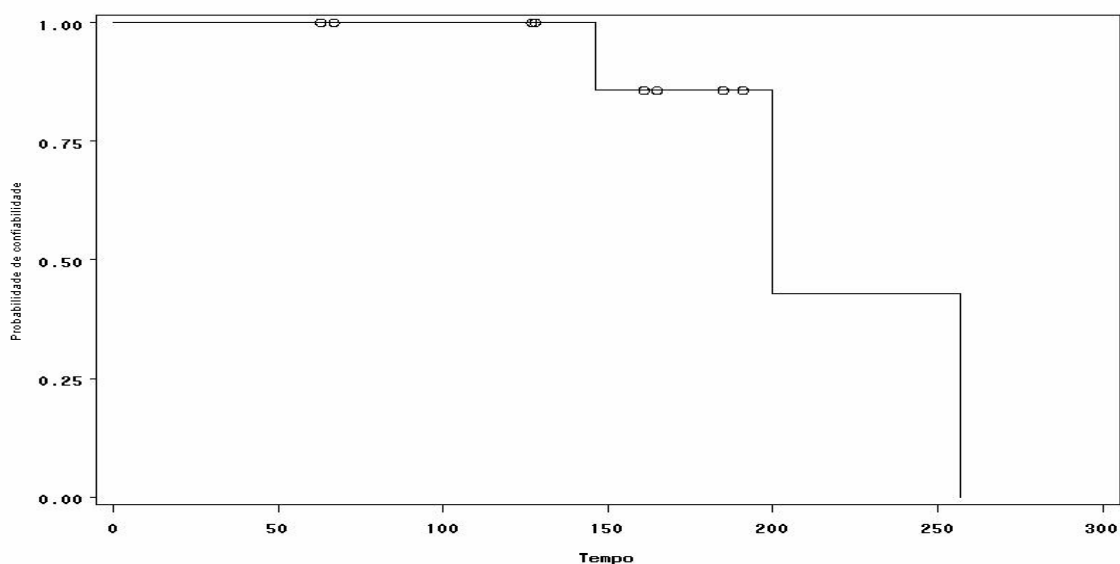


Figura 2. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº. 1 do grupo 1.

Para a viscosidade, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 146 horas, para 66,67% em 161 horas, em seguida, para 50,00% em 185 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 257 horas de uso. Conforme Figura 3.

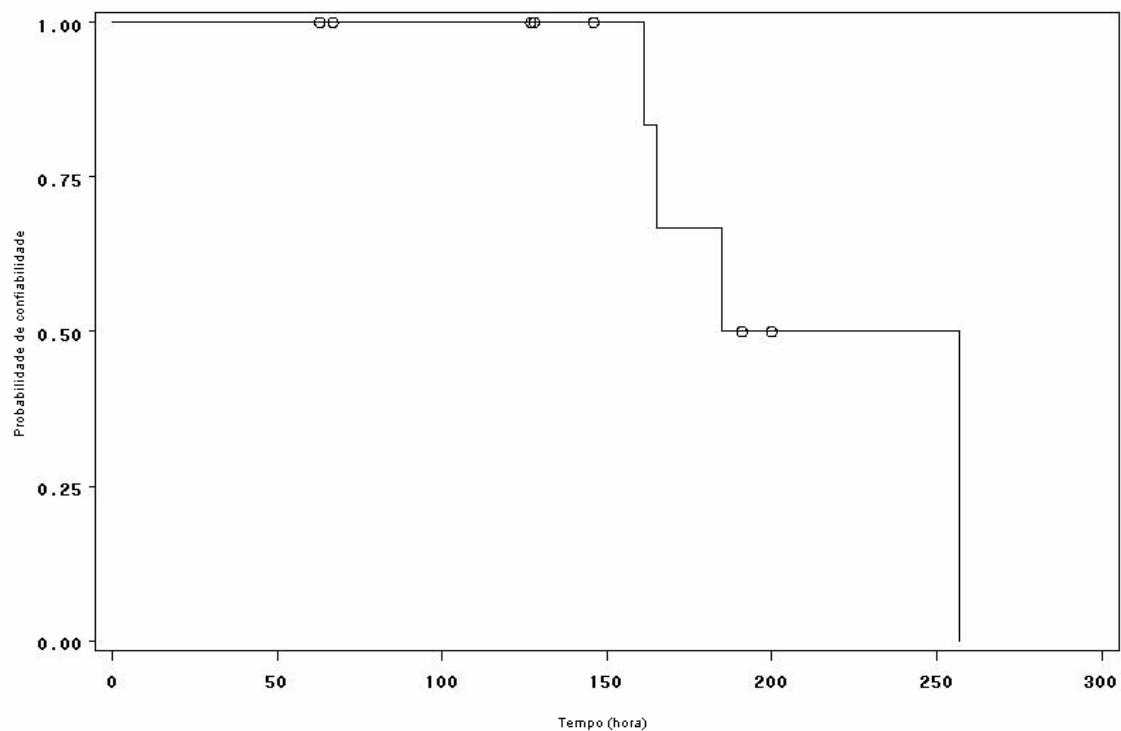


Figura 3. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a viscosidade do óleo lubrificante para o motor do trator nº. 1 do grupo 1.

Para o ponto de fulgor, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 161 horas, em seguida, para 66,67% em 165 horas, depois para 33,33% em 200 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 257 horas de uso. Conforme Figura 4.

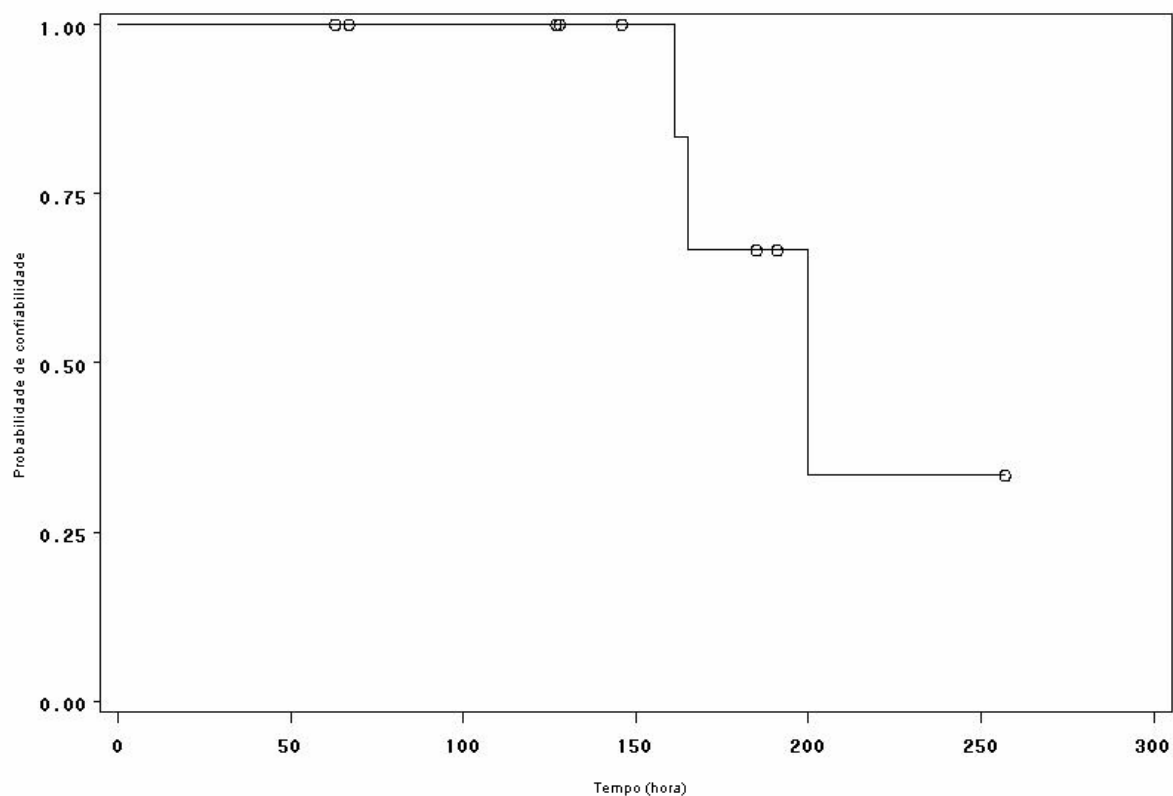


Figura 4. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o ponto de fulgor do óleo lubrificante para o motor do trator nº. 1 do grupo 1.

As variáveis explanatórias fuligem, água, e as de desgastes metálicos (ferro, cobre, cromo, chumbo, alumínio e silício) obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 257 horas de uso do óleo lubrificante do motor do trator nº. 1 do grupo 1.

7.1.2 Trator nº 2

Conforme se observa na Figura 5, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 90%, continuando com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso.

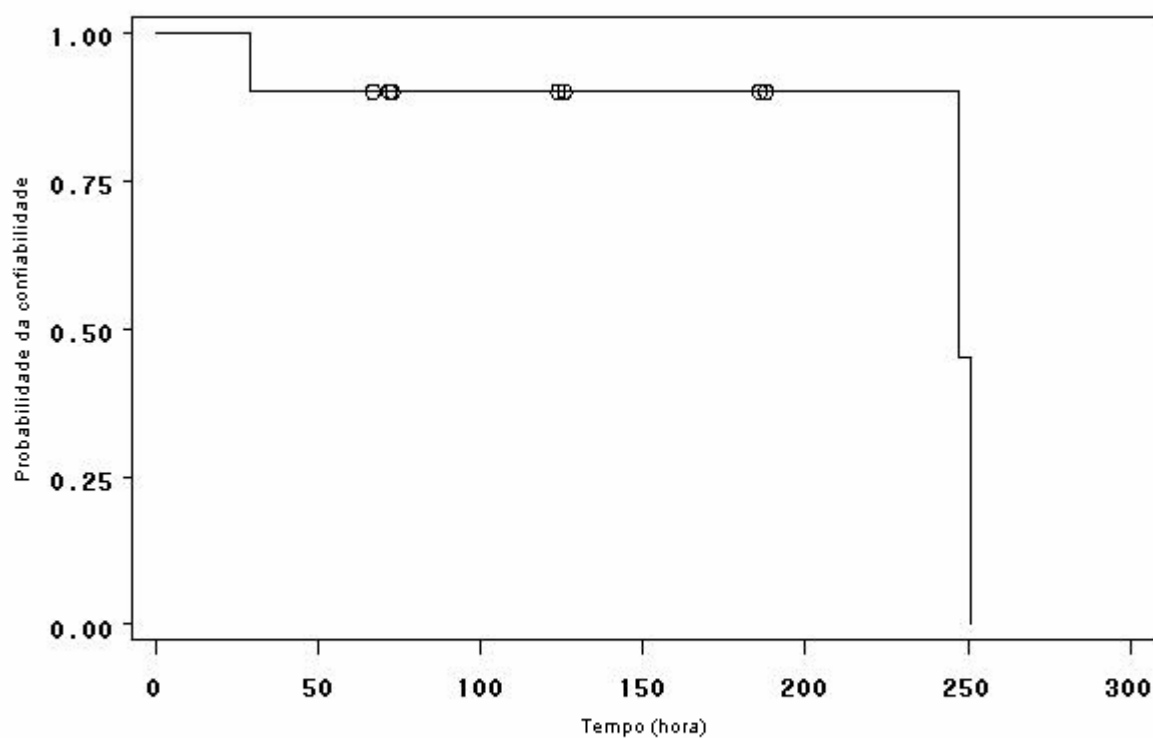


Figura 5. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a troca do óleo lubrificante do trator nº. 2 do grupo 1.

Para a viscosidade, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 85,71% em 73 horas, em seguida, para 71,43% em 124 horas, continuando com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso. Conforme Figura 6.

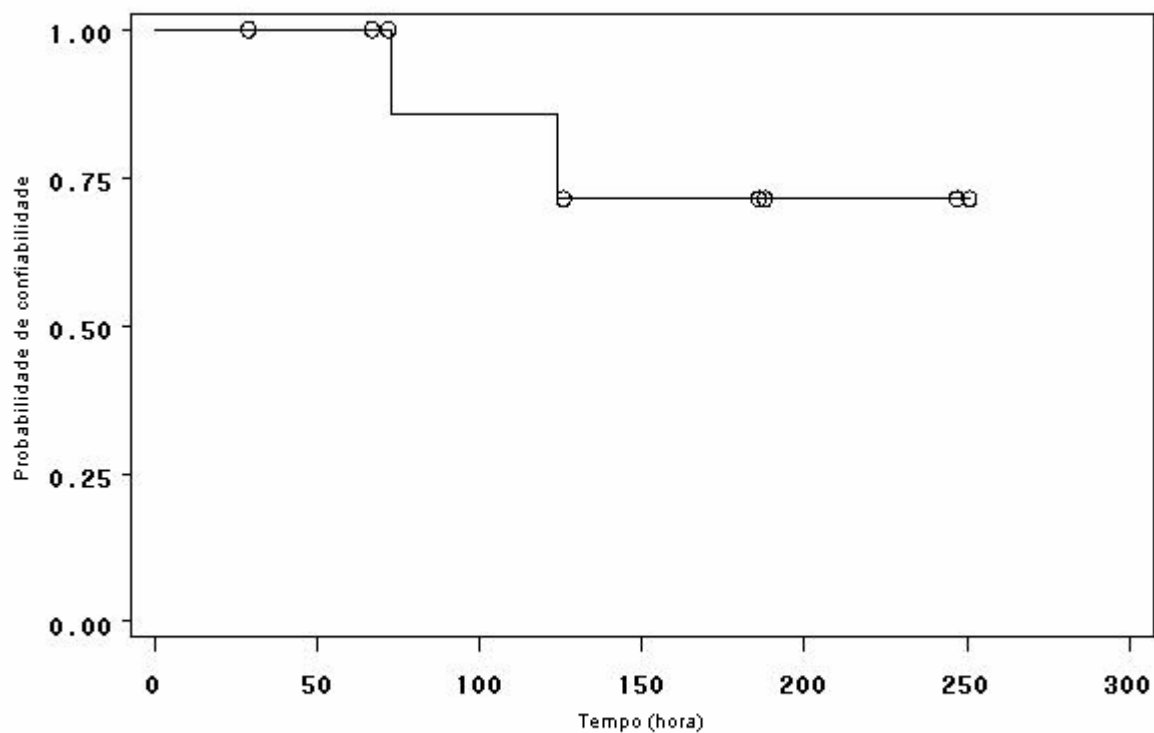


Figura 6. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator n°. 2 do grupo 1.

Para o ponto de fulgor, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 90,00% em 29 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso. Conforme Figura 7.

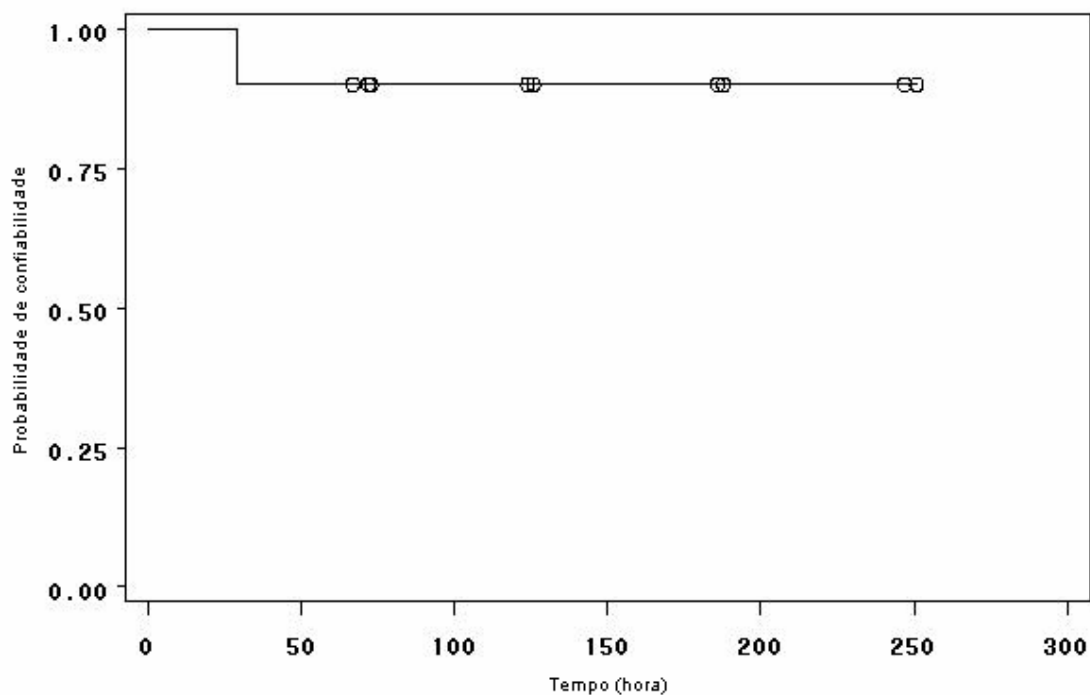


Figura 7. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor do trator n°. 2 do grupo 1.

As variáveis explanatórias, fuligem, água e elementos de desgastes metálicos (ferro, cobre, cromo, chumbo, alumínio e silício) obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 251 horas de uso do lubrificante para o trator n°. 2 do grupo 1.

7.1.3 Trator n.º 3

Observando-se a Figura 8, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 88,89% em 72 horas, em seguida, para 77,78% em 73 horas, e para 38,89% até 241 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso.

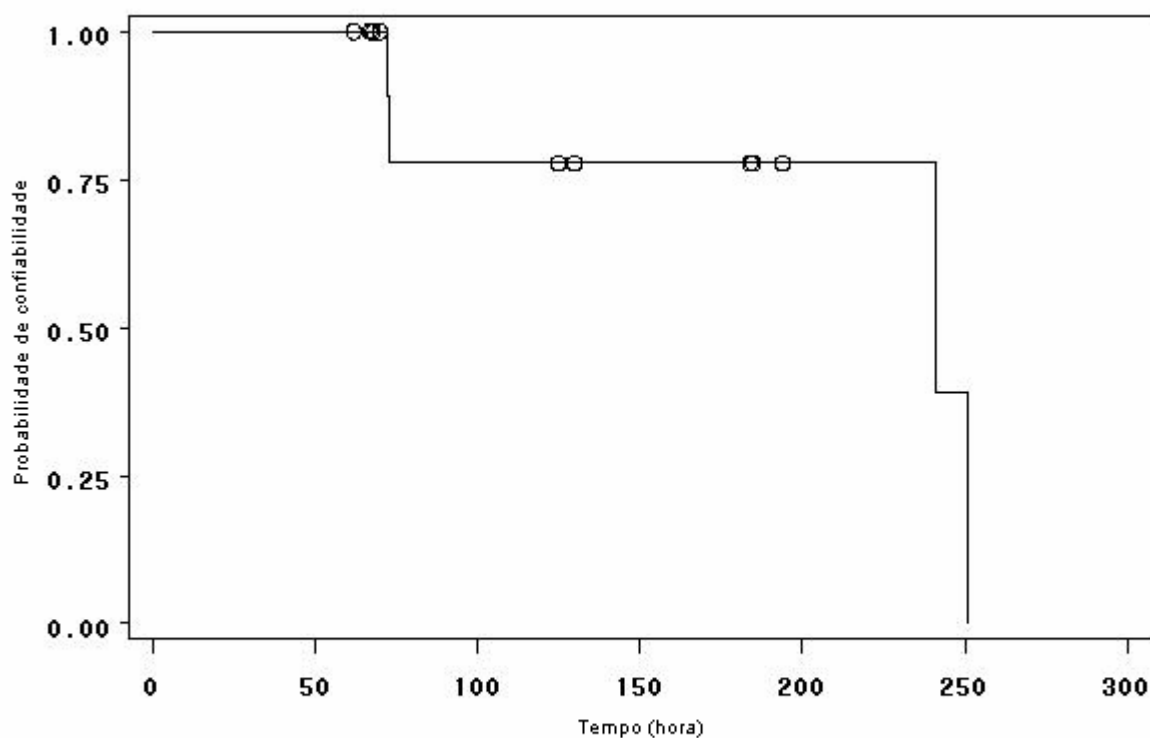


Figura 8. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a troca do óleo lubrificante do motor do trator n.º. 3 do grupo 1.

Para a viscosidade, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 91,67% em 67 horas, depois para 83,33% em 68 horas, em seguida, para 72,92% em 73 horas, depois para 62,50% em 125 horas, para 50,0% em 184 horas, para 37,50% em 185 horas, e para 25,00% em 194 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso, conforme Figura 9.

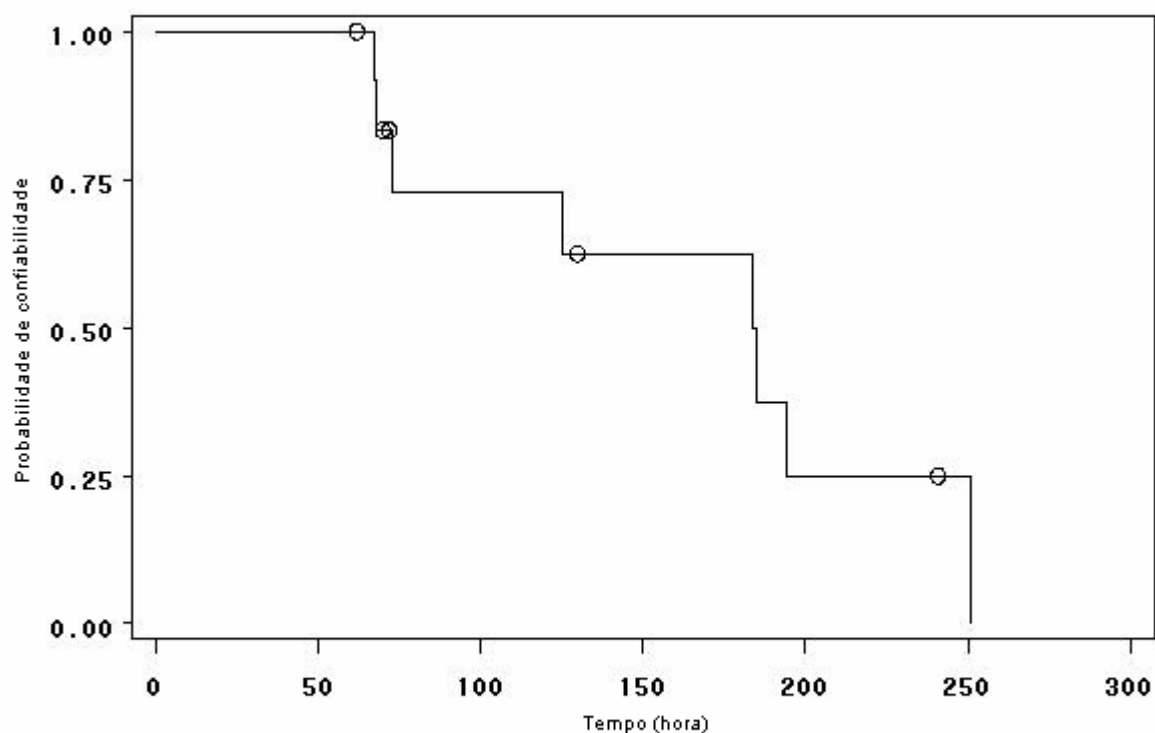


Figura 9. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº. 3 do grupo 1.

Para o ponto de fulgor, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 80,00% em 184 horas, em seguida, para 53,33% em 194 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso, conforme Figura 10.

