

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Estatística

Lorrane Diniz de Carvalho Silva

**ESTUDO DE CASO SOBRE AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE ÓLEOS
LUBRIFICANTES EM USO MEDIANTE MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA**

Belo Horizonte

2022

Lorrane Diniz de Carvalho Silva

**ESTUDO DE CASO SOBRE AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE ÓLEOS
LUBRIFICANTES EM USO MEDIANTE MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA**

Monografia de especialização apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos exigidos pelo Programa de Pós-Graduação em Estatística, para obtenção do título de Especialista em Estatística, com ênfase em Indústria e Mercado.

Orientador: Prof. Dr. Roberto da Costa Quinino.

Belo Horizonte

2022

2022, Lorrane Diniz de Carvalho Silva.

Todos os direitos reservados

Silva, Lorrane Diniz de Carvalho.

S586e

Estudo de caso sobre avaliação da condição de óleos lubrificantes em uso mediante modelo de regressão logística [manuscrito] / Lorrane Diniz de Carvalho Silva — 2022.

58.f. il.

Orientadora: Roberto da Costa Quinino..

Monografia (especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Estatística.

Referências: 50-52.

1. Estatística. 2. Oleos lubrificantes. 3. Oleos lubrificantes - Análise 4. Análise de regressão. I. Quinino, Roberto da Costa.. II. Universidade Federal de Minas Gerais I. Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Estatística .III.Título.

CDU 519.2 (043)

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Belkiz Inez Rezende Costa

CRB 6/1510 Universidade Federal de Minas Gerais - ICEX



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Estatística
Programa de Pós-Graduação / Especialização
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha
31270-901 – Belo Horizonte – MG

E-mail: pgest@ufmg.br
Tel: 3409-5923 – FAX: 3409-5924

ATA DO 259°. TRABALHO DE FIM DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTATÍSTICA DE LORRANE DINIZ DE CARVALHO SILVA.

Aos quatorze dias do mês de dezembro de 2022, às 15:00 horas, com utilização de recursos de videoconferência a distância, reuniram-se os professores abaixo relacionados, formando a Comissão Examinadora homologada pela Comissão do Curso de Especialização em Estatística, para julgar a apresentação do trabalho de fim de curso da aluna **Lorrane Diniz de Carvalho Silva**, intitulado: “Estudo de caso sobre avaliação da condição de óleos lubrificantes em uso mediante modelo de regressão logística”, como requisito para obtenção do Grau de Especialista em Estatística. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Professor Roberto da Costa Quinino – Orientador, após dar conhecimento aos presentes do teor das normas regulamentares, passou a palavra à candidata para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores com a respectiva defesa da candidata. Após a defesa, os membros da banca examinadora reuniram-se sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foi atribuída a seguinte indicação: a candidata foi considerada Aprovada condicional às modificações sugeridas pela banca examinadora no prazo de 30 dias a partir da data de hoje por unanimidade. O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente Ata, que será assinada por todos os membros participantes da banca examinadora. Belo Horizonte, 14 de dezembro de 2022.

Prof. Roberto da Costa Quinino (Orientador)
Departamento de Estatística / ICEX / UFMG

Danilo Gilberto de Oliveira Valadares
Departamento de Estatística / ICEX / UFMG



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Estatística
Programa de Pós-Graduação / Especialização
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha
31270-901 - Belo Horizonte - MG

E-mail: pgest@ufmg.br
Tel: 3409-5923 – FAX: 3409-5924

DECLARAÇÃO DE CUMPRIMENTO DE REQUISITOS PARA CONCLUSÃO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTATÍSTICA.

Declaro para os devidos fins que Lorrane Diniz de Carvalho Silva, número de registro 2019705588, cumpriu todos os requisitos necessários para conclusão do curso de Especialização em Estatística e que me entregou a versão final corrigida. O trabalho foi apresentado no dia 14 de dezembro de 2022 com o título “Estudo de caso sobre avaliação da condição de óleos lubrificantes em uso mediante modelo de regressão logística”.

Belo Horizonte, 10 de janeiro de 2022

Prof. Roberto da Costa Quinino
Coordenador do curso de
Especialização em Estatística
Departamento de Estatística / UFMG

Prof. Roberto da Costa Quinino
Coordenador da Comissão
do Curso de Especialização
em Estatística

Agradecimentos

Sou grata primeiramente a Deus: sem o fôlego da vida nada seríamos e nada alcançaríamos.

Agradeço aos meus pais, Rogério (*in memoriam*) e Rosane, por tanto me apoiar, me impulsionar e me inspirar. Eu amo muito vocês!

A toda minha família e todos meus amigos por sempre encher minha vida de alegria e de esperança, em especial às minhas avós Ana Lúcia e Maria Isabel.

Agradeço ao meu namorado, Raphael Lucas, por tanto me incentivar e se orgulhar tanto de mim, mesmo nas pequenas conquistas.

Ao professor Roberto Quinino e a todo o Departamento de Estatística, por todo apoio, principalmente nessa fase final do curso. Obrigada por toda a atenção dada no decorrer do curso.

Agradeço e dedico este trabalho às minhas irmãs, Larissa Odilia e Ana Júlia, por sempre me fazerem uma pessoa melhor e me darem tanto amor. Vocês são o motivo de eu nunca desistir.

Resumo

O lubrificante é um material que é inserido entre as superfícies das peças que possuem movimento relativo entre si, de modo a reduzir o atrito existente entre elas. Por possuir maior poder de penetração e poder exercer funções secundárias, como a dissipação do calor que surge a partir desse movimento entre as peças, os óleos lubrificantes são os mais utilizados nos sistemas mecânicos. Tornou-se comum a prática de monitorar a qualidade do óleo lubrificante em uso através de análises de óleo. No entanto, a interpretação dos laudos é uma tarefa difícil, necessitando que o encarregado dessa tarefa tenha grande conhecimento empírico sobre o óleo lubrificante analisado e sua aplicação. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo propor um modelo de enquadramento da condição do óleo em uso, aplicando a técnica estatística de regressão logística em um banco de dados real. A regressão logística foi escolhida, devido às características do problema em questão: a variável de interesse era binária e dependente de um conjunto de outras variáveis. O modelo proposto no trabalho apresentou uma excelente taxa de acertos, valor próximo a 95,5% e utilizou-se apenas 4 variáveis explanatórias, evidenciando que para a classificação de um óleo lubrificante, algumas propriedades são mais importantes que outras, podendo citar a viscosidade, o nível de acidez e a quantidade de partículas presentes no fluido analisado.

Palavras-chave: Óleo lubrificante, condição do lubrificante, análise de óleo, regressão logística.

Abstract

The lubricant is a material inserted between the parts of the surface that have relative movement to each other in order to reduce the friction between them. Lubricating oils are mostly used in mechanical systems because they have greater penetration power and are able to perform secondary functions, such as the dissipation of heat that arises from the movement between parts. It has become a common practice to monitor the quality of lubricating oil in use through oil analysis. However, interpretation of the reports is tough, requiring the person in charge of this task to have considerable empirical knowledge about the lubricating oil analyzed and its application. Therefore, the present work aims to propose a framing model of the condition of oil in use, applying the statistical technique of logistic regression in a real database. We chose Logistic regression due to the characteristics of the problem in question: the variable of interest was binary and dependent on a set of other variables. The model proposed in this work presented an excellent success rate, a value close to 95.5%, and used only four explanatory variables. Our results showed that for the classification of lubricating oil, some properties are more important than others, including viscosity, the level of acidity, and the number of particles present in the analyzed fluid.

Keywords: Lubricating oil, lubricant condition, oil analysis, logistic regression.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Esquema geral de formulação de óleos lubrificantes | 14 |
| Figura 2 : Formato típico de uma curva de Regressão Logística..... | 21 |
| Figura 3 : Diferentes Curvas ROC (Receiver Operating Characteristic) mostrando diferentes classificadores (verde, azul e amarelo)..... | 24 |
| Figura 4 : Gráficos <i>Boxplot</i> das variáveis estudadas | 34 |
| Figura 5 : Gráfico <i>Boxplot</i> das variáveis por tipo de óleo lubrificante (adequados 0 e não adequados 1) | 36 |
| Figura 6 : Curva ROC do modelo de regressão logística proposto..... | 44 |
| Figura 7 : Curva de regressão logística do modelo estudado..... | 45 |
| Figura 8 : Matriz de confusão exemplificativa | 46 |
| Figura 9 : Gráfico de Resíduos versus Observações | 47 |

QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Quadro com os tipos de aditivos utilizados nas diversas formulações de óleos lubrificantes | 14 |
| Quadro 2 – Origem mais provável de elementos químicos em óleo lubrificante | 19 |
| Quadro 3 – Quadro com as propriedades físico-químicas ensaiadas no óleo lubrificante Lubrax Gear 220 | 27 |
| Quadro 4 – Quadro dos principais elementos químicos associados aos aditivos e suas funções nos óleos lubrificantes..... | 29 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Tabela contendo Análises Típicas das principais propriedades físico-químicas da série de óleos lubrificantes da marca LUBRAX, modelo GEAR .. | 16 |
| Tabela 2 – Tabela da classificação ISO 3448:1992 dos Graus de Viscosidade Cinemática (cSt ou mm ² /s) medida a 40°C | 17 |
| Tabela 3 – Tabela contendo os dados de algumas propriedades que foram desconsideradas nas análises estatísticas | 28 |
| Tabela 4 – Análises descritivas das variáveis estudadas..... | 31 |
| Tabela 5 : Classificação dos elementos amostrais discrepantes indicados nos <i>Boxplots</i> das variáveis..... | 33 |
| Tabela 6 : Coeficientes estimados e testes correspondentes do modelo de regressão logística proposto | 41 |
| Tabela 7 : Medidas de ajuste do modelo de regressão logística | 43 |
| Tabela 8 : Testes de qualidade do ajuste do modelo | 44 |
| Tabela 9 : Matriz de confusão dos dados estudados..... | 46 |
| Tabela 10 – Tabela das medidas das variáveis de pontos que não constavam no banco de dados e serão utilizados para validação da ferramenta proposta..... | 47 |
| Tabela 11 : Probabilidades calculadas e enquadramento do óleo pelo modelo de regressão logística proposto | 48 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------|---|
| AGMA | The American Gear Manufacturing Association |
| AUC | Area Under Curve |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| ISO | International Organization for Standardization |
| N04 | Número de partículas maiores que 04 μ m em 100mL de óleo lubrificante |
| N06 | Número de partículas maiores que 06 μ m em 100mL de óleo lubrificante |
| N14 | Número de partículas maiores que 14 μ m em 100mL de óleo lubrificante |
| PPM | Parte Por Milhão |
| ROC | Receiver Operating Characteristic |
| TAN | Total Acid Number |
| VIF | Variance Inflation Factor |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 2. DESENVOLVIMENTO | 13 |
| 2.1. Revisão da Literatura..... | 13 |
| 2.1.1. Óleos Lubrificantes | 13 |
| 2.1.2. Regressão Logística | 19 |
| 2.2. Objetivos..... | 25 |
| 2.2.1. Objetivo Geral..... | 25 |
| 2.2.2. Objetivos Específicos | 25 |
| 2.3. Metodologia | 26 |
| 2.3.1. Banco de Dados | 26 |
| 2.3.2. Análise Estatística dos Dados | 30 |
| 2.4. Resultados e Discussão | 31 |
| 2.4.1 Análise Exploratória dos Dados..... | 31 |
| 2.4.2. Desenvolvimento do Modelo de Regressão Logística..... | 39 |
| 2.4.2. Ajustes do Modelo de Regressão Logística..... | 43 |
| 2.4.3. Aplicação em Elementos Amostrais de fora do Banco de Dados | 47 |
| 3. CONCLUSÃO..... | 49 |
| 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 50 |
| APÊNDICE A: BANCO DE DADOS | 53 |
| APÊNDICE B: DADOS VALIDAÇÃO | 58 |

1. INTRODUÇÃO

Um sistema mecânico pode ser definido como um conjunto de elementos físicos unidos entre si, que tem como objetivo a transmissão de força e de movimento para desempenhar alguma atividade. Para que ocorra tal transmissão, os elementos físicos devem estar em contato uns com os outros, deste modo, o fenômeno físico chamado atrito está presente nesses sistemas. O atrito consiste na força de resistência oriunda do movimento relativo entre corpos, podendo ocasionar o desgaste dos componentes físicos do sistema.

Para minimizar os problemas ocasionados pelo atrito, a grande maioria dos sistemas mecânicos contam também com um sistema de lubrificação, que consiste basicamente na inserção de um material, o lubrificante, entre as superfícies das peças que possuem movimento relativo entre si. A inserção do lubrificante minimiza o atrito, reduz o desgaste e a corrosão, pode dissipar o calor produzido pelo movimento entre as peças e realizar a limpeza de peças nas quais ele tem contato direto, sendo, portanto, essencial para o bom funcionamento de um sistema mecânico.

O lubrificante possui propriedades físicas e químicas que vão se modificando à medida em que o tempo passa. Por isso, de tempos em tempos, deve-se realizar sua troca, de modo a garantir o seu bom desempenho. No entanto, os intervalos entre as trocas são pré-estabelecidos pelos fabricantes dos lubrificantes ou pelos fabricantes das máquinas, não considerando as particularidades de operação que cada máquina pode ter.

A análise de óleo lubrificante é uma ferramenta importante do ponto de vista de manutenção, pois ela indica a qualidade do óleo através do monitoramento de suas propriedades físicas e químicas. Desse modo, a análise de lubrificantes pode indicar tanto problemas relacionados à contaminação externa e ao desgaste, quanto se o óleo precisa de troca ou não, evitando paradas desnecessárias de equipamentos e máquinas e desperdício de lubrificante que ainda está em condições de uso, reduzindo, conseqüentemente, a quantidade de resíduos gerada em cada troca de óleo.

É comum, então, que grades indústrias tenham interesse em desenvolver um plano de manutenção através da análise dos óleos lubrificantes em uso. No entanto, há uma dificuldade no que diz respeito à análise de óleos: a interpretação das

propriedades físicas e químicas do óleo analisado. Isso porque, algumas propriedades que são medidas nas análises não possuem valores de limite inferior e superior tabelados, nem por literatura/normas, nem pelos fabricantes, o que exige um grande conhecimento empírico do analista para definir se o óleo está em boa condição de uso, se necessita de atenção ou se deve ser trocado.

Neste contexto, surgiram várias empresas especializadas em análise de óleos lubrificantes e emissão de laudos que definem a condição do óleo. Conforme a demanda pelas análises de óleos lubrificantes cresce, a quantidade de analistas também deve crescer, mas nem sempre isso ocorre. Além disso, por depender do conhecimento e do olhar do analista para os dados gerados, é comum que o mesmo óleo possua diferentes enquadramentos quanto a sua condição de uso, dependendo do analista que realiza a interpretação.

Este trabalho tem como finalidade aplicar técnica de regressão logística em um banco de dados real, de modo a desenvolver uma ferramenta de apoio na identificação da condição de óleos lubrificantes em uso.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. REVISÃO DA LITERATURA

2.1.1. Óleos Lubrificantes

Os lubrificantes são substâncias simples ou compostas que são inseridas entre superfícies de peças que trabalham em contato entre si, estando elas sujeitas ou não ao deslizamento (ALMEIDA, 2017). Os lubrificantes que são comercializados atualmente podem ser de origem natural, em geral obtidos a partir do refino do petróleo (óleo cru), ou de origem sintética, em geral obtidos a partir da polimerização de compostos relativamente puros (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Quanto às características físicas, os lubrificantes podem ser classificados como (ALMEIDA, 2017):

- Gasosos;
- Líquidos;
- Sólidos;
- Semissólidos (pastosos).

Por possuir elevado poder de penetração, os lubrificantes líquidos são os mais empregados na prática: cerca de 95%, seguido dos semissólidos, que representam cerca de 4% (ALMEIDA, 2017; SILVA et al., 2018).

Os lubrificantes líquidos, sejam de origem natural ou sintética, podem ser combinados com aditivos especiais de modo que suas propriedades químicas e físicas sejam alteradas para otimizar a performance do lubrificante sob determinada aplicação (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006). Existem muitos tipos de aditivos que são utilizados para diferentes finalidades, como mostrado na Quadro 1.