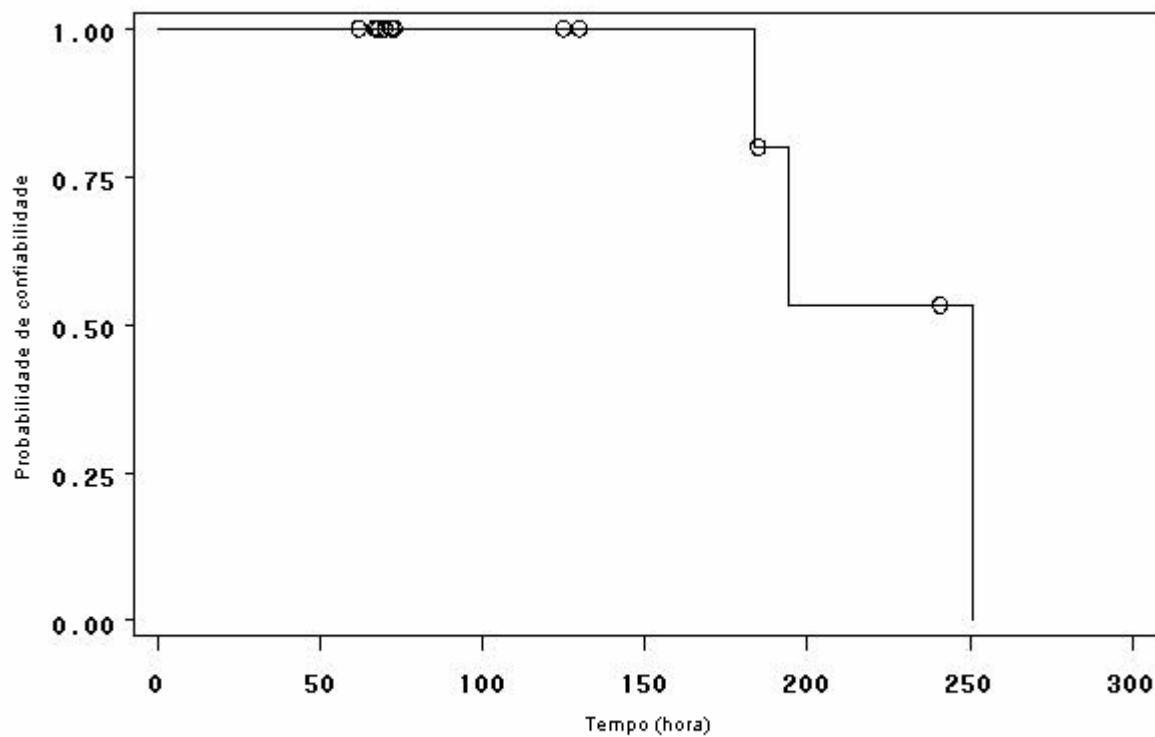


Figura 10. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor do trator nº. 3 do grupo 1.

Para o cobre, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 50,00% em 194 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso, conforme Figura 11.

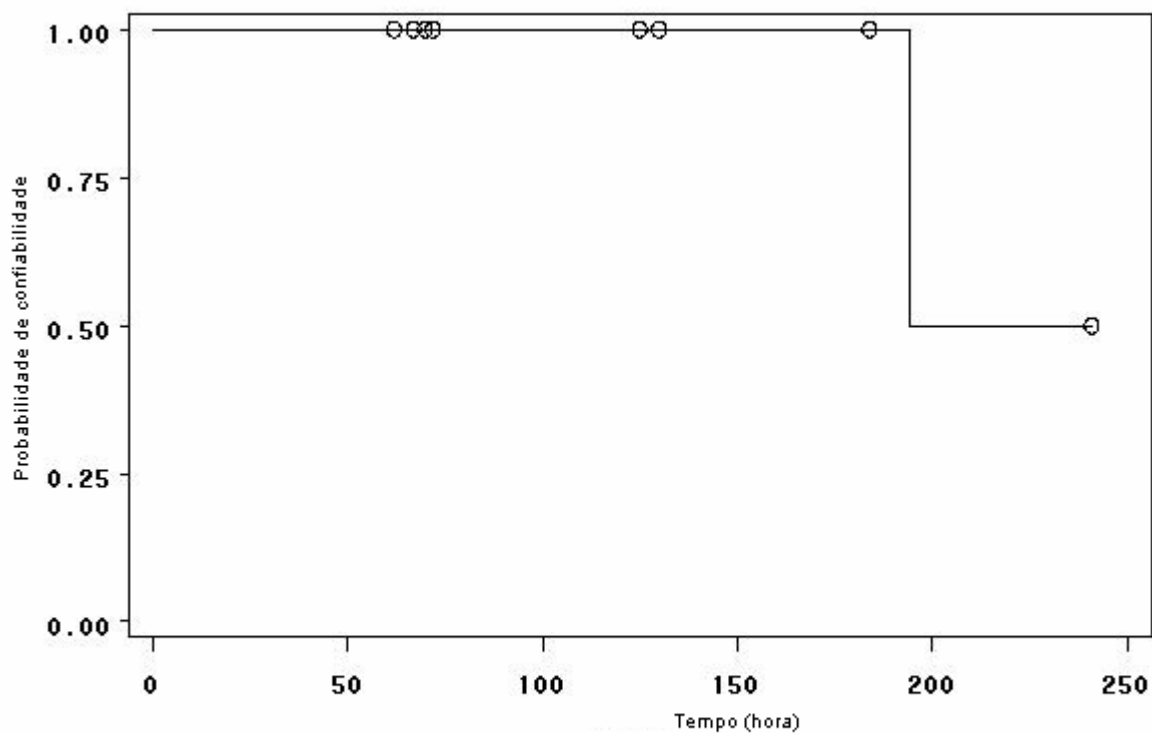


Figura 11. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de cobre do óleo lubrificante do motor do trator nº. 3 do grupo 1.

As variáveis explanatórias, fuligem, água, ferro, cromo, chumbo, alumínio e silício obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 251 horas de uso do óleo lubrificante.

7.1.4 Trator nº. 4

Observando-se a Figura 12, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 133 horas, em seguida, para 41,46% em 246 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso.

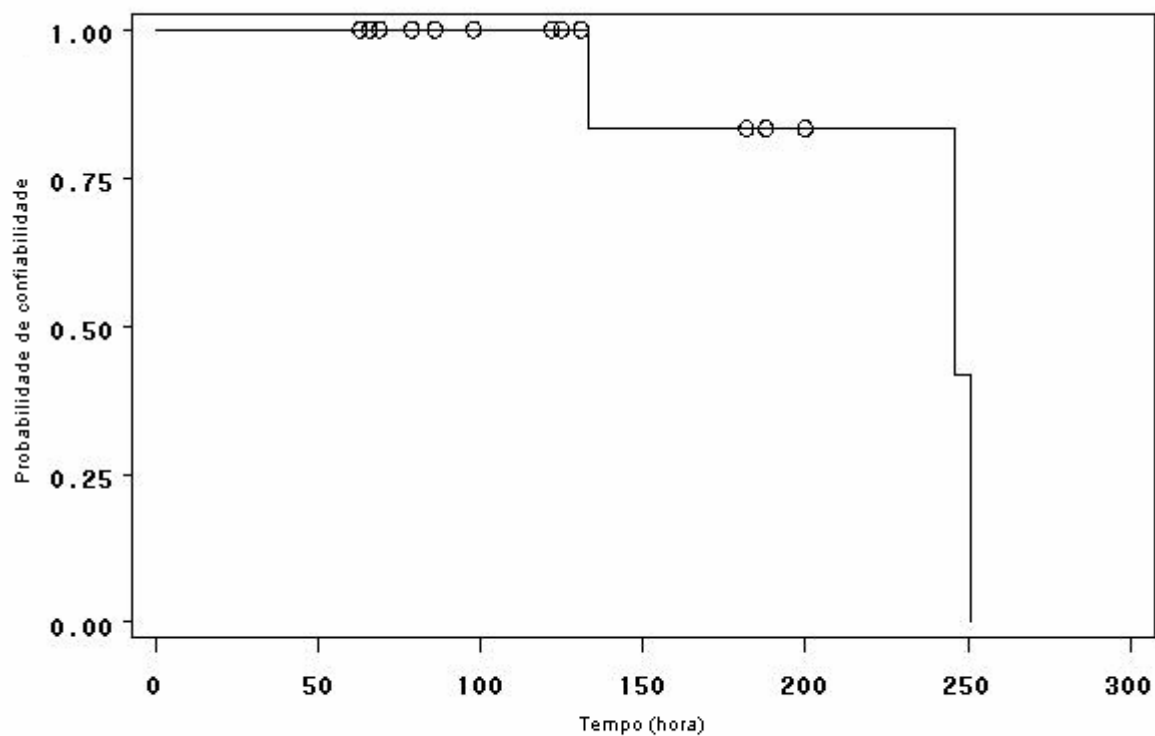


Figura 12. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a troca do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 1.

Para a viscosidade, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 133 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso, conforme Figura 13.

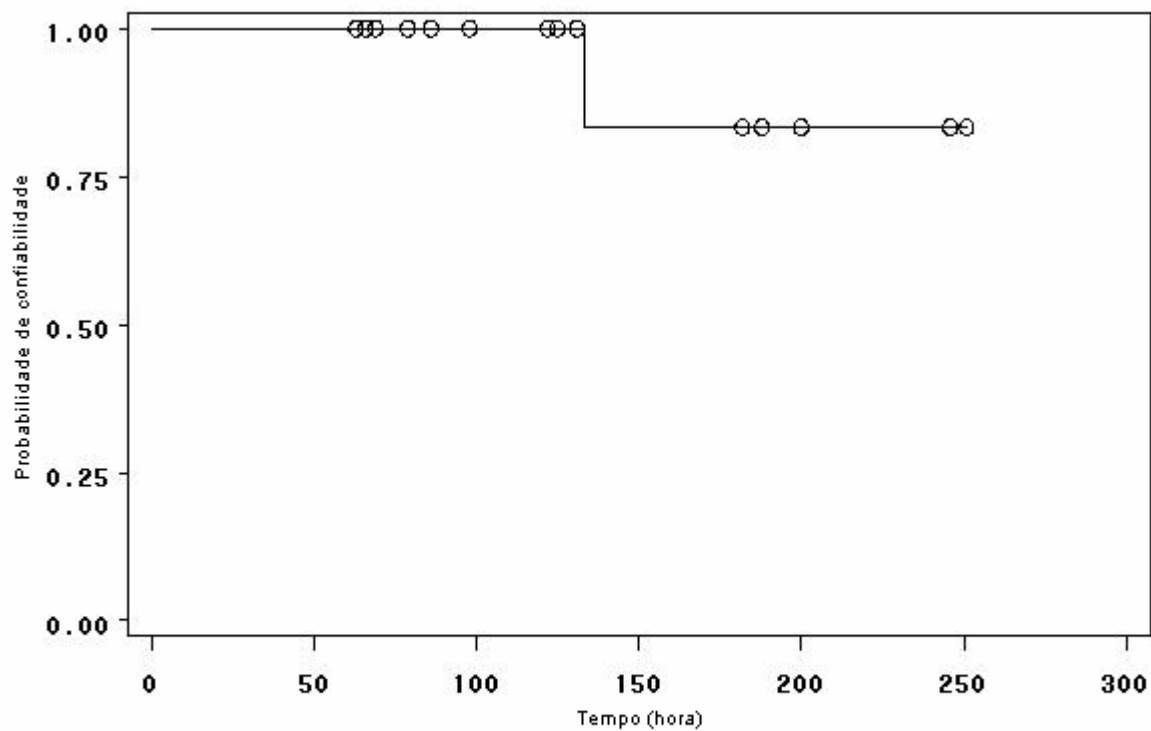


Figura 13. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 1.

Para o ponto de fulgor, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 91,67% em 79 horas, em seguida, para 61,11% em 200 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso, conforme Figura 14.

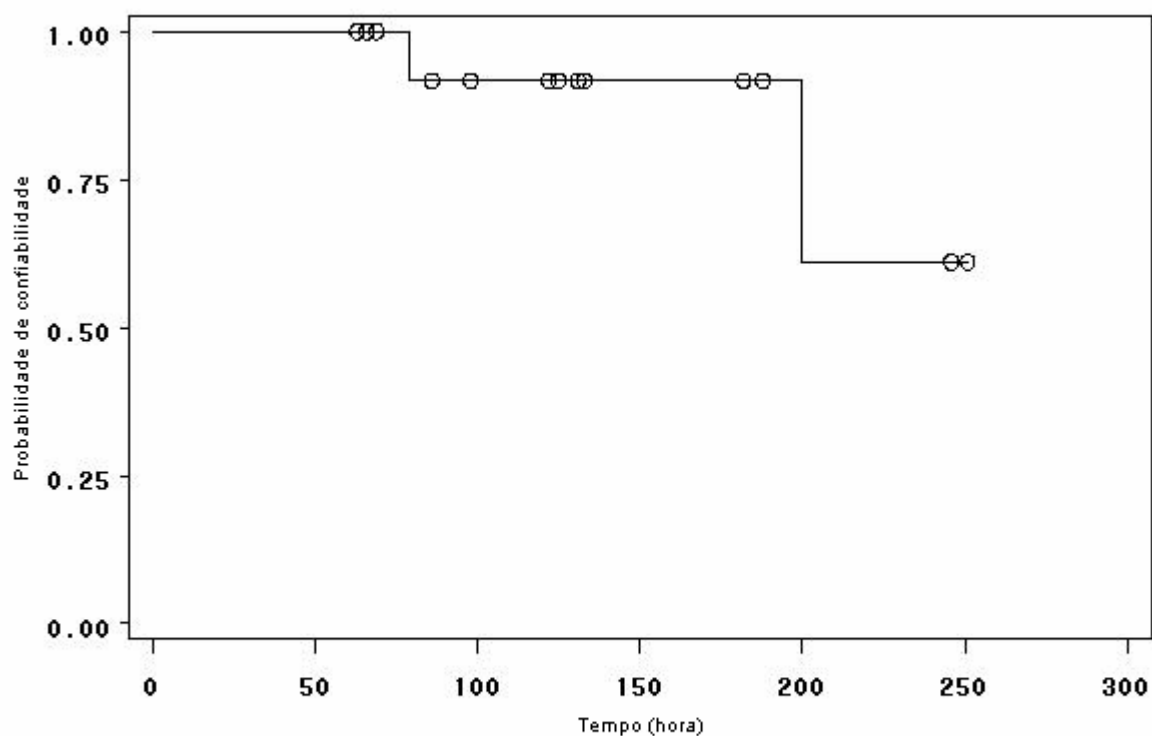


Figura 14. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 1.

Para o ferro e o alumínio, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 90,00% em 60 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso, conforme Figura 15.

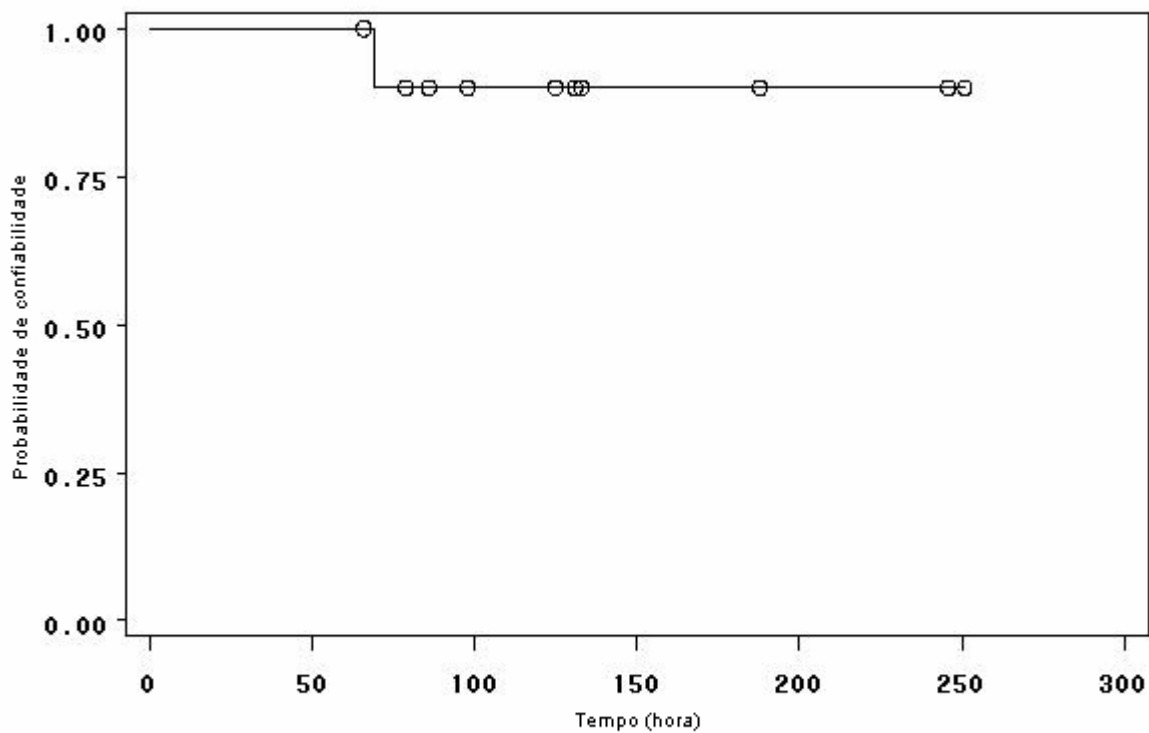


Figura 15. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de ferro e do alumínio do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 1.

Para o chumbo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 87,50% em 86 horas, depois para 65,63% em 133 horas, para 43,75% em 188 horas, e em seguida, para 21,88% em 246 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 251 horas de uso, conforme Figura 16.

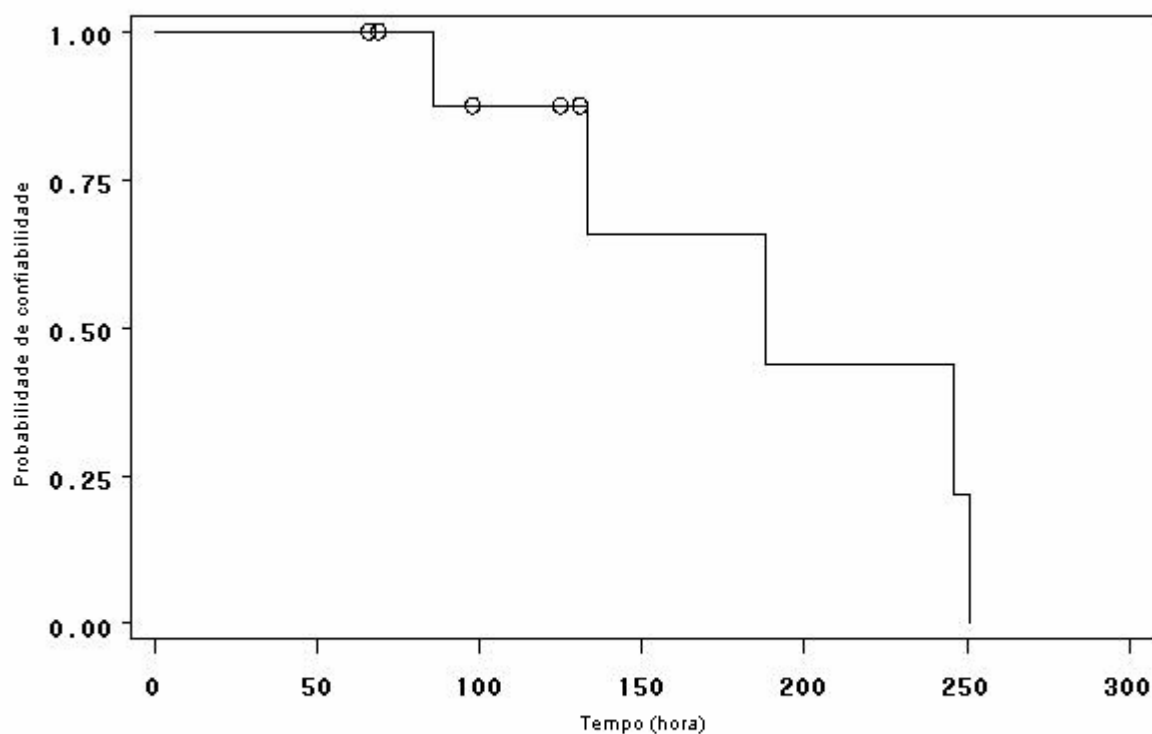


Figura 16. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 1.

As variáveis explanatórias fuligem, água, cobre, cromo e silício obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 251 horas de uso do óleo lubrificante.

7.1.5 Trator nº 5

Observando-se a Figura 17, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 90,00% em 63 horas, em seguida, para 45,00% em 245 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 247 horas de uso.

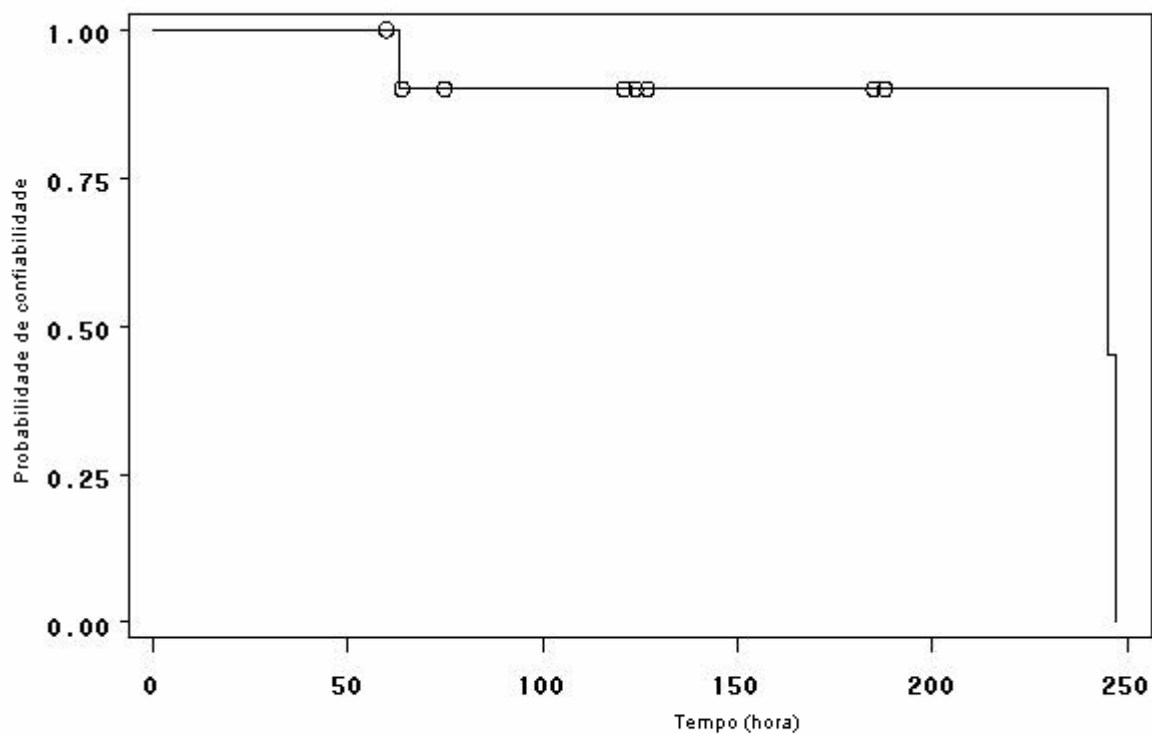


Figura 17. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier de tempo (em horas) para a de troca do óleo lubrificante do motor do trator nº. 5 do grupo 1.