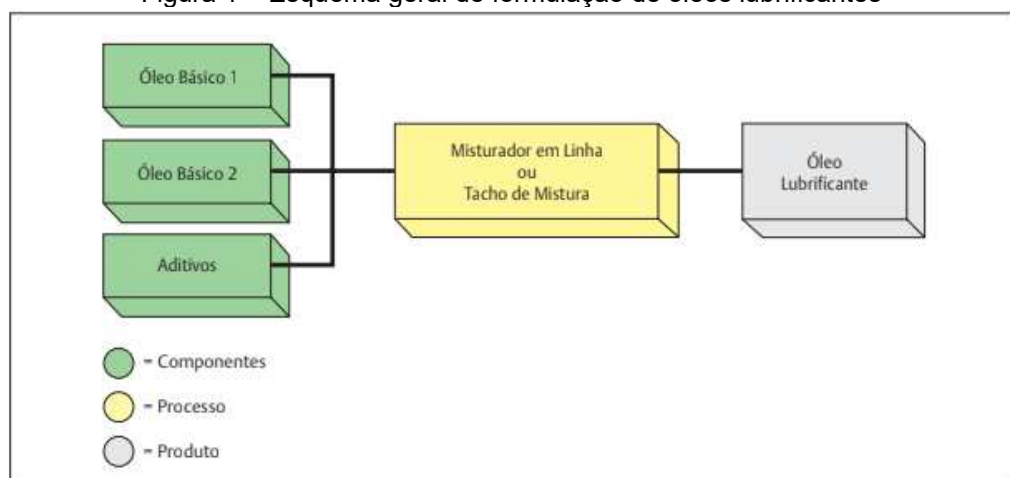
Quadro 1 – Quadro com os tipos de aditivos utilizados nas diversas formulações de óleos lubrificantes

| | | | |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Detergentes | Agentes antidesgaste | Antiferrugem | Biocidas |
| Detergentes alcalinos | Agentes de extrema pressão | Modificadores de fricção | Corantes |
| Dispersantes | Abaixadores do ponto de fluidez | Agentes de adesividade | Aromatizantes |
| Antioxidantes | Melhoradores de Índice de Viscosidade | Emulsificantes | Antimanchas |
| Passivadores de metais | Anticorrosivos | Demulsificantes | Agentes de oleosidade |

Fonte: Adaptado de Carreiro e Belmiro (2006).

Na formulação de óleos lubrificantes, a quantidade de aditivos é menor que a quantidade do lubrificante líquido utilizado como matéria-prima principal: em média os aditivos variam de 0,5% a 28% em volume (DANTAS et al., 2007). Por isso, o lubrificante líquido principal é também chamado de óleo básico. Pode-se definir, então, óleo lubrificante como mistura de óleo(s) básico(s) com aditivos, como exemplificado na Figura 1 (TEXACO, 2005).

Figura 1 – Esquema geral de formulação de óleos lubrificantes



Fonte: Texaco (2005).

As principais propriedades físico-químicas a serem consideradas na seleção de um óleo lubrificante são (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006; TEXACO, 2005):

- Viscosidade: propriedade que determina a resistência ao cisalhamento do fluido. O lubrificante deve ter uma viscosidade tal que mantenha uma película protetora sob a superfície das peças, mas que não prejudique o movimento entre elas.
- Ponto de fluidez: medida da temperatura mínima em que o óleo ainda flui livremente.
- Ponto de fulgor: medida da temperatura mínima em que o óleo desprende vapores que, na presença do ar atmosférico, inflama-se momentaneamente quando aplicado uma chama, provocando um lampejo (flash).
- Índice de Acidez Total (TAN, do inglês *Total Acid Number*): medida da quantidade em miligramas de KOH necessária para neutralizar todos os ácidos presentes em um grama de óleo lubrificante.
- Elementos químicos: as medidas de concentração de elementos químicos, principalmente metálicos, auxiliam no controle da qualidade dos óleos lubrificantes.

O óleo lubrificante quando está em utilização nos mais variados sistemas mecânicos sofre alterações em suas propriedades físico-químicas com o passar do tempo, até se torne impróprio para uso, devido à perda de seu desempenho. As alterações que os óleos lubrificantes estão submetidos podem ser oriundas ou da degradação do próprio óleo lubrificante ou da contaminação do óleo, seja por fonte externa ao sistema de lubrificação, como água, combustíveis ou poeira; seja por desgaste de componentes que estão em contato direto com o óleo.

Para o monitoramento da qualidade do óleo lubrificante em uso, é comum a realização de análises de óleo lubrificante. A análise de óleo consiste em se retirar do sistema mecânico uma pequena porção do óleo em uso e enviar essa amostra recolhida para o laboratório, de modo que se realizem medições das características importantes do óleo e constate sua qualidade. Através dessas medições, consegue-se estabelecer como está o funcionamento geral da máquina, visto que o lubrificante reflete condições anormais de funcionamento, como desgaste e contaminação. Sendo assim, além de ensaios para medir principais propriedades físico-químicas do óleo (viscosidade, TAN, elementos químicos, etc.), também se realiza ensaios adicionais

como: i) Teor de água; ii) Contagem de partículas, iii) Densidade, iv) Insolúveis em pentano; e entre outros (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006; TEXACO, 2005).

Mesmo quando se analisa um óleo novo, é comum que os valores das medidas sejam distintos dos informados pelo fabricante. Isso porque na ficha técnica do produto tem-se a análise típica dele, que é a média das medidas de cada característica, como mostrado na Tabela 1. No entanto, deve-se levar em consideração a especificação do produto, que é definido como o conjunto de faixas de tolerância e limites de enquadramento. Assim, do ponto de vista de degradação, caso o óleo esteja dentro dos limites de especificação, ele está apto para o uso (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006; LUBRAX, 2012).

Tabela 1 – Tabela contendo Análises Típicas das principais propriedades físico-químicas da série de óleos lubrificantes da marca LUBRAX, modelo GEAR

| ANÁLISES TÍPICAS* LUBRAX GEAR | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| GRAU ISO | 32 | 46 | 68 | 100 | 150 | 220 | 320 | 460 | 680 | 1000 | 1500 |
| GRAU AGMA | 0 | 1 | 2(EP) | 3(EP) | 4(EP) | 5(EP) | 6(EP) | 7(EP) | 8(EP) | 8A(EP) | 9(EP) |
| Densidade a 20/4°C | 0,870 | 0,880 | 0,886 | 0,889 | 0,892 | 0,896 | 0,900 | 0,903 | 0,917 | 0,930 | 0,940 |
| Ponto de Fulgor (VA) (°C) | 200 | 232 | 236 | 242 | 258 | 270 | 282 | 290 | 300 | 324 | 330 |
| Ponto de Fluidez (°C) | -12 | -21 | -15 | -15 | -18 | -15 | -12 | -9 | -6 | -3 | -3 |
| Viscosidade a 40°C (cSt) | 32,0 | 48,6 | 70,3 | 103,9 | 156,0 | 233 | 327 | 472 | 673 | 1051 | 1545 |
| Viscosidade a 100°C (cSt) | 5,50 | 7,17 | 9,00 | 11,85 | 15,4 | 19,90 | 24,9 | 31,8 | 37,6 | 46,7 | 57,1 |
| Índice de Viscosidade | 110 | 106 | 102 | 103 | 100 | 98 | 99 | 98 | 92 | 85 | 81 |
| Corrosão a Lâmina de Cobre 3h, 100°C | 1b | 1b | 1b | 1b | 1b | 1b | 1b | 1b | 1b | 1b | 1b |

*As Análises Típicas representam os valores modais da produção, não constituindo especificações. Para informações mais detalhadas primeiramente consulte nossa assistência técnica.

Fonte: Lubrax (2012).

Alguns fabricantes de óleos lubrificantes deixam suas especificações detalhadas de acordo com normas técnicas reconhecidas internacionalmente, como por exemplo, normas ISO (International Organization for Standardization), AGMA (The American Gear Manufacturing Association), DIN (Deutsches Institut für Normung), etc. No entanto, vale ressaltar que tais normas estabelecem limites apenas para uma ou poucas propriedades físico-químicas. Por exemplo, os graus do Sistema ISO são estabelecidos de acordo com a viscosidade do óleo industrial na temperatura de 40°C e para que o óleo seja indicado com determinado grau, deve ter viscosidade de mais ou menos 10% desse grau. Assim, um óleo cujo grau ISO é 220 deve possuir viscosidade entre 198cSt a 242cSt, como mostra a Tabela 2 (PETRONAS, 2008).

Tabela 2 – Tabela da classificação ISO 3448:1992 dos Graus de Viscosidade Cinemática (cSt ou mm²/s) medida a 40°C

| ISO GRAU DE VISCOSIDADE | LIMITES DA VISCOSIDADE CINEMÁTICA | | | ISO GRAU DE VISCOSIDADE | LIMITES DA VISCOSIDADE CINEMÁTICA | | |
|-------------------------|-----------------------------------|-------|------|-------------------------|-----------------------------------|-------|------|
| | MÍN. | MÉDIA | MÁX | | MÍN. | MÉDIA | MÁX |
| ISO VG 2 | 1,98 | 2,2 | 2,42 | ISO VG 68 | 61,2 | 68 | 74,8 |
| ISO VG 3 | 2,88 | 3,2 | 3,52 | ISO VG 100 | 90 | 100 | 110 |
| ISO VG 5 | 4,14 | 4,6 | 5,06 | ISO VG 150 | 135 | 150 | 165 |
| ISO VG 7 | 6,12 | 6,8 | 7,48 | ISO VG 220 | 198 | 220 | 242 |
| ISO VG 10 | 10 | 10 | 11 | ISO VG 320 | 288 | 320 | 352 |
| ISO VG 15 | 13,5 | 15 | 16,5 | ISO VG 460 | 414 | 460 | 506 |
| ISO VG 22 | 19,8 | 22 | 24,2 | ISO VG 680 | 612 | 680 | 748 |
| ISO VG 32 | 28,8 | 32 | 35,2 | ISO VG 1000 | 900 | 1000 | 1000 |
| ISO VG 46 | 41,4 | 46 | 50,6 | ISO VG 1500 | 1350 | 1500 | 1650 |

Fonte: Lobo (2020).

Por possuir poucas padronizações, ao longo dos anos muitos estudos foram realizados para entender como o óleo lubrificante modificava suas propriedades com o tempo de uso e como as medidas dessas propriedades refletiam falhas nos sistemas mecânicos, tentando, assim, estabelecer o melhor momento para a troca de óleo. Também foram estudadas quais propriedades são mais críticas do ponto de vista de aplicação em determinado sistema mecânico.

No geral, as propriedades físico-químicas mais importantes a serem interpretadas em uma análise de óleos usados são *i)* Densidade; *ii)* Viscosidade; *iii)* Ponto de Fulgor; *iv)* Neutralização – TAN –; *v)* Teor de água; *vi)* Contagem de partículas/Sedimentos; e *vii)* Elementos químicos, conforme descrito a seguir (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006; GREBENISAN; SALEM; BOGDAN, 2018).

- Densidade: em geral, a densidade aumenta à medida que a oxidação do óleo lubrificante progride, além de apontar contaminação por outros produtos.
- Viscosidade: principal parâmetro de avaliação, independente de qual sistema mecânico avaliado, sendo que o aumento de viscosidade possui tolerância maior que sua diminuição.

- Ponto de Fulgor: quando o óleo está contaminado com combustíveis, há diminuição do ponto de fulgor.
- Neutralização – TAN –: quanto maior a oxidação do óleo lubrificante, maior o teor de acidez
- Teor de Água: sempre indesejada.
- Contagem de partículas/Sedimentos: indica o grau de limpeza do óleo lubrificante, podendo ser utilizado para detecção de grandes falhas do sistema, quando encontra-se grande quantidade de partículas grandes.
- Elementos Químicos: Os elementos químicos metálicos encontrados nos óleos lubrificantes em geral são oriundos ou do desgaste de componentes do sistema mecânico, ou dos contaminantes, ou ainda dos aditivos adicionados. É um parâmetro de difícil padronização dos limites mínimos e máximos, visto que os fabricantes de óleo não disponibilizam suas análises típicas ou especificações dos elementos, uma vez que a composição de alguns óleos e seus pacotes de aditivos são patenteados (WOODWARD; LIN; VELA, 2015). O único elemento que normalmente possui um valor máximo permissível é a sílica (Si, que pode atingir cerca de 15 partes por milhão (ppm), ou seja 0,0015% em volume. O Quadro 2 descreve os principais elementos químicos encontrados em óleos lubrificantes usados e suas origens mais prováveis (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006; NORIA LATÍN AMÉRICA S.A., 2014).

Quadro 2 – Origem mais provável de elementos químicos em óleo lubrificante

| Elemento químico | Símbolo | Origem |
|------------------|---------|---------------------------------|
| Alumínio | Al | Metal de desgaste, contaminante |
| Cobre | Cu | Metal de desgaste, aditivo |
| Cromo | Cr | Metal de desgaste |
| Ferro | Fe | Metal de desgaste |
| Silício | Si | Contaminante, aditivo |
| Chumbo | Pb | Metal de desgaste |
| Zinco | Zn | Metal de desgaste, aditivo |
| Estanho | Sn | Metal de desgaste |
| Molibdênio | Mo | Metal de desgaste, aditivo |
| Níquel | Ni | Metal de desgaste |
| Cálcio | Ca | Aditivo, contaminante |
| Sódio | Na | Contaminante, aditivo |
| Prata | Ag | Metal de desgaste |
| Boro | B | Aditivo, contaminante |
| Bário | Ba | Aditivo |
| Magnésio | Mg | Aditivo, contaminante |
| Manganês | Mn | Metal de desgaste |
| Fósforo | P | Aditivo |
| Titânio | Ti | Metal de desgaste |
| Vanádio | V | Metal de desgaste, contaminante |

Fonte: Noria (2014).

2.1.2. Regressão Logística

Independente da área estudada, é frequente encontrar situações em que há múltiplas variáveis para serem analisadas simultaneamente. Pode-se citar em especial, os casos em que uma variável de interesse (variável resposta) depende de outras variáveis (variáveis preditoras). Nestes casos, os modelos estatísticos que explicam as relações entre essas variáveis, através de equações matemáticas, são chamados de modelos de regressão. Quando a variável resposta é dicotômica ou binária, o modelo de regressão é designado Modelo de Regressão Logística (PAULA; DINIZ, 2022).

A Regressão Logística é uma técnica estatística que permite estimar a probabilidade de ocorrência de determinado evento frente a um conjunto de variáveis preditoras. É utilizada principalmente para *i)* prever riscos, *ii)* classificar indivíduos em categorias e *iii)* determinar quais as características mais importantes para classificar determinado grupo (COLOSIMO, 2019). O modelo de Regressão Logística pode ser escrito pela Equação 1:

$$P(Y_i = 1|x_i) = \frac{e^{g(x)}}{1 + e^{g(x)}} \quad (1)$$

Onde, $P(Y_i|x_i)$ é a probabilidade de Y, dado um valor de x;

Y_i é a variável resposta, podendo assumir valores 0 ou 1;

x_i refere-se às variáveis preditoras, onde $i = 1, 2, 3, \dots, n$, sendo n o tamanho amostral;

e $g(x)$ corresponde à equação:

$$g(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$$

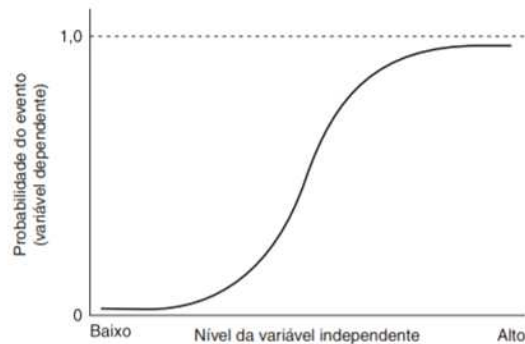
Onde, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ são coeficientes a serem estimados a partir do conjunto amostral. Os coeficientes são determinados pelo método da máxima verossimilhança (HOSMER; LEMESHOW, 2000). Através dos coeficientes estimados, é possível examinar o impacto da variável na probabilidade de um evento ocorrer. Por exemplo, se o coeficiente for positivo, a probabilidade do evento ocorrer aumenta conforme o valor da variável preditora aumenta. Caso o coeficiente seja negativo, a probabilidade diminui conforme o valor da variável preditora aumenta.

O método da máxima verossimilhança consiste na determinação de $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_p$ que maximiza a função de verossimilhança expressa pela Equação 2. Este é o método padrão de alguns softwares como o Minitab®.

$$L(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_p | X) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{e^{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_p x_{ip}}}{1 + e^{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_p x_{ip}}} \right)^{y_i} \left(1 - \frac{e^{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_p x_{ip}}}{1 + e^{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_p x_{ip}}} \right)^{1-y_i} \quad (2)$$

Após obter os coeficientes da regressão estimados, utiliza-se os valores das variáveis de modo a encontrar $\widehat{g}(x)$, que podem ser chamados de escores, e a partir dos escores encontra-se a probabilidade individual de cada elemento amostral. A curva característica de uma regressão logística é em formato de “S”, como mostrado na Figura 2:

Figura 2: Formato típico de uma curva de Regressão Logística



Fonte: Smolski (2022).

A Regressão Logística possui como grande vantagem a estimação direta sobre a probabilidade de ocorrência de determinado evento. Além disso, não é necessário supor normalidade para as variáveis (CARVALHO; GÓES, 2018). Quando se utiliza dessa técnica para discriminar dois grupos, utiliza-se de um termo conhecido como “ponto de corte”. Esse termo é considerado o limite para classificar um indivíduo como pertencente a um grupo ou a outro. Usualmente o valor de 0,5 é utilizado, assim:

$$\text{Se } \begin{cases} P(Y = 1) > 0,5, \text{ então classifica - se como } Y = 1 \\ P(Y = 1) < 0,5, \text{ então classifica - se como } Y = 0 \end{cases}$$

Quando se tem muitas variáveis preditoras no caso em estudo, é preciso definir um procedimento de seleção de variáveis para desenvolver o melhor modelo de regressão logística. No geral, os modelos de regressão logística utilizam da menor quantidade possível de variáveis preditoras. Isso porque quanto maior o número de variáveis incluídas no modelo, maiores serão os erros padrões estimados e, então, mais dependente dos dados observados o modelo será (HOSMER; LEMESHOW, 2000).

Há três principais abordagens aplicadas para a seleção de variáveis. São elas: *i)* Forward, *ii)* Backward e *iii)* Stepwise. Na abordagem Forward, inicia-se com um

modelo vazio que contém apenas o intercepto e vai-se adicionando as variáveis uma a uma. No método Backward, todas as variáveis são inseridas no modelo de regressão e retira-se as variáveis desnecessárias, uma a uma. Já na abordagem Stepwise, inicia-se com um modelo mais simples, como no método Forward, mas a cada etapa de inserção de uma variável, tem-se uma nova verificação, de modo a retirar do modelo uma variável menos significativa, assemelhando-se nessa etapa ao método Backward. Repete-se o processo até que não haja mais variáveis para serem retiradas ou colocadas no modelo (MASIERO; ANZANELLO; GUSBERT, 2012).

Os modelos de regressão logística são sensíveis ao fenômeno de multicolinearidade, que é a correlação ou associação existente entre duas ou mais variáveis preditoras (FÁVERO *et al.*, 2009). Há um critério bastante utilizado para a identificação de multicolinearidade, conhecido como Variance Inflation Factor (VIF). Se nenhuma preditora estiver correlacionada, o valor de VIF é de 1. Caso haja alguma correlação moderada, o VIF será maior que 1. No entanto, para a maioria dos problemas estatísticos estudados, o VIF só se torna problemático quando possuir valores um pouco maiores: valores entre 5 e 10, indicam alta correlação entre as preditoras e valores maiores que 10, indicam que os coeficientes da regressão estão mal estimados devido à altíssima correlação entre as variáveis preditoras. Assim, uma solução é construir um novo modelo de regressão, sem a variável que apresenta tal problema de multicolinearidade, e reavaliar o modelo resultante (MINITAB, 2019).

Depois de obter o modelo, é preciso verificar se os dados estão bem ajustados a ele. Os principais testes utilizados são: Resíduos de Pearson, Resíduos Deviance e Teste Hosmer-Lemeshow. Todos os testes possuem a mesma hipótese nula, H_0 , onde H_0 = “Os dados estão bem ajustados ao modelo” e o nível de significância, α , geralmente é de 5% (MINITAB, 2022).

Os dois primeiros testes citados, Resíduos Pearson e Resíduos Deviance, como o próprio nome indica, realiza o diagnóstico de ajuste dos dados ao modelo de regressão logística proposto a partir dos resíduos. O resíduo é a diferença entre o valor observado e o valor estimado pelo modelo. Esses dois testes dependem do formato dos dados (MINITAB, 2022).

No caso do Teste Hosmer-Lemeshow a comparação se dá em relação à frequência observada e a prevista de eventos e não eventos, de modo que indica se houve ou não uma diferença significativa do ponto de vista estatístico para avaliar se o modelo se ajusta adequadamente aos dados. Esse teste utiliza a distribuição qui-

quadrado para se determinar se a frequência esperada está próxima da frequência observada (HOSMER; LEMESHOW, 2000; MINITAB, 2022).

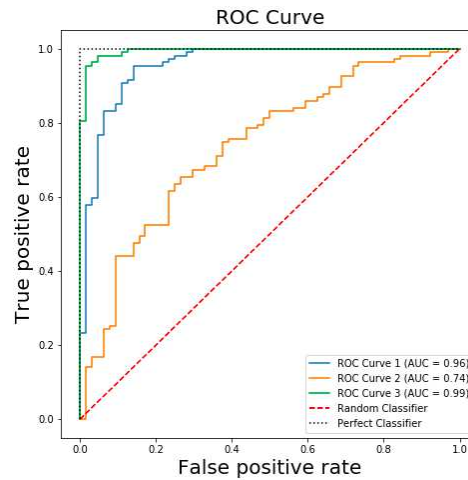
Uma outra ferramenta bastante útil para avaliar a capacidade de predição do modelo é a Curva Característica de Operação do Receptor ou somente Curva ROC (do inglês Receiver Operating Characteristic Curve). A curva ROC é obtida a partir de duas medidas: a especificidade e a sensibilidade. A sensibilidade consiste em classificar um evento como positivo e acertar. Já a especificidade se refere a classificar um determinado evento como negativo e acertar. A curva ROC é obtida da relação entre a taxa de verdadeiros positivos (eixo x) contra a taxa de falsos positivos (eixo y) – que é o resultado obtido da equação $1 - \text{especificidade}$ – (POLO; MIOT, 2020).

A área sob a curva ROC, ou AUC (do inglês, Area Under Curve), é empregada como uma medida de desempenho do modelo, avaliando se ele é um bom discriminador de um evento como positivo ou negativo. De forma geral, os valores da AUC são interpretados como (POLO; MIOT, 2020):

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,5 - 0,6: \textit{p\acute{e}ssimo} \\ 0,6 - 0,7: \textit{ruim} \\ 0,7 - 0,8: \textit{pobre} \\ 0,8 - 0,9: \textit{bom} \\ > 0,9: \textit{excelente} \end{array} \right.$$

O formato geral de uma curva ROC é mostrado na Figura 3 pelas curvas de cores verde, azul e amarela. A curva verde apresenta maior AUC, logo é o melhor discriminador, comparativamente. A curva amarela possui AUC menor de todas e é o pior discriminador, comparativamente. O discriminador perfeito é representado pela linha pontilhada preta, na qual a taxa de verdadeiros positivos é 1 e a taxa de falsos positivos é 0. Logo, outra maneira de avaliar visualmente qual modelo discrimina melhor os dados é considerar se a curva referente ao modelo se aproxima do ponto (0,1).

Figura 3: Diferentes Curvas ROC (Receiver Operating Characteristic) mostrando diferentes classificadores (verde, azul e amarelo)



Fonte: Kumar (2020).

Na Regressão Linear (regressão em que as variáveis preditoras se relacionam com a variável resposta de forma linear, resultando em uma equação de uma reta) o coeficiente de determinação, também chamado de R^2 , é uma medida comumente utilizada para verificar o ajuste do modelo. No entanto, quando se trata de Regressão Logística, deve-se utilizar o R^2 com bastante cautela, pois é comum que modelos bem ajustados de Regressão Logística, possuam valores baixos de R^2 (HOSMER; LEMESHOW, 2000). Isso porque, o R^2 na Regressão Logística é calculado pelo método da máxima verossimilhança através de um processo iterativo. Já o R^2 da Regressão Linear é calculado pelo método dos mínimos quadrados, que é estimado visando minimizar a variância (FÁVERO *et al.*, 2009; SANTOS, 2011).

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. Objetivo Geral

Propor um modelo de enquadramento da condição de uso de óleos lubrificantes utilizando a técnica de regressão logística aplicada em um banco de dados real.

2.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Verificar se o modelo a ser proposto conseguiria distinguir bem os grupos de óleos em boas condições de uso daqueles que exigiam monitoramento;
- Avaliar se a técnica de regressão logística seria viável para reduzir a dimensionalidade do problema, visto que se tratava de um caso com várias variáveis;
- Aplicar elementos amostrais de fora do banco de dados para verificar se o modelo corroborava com o enquadramento realizado pelos analistas.

2.3. METODOLOGIA

2.3.1. Banco de Dados

O banco de dados com as variáveis das análises dos óleos lubrificantes foi fornecido pela empresa Laboroil LTDA. A Laboroil é uma empresa prestadora de serviços que realiza análises em óleos lubrificantes com a finalidade de identificar as condições do óleo utilizado e as possíveis falhas do equipamento.

O processo de análises inicia-se com a coleta da amostra de óleo a ser analisada, posteriormente seu acondicionamento e envio para a Laboroil. Essas etapas iniciais são de responsabilidade da empresa contratante. São etapas que podem influenciar nos dados gerados na análise de óleos lubrificantes, no entanto, como não se tem acesso direto ao momento da coleta, considera-se que não há variações nas condições de amostragem.

Quando a amostra fornecida pela empresa contratante é recebida na Laboroil, ela recebe um número de controle interno e iniciam-se as análises solicitadas. Apenas uma porção do óleo coletado é utilizado. Ao final das análises, o óleo que não é utilizado é então estocado para rastreabilidade e controle, caso seja necessário uma contraprova das análises feitas.

Com os resultados em mãos, analistas da Laboroil enquadram o óleo analisado em “Ok”, que é o óleo em plena condição de uso; “Atenção”, que é o óleo que possui alguma(s) propriedade(s) um pouco divergentes das propriedades do óleo novo/sem uso, necessitando de monitoramento; “Trocar”, que é o óleo inadequado para o uso, já que suas propriedades não condizem com a especificação do óleo lubrificante inicialmente utilizado, fazendo com que haja perda das funções indicadas pelo fabricante. Assim, como na etapa de amostragem não se tem controle sobre o processo de coleta, na realização desse trabalho também não se tem acesso quanto ao(s) analista(s).

O banco de dados utilizado no trabalho fornece dados do óleo lubrificante “Lubrax Gear 220”. É um óleo utilizado em circuitos de engrenagens fechadas e também em redutores industriais que operam sob elevadas cargas de trabalho, segundo o Lubrax (2012). Ainda segundo o fabricante, esse óleo apresenta aditivos anticorrosivos, antiespumantes, antioxidantes, abaixadores do ponto de fluidez e agentes de extrema pressão, no entanto, sem indicar quais seriam esses aditivos ou

as análises típicas de elementos químicos. Também é informado que o óleo é isento de chumbo.

No banco de dados constavam informações sobre o mês de coleta (Mês), obra da coleta (Obra), equipamento que foi coletado o óleo (Equipamento), enquadramento sobre a condição do óleo (Condição), resumo do laudo da amostra e dados sobre propriedades físico-químicas das amostras. As propriedades físico-químicas contidas no banco de dados estão indicadas no Quadro 3:

Quadro 3 – Quadro com as propriedades físico-químicas ensaiadas no óleo lubrificante Lubrax Gear 220

| Propriedades Físico-Químicas | Unidade |
|---|------------------|
| Viscosidade a 40°C | cSt |
| Número Total de Acidez (TAN) | mgKOH/g |
| Alumínio | ppm |
| Cobre | ppm |
| Cromo | ppm |
| Ferro | ppm |
| Silício | ppm |
| Chumbo | ppm |
| Zinco | ppm |
| Estanho | ppm |
| Molibdênio | ppm |
| Níquel | ppm |
| Cálcio | ppm |
| Sódio | ppm |
| Prata | ppm |
| Boro | ppm |
| Bário | ppm |
| Magnésio | ppm |
| Manganês | ppm |
| Fósforo | ppm |
| Titânio | ppm |
| Vanádio | ppm |
| Número de Partículas > 04µm (N04) | Partículas/100mL |
| Número de Partículas > 06µm (N06) | Partículas/100mL |
| Número de Partículas > 14µm (N14) | Partículas/100mL |
| Índice de Partículas Ferrosas (IPF) | - |
| Teor de Água Volumétrica (Água Volumétrica) | ppm |

Fonte: O autor.

As propriedades que foram medidas constavam no pacote de ensaios mínimos para os compartimentos de engrenagens que é oferecido pela empresa Laboroil. Esse pacote de ensaios mínimos foi desenvolvido utilizando-se do *know-how* da empresa no setor de análise de óleos lubrificantes, podendo o contratante solicitar mais análises.

Inicialmente, algumas propriedades medidas foram desconsideradas para realizar as análises estatísticas. Isso porque algumas medidas como nível de Estanho, Níquel, Prata, Titânio e Vanádio, possuíam todos o mesmo valor de concentração para os elementos químicos: 0,1ppm. O valor indicado de 0,1 é valor do limite de detecção inferior do equipamento utilizado para as análises. A Laboroil padronizou seus laudos de forma que, todos os elementos em que a concentração encontrada fosse abaixo do limite de detecção inferior, apresentassem valor de 0,1. Isso significa que, o valor encontrado pode estar abaixo de 0,1 e não exatamente 0,1. Já as propriedades Alumínio, Cromo, Chumbo, Boro, Bário e Manganês tiveram apenas poucas medidas diferentes no conjunto de dados, indicando que a variável não era significativa para o enquadramento da condição do óleo, como se pode notar na Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela contendo os dados de algumas propriedades que foram desconsideradas nas análises estatísticas

| Amostra | Condição | Alumínio | Cromo | Chumbo | Estanho | Níquel | Prata | Boro | Bário | Manganês | Titânio | Vanádio |
|---------|----------------|----------|-------|--------|---------|--------|-------|------|-------|----------|---------|---------|
| 1 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 2 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 3 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 4 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 5 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 6 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 7 | Trocar/Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 8 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 9 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,15 | 0,1 | 0,1 |
| 10 | Ok | 0,61 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 11 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 12 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 13 | Trocar | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 14 | Trocar/Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 5,17 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 15 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 16 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 17 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,91 | 0,1 | 0,1 |
| 18 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 19 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 20 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 21 | Ok | 0,1 | 0,1 | 1,82 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 22 | Ok | 0,1 | 0,13 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 23 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 24 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 25 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 26 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 27 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 28 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 29 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 30 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,47 | 0,1 | 0,1 |
| 31 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 32 | Ok | 0,72 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 33 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 34 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 35 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 36 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 37 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 38 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 39 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 40 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,23 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 41 | Ok | 0,1 | 0,1 | 6,91 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,1 |
| 42 | Ok | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 43 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 44 | Atencao | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

Fonte: O autor.

Outras propriedades como Silício, Cálcio, Sódio, Fósforo e Magnésio também foram desconsideradas. A escolha de não se utilizar essas propriedades do óleo lubrificante como variáveis das análises se deu devido à indícios que esses elementos químicos seriam oriundos de aditivos, como indicado no Quadro 4. E a concentração de aditivos não é considerada parâmetro para desqualificar um óleo lubrificante.

Quadro 4 – Quadro dos principais elementos químicos associados aos aditivos e suas funções nos óleos lubrificantes

| Tipo de Aditivo | Elemento Químico Metálico |
|---------------------------|--|
| Anticorrosivo | Fósforo (P), Zinco (Zn) |
| Antiespumante | Silício (Si) |
| Antioxidante | Zinco (Zn) |
| Agente de extrema pressão | Fósforo (P), Zinco (Zn), Molibdênio (Mo) |
| Detergente | Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Bário (Ba), Sódio (Na) |
| Modificador de atrito | Boro (B) |

Fonte: Adaptado de Mota (2017) e Ahmed e Nassar (2011).

Apenas Zinco e Molibdênio que, apesar de serem elementos químicos constituintes de alguns aditivos, não foram descartados como variáveis, pois também são elementos que compõe peças de sistemas mecânicos, inclusive a de algumas engrenagens. Portanto, eles podem ser especificados como metal de desgaste, o que o torna uma propriedade de interesse nas análises estatísticas executadas.