Para a viscosidade, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 124 horas, em seguida, para 41,67% em 245 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 247 horas de uso, conforme Figura. 18.

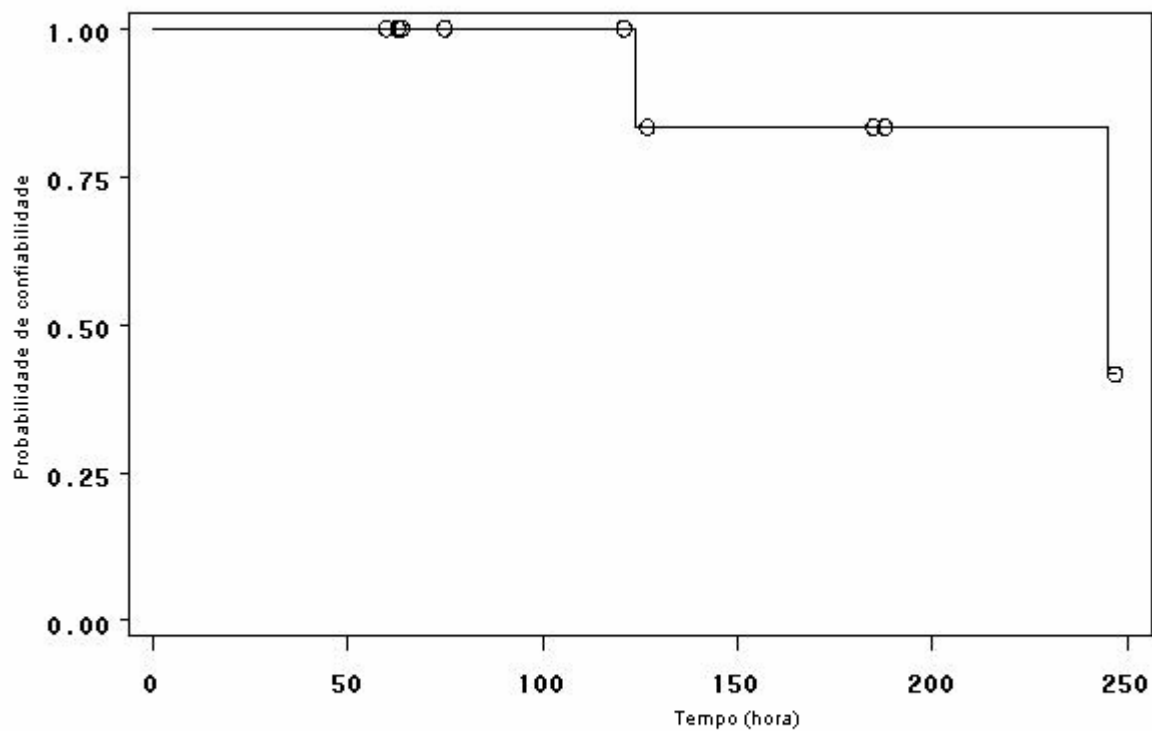


Figura 18. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a viscosidade do óleo lubrificante do trator n°. 5 do grupo 1.

Para o ponto de fulgor, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 90,91% em 60 horas, para 75,76% em 124 horas, depois para 50,51% em 188 horas, em seguida, para 25,25% em 245 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 247 horas de uso, conforme Figura 19.

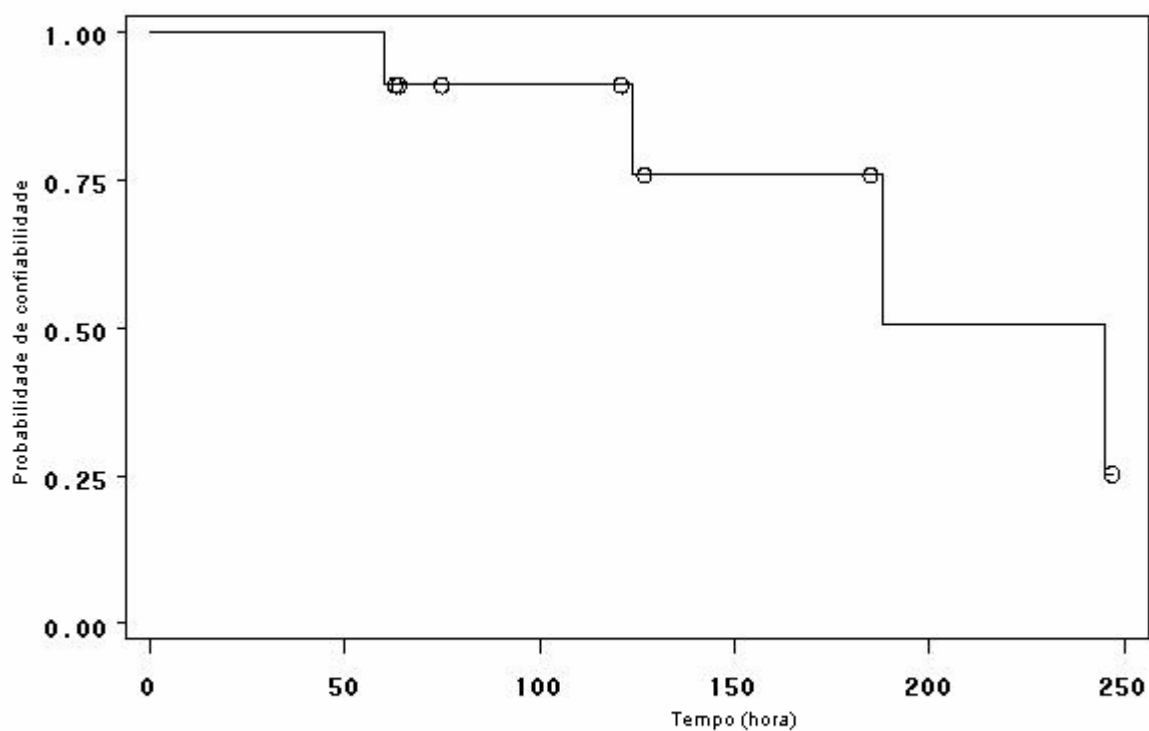


Figura 19. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor do trator nº. 5 do grupo 1.

Para o chumbo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 75,00% em 185 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 247 horas de uso, conforme Figura 20.

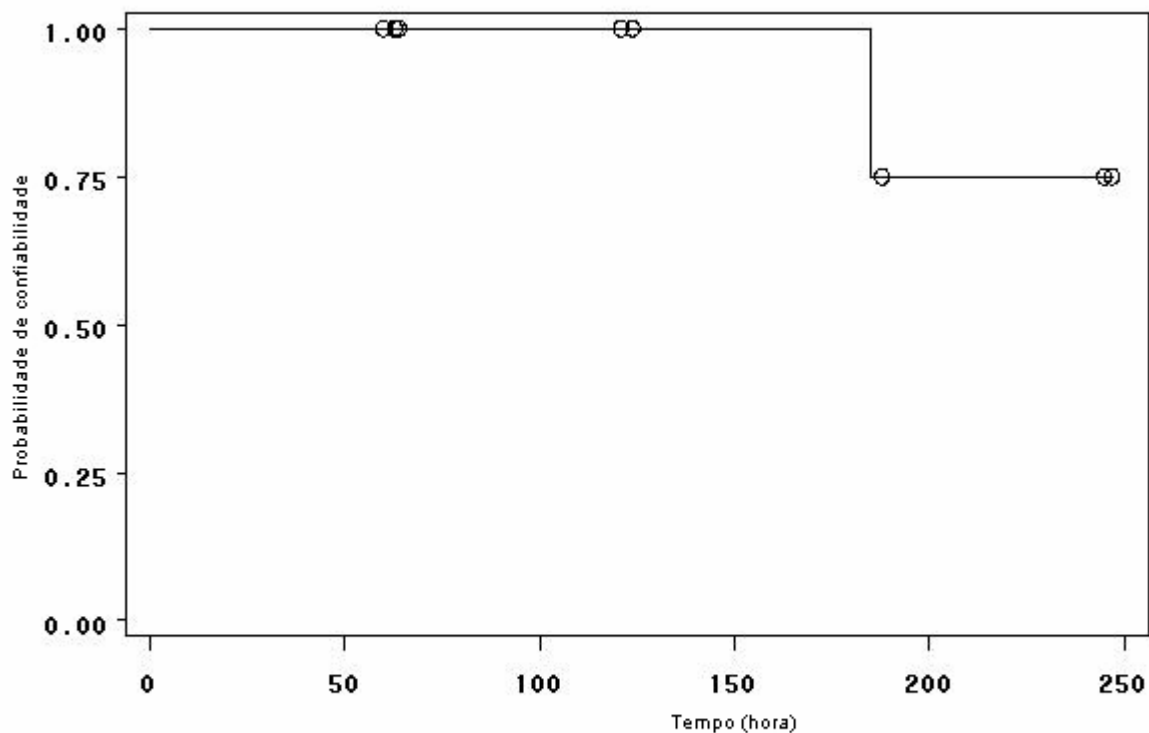


Figura 20. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº. 5 do grupo 1.

As variáveis explanatórias: fuligem, água, ferro, cobre, cromo e silício obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 247 horas de uso do óleo lubrificante.

7.1.6 Trator nº.6

Observando-se a Figura 21, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 85,71% em 96 horas, em seguida, para 42,86% em 239 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 244 horas de uso.

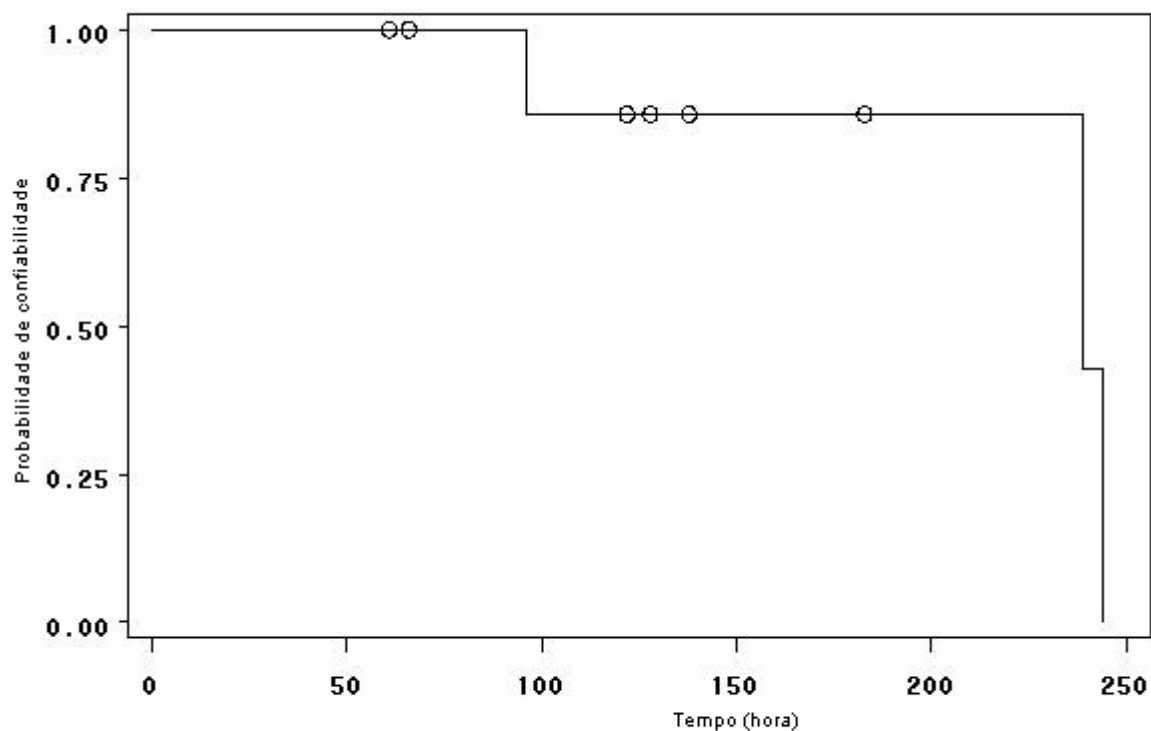


Figura 21. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a troca do óleo lubrificante do trator nº. 6 do grupo 1.

Para a viscosidade, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 90,00% em 61 horas, depois para 72,00% em 128 horas, em seguida, para 48,00% em 183 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 244 horas de uso, conforme Figura 22.

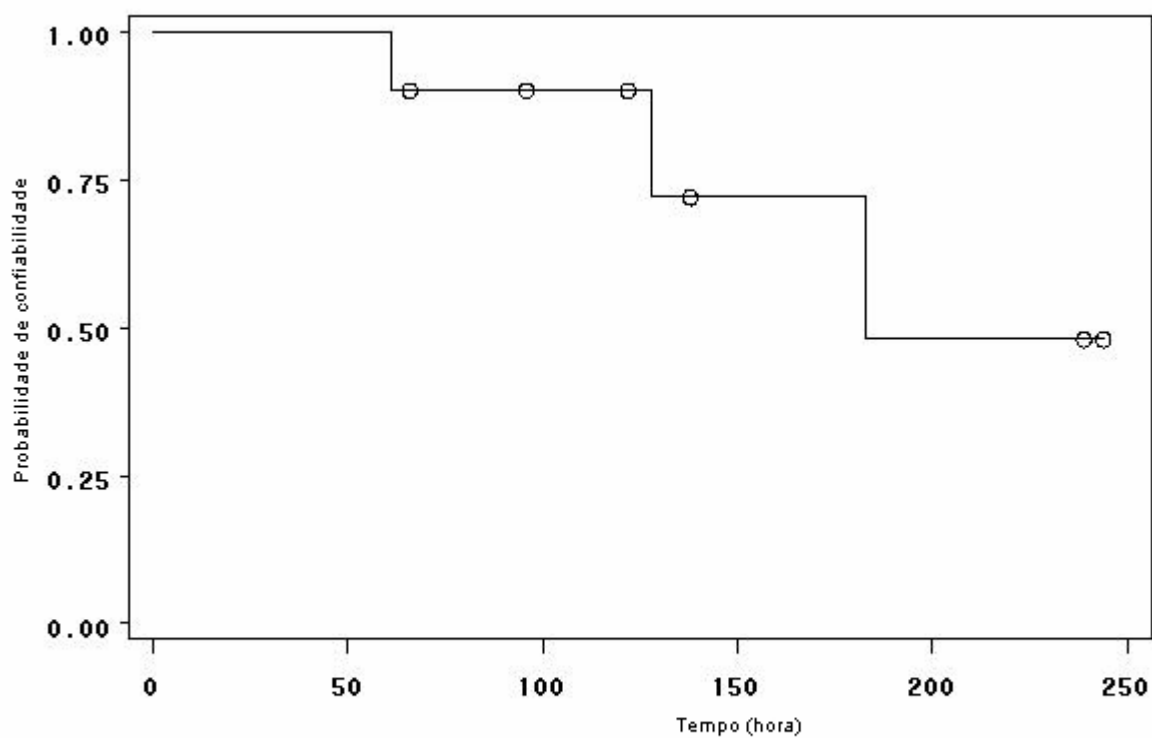


Figura 22. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº. 6 do grupo 1.

Para o ponto de fulgor, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 90,00% em 61 horas, em seguida para 80,00% em 66 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 244 horas de uso, conforme Figura 23.

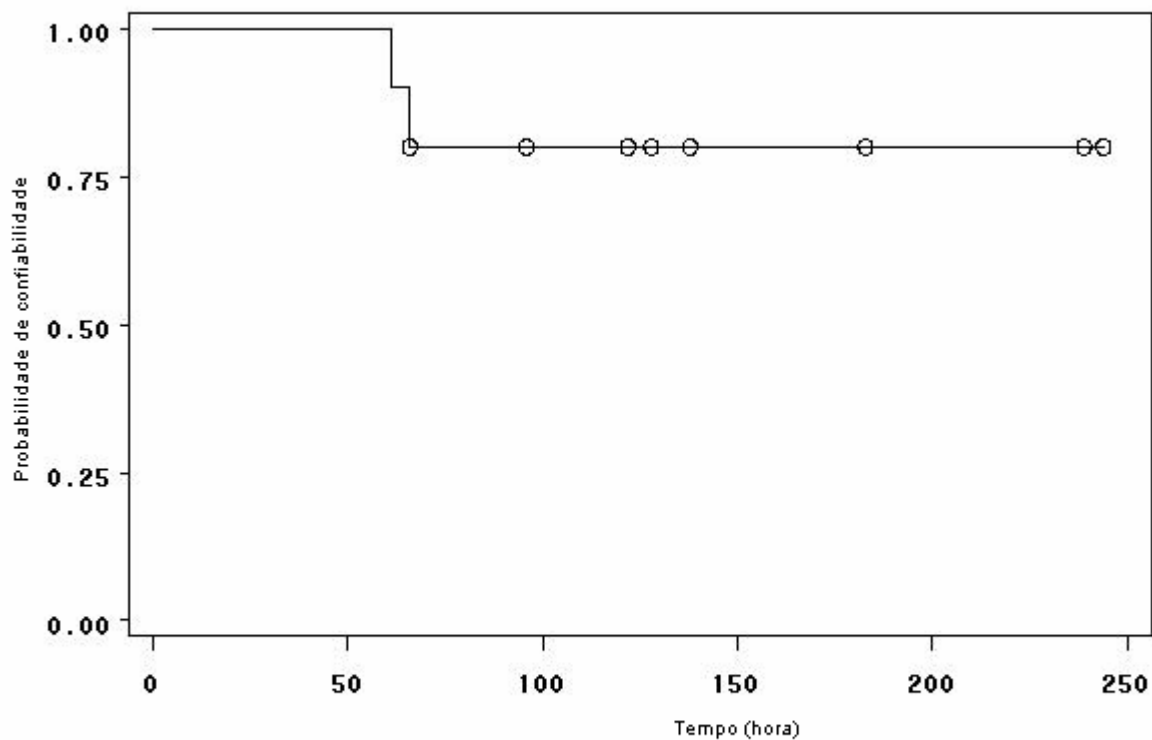


Figura 23. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor do trator nº. 6 do grupo 1.

Para o chumbo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 50,00% em 183 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 244 horas de uso, conforme Figura 24.

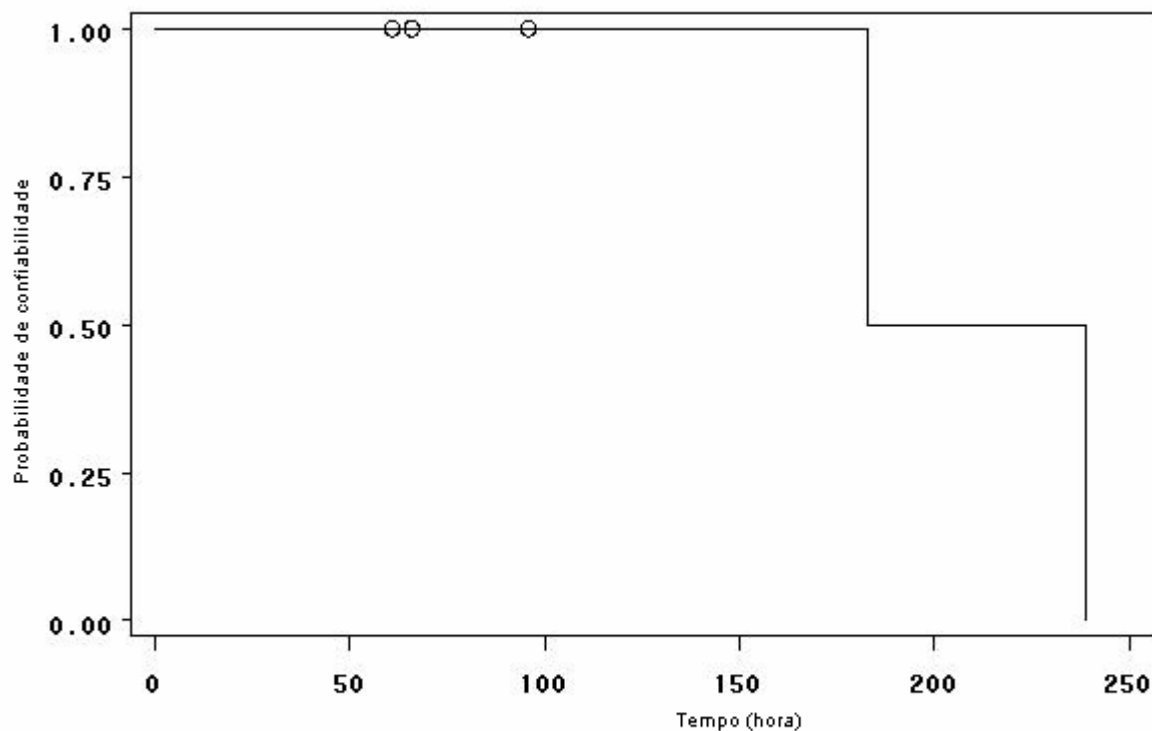


Figura 24. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº. 6 do grupo 1.

As variáveis explanatórias fuligem, água, ferro, cromo, chumbo, alumínio e silício obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 244 horas de uso do óleo lubrificante.

7.2 Influência das variáveis explanatórias na confiabilidade de utilização do óleo lubrificante dos tratores do grupo 1

Os p-valores obtidos do modelo de riscos proporcionais de Cox, para as variáveis explanatórias do grupo 1, encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1. Os p-valores das variáveis explanatórias para o grupo 1.

Elemento	p-valor
Viscosidade	0,2681
Ponto de fulgor	0,9792
Fuligem	-
Água	-
Ferro	0,9953
Cobre	0,7643
Cromo	-
Chumbo	0,8125
Alumínio	0,9953
Silício	-

Os p-valores obtidos para as variáveis explanatórias conforme a Quadro 1, não apresentaram efeito significativo ($p > 0,05$) nas variáveis analisadas. Portanto, pode-se afirmar que para o tempo de trocas estabelecido para este grupo de tratores, os valores encontrados permaneceram dentro dos limites fixados.

7.3 Tratores analisados do grupo 2

7.3.1 Trator nº 1

Observando-se a Figura 25, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 66,67% em 519 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 577 horas de uso.

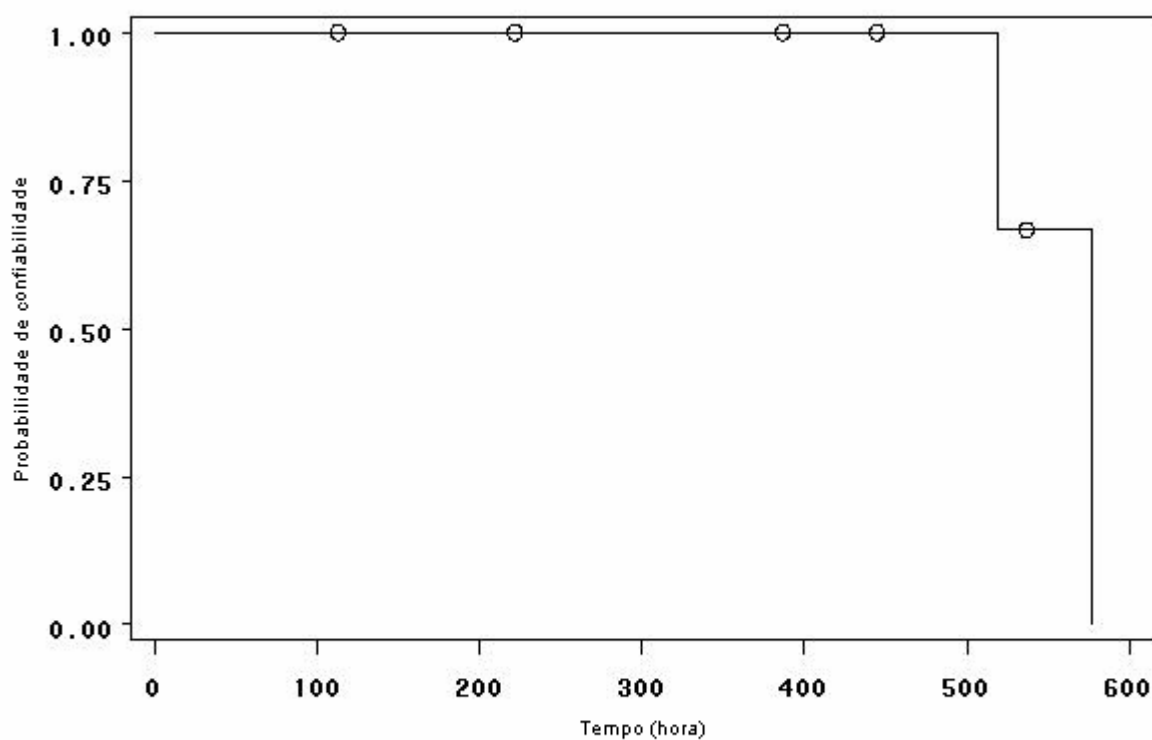


Figura 25. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a troca do óleo lubrificante do motor do trator nº. 1 do grupo 2.

As variáveis explanatórias viscosidade, diluição por combustível e alumínio obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 557 de uso do óleo lubrificante.

Para o ponto de fulgor, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 75,00% em 113 horas, em seguida, para 50,00% em 222 horas, e para 25,00% em 445 horas, permanecendo com esse valor até com 519 horas de uso do óleo lubrificante, conforme Figura 26.

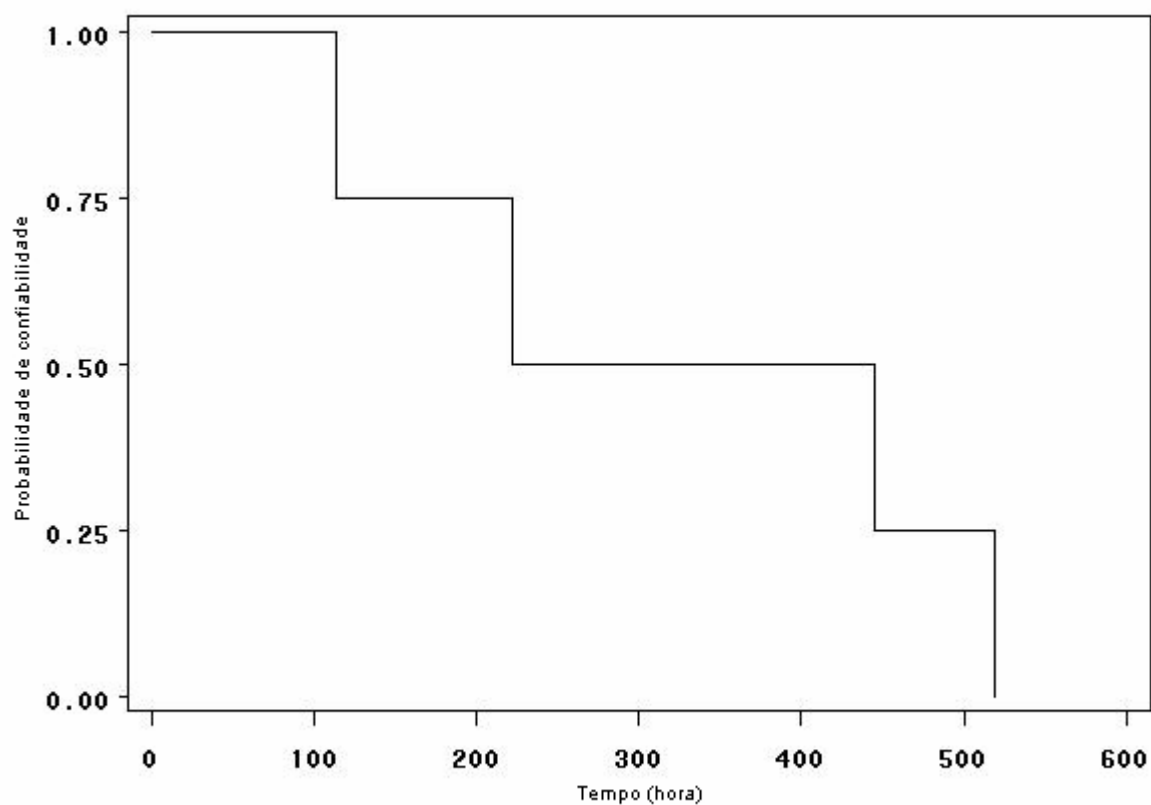


Figura 26. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o ponto de fulgor do óleo lubrificante do motor do trator nº. 1 do grupo 2.

Para o ferro, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 80,00% em 387 horas, em seguida, para 53,33% em 519 horas, e para 26,67% em 537 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 577 horas de uso, conforme Figura 27.

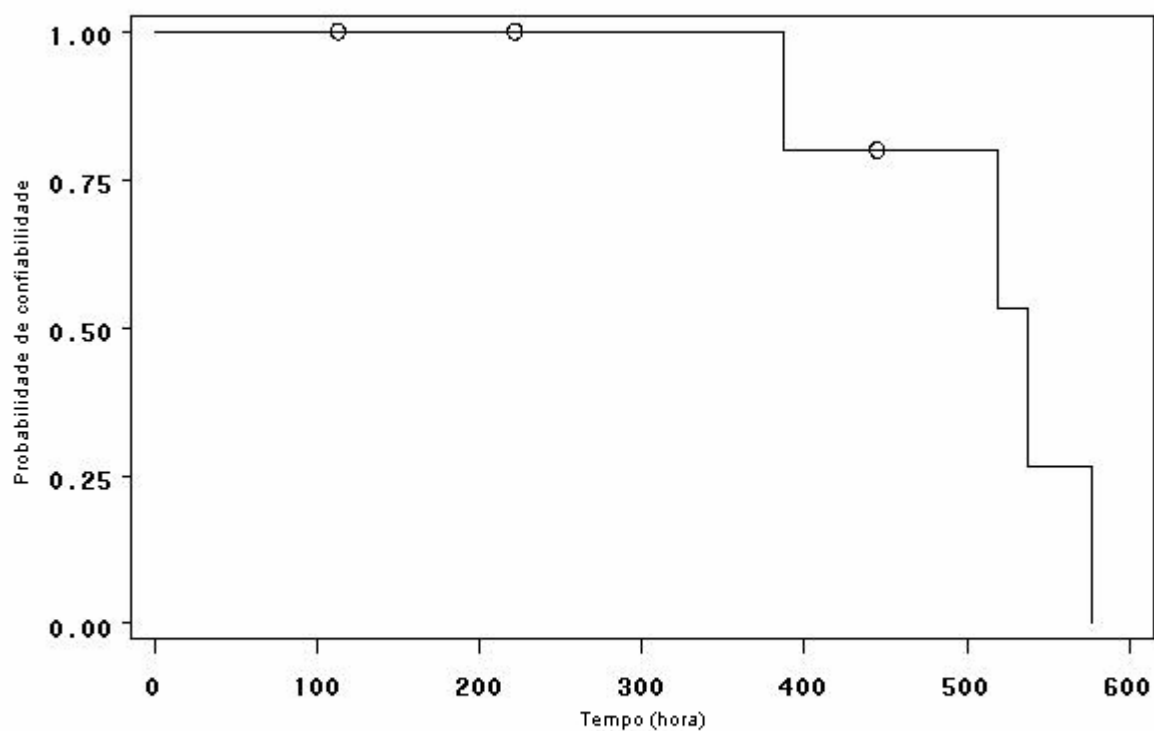


Figura 27. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de ferro do óleo lubrificante do motor do trator n°. 1 do grupo 2.

Para o cromo e chumbo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 387 horas, para 66,67% em 445 horas, para 33,33% em 519 horas, daí para 16,67% em 537 horas até a troca do óleo lubrificante com 577 horas, conforme Figura 28.

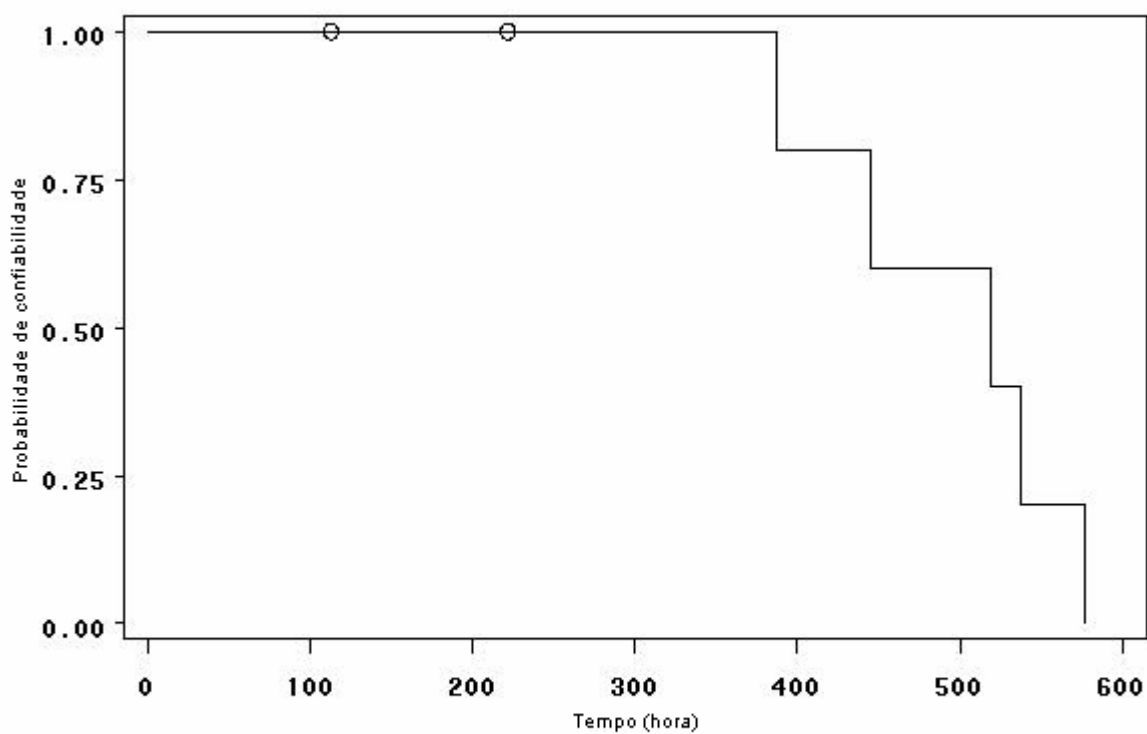


Figura 28. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de cromo e chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº. 1 do grupo 2.

Para o níquel, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 222 horas, para 67,67% em 387 horas, em seguida para 44,44% em 519 horas, e para 22,22% em 537 horas até a troca do óleo lubrificante em 577 horas de uso, conforme figura 29.

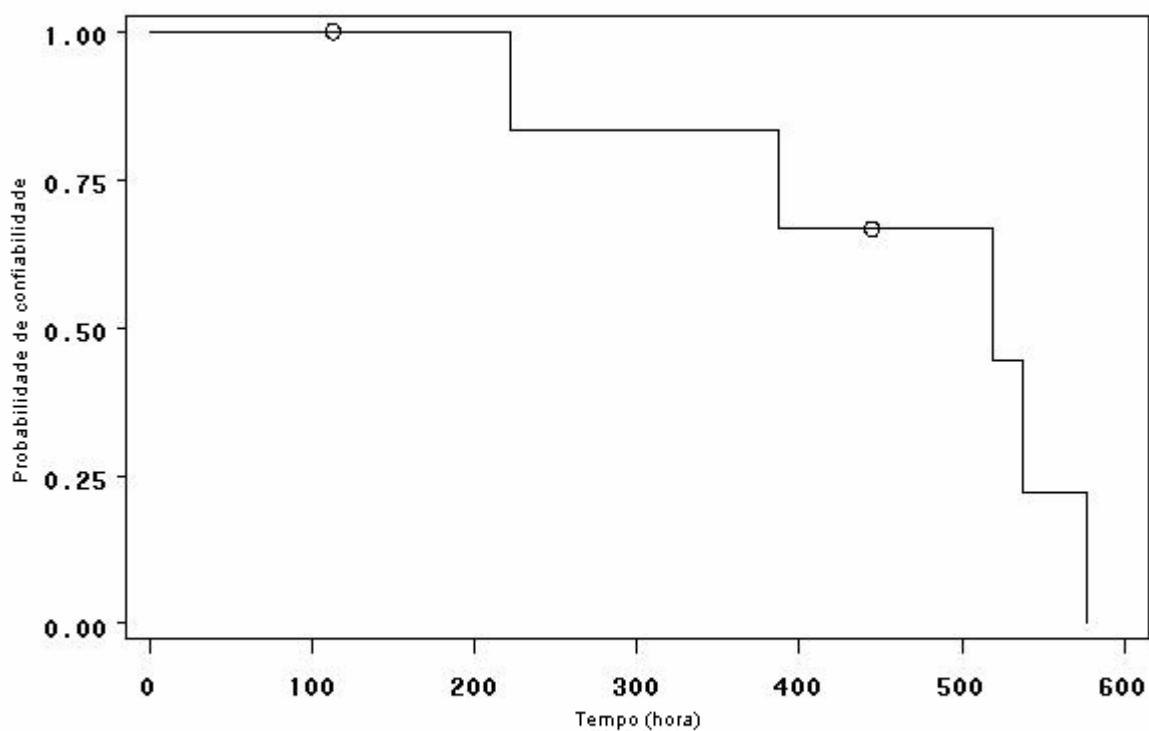


Figura 29. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de níquel do óleo lubrificante do motor do trator n°. 1 do grupo 2.

Para o silício, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 80,00% em 387 horas, em seguida, para 60,00% em 445 horas, e para 20,00% em 537 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 577 horas de uso, conforme Figura 30.

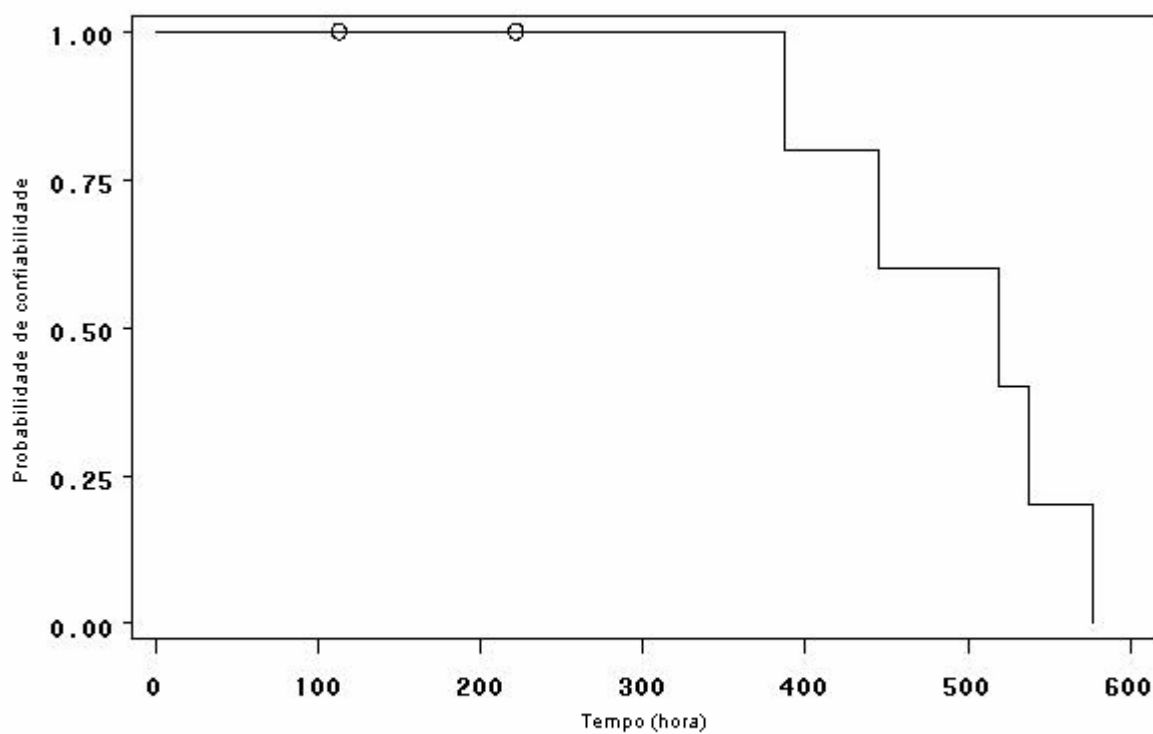


Figura 30. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de silício do óleo lubrificante do motor do trator nº. 1 do grupo 2.

7.3.2 Trator nº2

Observando-se a Figura 31, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 50,00% em 534 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 571 horas de uso.

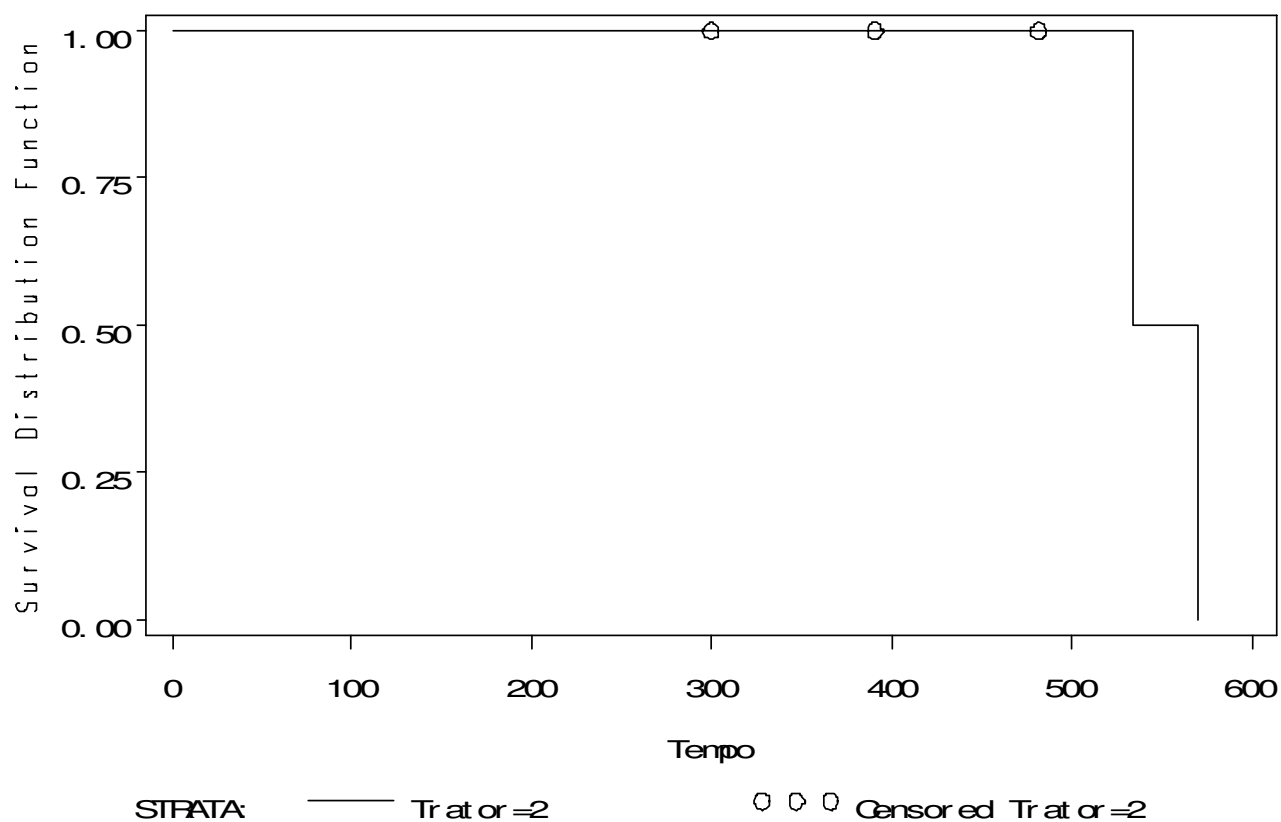


Figura 31. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a troca do óleo lubrificante do motor do trator nº. 2 do grupo 2.

Para a viscosidade, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 80,00% em 300 horas, para 60,00% em 391 horas, para 30,00% em 534 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 571 horas de uso, conforme Figura 32.

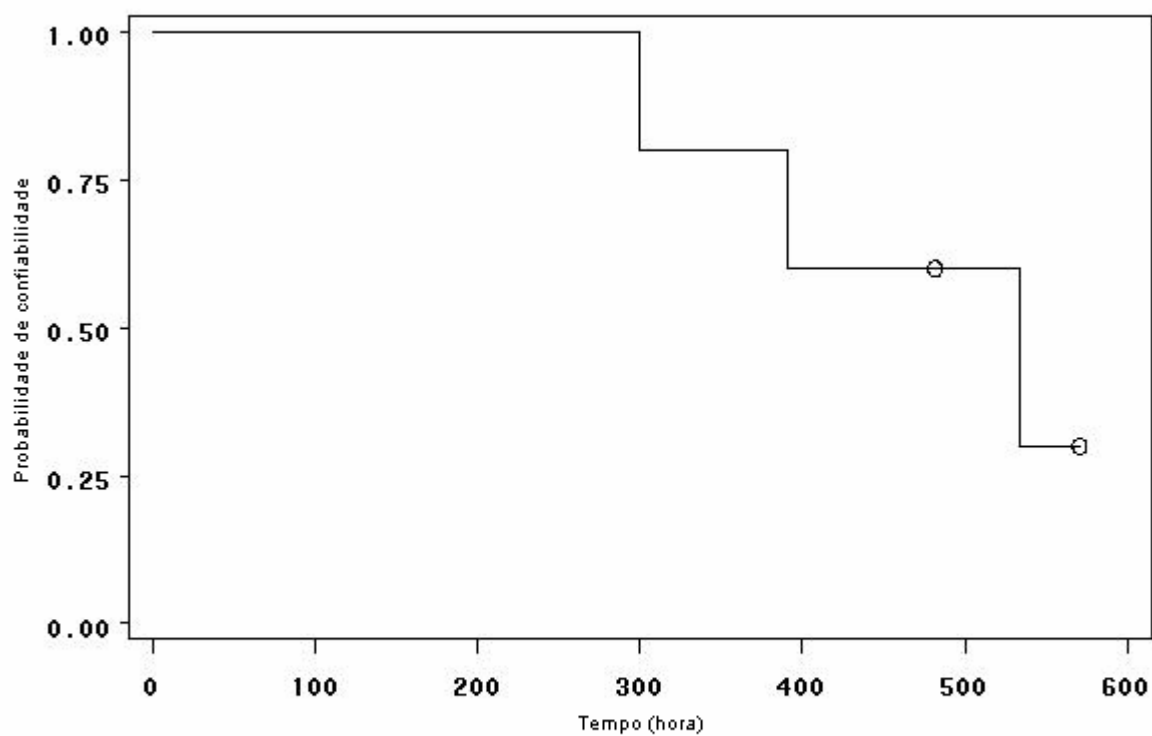


Figura 32. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº. 2 do grupo 2.