Deste modo, as variáveis que serão utilizadas no decorrer do trabalho são:

- Viscosidade a 40°C – X₁;
- TAN – X₂;
- Cobre – X₃;
- Ferro – X₄;
- Zinco – X₅;
- Molibdênio – X₆;
- N04 – X₇;
- N06 – X₈;
- N14 – X₉;
- Teor de Água Volumétrico – X₁₀.

Adicionou-se uma coluna com o nome “Evento”. O seu valor era uma tradução da variável categórica “Condição”. Assim, a coluna assumiu valor 0 quando a condição descrita era “Ok” e 1, caso contrário (“Atenção”, “Trocar” ou “Trocar/Atenção”). Após definir as variáveis que seriam utilizadas no sistema, utilizou-se o banco de dados conforme consta no Apêndice – A.

2.3.2. Análise Estatística dos Dados

Para este trabalho foi utilizado o Minitab® Statistical Software e o Software Excel para a criação do modelo de regressão logística e para as análises de dados, respectivamente. O Minitab® possui como principal vantagem a interface totalmente amigável, não necessitando nenhum conhecimento prévio das diversas linguagens de programação, reduzindo tempo de análise de dados no geral, principalmente quando o analista operador é leigo ou com pouco conhecimento em programação. O Minitab® é um software estatístico, logo, várias funções estatísticas que são requeridas para análises robustas de dados já se encontram disponíveis no programa, possibilitando que mesmo as análises de mais alta complexidade seja realizada de maneira simples, rápida e organizada. Já o Excel possui como vantagem a manipulação dos dados e aplicação de fórmulas diretamente nas próprias tabelas, aumentando a produtividade no quesito tempo de análises e organização de dados.

Após os ajustes iniciais que foram realizados no banco de dados, efetuou-se as análises exploratórias dele. Posteriormente foram realizadas as etapas para a obtenção de um modelo de regressão logística adequado. A última etapa das análises do trabalho foi aplicar o modelo de regressão obtido a cinco elementos amostrais que não estavam banco de dados e verificar em qual grupo de enquadramento eles mais se aproximavam, como uma espécie de validação do modelo.

A geração do modelo de regressão logística propriamente dito foi realizado pelo Minitab®. Já a aplicação da equação do modelo para encontrar a probabilidade associada a cada elemento amostral e classificá-lo como evento ou não evento foi realizado pelo Excel.

2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Análise Exploratória dos Dados

Inicialmente, realizou-se uma análise exploratória dos dados disponíveis, no Minitab®. Através dessa análise descritiva dos dados, apresentadas na Tabela 4, é possível perceber uma grande discrepância entre as medidas de desvio padrão para cada variável. Enquanto a variável TAN apresenta desvio padrão pequeno, de 0,1339, a variável N04 apresenta grande desvio padrão, de 1633. Essa discrepância é causada principalmente pela diferença de unidades de medidas, como já foi mencionado anteriormente e também visto no Quadro 3. No entanto, mesmo para variáveis que possuem a mesma unidade de medida, foi possível observar discrepância de desvio padrão, como por exemplo quando se compara Cobre e Zinco – ambos medidos em ppm, mas para o primeiro o desvio padrão foi 6,75; enquanto para o segundo foi 63,12 – ou quando se compara N06 e N14 – ambos medidos em Partículas/100mL, mas para o primeiro o desvio padrão foi 433, enquanto para o segundo foi 71,7 –.

Tabela 4 – Análises descritivas das variáveis estudadas

| Variável | Média | Desvio Padrão | Mínimo | 1° Quartil | Mediana | 3° Quartil | Máximo |
|--------------------------|--------|---------------|--------|------------|---------|------------|--------|
| Viscosidade a 40°C | 227,06 | 13,07 | 204,80 | 218,05 | 227,50 | 234,28 | 287,80 |
| TAN | 0,5018 | 0,1339 | 0,3200 | 0,3925 | 0,4550 | 0,6050 | 0,7800 |
| Cobre | 5,71 | 6,75 | 0,10 | 0,42 | 2,27 | 10,01 | 21,02 |
| Ferro | 34,73 | 36,68 | 0,03 | 8,80 | 22,66 | 41,09 | 148,30 |
| Zinco | 29,23 | 63,12 | 0,1 | 3,84 | 8,58 | 22,68 | 260 |
| Molibdênio | 9,07 | 26,56 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 2,51 | 110,8 |
| N04 | 3492 | 1633 | 960 | 2456 | 3055 | 4570 | 7780 |
| N06 | 1052,7 | 433 | 220 | 757,5 | 1060 | 1307,5 | 2110 |
| N14 | 102,6 | 71,7 | 20 | 40 | 85 | 140 | 340 |
| Teor de Água Volumétrico | 447 | 1122 | 91 | 226 | 256 | 313 | 7695 |

Fonte: O autor.

Analisando os dados contidos na Tabela 4 e os gráficos *Boxplot* que estão apresentados na Figura 4, é possível detectar variáveis em que a distribuição dos dados é assimétrica. É possível perceber que algumas variáveis utilizadas nas análises de óleos lubrificantes possuem geometrias aproximadamente simétricas,

como por exemplo a Viscosidade a 40°C e N06, apesar de Viscosidade a 40°C possui um ponto discrepante (representado pelo símbolo *), chamado de *outlier*.

Já as demais variáveis, TAN, Cobre, Ferro, Zinco, Molibdênio, N04, N14 e Teor de Água Volumétrico possuíam assimetria positiva. Isso significa dizer que a distribuição dos dados possuem uma geometria com calda positiva, ou seja, há alguns poucos elementos amostrais com valores bastante elevados, que deslocam a média para um valor bem maior que a mediana. As variáveis assimétricas e com *outliers* acima do limite superior são indicativas de falhas nos sistemas mecânicos, possuindo valor elevado para essa situação. Sendo assim, a assimetria positiva faz sentido do ponto de vista de aplicação, pois, a maior parte dos sistemas mecânicos apresentam funcionamento normal.

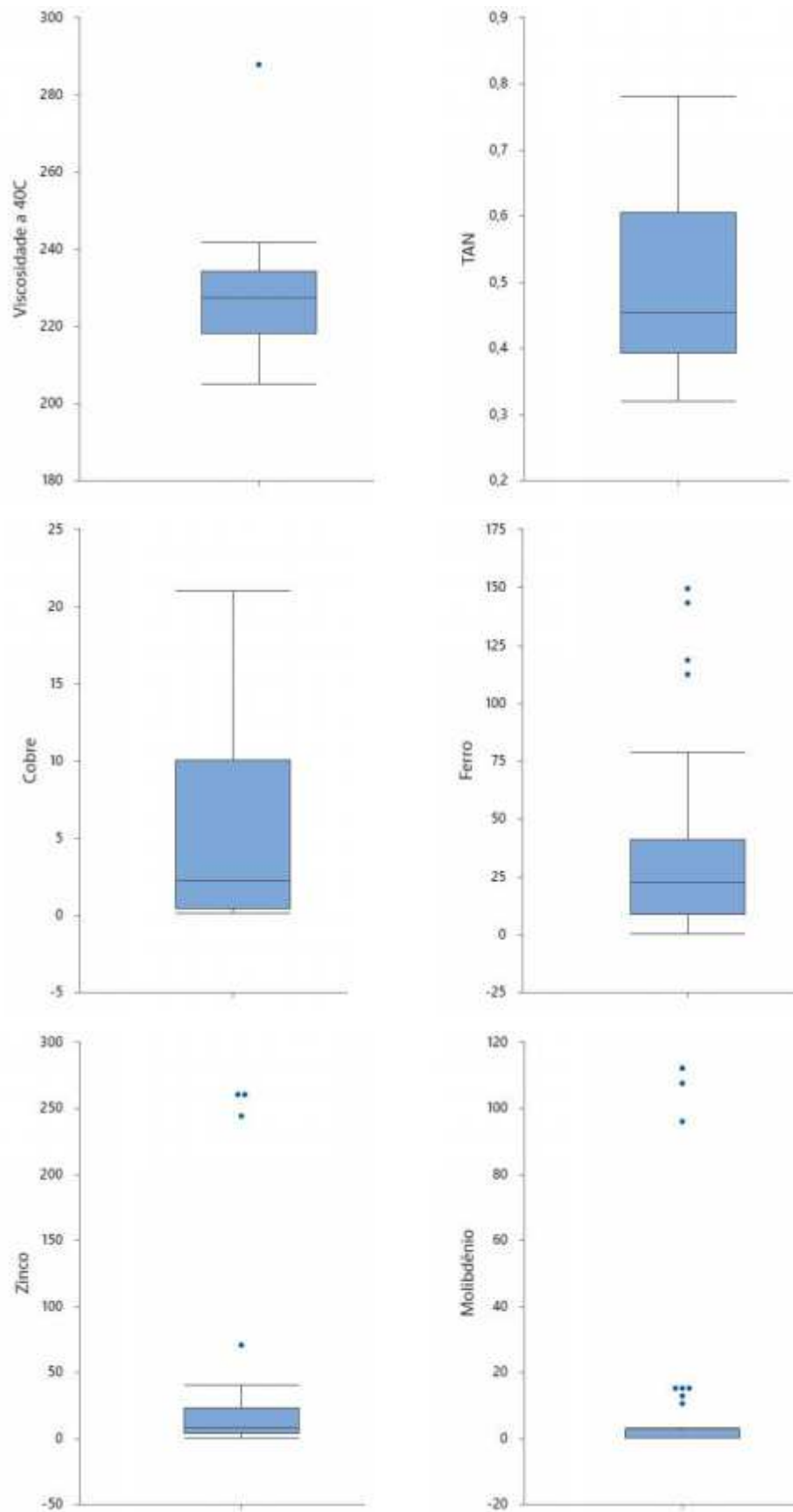
Alguns gráficos *Boxplot* indicavam *outliers*. As variáveis que possuíam tais pontos de discrepância eram : Viscosidade a 40°C, Ferro, Zinco, Molibdênio, N04, N14 e Teor de Água Volumétrico. Verificou-se através do Minitab® quais eram os elementos amostrais que seriam indicados como outliers nesses *Boxplots*, conforme indicado na Tabela 5.

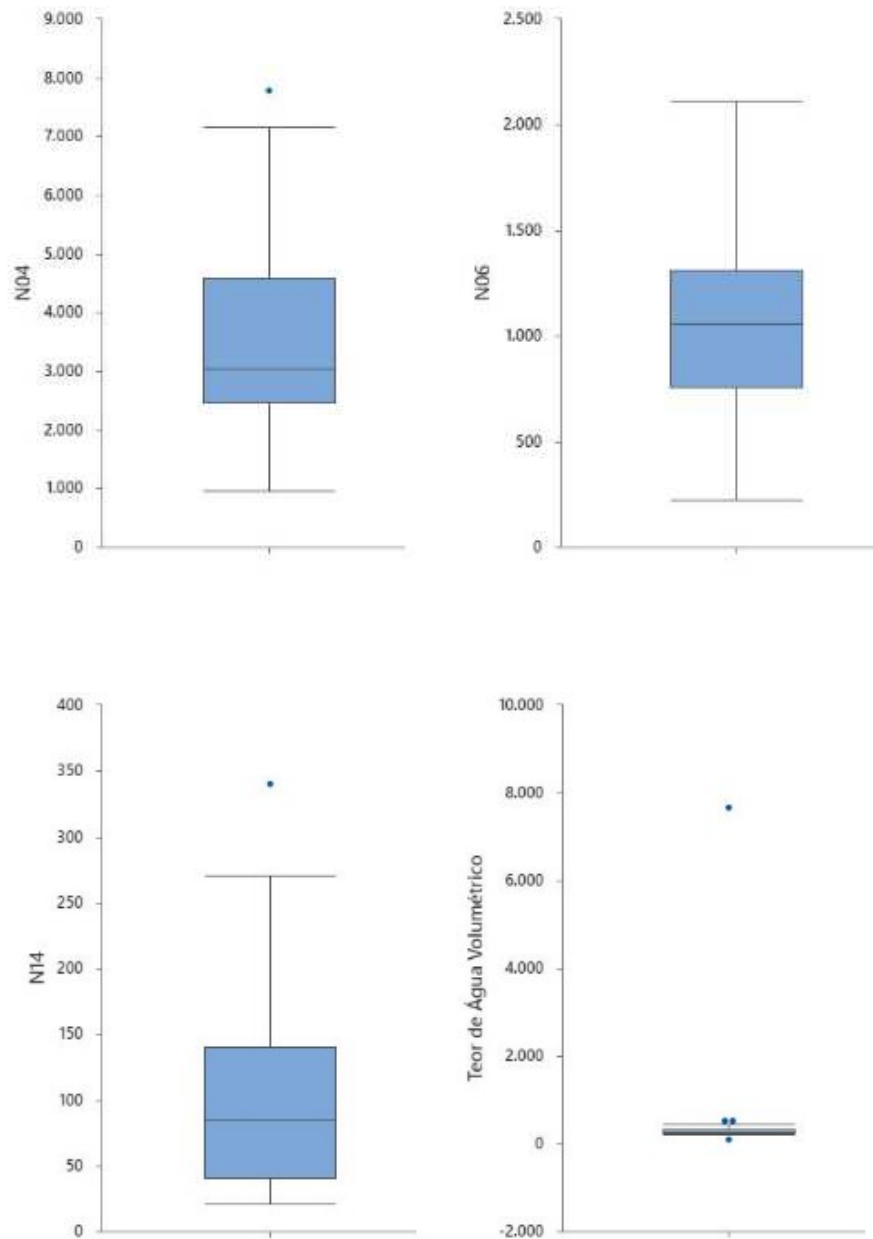
Tabela 5: Classificação dos elementos amostrais discrepantes indicados nos *Boxplots* das variáveis

| Variável | Outlier | Região | Elemento Amostral Correspondente (ordem de baixo para cima) | Condição |
|--------------------------|---------|----------|---|----------------|
| Viscosidade a 40°C | 1 | Superior | 13 | Trocar |
| Ferro | 4 | Superior | 9 | Atenção |
| | | | 17 | Ok |
| | | | 30 | Ok |
| | | | 41 | OK |
| Zinco | 4 | Superior | 23 | Atenção |
| | | | 18 | Ok |
| | | | 32 | Ok |
| | | | 10 | Ok |
| Molibdênio | 8 | Superior | 20 | Atenção |
| | | | 12 | Atenção |
| | | | 13 | Trocar |
| | | | 43 | Atenção |
| | | | 34 | Atenção |
| | | | 18 | Ok |
| | | | 10 | Ok |
| 32 | Ok | | | |
| N04 | 1 | Superior | 9 | Atenção |
| N14 | 1 | Superior | 23 | Atenção |
| Teor de Água Volumétrico | 4 | Inferior | 24 | Ok |
| | | Superior | 40 | Atenção |
| | | | 13 | Trocar |
| | | | 14 | Trocar/Atenção |

Fonte: O autor.