Para o cobre, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 50,00% em 534 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante em 571 horas de uso, conforme Figura 33.

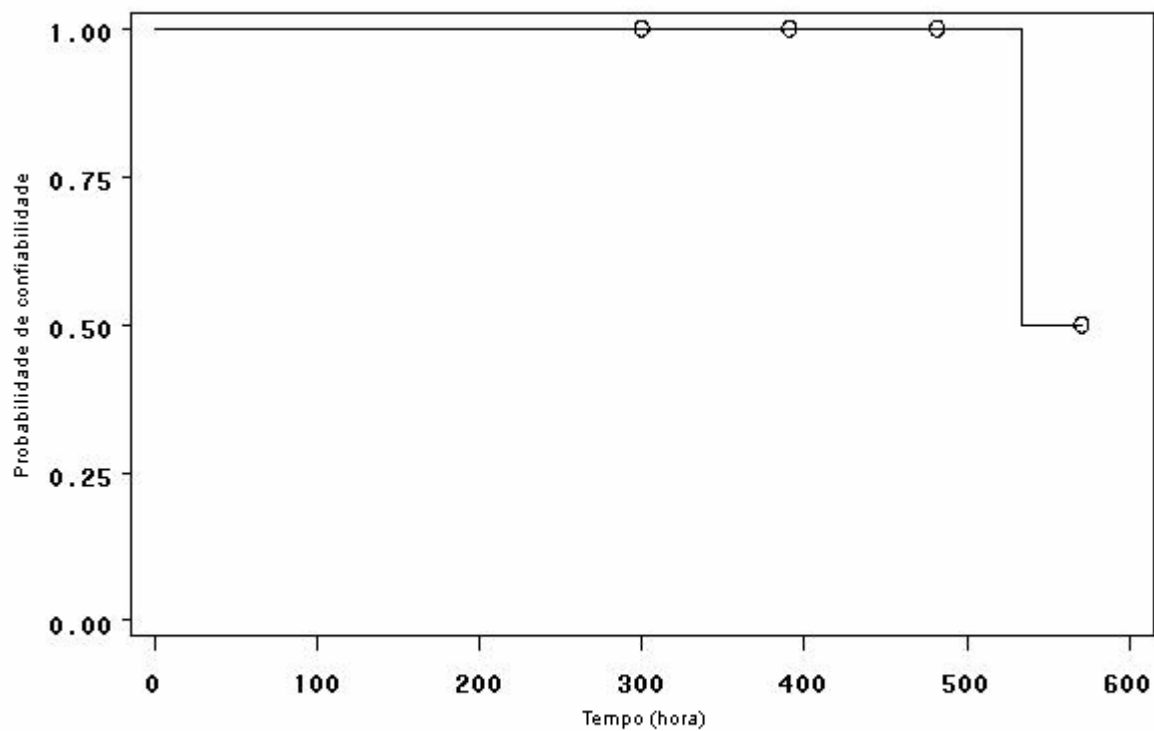


Figura 33. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de cobre, do óleo lubrificante do motor do trator n°. 2 do grupo 2.

Para o cromo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 66,67% em 482 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante em 571 horas de uso, conforme Figura 34.

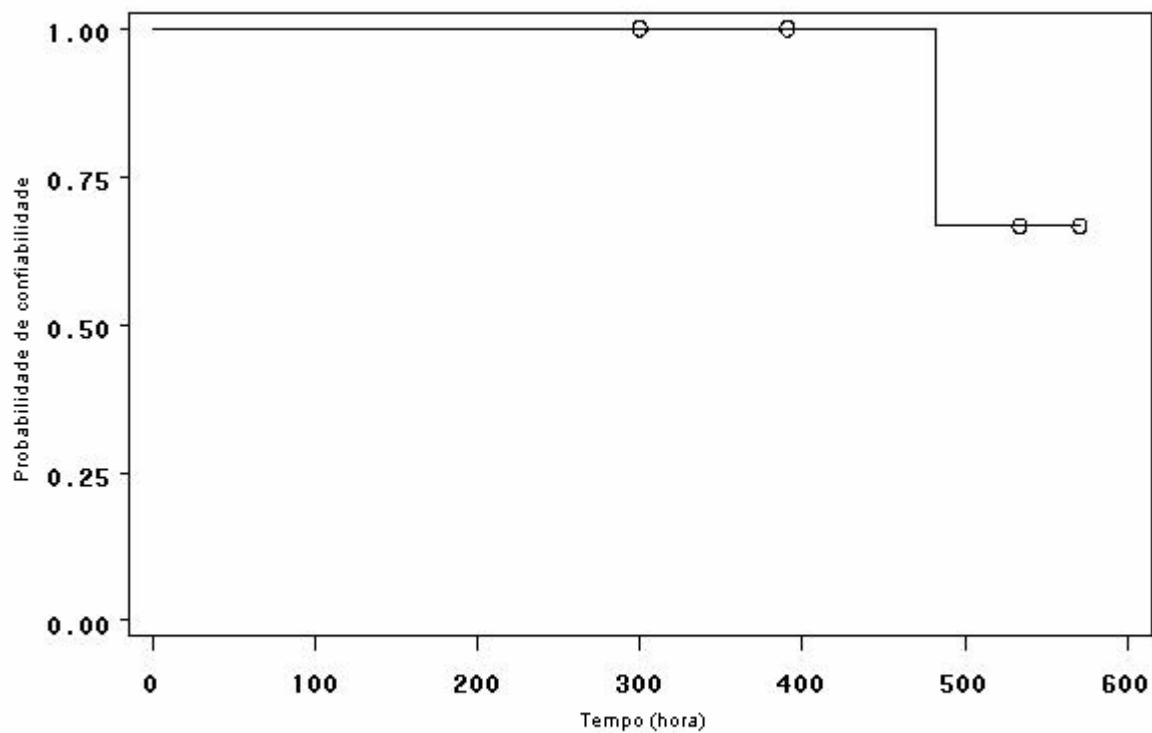


Figura 34. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de cromo, do óleo lubrificante do motor do trator nº. 2 do grupo 2.

Para o chumbo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 66,67% em 482 horas, em seguida para 33,33% em 534 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante em 571 horas de uso, conforme figura 35.

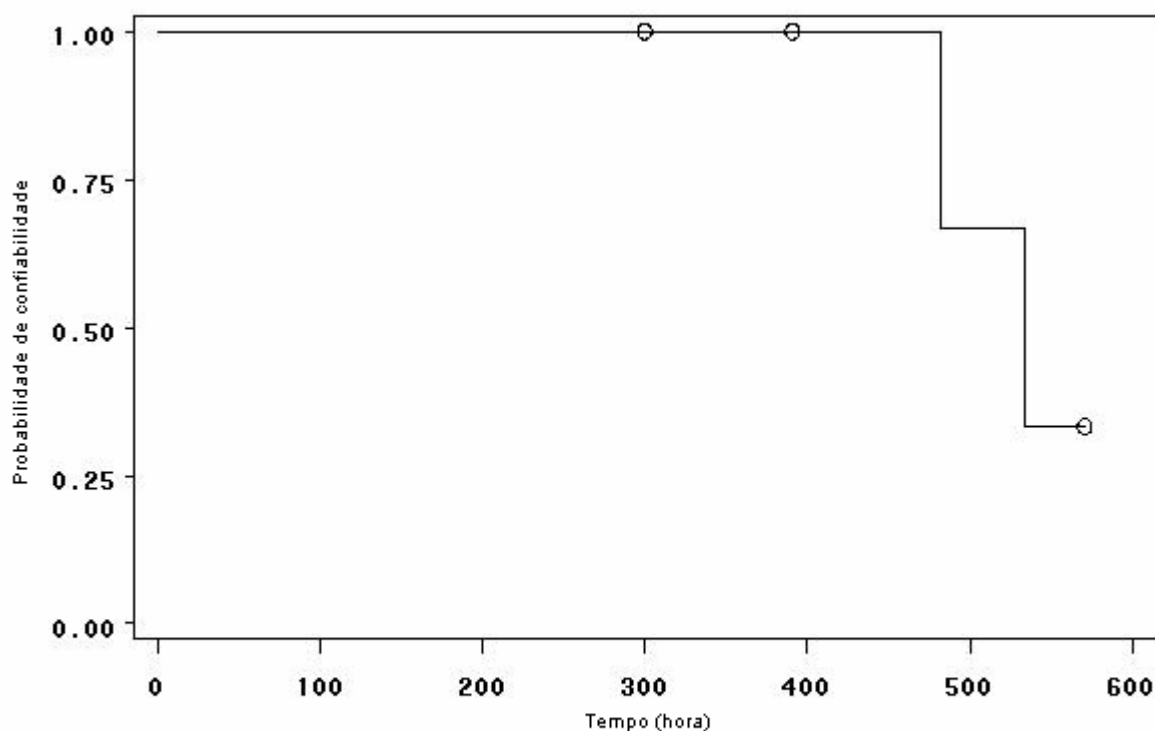


Figura 35. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº. 2 do grupo 2.

As variáveis explanatórias: ferro, cobre, níquel, alumínio e silício obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 571 horas de uso do óleo lubrificante.

7.3.3 Trator n ° 3

Observando-se a Figura 36, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 66,67% em 256 horas, em seguida para 33,33% em 307 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 429 horas de uso.

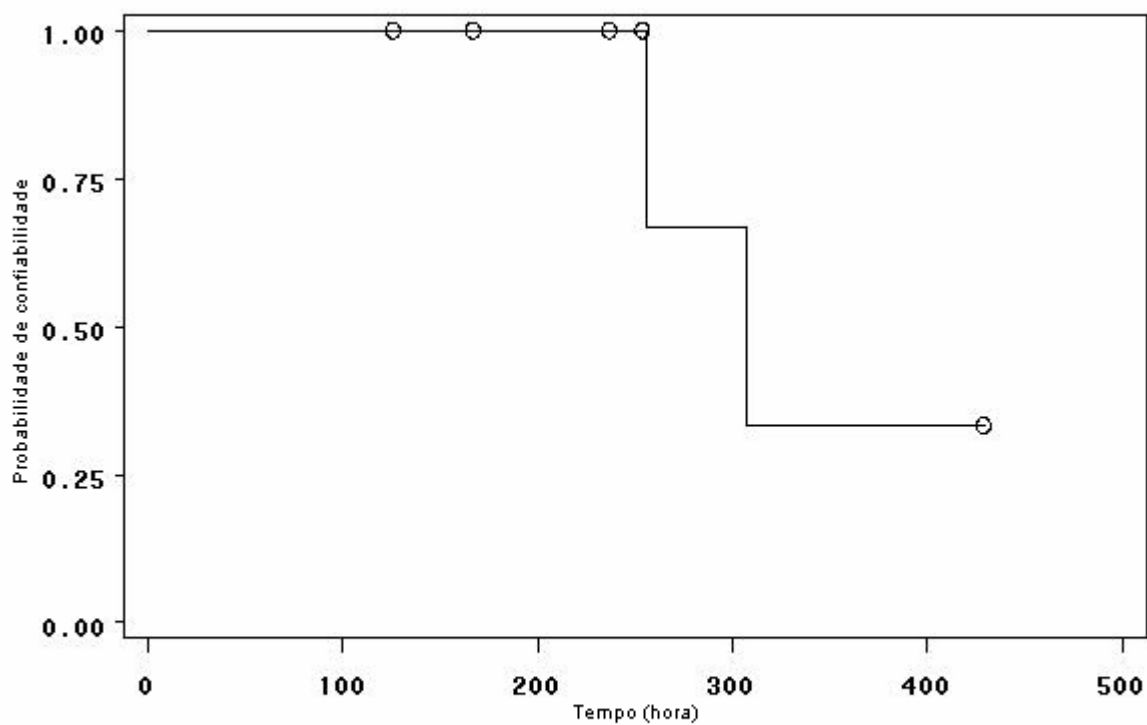


Figura 36. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a troca do óleo lubrificante do motor do trator nº. 3 do grupo 2.

Para a viscosidade, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 167 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 429 horas de uso, conforme Figura 37.

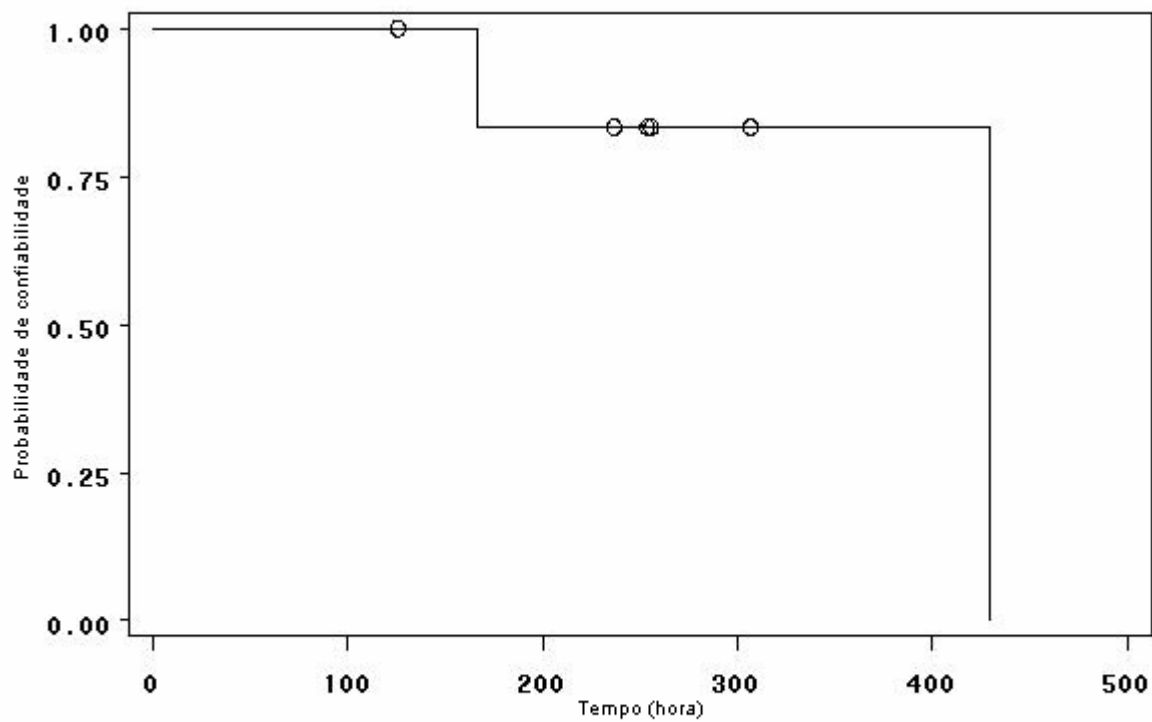


Figura 37. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº. 3 do grupo 2.

Para o ferro e cromo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 167 horas, em seguida para 66,67 em 237 horas, e para 44,44% até a troca do óleo lubrificante com 429 horas de uso, conforme Figura 38.

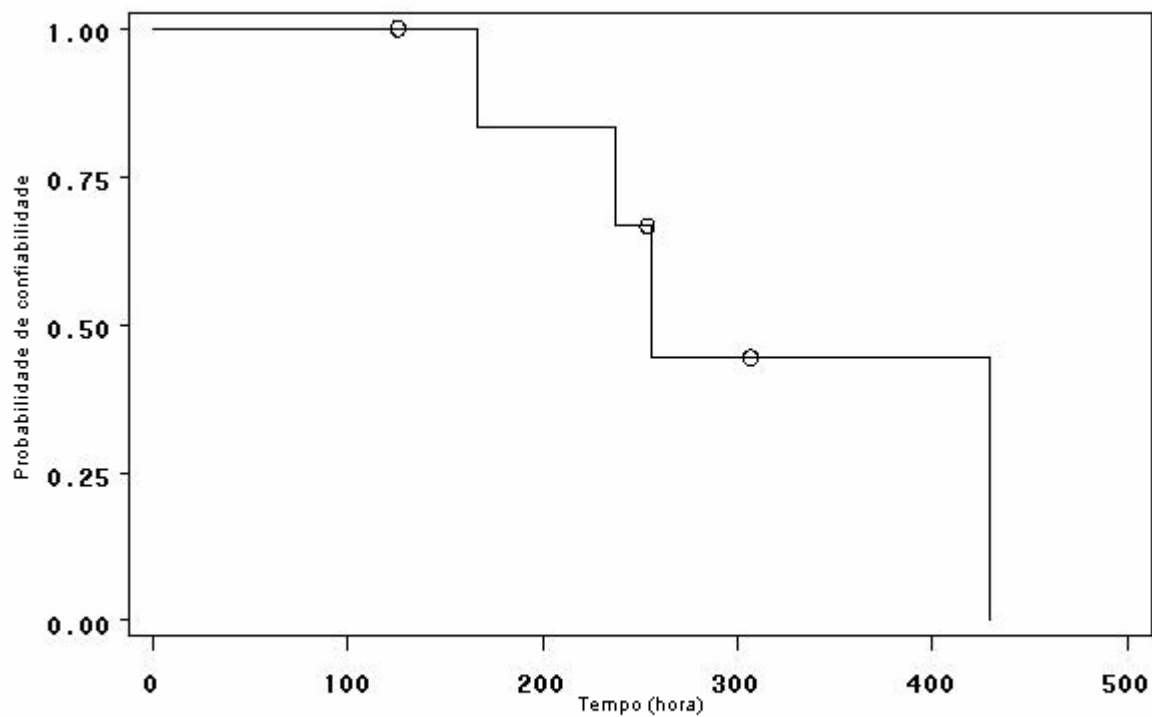


Figura 38. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de ferro e de cromo do óleo lubrificante do motor do trator nº. 3 do grupo 2.

Para o níquel, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 66,67% em 256 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 429 horas de uso, conforme Figura 39.

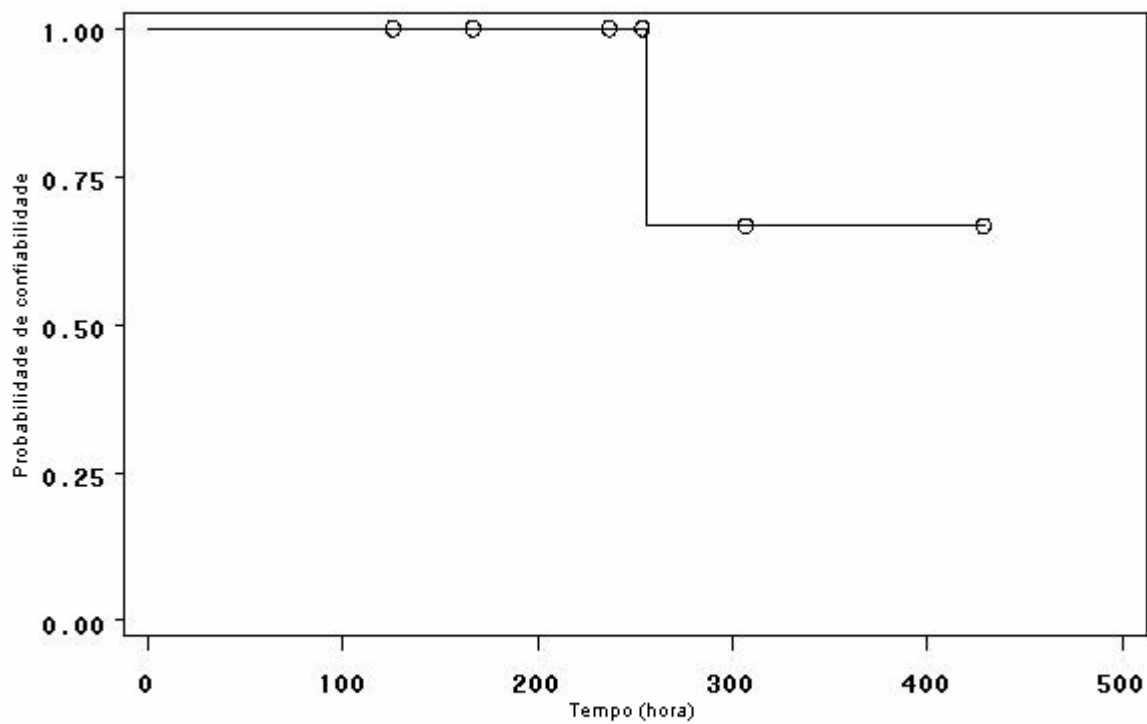


Figura 39. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de níquel do óleo lubrificante do motor do trator n°. 3 do grupo 2.

Para o silício, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 75,00% em 254 horas, em seguida, para 37,50% em 307 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 429 horas de uso, conforme Figura. 40.

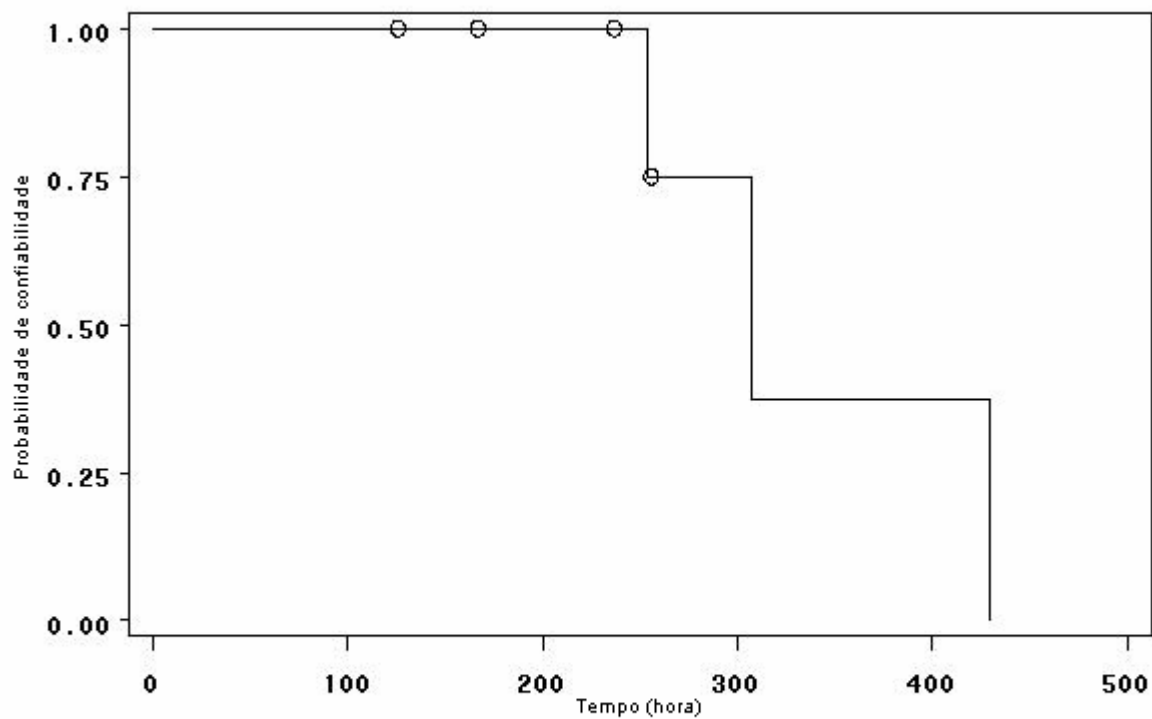


Figura 40. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de silício do óleo lubrificante do motor do trator n°. 3 do grupo 2.

Para o alumínio, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 80,00% em 237 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 429 horas de uso, conforme Figura 41.

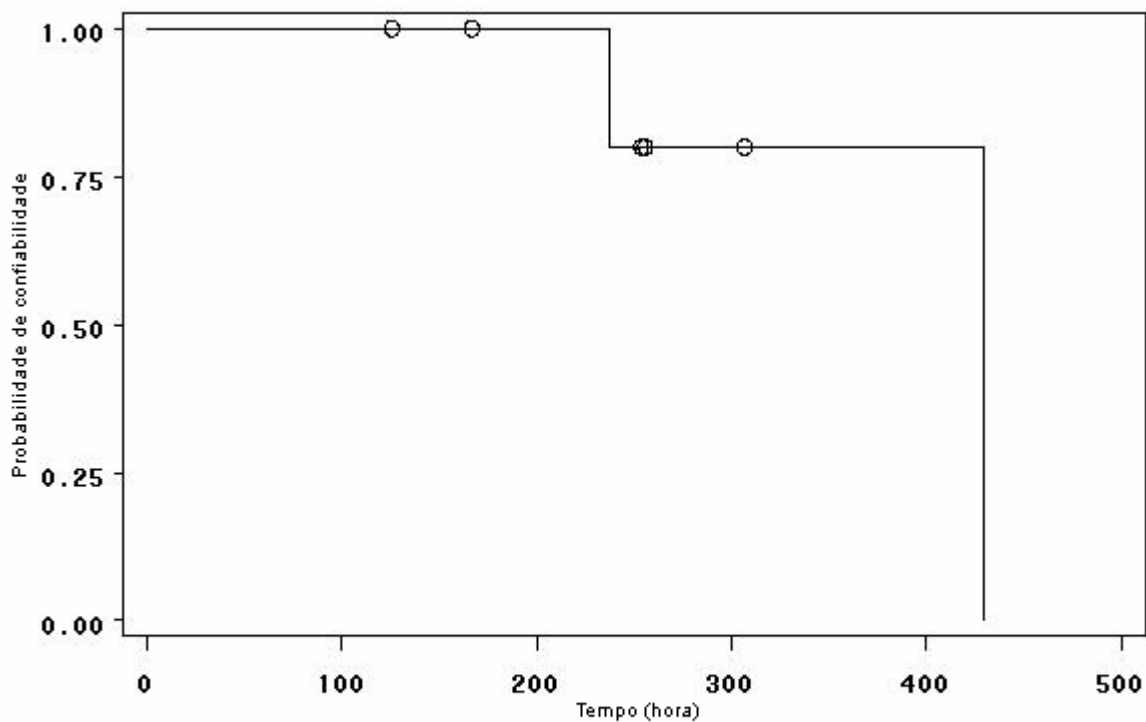


Figura 41. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o nível de alumínio do óleo lubrificante do motor do trator nº. 3 do grupo 2.

As variáveis explanatórias cobre e chumbo obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 429 horas de uso do óleo lubrificante.

7.3.4 Trator nº 4

Observando-se a Figura 42, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 66,67% em 604 horas, em seguida, para 33,33% em 611 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 639 horas de uso.

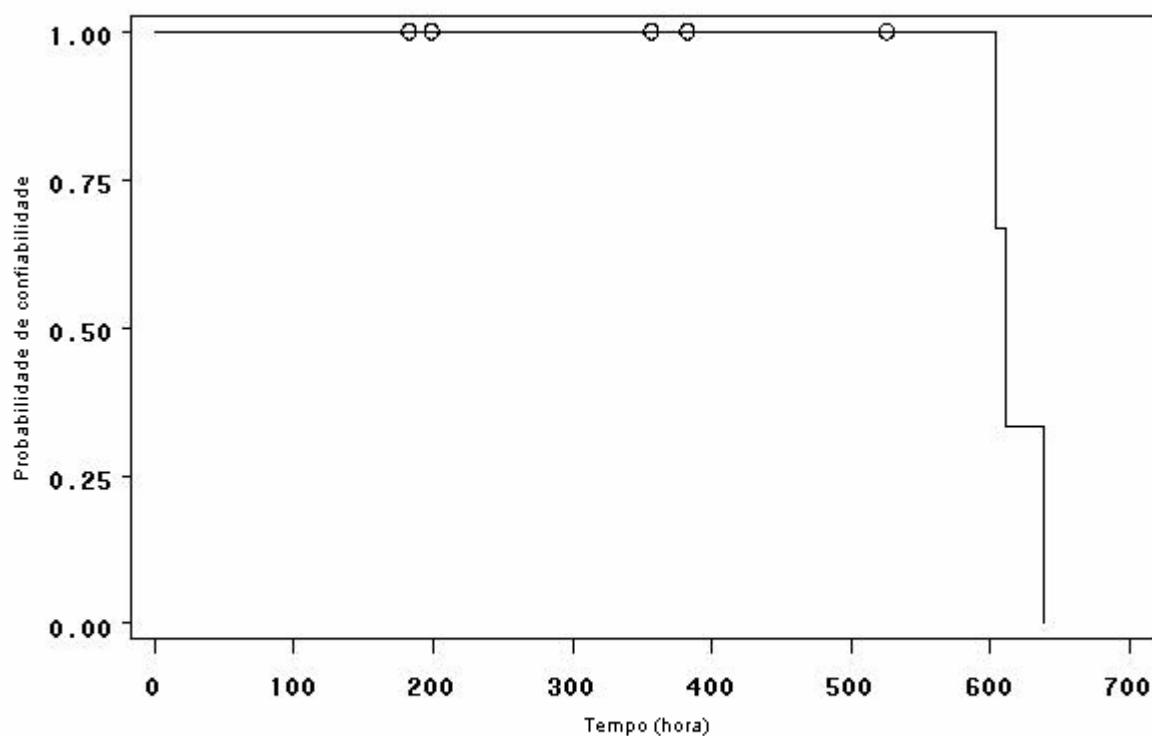


Figura 42. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a troca do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 2.

Para a viscosidade, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 50,00% em 611 horas, permaneceu com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 639 horas de uso, conforme Figura 43.

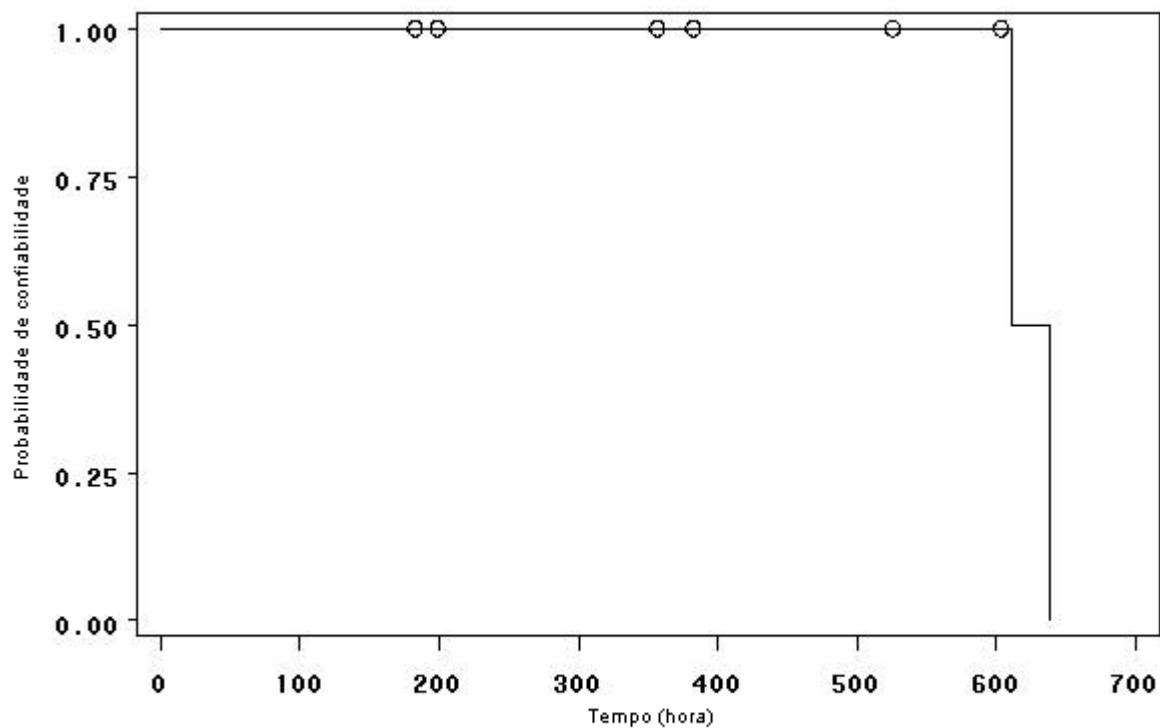


Figura 43. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a viscosidade do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 2.

Para o ferro, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 50,00% em 611 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 639 horas de uso, conforme Figura 44.

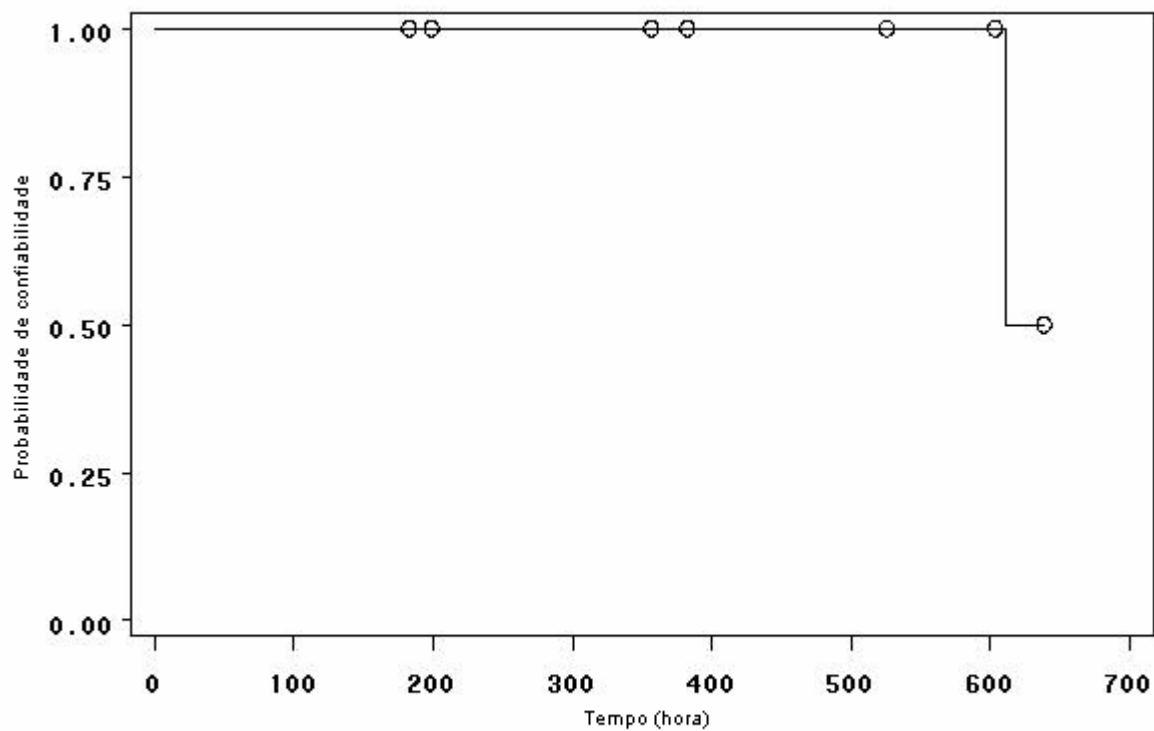


Figura 44. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o ferro do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 2.

Para o cobre, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 357 horas, para 66,67% em 387 horas, em seguida, para 62,50% em 526 horas, depois para 41,67% em 604 horas, daí para 20,83% em 611 horas até a troca do óleo lubrificante com 639 horas de uso, conforme Figura 45.

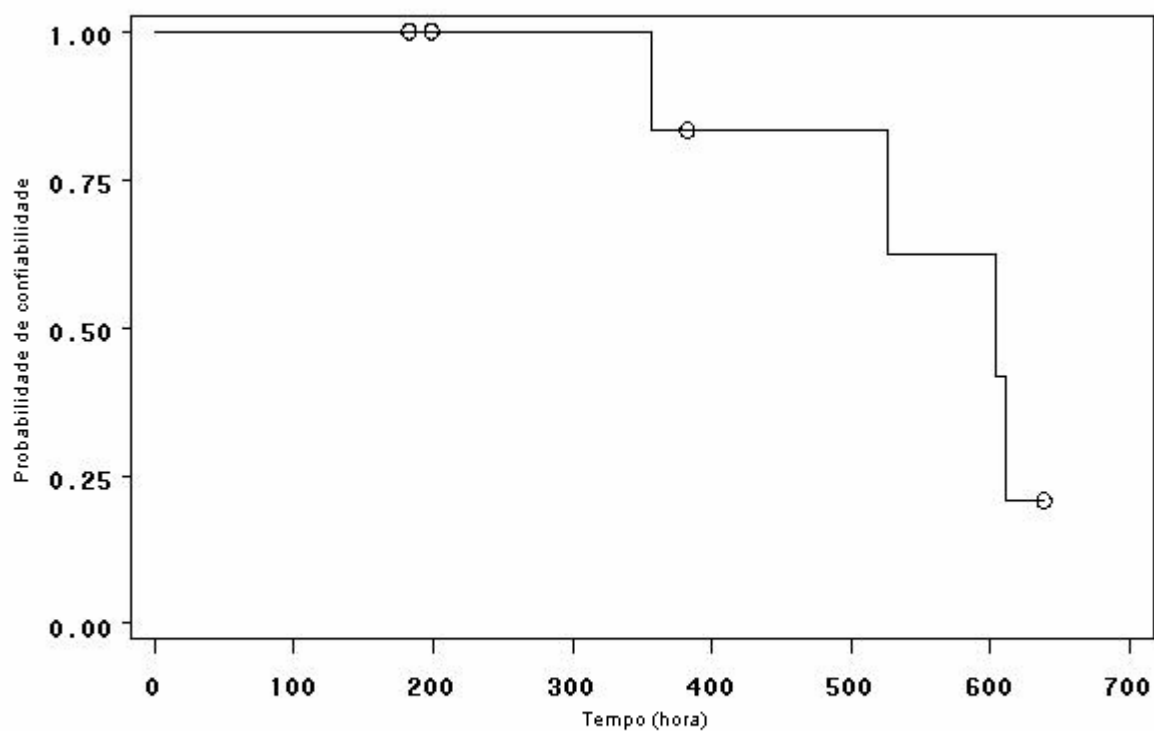


Figura 45. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o cobre do óleo lubrificante do motor do trator n°. 4 do grupo 2.

Para o cromo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 85,71% em 199 horas, para 71,43% em 357 horas, em seguida, para 57,14% em 383 horas, para 42,86% em 526 horas, para 28,57% em 604 horas, e para 14,29% em 611 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 639 horas de uso. Conforme Figura 46.

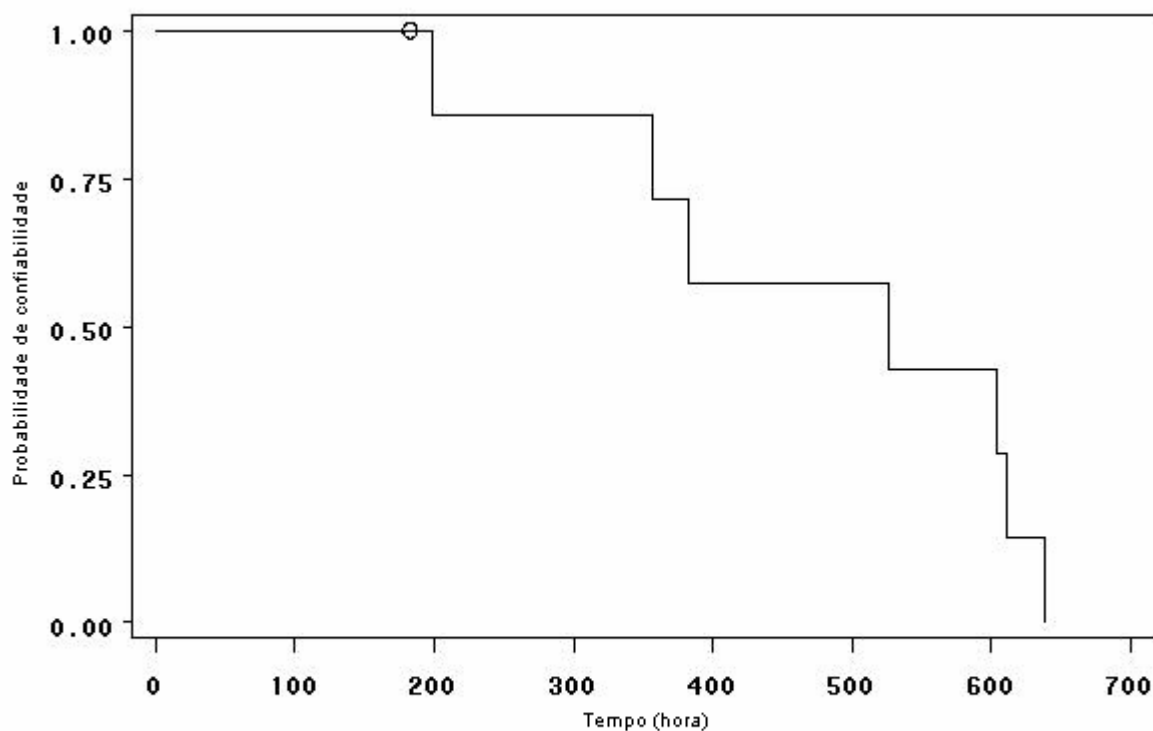


Figura 46. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o cromo do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 2.

Para o chumbo, a probabilidade de confiabilidade decresceu 85,71 em 199 horas, para 71,43% em 357 horas, e para 57,14 % em 383 horas, em seguida, para 42,86% em 526 horas, para 28,57% em 604 horas, e para 14,29% em 611 horas até a troca do óleo lubrificante com 639 horas de uso, conforme Figura 47.

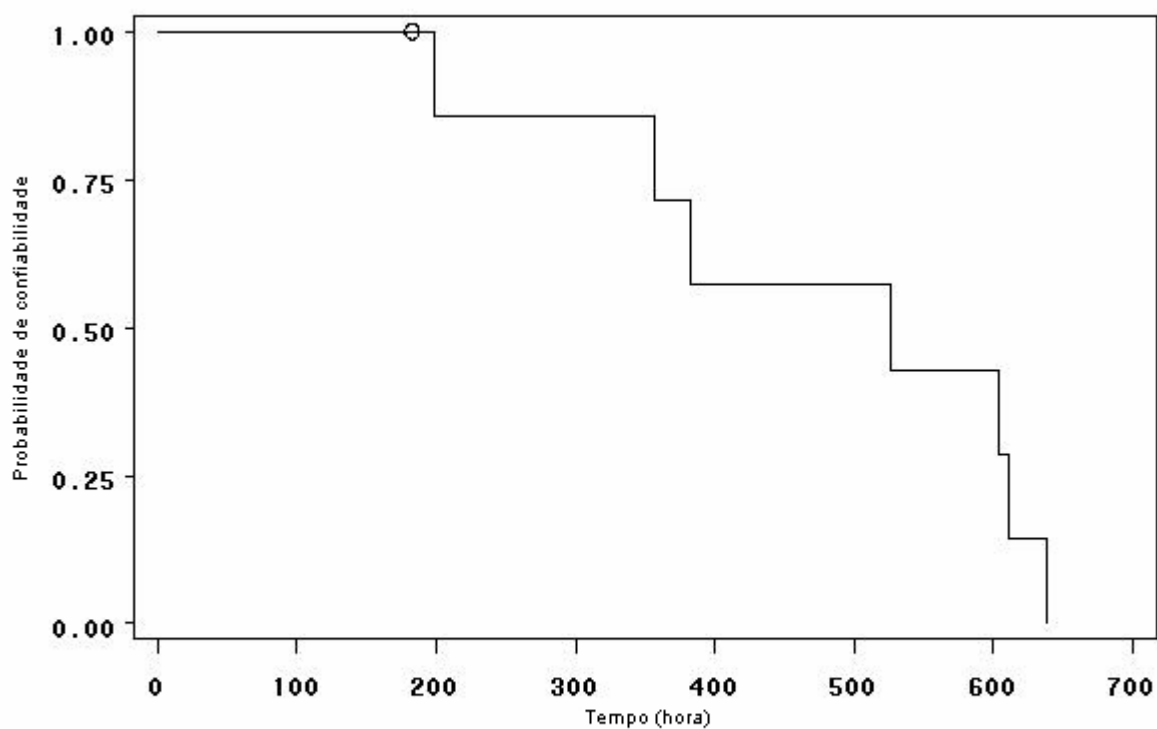


Figura 47. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o chumbo do óleo lubrificante do motor do trator n.º 4 do grupo 2.

Para o níquel, a probabilidade de confiabilidade decresceu para a probabilidade de confiabilidade decresceu para 75,00% em 526 horas, em seguida, para 50,00% em 604 horas, e para 25,00% em 611 horas até a troca do óleo lubrificante com 639 horas de uso, conforme Figura 48.

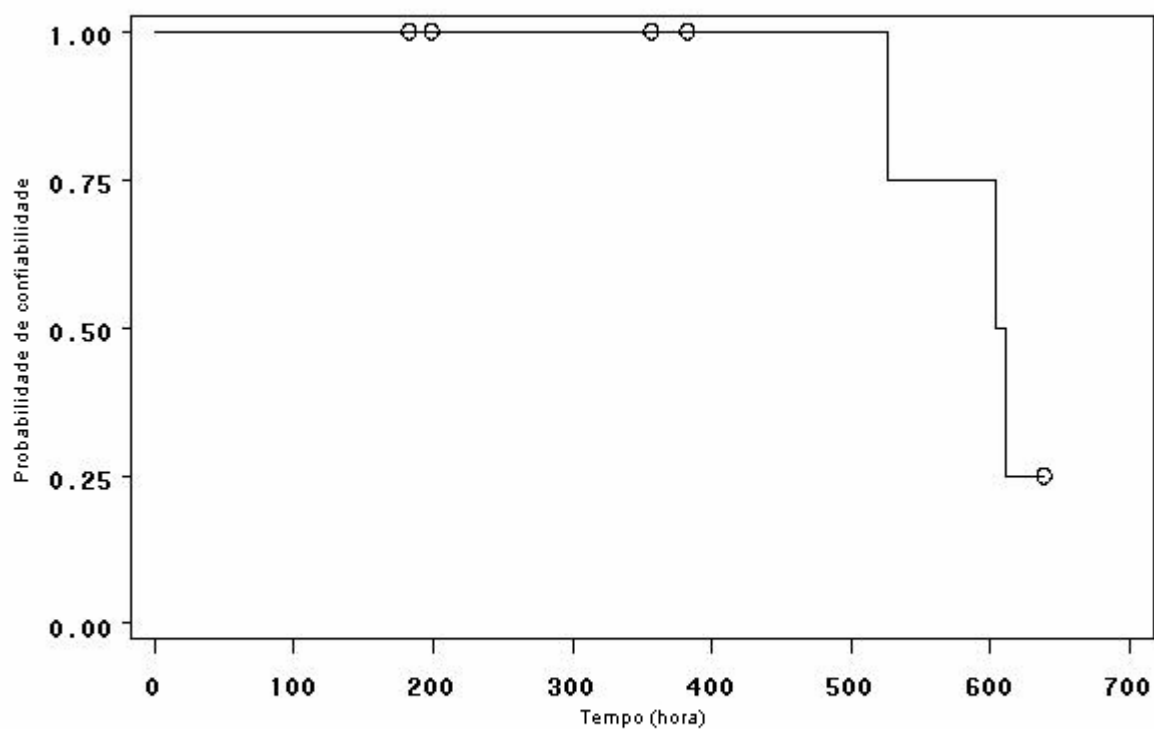


Figura 48. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o níquel do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 2.