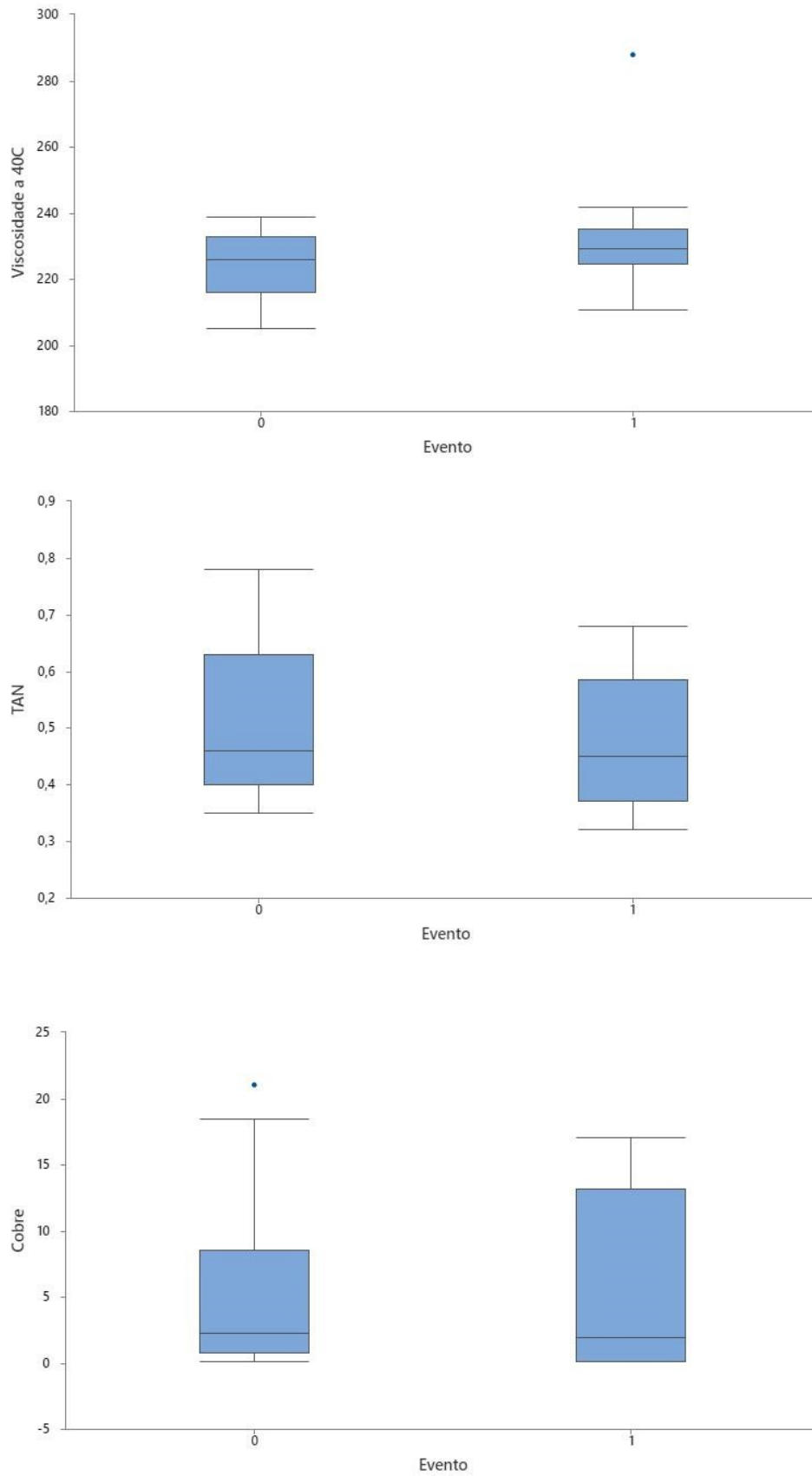
As variáveis que possuem todos os *outliers* pertencentes ao grupo de óleos lubrificantes que não estão em condições adequadas (óleos classificados como “Trocar”, “Atenção” ou “Trocar/Atenção”) sugerem que essas variáveis podem apresentar maior poder de discriminação que as outras: a tendência que os valores elevados para a propriedade medida indica que o óleo lubrificante analisado não está em boas condições de uso. Assim, as variáveis “Viscosidade a 40°C”, “N04”, “N14” e “Teor de Água Volumétrico” parecem ser interessantes para compor o modelo de regressão logística.

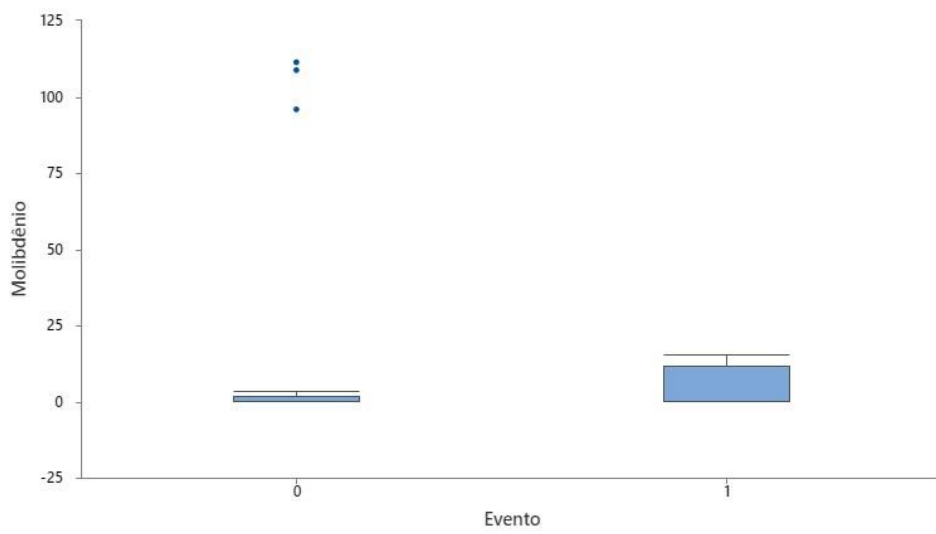
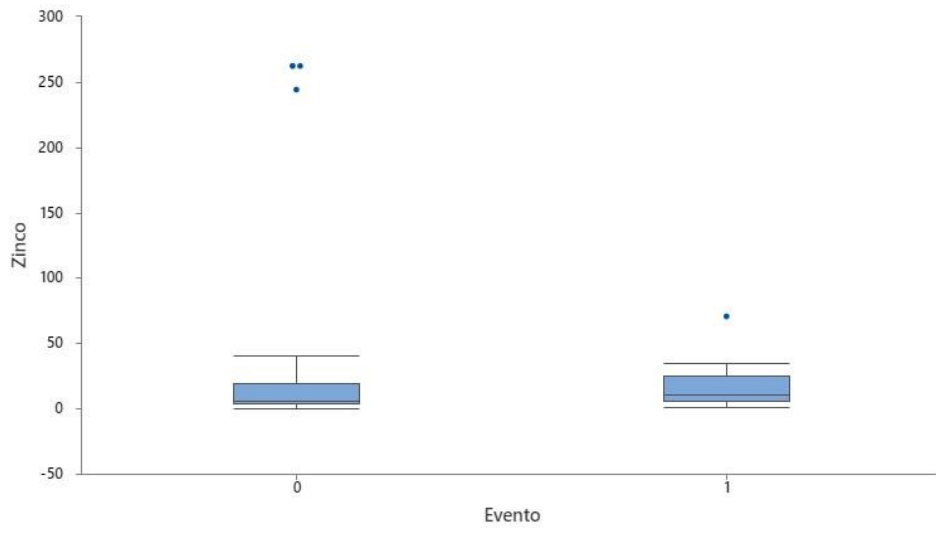
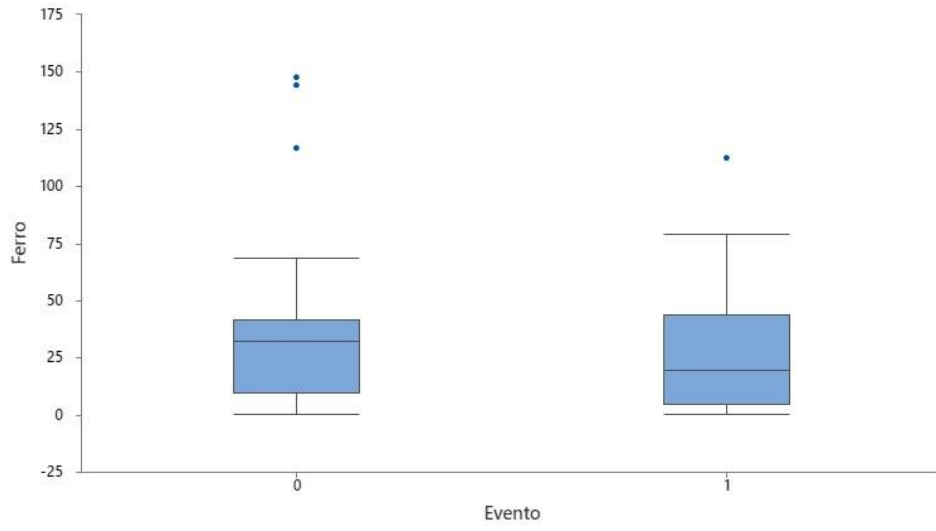
Figura 4: Gráficos *Boxplot* das variáveis estudadas

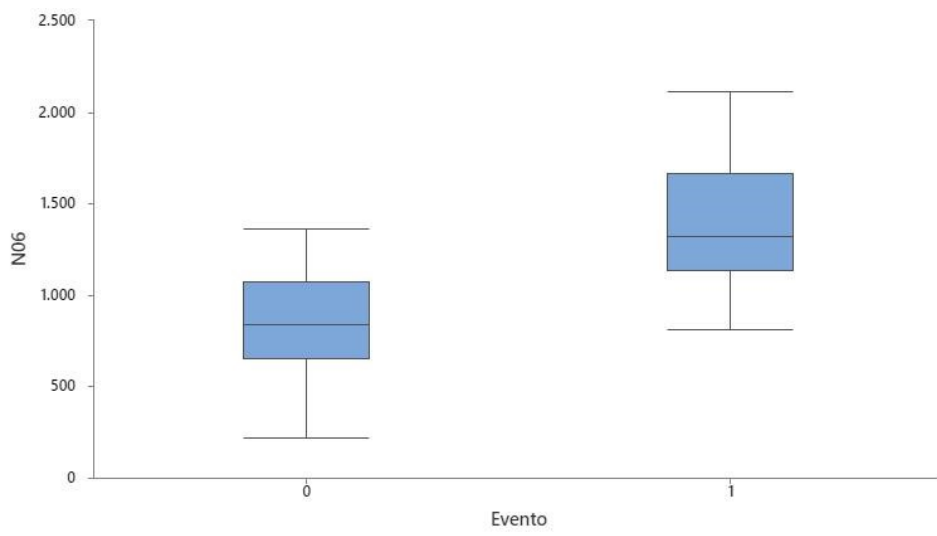
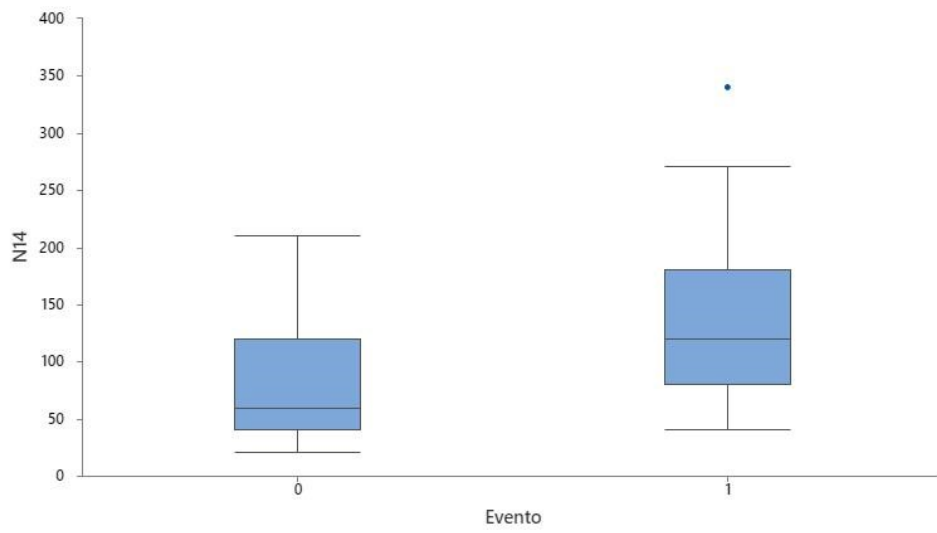
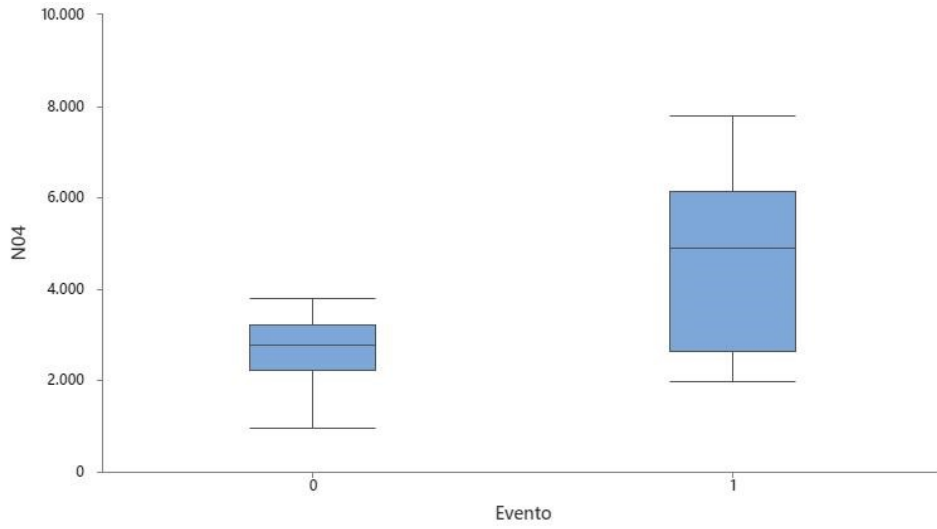


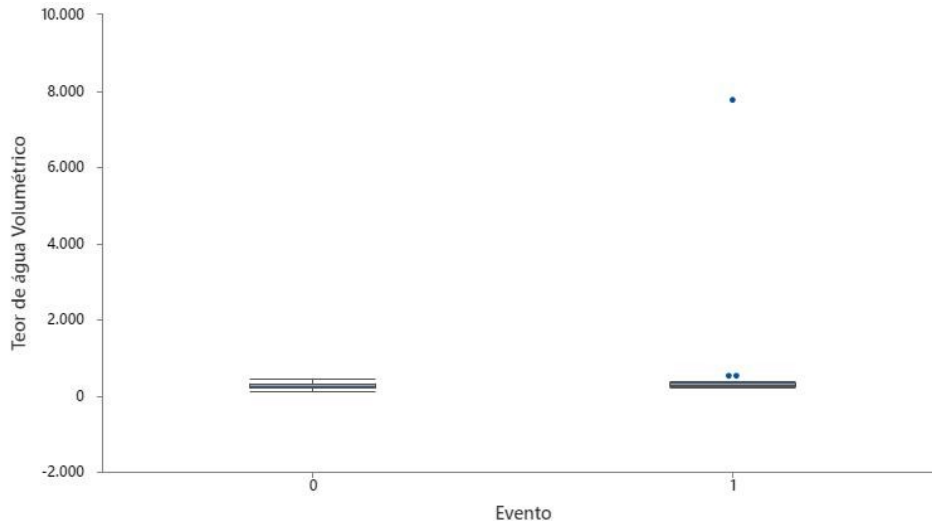
Fonte: O autor.

Para realizar uma análise visual sobre as variáveis que poderiam ter maior poder de discriminação entre os óleos lubrificantes, fez-se gráficos *Boxplot* para cada variável, fazendo-se a distinção entre óleos adequados (“Ok”) e óleos não adequados (“Atenção”, “Trocar” Ou “Trocar/Atenção”), conforme indicado na Figura 5.

Figura 5: Gráfico *Boxplot* das variáveis por tipo de óleo lubrificante (adequados 0 e não adequados 1)







Fonte: O autor.

Pela análise visual dos *Boxplots* da Figura 5, foi possível perceber que algumas variáveis parecem possuir mais poder de distinção entre os grupos. As variáveis N04, N06 e N14 possuem as medianas do grupo de óleos classificados como inadequados maior que as medidas do grupo de classificados como óleos adequados e podem ser interessantes para compor o modelo de regressão logística.

2.4.2. Desenvolvimento do Modelo de Regressão Logística

Para o desenvolvimento do modelo de regressão logística, utilizou-se o Minitab® Statistical Software. Tinha-se, inicialmente, 10 variáveis para compor o modelo de regressão logística. O método escolhido para a seleção das variáveis foi o Método Backward, em que todas as variáveis são incluídas no modelo inicial e, posteriormente, são retiradas as variáveis menos significativas ou problemáticas, uma a uma. Segundo Hosmer e Lemeshow (2000), deve-se executar uma análise univariada de todas as variáveis candidatas a estar no modelo de regressão e após essa análise inicial, todas que apresentarem $p\text{-valor} < 0,25$ devem estar no modelo, mas, caso a variável tenha alguma importância física conhecida, pode ser mantida no modelo. No estudo desse trabalho, optou-se por manter todas as 10 variáveis no modelo, pois do ponto de vista teórico, todas eram importantes para a análise e enquadramento da condição dos óleos lubrificantes.

Após a primeira tentativa de construção do modelo utilizando todas as variáveis, o Minitab® emitiu um aviso: “Não foi possível ajustar o modelo de forma adequada. A estimativa de máxima verossimilhança dos parâmetros não existe devido à completa separação de dados. Os resultados não são confiáveis. (...)”. Avaliando a saída que o software forneceu, foi possível observar que algumas variáveis apresentavam elevada multicolinearidade. A variável Zinco apresentava o VIF mais elevado, da ordem de 348. Assim, essa variável foi retirada do modelo, visto que o modelo de regressão logística é muito sensível aos efeitos da multicolinearidade. Após a retirada dessa variável, um novo modelo foi desenvolvido, e novamente foi mostrado o aviso de erro. Analisando a situação, foi percebido novamente variáveis com elevados valores de VIF. Dessa forma, a variável Ferro foi retirada, pois apresentava VIF de aproximadamente 321.

Após a retirada da variável Ferro, um novo modelo de regressão logística foi proposto. A multicolinearidade não era mais problemática: seu valor era abaixo de 3 para todas as variáveis, e a mensagem de aviso do software parou de ser exibida. A partir dessa etapa, retirou-se as variáveis que eram menos significativas, uma a uma, escolhendo sempre a retirada daquela com maior p-valor e propondo um novo modelo a cada nova etapa. O p-valor indicado na saída do software correspondia ao Teste de Wald.

Após a retirada da variável Ferro, retirou-se as demais variáveis, nessa ordem: *i)* Teor de Água Volumétrico – p-valor 0,89 –, *ii)* Molibdênio – p-valor 0,69 –, *iii)* Cobre – p-valor 0,52 –, *iv)* N06 – p-valor 0,48 –. Deixou-se apenas as variáveis com p-valor <0,15. Isto porque, de acordo com Hosmer e Lemeshow (2000) para regressão logística, o nível de significância mais comum utilizado na estatística ($\alpha = 5\%$, p-valor = 0,05) é muito rigoroso e frequentemente exclui variáveis importantes para o modelo, sendo altamente recomendado o p-valor entre 0,15 e 0,20.

As variáveis que foram mantidas para compor o modelo final de regressão logística foram: Viscosidade a 40°C, TAN, N04 e N14, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6: Coeficientes estimados e testes correspondentes do modelo de regressão logística proposto

| Termo | Coeficiente | Erro Padrão de Coeficiente | Valor-Z | Teste de Wald Qui-Quadrado | Valor-P | VIF |
|--------------------|-------------|----------------------------|---------|----------------------------|---------|------|
| Constante | -65,1 | 36,8 | -1,77 | 7,31 | 0,077 | |
| Viscosidade a 40°C | 0,241 | 0,146 | 1,65 | 2,71 | 0,1 | 1,71 |
| TAN | -9,67 | 5,3 | -1,82 | 3,33 | 0,068 | 1,4 |
| N04 | 0,00318 | 0,00126 | 2,52 | 6,33 | 0,012 | 2,28 |
| N14 | 0,0341 | 0,0168 | 2,03 | 4,13 | 0,042 | 1,62 |

Fonte: O autor.

Como foi sugerido pela análise dos *outliers*, todas as variáveis em que os pontos discrepantes superiores representavam óleos inadequados para uso foram de fato interessantes para a discriminação da qualidade do óleo lubrificante, com exceção de “Teor de Água Volumétrico”. A função matemática encontrada foi dada pela Equação 3:

$$P(\widehat{Y}_1|x_1) = \frac{e^{\widehat{g}(x)}}{1 + e^{\widehat{g}(x)}} \quad (3)$$

onde,

$$\widehat{g}(x) = -65,1 + 0,241 (\text{Viscosidade}) - 9,67 (\text{TAN}) + 0,00318 (\text{N04}) + 0,0341 (\text{N14})$$

Através do valor do coeficiente de cada termo da equação, é possível avaliar o impacto de cada variável preditora no modelo. Os coeficientes positivos produzem aumento na probabilidade do óleo ser enquadrado como inadequado. E coeficientes negativos indicam o contrário. Quanto maior o valor do coeficiente, maior o impacto dessa variável no enquadramento da condição do óleo.

Dessa maneira, pode-se observar que as variáveis Viscosidade a 40°C, N04 e N14 influenciam de maneira positiva na probabilidade do óleo ser agrupado como inadequado. Comparando-se essas três variáveis, observa-se também que a de maior relevância é a Viscosidade à 40°C. Do ponto de vista físico-químico, faz sentido que essas variáveis contribuam positivamente para aumentar a probabilidade de que o óleo não esteja adequado. A viscosidade elevada afeta diretamente no funcionamento

dos sistemas mecânicos no qual o óleo está sendo utilizado. A viscosidade elevada é problemática, pois, o óleo flui com maior dificuldade, necessitando de maior pressão para que ele se movimente, o que aumenta a probabilidade de falhas nos componentes mecânicos e gera maior gasto de energia.

No caso das partículas sólidas, N04 e N14, podem indicar tanto contaminação por sujidades, por exemplo as poeiras, que são sempre indesejáveis, ou podem indicar partículas provenientes do desgaste natural das peças dos sistemas mecânicos. Um óleo lubrificante que apresenta teor elevado de partículas sólidas é problemático, pois, além de poder indicar algum problema de falha, as partículas dispersas no óleo também podem ocasionar falhas, como corrosão e desgaste abrasivo. No caso de óleos lubrificantes, as partículas maiores são mais problemáticas que as menores, devido ao maior potencial abrasivo. Assim, faz sentido o coeficiente de N14 ser maior que de N04.

No geral, a medida TAN é um índice que fornece informações a respeito da degradação do óleo lubrificante através da sua acidez. É comum que elevados valores de TAN indiquem uma maior degradação do óleo, devido à elevada formação de ácidos durante o processo, principalmente quando submetido a elevadas temperaturas. No entanto, no caso estudado, ocorreu o contrário: os óleos lubrificantes inadequados possuíam valores de TAN abaixo dos óleos adequados. Uma justificativa para essa divergência pode ser o fato de que o óleo do fabricante apresentava algum aditivo que possuía nível de acidez detectável pela medida TAN, e ao longo do uso, esse aditivo vai sendo consumido, ocorrendo, inicialmente, a redução de TAN (ADAM, 2022). Caso haja algum acompanhamento mais aprofundado desse óleo lubrificante, com o passar de um período maior de tempo, o aditivo se esgotará e haverá aumento da acidez pela oxidação do óleo lubrificante. Mas, no estudo realizado, os óleos tornaram-se impróprios antes de atingir esse nível, corroborando com o valor negativo do coeficiente associado à variável TAN.

Assim, em termos práticos e teóricos as variáveis Viscosidade e TAN, além das variáveis relacionadas com quantidade de partículas dispersas — como N04 e N14 —, são muito importantes na caracterização da qualidade do óleo lubrificante, como observado em Carreteiro e Belmiro (2016) e Grebenizan, Salem e Bogdan (2018).

2.4.2. Ajustes do Modelo de Regressão Logística

Inicialmente, verificou-se o valor de R^2 Deviance, apresentado na Tabela 7. Esse valor varia entre 0% a 100%, sendo que, quanto mais próximo de 100% melhor ajustado os dados estão no modelo. O valor encontrado de 79,48% mostra um bom ajuste do modelo. No entanto, R^2 precisa ser utilizado com cautela, pois, quanto maior o número de variáveis no modelo, maior será o seu valor. Por isso, outros critérios devem ser utilizados concomitantemente. O valor R^2 Deviance Ajustado é um parâmetro mais utilizado para comparação de modelos que possuem quantidades diferentes de variáveis preditoras, visto que quanto maior o número de preditoras, maior o valor de R^2 Deviance. O R^2 Deviance Ajustado foi utilizado como um dos guias para exclusão de uma variável do modelo.

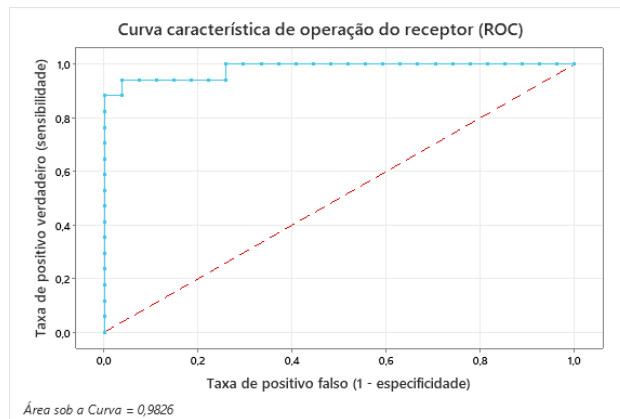
Tabela 7: Medidas de ajuste do modelo de regressão logística

| R^2 Deviance | R^2 Deviance Ajustado | Área Sob a Curva ROC |
|----------------|-------------------------|----------------------|
| 79,48% | 72,66% | 0,9826 |

Fonte: O autor.

Um outro parâmetro muito importante e que foi utilizado juntamente com o valor de R^2 Deviance para a análise de ajuste do modelo foi a Área Sob a Curva ROC. O valor da área sob a curva varia entre 0 e 1. Porém, o corte seria de 0,5. Isso significa que, se a área sob a curva for menor ou igual a 0,5, o modelo é completamente aleatório, não podendo prever o enquadramento de um elemento amostral a partir de sua probabilidade. Quanto mais próximo de 1 for o valor da Área Sob a Curva ROC, maior o poder de classificação do modelo proposto. O valor encontrado para o modelo proposto foi de 0,9826, como mostrado na Figura 6. Assim, conclui-se que o modelo tem poder discriminatório excelente.

Figura 6: Curva ROC do modelo de regressão logística proposto



Fonte: O autor.

Ainda testando a qualidade do ajuste do modelo, avaliou-se os principais testes estatísticos que medem a proporção da variação da variável resposta que é explicada pelo modelo. Os principais testes são: Testes de Resíduos Deviance, Teste de Resíduos Pearson e Teste Hosmer-Lemeshow.

Os testes possuem como regra de decisão as seguintes hipóteses:

$$\begin{cases} H_0: O \text{ modelo se ajusta adequadamente aos dados} \\ H_1: O \text{ modelo não se ajusta adequadamente aos dados} \end{cases}$$

Assim, assumindo o nível de significância, α , de 5%, rejeita-se a hipótese nula quando p-valor é $<0,05$. Como mostrado na Tabela 8, os três testes estatísticos possuem p-valor $> 0,05$. Assim, pode-se concluir que em um nível de significância de 5%, que os dados estão bem ajustados ao modelo de regressão logística proposto.

Tabela 8: Testes de qualidade do ajuste do modelo

| Teste | GL | Qui-Quadrado | P-Valor |
|-----------------|----|--------------|---------|
| Deviance | 39 | 12,05 | 1,000 |
| Pearson | 39 | 20,04 | 0,995 |
| Hosmer-Lemeshow | 8 | 3,08 | 0,929 |

Fonte: O autor.

Após obter a equação matemática do modelo de regressão logística e analisar as medidas e testes estatísticos que determinam a qualidade de ajuste do modelo, calculou-se os escores dos elementos amostrais no software Excel e a partir desses

escores, obteve-se a curva de regressão logística do modelo no software Minitab®. Os escores são calculados pela equação:

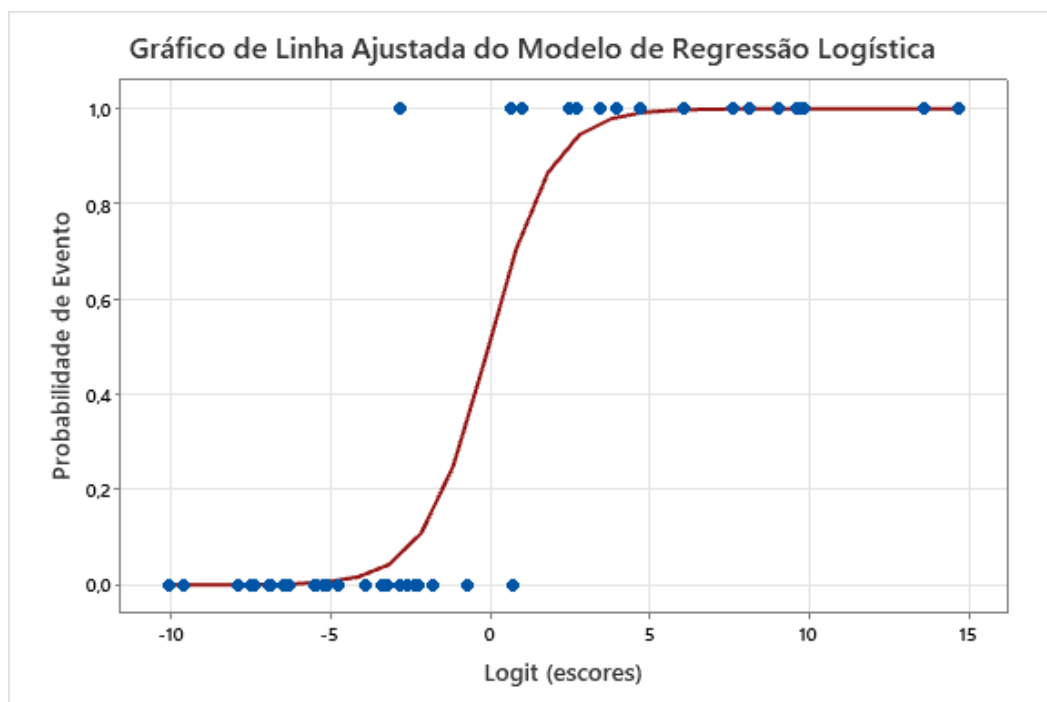
$$P(\widehat{Y}_1|x_1) = \frac{e^{\widehat{g}(x)}}{1 + e^{\widehat{g}(x)}}$$

Em que:

$$\widehat{g}(x) = -65,1 + 0,241 (\text{Viscosidade}) - 9,67 (\text{TAN}) + 0,00318 (\text{N04}) + 0,0341 (\text{N14})$$

Após a obtenção do escore correspondente a cada elemento amostral, fez-se o gráfico Probabilidade de Evento versus Logit (Escores), no Minitab, como mostrado na Figura 7.

Figura 7: Curva de regressão logística do modelo estudado



Fonte: O autor.

Posteriormente, com auxílio do Excel, fez-se uma matriz de confusão para avaliar o poder de discriminação do modelo utilizando como ponto de corte o valor 0,5. A matriz de confusão consiste em uma tabela em que são colocados a quantidade de elementos que possuem um valor observado de 0 ou 1 e quantos elementos possuem valor estimado de 0 ou 1. Assim, consegue mensurar as 4 classes de observações:

Verdadeiro Positivo (VP), Falso Positivo (FP), Falso Negativo (FN) e Verdadeiro Negativo (VN). Um exemplo de matriz de confusão é mostrado na Figura 8.

Figura 8: Matriz de confusão exemplificativa

| | | Valor Observado | |
|----------------|-------------|-----------------|---------|
| | | $Y = 1$ | $Y = 0$ |
| Valor Estimado | $\hat{Y}=1$ | VP | FP |
| | $\hat{Y}=0$ | FN | VN |

Fonte: Smolski (2022).

Através da Matriz de Confusão da Tabela 9, observa-se que, utilizando o ponto de corte de 0,5, há 2 elementos amostrais que não obedecem a regressão logística, sendo um deles falso positivo e o outro, falso negativo. Pelo gráfico da regressão logística, vê-se dois elementos em que o valor do escore está distinto quanto a sua classificação. O ponto falso positivo e o ponto falso negativo correspondem a esses dois pontos, que no banco de dados, são os elementos amostrais 2 (falso negativo) e 22 (falso positivo).

Tabela 9: Matriz de confusão dos dados estudados

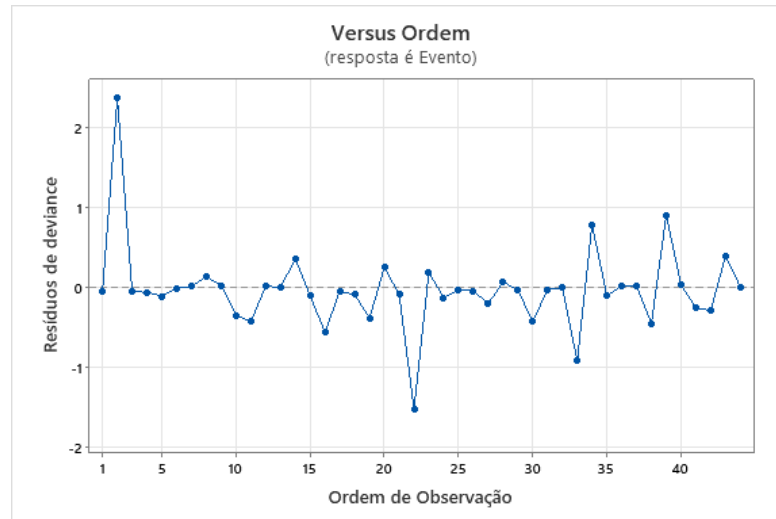
| | | Valor Observado | | | |
|----------------|---------------|-----------------|---------|----------|--------|
| | | $Y = 1$ | $Y = 0$ | % Acerto | % Erro |
| Valor Estimado | $\hat{Y} = 1$ | 26 | 1 | 96,3 | 3,7 |
| | $\hat{Y} = 0$ | 1 | 16 | 94,1 | 5,9 |
| % TOTAL | | | | 95,5 | 4,5 |

Fonte: O autor.