Para o alumínio, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 50,00% em 611 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 639 horas de uso, conforme Figura 49.

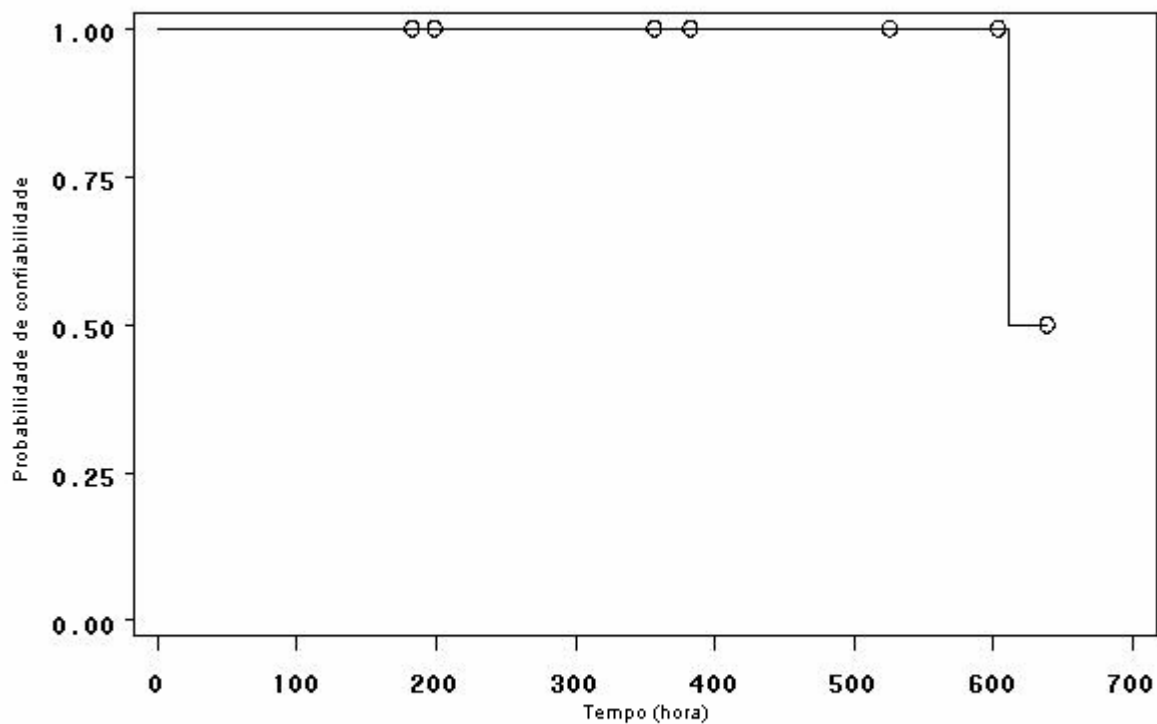


Figura 49. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o alumínio do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 2.

Para o silício, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 66,67% em 604 horas, em seguida, para 33,33% em 611 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 639 horas de uso, conforme Figura 50.

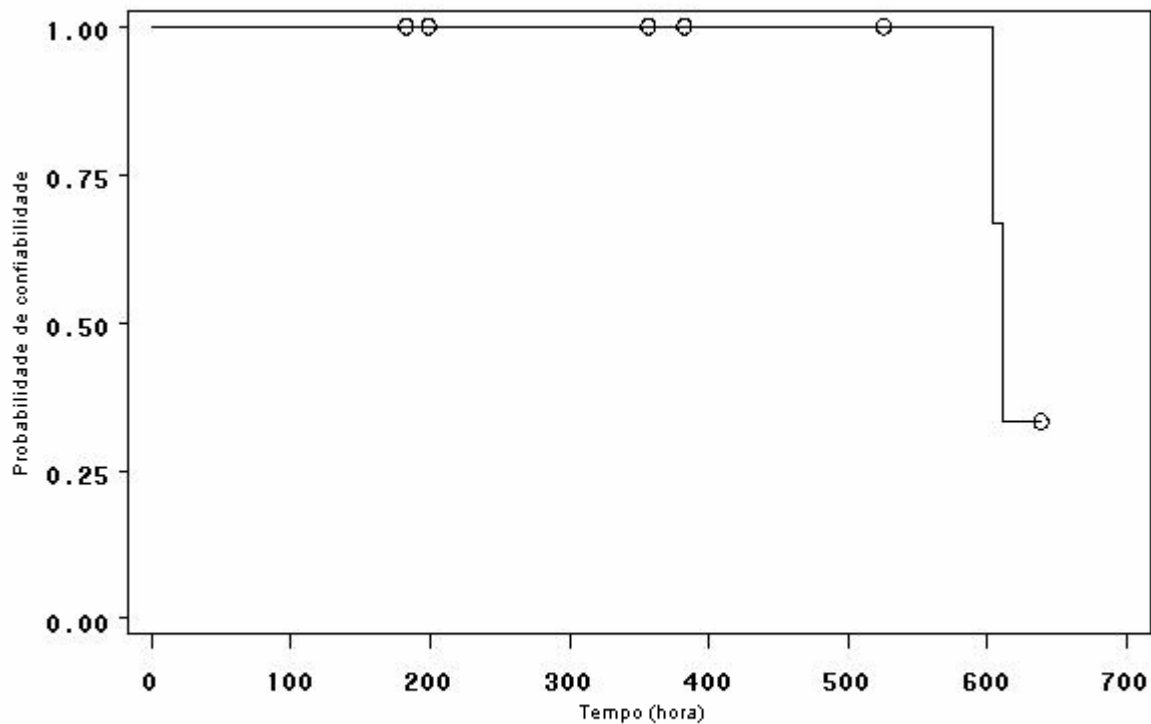


Figura 50. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o silício do óleo lubrificante do motor do trator nº. 4 do grupo 2.

7.3.5 Trator nº 5

Observando-se a Figura 51, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 75,00% em 222 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 445 horas de uso.

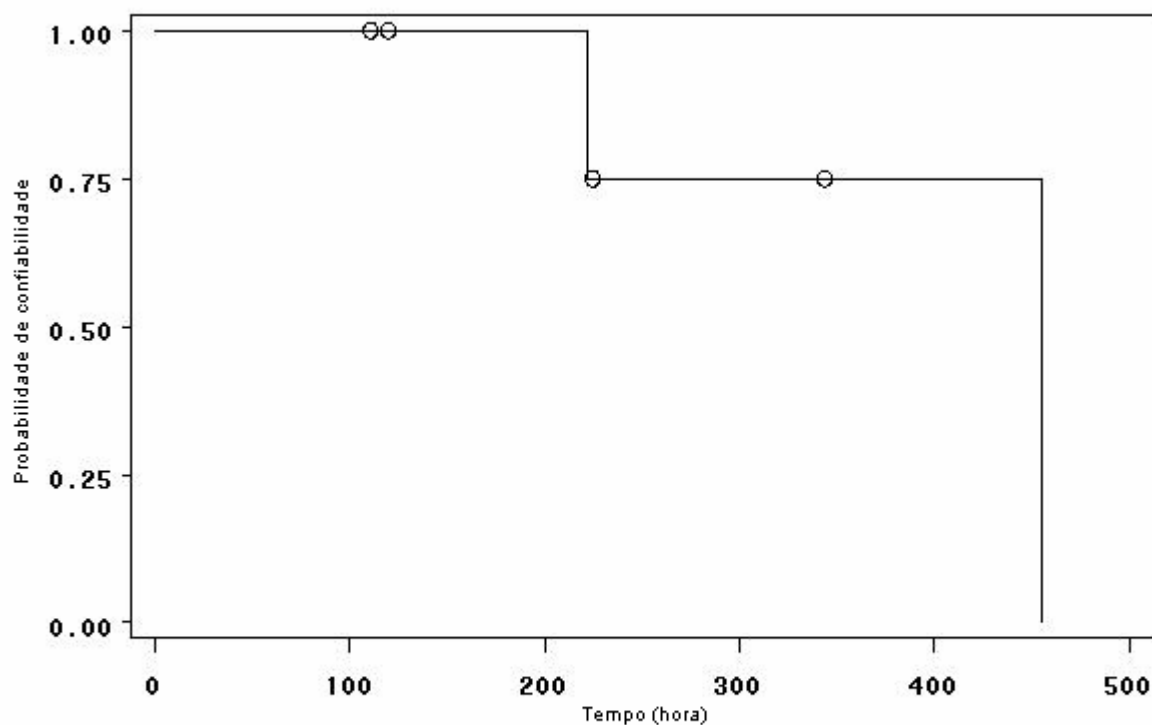


Figura 51. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a troca do óleo lubrificante do motor do trator nº. 5 do grupo 2.

As variáveis explanatórias: viscosidade: ferro, cobre, níquel e alumínio e silício obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 445 horas de uso do óleo lubrificante.

Para o cromo e o chumbo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 50,00% em 222 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 445 horas de uso, conforme Figura 52.

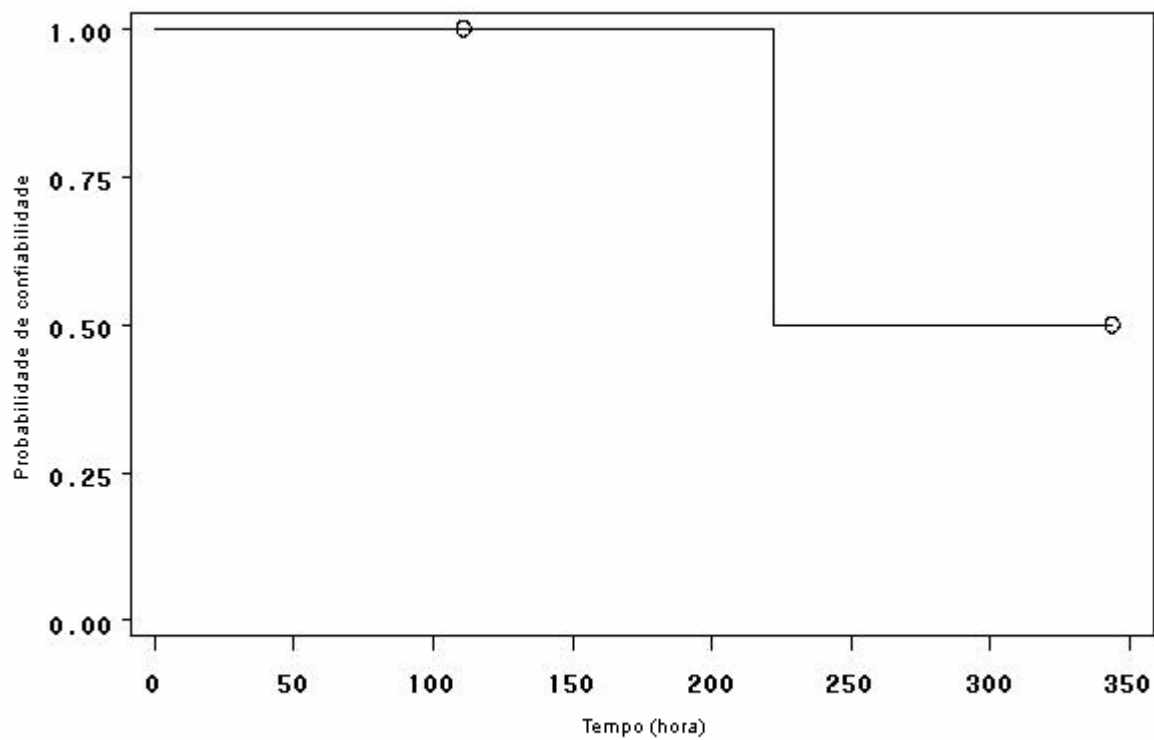


Figura 52. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o cromo e do chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº. 5 do grupo 2.

7.3.6. Trator n. 6

Observando-se a Figura 53, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 149 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 618 horas de uso.

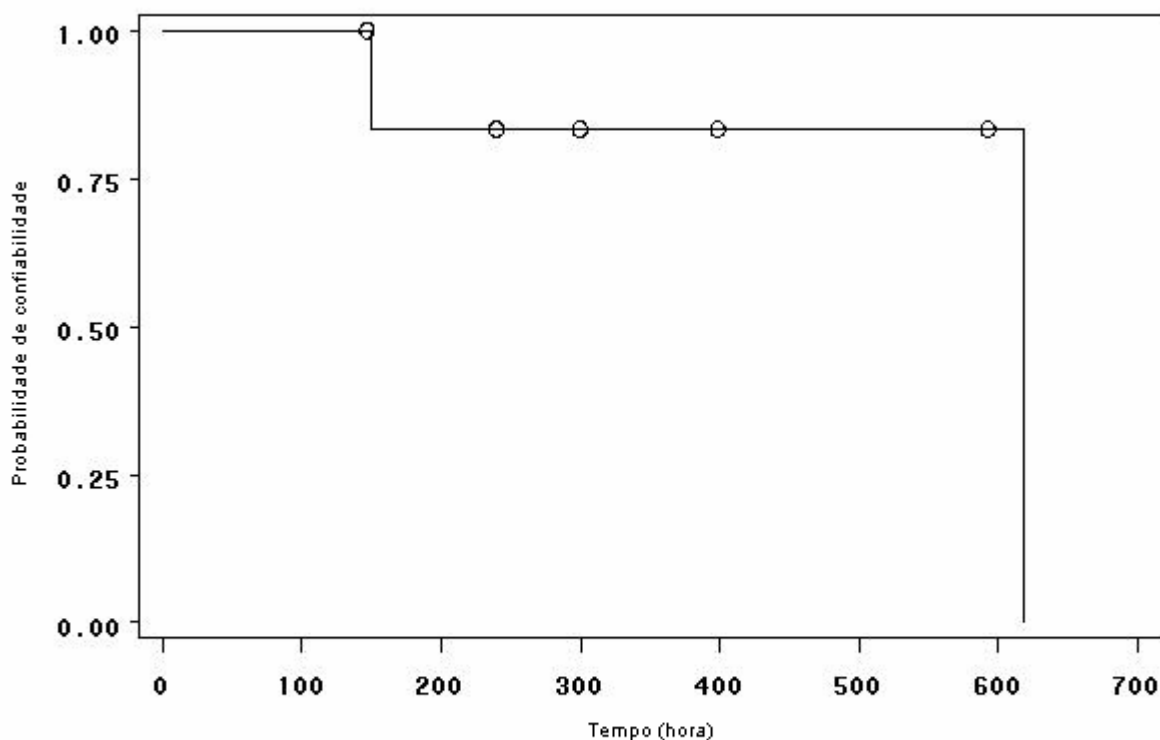


Figura 53. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a troca do óleo lubrificante do motor do trator nº. 6 do grupo 2.

As variáveis explanatórias: viscosidade, diluição por combustível e de desgastes metálicos: ferro, alumínio e silício, obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 618 horas de uso do óleo lubrificante.

Para o cobre e o chumbo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 50,00% em 593 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 618 horas de uso, conforme Figura 54.

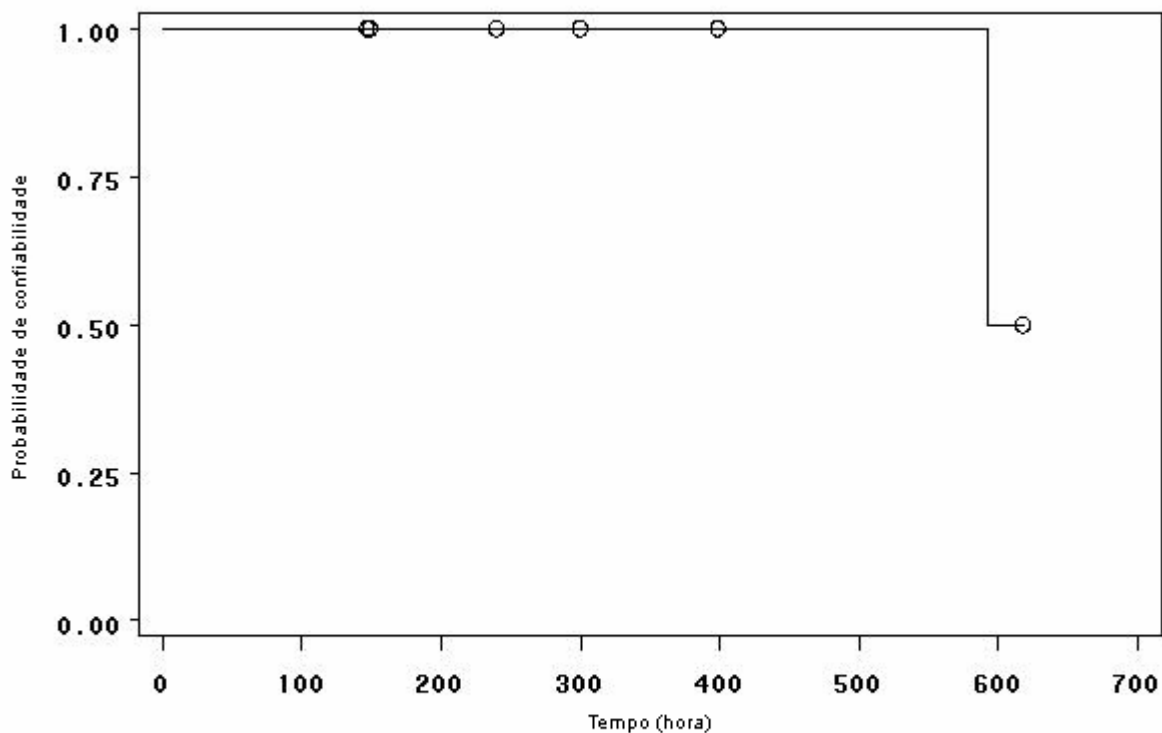


Figura 54. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o cobre e o chumbo do óleo lubrificante do motor do trator nº. 6 do grupo 2.

Para o cromo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 66,67% em 399 horas, em seguida, para 33,33% em 593 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 618 horas de uso, conforme Figura 55.

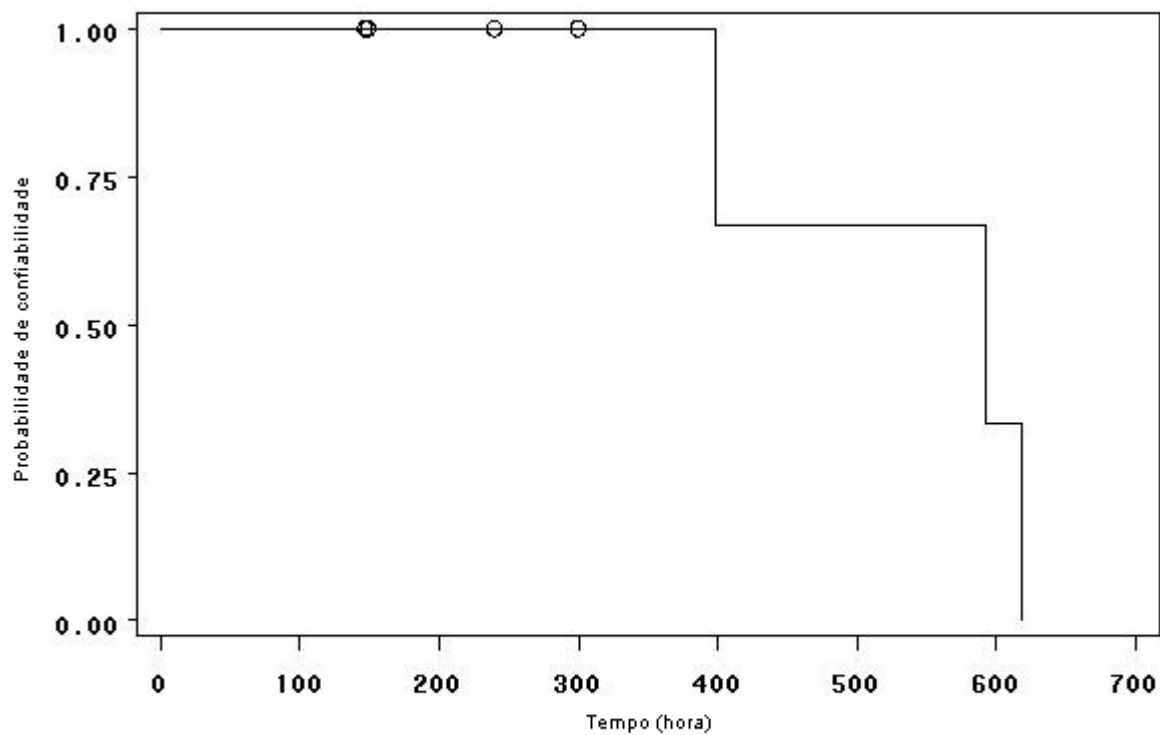


Figura 55. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o cromo do óleo lubrificante do motor do trator nº. 6 do grupo 2.

Para o níquel, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 83,33% em 149 horas, em seguida, para 41,67% em 593 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 618 horas de uso, conforme Figura 56.

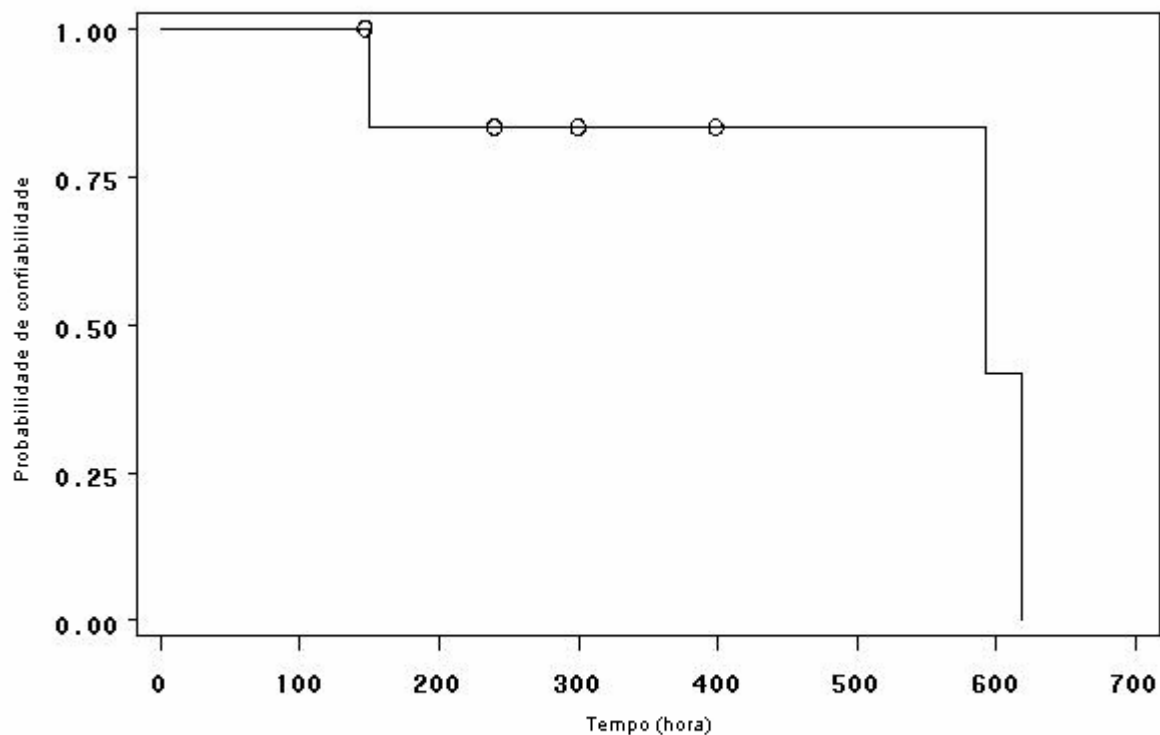


Figura 56. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o níquel do óleo lubrificante do motor do trator nº. 6 do grupo 2.