Através do Minitab, fez-se um gráfico de Resíduos versus Ordem de Observação, como mostrado na Figura 9. Realizando uma análise desse gráfico, percebe-se que os pontos estão distribuídos de forma a não seguir nenhum padrão, mas sempre estando próximo da linha central, de resíduos nulo. Isso evidencia que os resíduos são independentes entre si e assim, o modelo de regressão logística não

apresenta problemas que inviabilizem seu uso. As observações em que os resíduos são maiores são justamente as que representam os elementos amostrais 2 e 22.

Figura 9: Gráfico de Resíduos versus Observações



Fonte: O autor.

2.4.3. Aplicação em Elementos Amostrais de fora do Banco de Dados

Para realizar uma validação do modelo de regressão logística como ferramenta auxiliar no enquadramento de óleos lubrificantes em uso, utilizou-se cinco elementos amostrais que não estavam dentro do Banco de Dados utilizados e que possuíam diferentes enquadramentos: dois óleos estavam enquadrados como “Ok” e os outros três óleos estavam enquadrados como “Atenção”, como mostrado na Tabela 10. Esses dados foram escolhidos aleatoriamente e estão apresentados em detalhes no Apêndice B.

Tabela 10 – Tabela das medidas das variáveis de pontos que não constavam no banco de dados e que serão utilizados para validação da ferramenta proposta

| Amostra | Condição | Viscosidade a 40°C | T A N | N04 | N14 |
|---------|----------|--------------------|-------|------|-----|
| Test1 | OK | 223,6 | 2,71 | 2510 | 40 |
| Test2 | Atenção | 365,6 | 0,31 | 2260 | 270 |
| Test3 | Atenção | 230,4 | 0,54 | 3250 | 290 |
| Test4 | Atenção | 386,2 | 0,32 | 2235 | 340 |
| Test5 | OK | 216,3 | 0,38 | 2410 | 30 |

Fonte: O autor.

Aplicando a equação matemática do modelo de regressão logística estimado a esses elementos de validação, encontrou-se a probabilidade (\hat{Y} calculado). E, utilizando-se do ponto de corte de 0,5, encontrou-se a decisão (0 ou 1), conforme mostrado na Tabela 11. Comparando-se o valor da Decisão com o valor do Evento, observa-se que a Decisão foi idêntica ao valor do Evento, tendo um acerto de 100%.

Tabela 11: Probabilidades calculadas e enquadramento do óleo pelo modelo de regressão logística proposto

| Amostra | Condição | Evento | \hat{Y} Calculado | Decisão |
|---------|----------|--------|--------------------------|---------|
| Test1 | OK | 0 | $6,43213 \times 10^{13}$ | 0 |
| Test2 | Atenção | 1 | 1,00000 | 1 |
| Test3 | Atenção | 1 | 0,99563 | 1 |
| Test4 | Atenção | 1 | 1,00000 | 1 |
| Test5 | OK | 0 | 0,00035 | 0 |

Fonte: O autor.

3. CONCLUSÃO

Utilizando-se dos dados de uma situação real, foi desenvolvido um modelo de regressão logística com a finalidade de discriminar as características de um óleo lubrificante com boas condições de uso daqueles que necessitavam de monitoramento ou troca. O modelo apresentou bom desempenho com taxa de acerto total de 95,5%, e área sob a curva ROC de 0,98. Mesmo o banco de dados não possuindo quantidade elevada de elementos amostrais, os resultados obtidos pelo modelo de regressão logística se mostram excelentes.

No estudo de caso em questão, a proposta de um modelo de regressão logística mostrou-se interessante do ponto de vista de reduzir o número de variáveis que devem ser medidas para que se possa classificar um óleo. Isso nem sempre é possível numa regressão logística, mas nesse caso em questão, de 10 variáveis, apenas 4 foram consideradas a fim de compor o modelo de regressão logística.

As variáveis que se mantiveram no modelo são aquelas que, do ponto de vista do enquadramento, são as mais importantes. Sendo assim, a viscosidade, o nível de acidez e a quantidade de partículas presentes no óleo devem ser as medidas de maior interesse em uma análise de óleos de engrenagens com classificação ISO 220. Essa indicação é importante para a análise de óleos lubrificantes, pois traz benefícios econômicos para as empresas no quesito tempo das análises e também no custo das análises.

Conclui-se que os modelos de regressão logística podem ser utilizados como ferramenta estatística auxiliar para classificar os óleos lubrificantes pela sua condição de uso, aumentando a produtividade do analista responsável por essa análise de classificação e possibilitando melhor tomada de decisão para quem solicita as análises de óleos.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM. **Are new lubricating oils acidic and is it possible for an oil to be both acidic and alkali when it has a TAN and TBN?** LEARN OIL ANALYSIS,[S.I.] , 20 jun. 2022. Disponível em: <https://learnoilanalysis.com/lube-oil-test-analysis-lab-lubrication-reliability-maintenance/are-new-lubricating-oils-acidic-and-is-it-possible-for-an-oil-to-be-both-acidic-and-alkali-when-it-has-a-tan-and-tbn/>. Acesso em: 15 out. 2022

AHMED, Nehal S.; NASSAR, Amal M.. Lubricating Oil Additives. Em: KUO, C.-H. (Ed.). **Tribology: Lubricants and Lubrication**. Londres, England: InTech, 2011. Disponível em : <https://www.intechopen.com/chapters/21936>. Acesso em: 03 mar. 2022.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Lubrificação Industrial: tipos e métodos de lubrificação**. São Paulo: Saraiva, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=w4qwDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 01 mar. 2022.

CARRETEIRO, Ronald Pinto; BELMIRO, Pedro Nelson Abicalil. **Lubrificantes & Lubrificação Industrial**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006.

CARVALHO, Alexandre Xavier Ywata; GÓES, Geraldo Sandoval. **Introdução ao Software R e à Análise Econométrica**. [S. L.]: Enap, 2018. 87 slides, color. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/3452/3/Aula%20%20-%20Geraldo%20Goes%20e%20Alexandre%20Ywata%20-%20Introdu%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20Regress%C3%A3o%20Log%C3%ADstica.pdf>. Acesso em: 04 out. 2022.

COLOSIMO, Enrico A. **Análise de Dados Categóricos: modelo de regressão logística**. Belo Horizonte: Ufmg, 2019. 64 slides, color. Disponível em: http://www.est.ufmg.br/~enricoc/pdf/categoricos/aula_logistica.pdf. Acesso em: 04 out. 2022.

DANTAS, Michelle Sinara Gregório et al.. **Avaliação antioxidativa de derivados do β -naftol aplicados a lubrificantes**. In: PDPETRO, 4º, 2007, Campinas. Disponível em: http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_4_5_0051-1.pdf. Acesso em: 01 mar. 2022.

FARIAS, Ana Maria Lima de. **Inferência Estatística: uma introdução**. Universidade Federal Fluminense, 2015. 165 páginas, color. Disponível em: <https://www.professores.uff.br/anafarias/wp-content/uploads/sites/210/2020/09/inferencia-1pop-00.pdf>. Acesso em: 04 out. 2022.

FÁVERO, Luiz Paulo Lopes et al. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009

GREBENISAN, Gavril; SALEM, Nazzal; BOGDAN, Sanda. **The lubricants' parameters monitoring and data collecting**. In: Annual Session Of Scientific Papers Imt Oradea 2018, 2018, Oradea (Romênia). Disponível em:

https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2018/43/matecconf_oradea2018_03008/matecconf_oradea2018_03008.html#:~:text=This%20approach%20is%20focused%20on,oil%20analysis%20and%20fault%20prediction.. Acesso em: 01 mar. 2022.

HOSMER, David W.; LEMESHOW, Stanley. **Applied Logistic Regression**. 2. ed. : John Wiley & Sons, 2000.

KUMAR, Ajitesh. **ROC Curve & AUC Explained with Python Examples**. 2020. Disponível em: <https://vitalflux.com/roc-curve-auc-python-false-positive-true-positive-rate/>. Acesso em: 16 out. 2022.

LOBO, Marcos Thadeu Giacomini. **Classificação de viscosidade para óleos lubrificantes de uso industrial Segundo a norma ISO 3448:1992**. 2020. Disponível em: <https://engenhariaexplicada.com/2020/08/27/classificacao-de-viscosidade-para-oleos-lubrificantes-de-uso-industrial-segundo-a-norma-iso-34481992/>. Acesso em: 01 mar. 2022 19:28.

LUBRAX. **Lubrax Gear**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2012. Disponível em: <https://www.lubrax.com.br/sites/lubrax/files/2021-06/ft-lub-ind-engrenagens-lubrax-gear.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2022 17:40.

MASIERO, Miguel Slomp; ANZANELLO, Michel; GUSBERT, Tomoe Daniela Hamanaka. **Seleção de variáveis preditivas em processos logísticos de distribuição**. Xxxii Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Bento Gonçalves, v. 1, n. 32, p. 1-11, out. 2012. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_tn_sto_157_920_19682.pdf. Acesso em: 04 out. 2022.

MINITAB. **Lidando com a multicolinearidade na análise de regressão**. 2019. Disponível em: <https://blog.minitab.com/pt/basta-lidando-com-a-multicolinearidade-na-analise-de-regressao#:~:text=Um%20VIF%20entre%205%20e,provid%C3%AAncia%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%20isso..> Acesso em: 04 out. 2022.

MINITAB. **Testes de Qualidade do Ajuste**. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/how-to/factorial/analyze-binary-response/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/goodness-of-fit-tests/>. Acesso em: 04 out. 2022.

MOTA, Mariana Frizera Borghi. **Desenvolvimento de métodos analíticos para quantificação de elementos em óleos lubrificantes**. 2017. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

MOURA, Gabriela Machado. **Regressão Logística aplicada a análise de risco de crédito**. 2018. 63 f. Monografia (Especialização) - Curso de Matemática Aplicada, Brasil, Universidade Federal do Rio Grande, 2018.

NORIA LATÍN AMÉRICA S.A.. **Análisis de elementos**. 2014. Disponível em: <https://noria.mx/lublearn/analisis-de-elementos/>. Acesso em: 01 mar. 2022.

PAULA, Marcelo de; DINIZ, Carlos Alberto Ribeiro. **Regressão logística binária com resposta pertencente a família exponencial**. Disponível em: http://www2.ime.unicamp.br/sinape/sites/default/files/03_Trabalho_Familia%20exponencial.pdf. Acesso em: 04 out. 2022.

PETRONAS. **Princípios básicos de lubrificantes e lubrificação**. Contagem: Petronas Lubricants, 2008. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/mecanizacao/livros/PRINCIPIOS%20BASICOS%20DE%20LUBRIFICANTES%20E%20LUBRIFICACAO.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2022.

POLO, Tatiana Cristina Figueira; MIOT, Hélio Amante. **Aplicações da curva ROC em estudos clínicos e experimentais**. *Jornal Vascular Brasileiro*, [S.L.], v. 19, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1677-5449.200186>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jvb/a/8S8Pfqnz8csmQJVqwgZT8gH/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 out. 2022.

SANTOS, Manoel Leonardo W. D.. **O parlamento sob influência: o lobby da indústria na câmara dos deputados**. 2011. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Política, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em: https://www.almg.gov.br/export/sites/default/educacao/sobre_escola/banco_conhecimento/arquivos/pdf/santos_parlamento_sob_influencia_2011.pdf. Acesso em: 04 out. 2022.

SILVA, Rodrigo Ernesto Andrade et al.. **Determinação da viscosidade cinemática por método de stokes através de estudo e desenvolvimento de viscosímetro automatizado**. In: CONAPESC, III, 2018, Campina Grande. Anais. Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/43062>. Acesso em: 01 mar. 2022.

SMOLSKI, Felipe Micail da Silva. **Regressão Logística**. Disponível em: <https://smolski.github.io/livroavancado/reglog.html>. Acesso em: 16 out. 2022.

TEXACO. **Fundamentos de lubrificação**. Rio de Janeiro: Texaco, 2005.

WOODWARD, Phillip J.; LIN, Wangkan; VELA, Erika M. **Pacote de aditivo para uma composição de óleo lubrificante, composição de óleo lubrificante, e uso de pacote de aditivo**. BR n. BR102013008870A2. Depósito: 11 abr. 2013. Concessão: 13 out. 2015. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/92/14/04/3f0fbe8a47fce6/BR102013008870A2.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2022.