7.3.7. Trator nº7

Observando-se a Figura 57, verifica-se que a probabilidade de confiabilidade decresceu para 80,00% em 158 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 414 horas de uso.

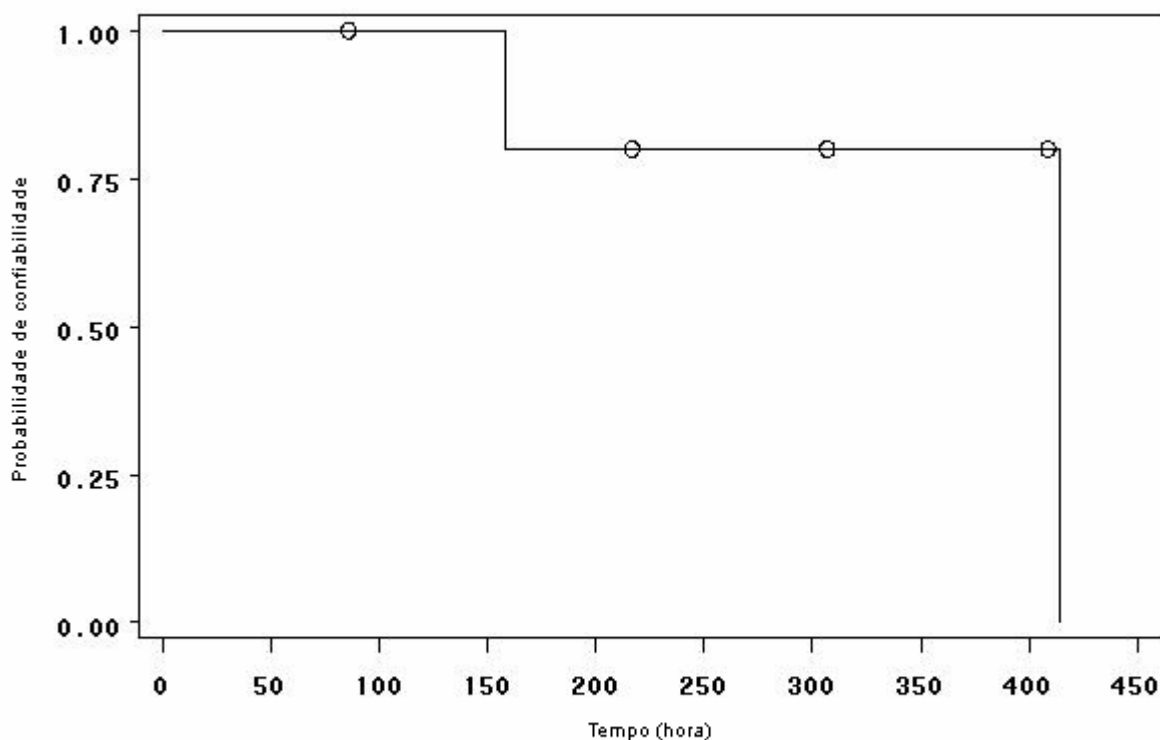


Figura 57. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para a troca do óleo lubrificante do motor do trator nº. 7 do grupo 2.

As variáveis explanatórias: viscosidade e as de desgastes metálicos ferro, cobre, níquel e alumínio, obtiveram 100% de probabilidade de confiabilidade durante o período de 414 horas de uso do óleo lubrificante.

Para o cromo, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 80,00% em 158 horas, depois, para 60,00% em 217 horas, em seguida, para 30,00% em 409 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 414 horas de uso, conforme Figura 58.

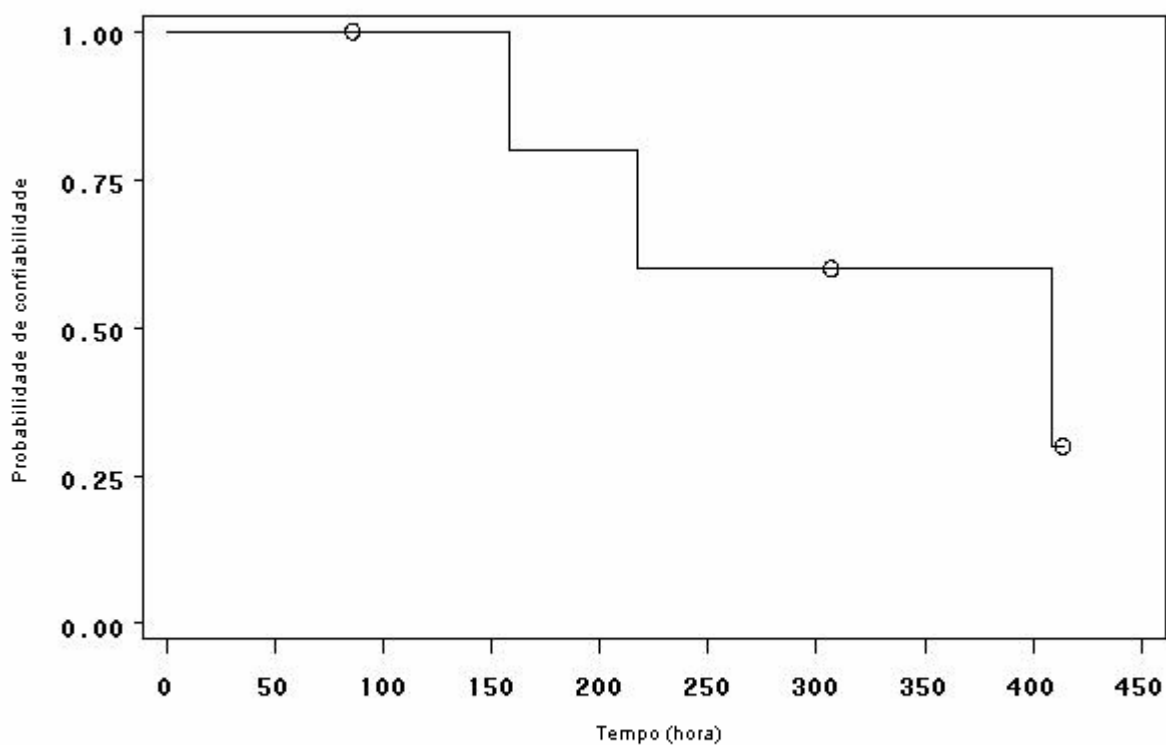


Figura 58. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o cromo do óleo lubrificante do motor do trator nº. 7 do grupo 2.

Para o chumbo e o silício, a probabilidade de confiabilidade decresceu para 50,00% em 409 horas, permanecendo com esse valor até a troca do óleo lubrificante com 414 horas de uso, conforme Figura 59.

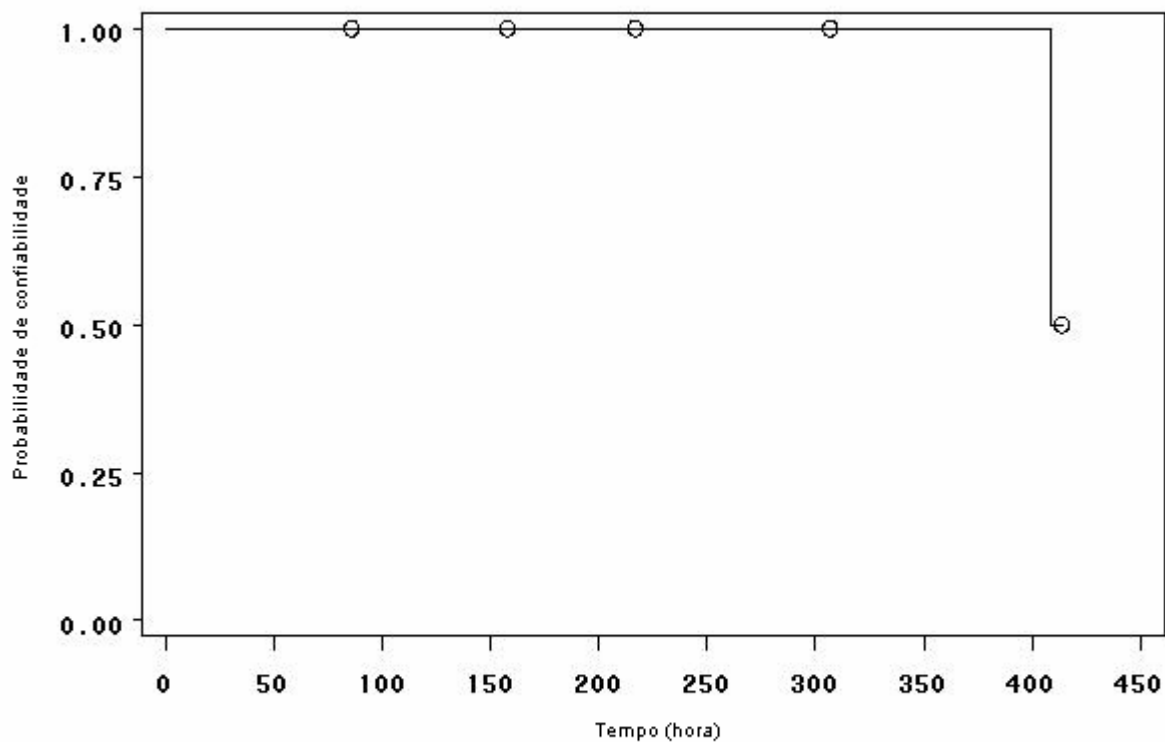


Figura 59. Curva de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier do tempo (em horas) para o chumbo e o silício do óleo lubrificante do motor do trator nº. 7 do grupo 2.

7.4 Influência das variáveis explanatórias na confiabilidade de utilização do óleo lubrificante dos tratores do grupo 2

Os p-valores obtidos do modelo de riscos proporcionais de Cox, para as variáveis explanatórias do grupo 2, encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2. Os p-valores das variáveis explanatórias do grupo 2.

Elemento	p-valor
Viscosidade	0,7414
Ponto de fulgor	-
Diluição por combustível	-
Ferro	0,4904
Cobre	0,6893
Cromo	0,8045
Chumbo	0,0479
Níquel	0,6113
Alumínio	0,3739
Silício	0,7427

Observando-se o Quadro 2, verifica-se que a variável chumbo obteve efeito significativo ($p < 0,05$). Porém, os outros valores para elementos metálicos apresentaram-se confiáveis, desta forma, este efeito isolado não contribuiu para o estabelecimento do tempo de troca do óleo lubrificante dos tratores do grupo 2.

8 CONCLUSÕES

Considerando-se os objetivos deste trabalho pode-se concluir que:

- As estimativas das curvas de confiabilidade permitiram avaliar com segurança o tempo de utilização do óleo lubrificante no motor de tratores agrícolas.
- Foi viável a aplicação do estimador de Kaplan-Meier considerando cada uma das variáveis explanatórias estudadas.
- O modelo de riscos proporcionais de Cox mostrou-se adequado para indicar efeitos das variáveis explanatórias exercidos sobre o período de troca do óleo lubrificante de motores dos tratores dos dois grupos.
- As variáveis explanatórias, viscosidade, ponto de fulgor, fuligem, água e as de desgastes metálicos (Fe, Cu, Cr, Pb, Al e Si) não tiveram efeito significativo sobre o período de 250 horas, estabelecido pelo programa da usina, para a troca do óleo lubrificante de motores dos tratores do grupo 1.
- Embora o chumbo tenha obtido efeito significativo para o conjunto de tratores do grupo 2, as outras variáveis explanatórias se mantiveram dentro da confiabilidade e, este resultado isolado não contribuiu para influir no período de 600 horas estabelecido para a troca do óleo lubrificante do motor desse grupo de tratores.

Desta forma, pode-se afirmar que é seguro a utilização dos óleos lubrificantes nos motores de tratores dos dois grupos analisados, nos períodos de

trocas estabelecidos diferentes das recomendações dos fabricantes, desde que sejam realizadas as análises dos óleos lubrificantes dos motores.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLISON, P. D. **Survival analysis using the SAS system: a practical guide**. Cary: SAS Institute, 1995. 292p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, D-95. **Método de ensaio padrão para água em produtos de petróleo e materiais betuminosos por destilação**. 1970.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, D-92. **Flash point by seta flash closed test**. 1979.

API- American Petroleum Institute. **Motor oil guide**, 1988, 30 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação de água em petróleo e outros materiais betuminosos**, MB 37. 1975.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Método para cálculo do índice de viscosidade**, MB 147. 1965.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação dos pontos de fulgor e de combustão com vaso aberto**, MB 50. 1972.

BONFARINE, H.; RODRIGUES, J.; ACHCAR, J.A. **Análise de sobrevivência**. II Escola de Modelos de Regressão. IME-UFRJ, Rio de Janeiro, 1991.111p.

BORGES, W.S. Modelos probabilísticos em confiabilidade. **In: Colóquio Brasileiro de Matemática, 12**. Rio de Janeiro, 1979.

BORGES, W.S.; COLOSIMO, E.A.; FREITAS, M.A. Métodos estatísticos e melhoria da qualidade: construindo confiabilidade em produtos. **In: Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, 12**. Belo Horizonte: UFMG. Fundação Christiano Ottoni, 1996.

BORMIO, M. R.; LANÇAS, K. P.; FERNANDES, J. C. A influência da variação da viscosidade do óleo lubrificante no desgaste metálico dos tratores agrícolas. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24; 1995, Viçosa. Anais...** Jaboticabal: SBEA, 1995, p. 332.

BORMIO, M. R. **As análises de óleo lubrificante como instrumento de manutenção preventiva de tratores agrícolas**. Botucatu, 1992. 136p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

BORMIO, M. R. **Avaliação da confiabilidade de equipamentos portáteis nas análises de óleos lubrificantes de motores Diesel de tratores agrícolas**. Botucatu, 1995. 97p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

BORMIO, M. R.; LANÇAS, K. P.; FERNANDES, J. C. Avaliação do óleo lubrificante do motor de um trator agrícola. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23; 1994, Campinas. Anais...** Jaboticabal: SBEA, 1994, p. 305.

BORMIO, M. R.; RAZUK, P. C. Avaliação de equipamentos portáteis para análises de óleos lubrificantes de motores Diesel de tratores agrícolas. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.11, n.3, p.1-6, 1996.

BORMIO, M. R.; LANÇAS, K. P.; FERNANDES, J. C. Medição da viscosidade do óleo lubrificante com utilização de viscosímetro portátil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** sbea, 2000. Jaboticabal, 2000.

BORMIO, M. R.; LANÇAS, K. P.; FERNANDES, J. C. Deve-se prolongar o tempo de utilização do óleo do cárter do motor do trator agrícola? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, 2002, Salvador. **Anais...** Jaboticabal: SBEA,2002.

BORMIO, M. R.; LANÇAS, K. P.; FERNANDES, J. C. Importância das trocas do óleo da transmissão de tratores agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia, **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2003. Anais em CD-ROM.

BORIN, A. **Aplicação de quimiometria e espectroscopia no infravermelho no controle de qualidade de lubrificantes**. Campinas, 2003. 103p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica). Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas,.

BOWEN, J. **Analysis del aceite del motor**. Agricultura de las americas, p. 4-15, Março/Abril, 1988.

COLLET, A. **Modelling survival data in medical research**. 1. ed. London: Chapman and Hall, 1994. 347 p.

COLOSIMO, E.A. **Análise de sobrevivência aplicada**. Reunião da RBRAS,46 e SEAGRO, 9, ESALQ-USP, Piracicaba, 2001.

COLOSIMO, E.A.; GIOLO, S.R. **Análise de sobrevivência aplicada**. Ed. Edgard Blüncher. São Paulo, p.367, 2006.

CORSO, S.; ADAMO, R. The application of ferrography in monitoring motor oils during engine development. **Lubrication Engineering**, v. 45, p. 557-564, 1989.

COX, D.R. Regression models and Life-tables(with discussion). **Journal of the Royal Statistical Society**. Serie: B, v.34, p.187-220, London, 1972.

DESQUIBES, G.; ORIVEL, M.; FRANCE, B.P. L`analyse des huiles au service de la maintenance des machines. **SITMA LIAISON – Société des Engéneurs et Technicien du Machinisme Agricole**, v. 25, p. 12-17, 1993.

DETERRE, D. Les matériels agricoles el leur lubrification. **SITMA LIAISON – Société de Engéneurs et Techniciens du Machinisme Agricole**, p. 3-21, octobre, 1991.

ERICKSON, R. W.; TAYLOR JR, W. V. Rapid oil analysis. **Lubrication**, v.70, n.2, p.13-24. 1984.

NEPOMUCENO, L.X. Manutenção preditiva em instalações industriais. São Paulo, Editora Edgard Blüncher, 1985.521 p.

FOX, M.F.; PICKEN, J.D.; PAWLAK, Z. The effect water on the acid-base properties of new and used IC engine lubricating oils. **Tribology International**, v.23, p. 183-187, 1990.

FREITAS, M.A.; COLOSIMO, E.A. **Confiabilidade: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados**. Belo Horizonte: UFMG. Fundação Christiano Ottoni. 1997.

GASPARINI, C.T. Um modelo de laboratório econômico para análises de óleos lubrificantes. **Revista da Associação dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, p. 38-42, 1983 a.

GASPARINI, C.T. Análises programadas de óleos lubrificantes como instrumento de manutenção preventiva. **Revista da Associação dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, p. 43-47, 1983 b.

GASPARINI, C.T.; GERARADI FILHO, L.; TEIXEIRA, J.P.B.; PEDROSO FILHO, A. Implantação de um laboratório para análises de óleos lubrificantes na Usina da Barra S.A. – Açúcar e Álcool. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 4, 1987, Olinda. **Anais...** Anais da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1987, p. 405-416.

GODFREY, D. Clean, dry, oil prolongs life of lubricated machines. **Lubrication Engineering**, v. 45, p. 4-8, 1989.

KAPLAN, E.L.; MEIER, P. Nonparametric estimation from incomplete observations. **Journal of American Statistical Association**, v.53, n.282, p.457-481, Washington, 1958.

LANÇAS, K.P.; BORMIO, M.R. A influência das análises de óleos lubrificantes sobre as trocas de óleos dos motores de tratores agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 1993, p.1499-1507.

LEE, E. **Statistical methods for survival data analysis**. Belmont: Lifetime Learning, 1980. 557p.

MANUTENÇÃO. Sistemas preditivos de manutenção: disponibilidade operacional. **Revista da Associação Brasileira de Manutenção**, n. 51, p. 28-32, 1994.

MARSHALL, E.R. Análise de óleos – uma parte vital da manutenção . **Lubrificação**, v. 79, p. 1-12, 1995.

SAS INSTITUTE, SAS-STAT. **Guide for personal computers**. Cary, 1993. 102 p.

SNOWDEN JR, J.E.; WESTERHEID, J.P. Oil analysis as a significant factor in oil and equipment maintenance. **Lubrication Engineering**, v.32, p.425-432, 1976.

STEENBERGER, J.E. comprehensive lube oil analysis programs: A cost-effective preventive maintenance tool. **Lubrication Engineering**, v.34, p.625-628, 1978.

SCHUMACHER, L.G.; FRISBY, J.C.; HIRES, W.G. Tractor PTO horsepower, filter maintenance and tractor oil analysis. **Applied Engineerring in Agriculture**, v.7, p.625-629, 1991.

SNOOK, W. A. Análise de óleos usados de motores. **Lubrificação**, v.54, n.9, p.97-116, 1968.

STAUFFER, R.D.; THOMPSON, J.L. Improved bench oxidation tests for railroad Diesel engine lubricants. **Lubrication Engineering**, v. 44, p. 416-423, 1988.

TEXACO DO BRASIL S.A. **Boletim Técnico**: Fuligem do combustível. 1967a. 4

10 APÊNDICE

Médias e desvios padrões dos tempos (hora) de troca do óleo lubrificante dos motores dos tratores dos grupos um e dois.

Grupo 1 - Trator	Média	Desvio
1	216,71	25,02
2	227,00	25,61
3	207,44	27,94
4	229,25	21,60
5	227,70	21,28
6	220,71	23,64

Grupo 2 - Trator	Média	Desvio
1	557,67	22,32
2	552,50	18,50
3	290,00	19,63
4	618,00	10,69
5	396,75	71,34
6	539,83	100,91
7	362,80	64,73

Análises do óleo lubrificante do motor de 06 tratores (Bormio,1992)

Trator	Tempo	Indicador	Visc	Ptfulgor	Fuligem	Agua	Fe	Cu	Cr	Pb	Al	Si
1	146	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	191	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	257	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	161	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	165	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	185	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	200	1	0	1	0	0	.	.	.	.	.	.
2	29	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	188	0	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.
2	251	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	124	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	247	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	73	0	1	0	0	0	.	.	.	.	.	.
3	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	72	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	184	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	241	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	67	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	125	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	185	0	1	0	0	0	.	.	.	.	.	.
3	194	0	1	1	0	0	0	1	0	0	.	.
3	251	1	1	1	0	0	.	.	.	.	.	.
3	68	0	1	0	0	0	.	.	.	.	.	.
3	73	1	1	0	0	0	.	.	.	.	.	.
4	63	0	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.
4	69	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
4	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	133	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.
4	131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	188	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4	246	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4	79	0	0	1	0	0	0	0	0	.	0	0
4	86	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

4	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.
4	122	0	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.
4	182	0	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.
4	251	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4	200	0	0	1	0	0	.	.	.	.	.	.
5	63	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	60	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	127	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.	.
5	185	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	247	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	188	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	245	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	75	0	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.
5	124	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	61	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	96	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	128	0	1	0	0	0	.	.	.	.	.	.
6	138	0	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.
6	183	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6	239	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6	66	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	122	0	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.
6	244	1	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.

*Zero – censura.

*Um – falha.

Análises do óleo lubrificante do motor de 07 tratores (Unidade da Barra, 2005)

Trator	Tempo	Indicador	Visc	Ptfulgor	Fe	Cu	Cr	Pb	Ni	Al	Si
1	445	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1
1	519	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
1	113	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	222	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0
1	387	0	0	.	1	1	1	1	1	0	1
1	537	0	0	.	1	1	1	1	1	0	1
1	577	1	0	.	1	1	1	1	1	0	1
2	300	0	1	.	0	0	0	0	0	0	0
2	391	0	1	.	0	0	0	0	0	0	0
2	482	0	0	.	0	0	1	1	0	0	0
2	571	1	0	.	0	0	0	0	0	0	0
2	534	1	1	.	0	1	0	1	0	0	0
3	167	0	1	.	1	0	1	0	0	0	0
3	256	1	0	.	1	0	1	0	1	0	0
3	126	0	0	.	0	0	0	0	0	0	0