APÊNDICE A: BANCO DE DADOS

| Amostra | Condição | Evento | Viscosidade a 40°C | TAN | Alumínio | Cobre | Cromo | Ferro | Silício | Chumbo |
|---------|----------------|--------|--------------------|------|----------|-------|-------|-------|---------|--------|
| 1 | Ok | 0 | 216,4 | 0,39 | 0,1 | 8,05 | 0,1 | 19,64 | 0,54 | 0,1 |
| 2 | Atencao | 1 | 235,8 | 0,53 | 0,1 | 4,54 | 0,1 | 47,57 | 2,06 | 0,1 |
| 3 | Ok | 0 | 213,3 | 0,45 | 0,1 | 4,69 | 0,1 | 32,54 | 2 | 0,1 |
| 4 | Ok | 0 | 235,1 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 8,81 | 0,41 | 0,1 |
| 5 | Ok | 0 | 227,6 | 0,56 | 0,1 | 1,41 | 0,1 | 39,67 | 0,34 | 0,1 |
| 6 | Ok | 0 | 233,2 | 0,46 | 0,1 | 0,73 | 0,1 | 34,79 | 1,88 | 0,1 |
| 7 | Trocar/Atencao | 1 | 210,6 | 0,56 | 0,1 | 8,53 | 0,1 | 78,77 | 1,55 | 0,1 |
| 8 | Atencao | 1 | 228,3 | 0,5 | 0,1 | 10,5 | 0,1 | 13,55 | 1,5 | 0,1 |
| 9 | Atencao | 1 | 217,2 | 0,61 | 0,1 | 15,99 | 0,1 | 112,3 | 2,26 | 0,1 |
| 10 | Ok | 0 | 223,8 | 0,66 | 0,61 | 18,31 | 0,1 | 15,63 | 2,84 | 0,1 |
| 11 | Ok | 0 | 223,3 | 0,76 | 0,1 | 3,41 | 0,1 | 68,36 | 5,27 | 0,1 |
| 12 | Atencao | 1 | 228,7 | 0,68 | 0,1 | 17,03 | 0,1 | 19,45 | 2,93 | 0,1 |
| 13 | Trocar | 1 | 287,8 | 0,32 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,83 | 1,96 | 0,1 |
| 14 | Trocar/Atencao | 1 | 234,4 | 0,35 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 25,53 | 0,94 | 0,1 |
| 15 | Ok | 0 | 212,2 | 0,45 | 0,1 | 5,09 | 0,1 | 32,16 | 2,43 | 0,1 |
| 16 | Ok | 0 | 229,7 | 0,36 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 5,55 | 1,2 | 0,1 |
| 17 | Ok | 0 | 220,9 | 0,63 | 0,1 | 21,02 | 0,1 | 116,6 | 3,07 | 0,1 |
| 18 | Ok | 0 | 225,6 | 0,71 | 0,1 | 18,39 | 0,1 | 15,41 | 2,1 | 0,1 |
| 19 | Ok | 0 | 226 | 0,78 | 0,1 | 4,05 | 0,1 | 66,39 | 4,95 | 0,1 |
| 20 | Atencao | 1 | 227,4 | 0,66 | 0,1 | 15,75 | 0,1 | 18,59 | 1,37 | 0,1 |
| 21 | Ok | 0 | 220,6 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 2,4 | 0,88 | 1,82 |
| 22 | Ok | 0 | 238,8 | 0,35 | 0,1 | 0,58 | 0,13 | 33,15 | 1,39 | 0,1 |
| 23 | Atencao | 1 | 221,8 | 0,39 | 0,1 | 0,13 | 0,1 | 1,89 | 2 | 0,1 |
| 24 | Ok | 0 | 212,7 | 0,42 | 0,1 | 8,51 | 0,1 | 18,68 | 0,58 | 0,1 |
| 25 | Ok | 0 | 233,9 | 0,41 | 0,1 | 0,8 | 0,1 | 9,66 | 1,22 | 0,1 |
| 26 | Ok | 0 | 226 | 0,57 | 0,1 | 2,22 | 0,1 | 39,19 | 0,69 | 0,1 |
| 27 | Ok | 0 | 232,8 | 0,46 | 0,1 | 2,18 | 0,1 | 41,25 | 2,66 | 0,1 |
| 28 | Atencao | 1 | 234,7 | 0,56 | 0,1 | 3,14 | 0,1 | 40,61 | 2,75 | 0,1 |
| 29 | Ok | 0 | 213,8 | 0,4 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | 0,05 | 1,37 | 0,1 |
| 30 | Ok | 0 | 215,9 | 0,59 | 0,1 | 18,39 | 0,1 | 143,5 | 2,02 | 0,1 |
| 31 | Ok | 0 | 204,8 | 0,43 | 0,1 | 4,16 | 0,1 | 35,55 | 1,34 | 0,1 |
| 32 | Ok | 0 | 226,1 | 0,67 | 0,72 | 17,21 | 0,1 | 16,4 | 1,87 | 0,1 |
| 33 | Ok | 0 | 227,6 | 0,78 | 0,1 | 2,31 | 0,1 | 65,02 | 4,47 | 0,1 |
| 34 | Atencao | 1 | 229,2 | 0,67 | 0,1 | 16,23 | 0,1 | 19,8 | 1,63 | 0,1 |
| 35 | Ok | 0 | 208,9 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,85 | 0,1 | 0,1 |
| 36 | Atencao | 1 | 235,7 | 0,32 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 29,58 | 0,7 | 0,1 |
| 37 | Atencao | 1 | 241,5 | 0,39 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,03 | 1,84 | 0,1 |
| 38 | Ok | 0 | 235,4 | 0,38 | 0,1 | 1,14 | 0,1 | 8,8 | 1,76 | 0,1 |
| 39 | Atencao | 1 | 227,3 | 0,41 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 5,49 | 2,34 | 0,1 |
| 40 | Atencao | 1 | 232,7 | 0,45 | 0,1 | 1,91 | 0,1 | 46,19 | 1,06 | 0,1 |
| 41 | Ok | 0 | 230,5 | 0,54 | 0,1 | 10,68 | 0,1 | 148,3 | 1,12 | 6,91 |
| 42 | Ok | 0 | 236,2 | 0,56 | 0,1 | 1,6 | 0,1 | 37,49 | 0,65 | 0,1 |
| 43 | Atencao | 1 | 211,7 | 0,32 | 0,1 | 0,69 | 0,1 | 3,23 | 2,47 | 0,1 |
| 44 | Atencao | 1 | 234,7 | 0,39 | 0,1 | 0,36 | 0,1 | 6,98 | 3,61 | 0,1 |

| Amostra | Condição | Evento | Zinco | Estanho | Molibdênio | Níquel | Cálcio | Sódio | Prata | N04 |
|---------|----------------|--------|-------|---------|------------|--------|--------|-------|-------|------|
| 1 | Ok | 0 | 2,69 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 3,29 | 0,16 | 0,1 | 2490 |
| 2 | Atencao | 1 | 5,46 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,24 | 0,1 | 2150 |
| 3 | Ok | 0 | 10,47 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,65 | 0,36 | 0,1 | 2780 |
| 4 | Ok | 0 | 0,84 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,61 | 0,43 | 0,1 | 1670 |
| 5 | Ok | 0 | 3,9 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 8,86 | 0,95 | 0,1 | 2880 |
| 6 | Ok | 0 | 3,72 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,32 | 0,81 | 0,1 | 960 |
| 7 | Trocar/Atencao | 1 | 10,8 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,59 | 0,1 | 6370 |
| 8 | Atencao | 1 | 3,85 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,62 | 0,1 | 5090 |
| 9 | Atencao | 1 | 34,56 | 0,1 | 0,21 | 0,1 | 1,28 | 0,47 | 0,1 | 7780 |
| 10 | Ok | 0 | 260 | 0,1 | 107,3 | 0,1 | 2,2 | 0,24 | 0,1 | 3770 |
| 11 | Ok | 0 | 13,69 | 0,1 | 2,82 | 0,1 | 2,83 | 0,75 | 0,1 | 3610 |
| 12 | Atencao | 1 | 23,29 | 0,1 | 13,07 | 0,1 | 0,36 | 0,19 | 0,1 | 7150 |
| 13 | Trocar | 1 | 25,85 | 0,1 | 15,31 | 0,1 | 3,21 | 0,48 | 0,1 | 2520 |
| 14 | Trocar/Atencao | 1 | 12,44 | 0,1 | 1,58 | 0,1 | 5,13 | 0,62 | 0,1 | 1977 |
| 15 | Ok | 0 | 18,65 | 0,1 | 3,21 | 0,1 | 2,6 | 1,37 | 0,1 | 3050 |
| 16 | Ok | 0 | 3,43 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,67 | 12,97 | 0,1 | 1870 |
| 17 | Ok | 0 | 37,49 | 0,1 | 0,45 | 0,1 | 5,21 | 0,1 | 0,1 | 3060 |
| 18 | Ok | 0 | 244,1 | 0,1 | 95,88 | 0,1 | 3,4 | 0,1 | 0,1 | 3490 |
| 19 | Ok | 0 | 13,97 | 0,1 | 1,47 | 0,1 | 3,78 | 0,1 | 0,1 | 3390 |
| 20 | Atencao | 1 | 20,47 | 0,1 | 10,44 | 0,1 | 1,9 | 0,1 | 0,1 | 5890 |
| 21 | Ok | 0 | 5,92 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 2,29 | 0,1 | 0,1 | 2910 |
| 22 | Ok | 0 | 5,57 | 0,1 | 0,25 | 0,1 | 2,78 | 1,2 | 0,1 | 2700 |
| 23 | Atencao | 1 | 70,43 | 0,1 | 0,26 | 0,1 | 1,37 | 3,98 | 0,1 | 2445 |
| 24 | Ok | 0 | 2,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 5,5 | 1,04 | 0,1 | 3590 |
| 25 | Ok | 0 | 1,56 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 2,74 | 0,82 | 0,1 | 1310 |
| 26 | Ok | 0 | 3,84 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 6,45 | 1,77 | 0,1 | 2580 |
| 27 | Ok | 0 | 4,65 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,98 | 1,3 | 0,1 | 2570 |
| 28 | Atencao | 1 | 4,55 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,18 | 1,17 | 0,1 | 5650 |
| 29 | Ok | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 1,47 | 0,1 | 1760 |
| 30 | Ok | 0 | 39,69 | 0,1 | 1,37 | 0,1 | 0,95 | 0,09 | 0,1 | 3220 |
| 31 | Ok | 0 | 13,27 | 0,1 | 0,32 | 0,1 | 1,95 | 0,47 | 0,1 | 3120 |
| 32 | Ok | 0 | 259,2 | 0,1 | 110,8 | 0,1 | 1,19 | 0,1 | 0,1 | 1770 |
| 33 | Ok | 0 | 13,13 | 0,1 | 2,84 | 0,1 | 1,89 | 0,44 | 0,1 | 3120 |
| 34 | Atencao | 1 | 23,15 | 0,1 | 14,86 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 4480 |
| 35 | Ok | 0 | 5,09 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,71 | 0,13 | 0,1 | 3780 |
| 36 | Atencao | 1 | 7,21 | 0,1 | 0,14 | 0,1 | 2,55 | 0,16 | 0,1 | 4600 |
| 37 | Atencao | 1 | 0,9 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,87 | 0,1 | 0,1 | 5690 |
| 38 | Ok | 0 | 2,09 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,92 | 0,1 | 0,1 | 2210 |
| 39 | Atencao | 1 | 5,37 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,39 | 1,12 | 0,1 | 2760 |
| 40 | Atencao | 1 | 9,95 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 4,02 | 0,45 | 0,1 | 4670 |
| 41 | Ok | 0 | 21,26 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 2280 |
| 42 | Ok | 0 | 4,37 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,09 | 0,1 | 2620 |
| 43 | Atencao | 1 | 29,5 | 0,1 | 14,09 | 0,1 | 1,34 | 0,1 | 0,1 | 4890 |
| 44 | Atencao | 1 | 3,09 | 0,1 | 0,08 | 0,1 | 1,74 | 0,1 | 0,1 | 6990 |

| Amostra | Condição | Evento | N06 | N14 | Boro | Bário | Magnésio | Manganês | Fósforo | Titânio | Vanádio | Teor de Água Volumétrico |
|---------|----------------|--------|------|-----|------|-------|----------|----------|---------|---------|---------|--------------------------|
| 1 | Ok | 0 | 750 | 70 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 327,9 | 0,1 | 0,1 | 283ppm |
| 2 | Atencao | 1 | 1120 | 110 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 357,5 | 0,1 | 0,1 | 216ppm |
| 3 | Ok | 0 | 850 | 80 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 329,1 | 0,1 | 0,1 | 227ppm |
| 4 | Ok | 0 | 510 | 20 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 363,7 | 0,1 | 0,1 | 400ppm |
| 5 | Ok | 0 | 840 | 40 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 361,7 | 0,1 | 0,1 | 261ppm |
| 6 | Ok | 0 | 220 | 20 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 327,6 | 0,1 | 0,1 | 282ppm |
| 7 | Trocar/Atencao | 1 | 2110 | 270 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 345,6 | 0,1 | 0,1 | 306ppm |
| 8 | Atencao | 1 | 1560 | 100 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 358,7 | 0,1 | 0,1 | 293ppm |
| 9 | Atencao | 1 | 1320 | 60 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,15 | 357,5 | 0,1 | 0,1 | 311ppm |
| 10 | Ok | 0 | 1240 | 80 | 0,1 | 0,1 | 83,46 | 0,1 | 326,4 | 0,1 | 0,1 | 425ppm |
| 11 | Ok | 0 | 1040 | 140 | 0,1 | 0,1 | 2,21 | 0,1 | 305,9 | 0,1 | 0,1 | 180ppm |
| 12 | Atencao | 1 | 2110 | 100 | 0,1 | 0,1 | 13,27 | 0,1 | 328,3 | 0,1 | 0,1 | 246ppm |
| 13 | Trocar | 1 | 1260 | 130 | 0,1 | 0,1 | 16 | 0,1 | 309,6 | 0,1 | 0,1 | 554ppm |
| 14 | Trocar/Atencao | 1 | 1338 | 246 | 5,17 | 0,1 | 2,81 | 0,1 | 293,1 | 0,1 | 0,1 | 0,007695 |
| 15 | Ok | 0 | 1070 | 100 | 0,1 | 0,1 | 3,3 | 0,1 | 366,3 | 0,1 | 0,1 | 237ppm |
| 16 | Ok | 0 | 350 | 160 | 0,1 | 0,1 | 0,01 | 0,1 | 306,4 | 0,1 | 0,1 | 254ppm |
| 17 | Ok | 0 | 1320 | 40 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,91 | 311,1 | 0,1 | 0,1 | 358ppm |
| 18 | Ok | 0 | 650 | 30 | 0,1 | 0,1 | 96,28 | 0,1 | 297,9 | 0,1 | 0,1 | 421ppm |
| 19 | Ok | 0 | 1160 | 140 | 0,1 | 0,1 | 1,93 | 0,1 | 296,4 | 0,1 | 0,1 | 313ppm |
| 20 | Atencao | 1 | 920 | 40 | 0,1 | 0,1 | 10,75 | 0,1 | 292 | 0,1 | 0,1 | 254ppm |
| 21 | Ok | 0 | 730 | 30 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 308,9 | 0,1 | 0,1 | 204ppm |
| 22 | Ok | 0 | 1120 | 90 | 0,1 | 0,1 | 5,49 | 0,1 | 297,4 | 0,1 | 0,1 | 272ppm |
| 23 | Atencao | 1 | 1140 | 340 | 0,1 | 0,1 | 4,59 | 0,1 | 308,4 | 0,1 | 0,1 | 234ppm |
| 24 | Ok | 0 | 1050 | 50 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 286 | 0,1 | 0,1 | 91ppm |
| 25 | Ok | 0 | 440 | 30 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 331,4 | 0,1 | 0,1 | 236ppm |
| 26 | Ok | 0 | 780 | 30 | 0,1 | 0,1 | 0,08 | 0,1 | 288,7 | 0,1 | 0,1 | 258ppm |
| 27 | Ok | 0 | 750 | 40 | 0,1 | 0,1 | 0,27 | 0,1 | 298,9 | 0,1 | 0,1 | 193ppm |
| 28 | Atencao | 1 | 1070 | 60 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 319,2 | 0,1 | 0,1 | 308ppm |
| 29 | Ok | 0 | 260 | 130 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 284,6 | 0,1 | 0,1 | 213ppm |
| 30 | Ok | 0 | 1180 | 180 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,47 | 364,9 | 0,1 | 0,1 | 289ppm |
| 31 | Ok | 0 | 1030 | 60 | 0,1 | 0,1 | 0,24 | 0,1 | 325,2 | 0,1 | 0,1 | 192ppm |
| 32 | Ok | 0 | 570 | 40 | 0,1 | 0,1 | 100,1 | 0,1 | 342,9 | 0,1 | 0,1 | 352ppm |
| 33 | Ok | 0 | 1360 | 210 | 0,1 | 0,1 | 2,3 | 0,1 | 314,3 | 0,1 | 0,1 | 197ppm |
| 34 | Atencao | 1 | 1270 | 90 | 0,1 | 0,1 | 14,42 | 0,1 | 352,6 | 0,1 | 0,1 | 230ppm |
| 35 | Ok | 0 | 940 | 40 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 359,5 | 0,1 | 0,1 | 217ppm |
| 36 | Atencao | 1 | 1490 | 170 | 0,1 | 0,1 | 3,42 | 0,1 | 284,5 | 0,1 | 0,1 | 230ppm |
| 37 | Atencao | 1 | 810 | 70 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 306,2 | 0,1 | 0,1 | 192ppm |
| 38 | Ok | 0 | 870 | 80 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 305,1 | 0,1 | 0,1 | 253ppm |
| 39 | Atencao | 1 | 1170 | 180 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 322,5 | 0,1 | 0,1 | 298ppm |
| 40 | Atencao | 1 | 1700 | 180 | 0,1 | 0,23 | 0,18 | 0,1 | 306,7 | 0,1 | 0,1 | 518ppm |
| 41 | Ok | 0 | 780 | 120 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 290,5 | 0,1 | 0,1 | 348ppm |
| 42 | Ok | 0 | 700 | 60 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 318,7 | 0,1 | 0,1 | 225ppm |
| 43 | Atencao | 1 | 1630 | 120 | 0,1 | 0,1 | 32,37 | 0,1 | 291 | 0,1 | 0,1 | 374ppm |
| 44 | Atencao | 1 | 1740 | 140 | 0,1 | 0,1 | 1,63 | 0,1 | 328,2 | 0,1 | 0,1 | 230ppm |

| Amostra | Condição | Mês | Obra | Equipamento | Laudo |
|---------|----------------|-----------|------|----------------|---|
| 1 | Ok | Janeiro | C | RS07-G-20801 | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 2 | Atenção | Janeiro | C | RS07-50EX801 | Laudo: CLASSIFICACAO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTICULAS APONTA PARA O NIVEL DE "ATENCAO". |
| 3 | Ok | Janeiro | A | RS01-SEX-601A | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 4 | Ok | Janeiro | C | RS07-G-20801 | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 5 | Ok | Janeiro | C | RS07-G-820 | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 6 | Ok | Janeiro | C | RS07-G-820 | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 7 | Trocar/Atenção | Janeiro | C | RS07-40EX601 | Laudo: A AMOSTRA RECEBIDA APRESENTOU ELEVADO NIVEL DE CONTAMINACAO SOLIDA CONSIDERANDO O ENSAIO CONFORME NORMA ISO 4406-17 E AS4059. |
| 8 | Atenção | Janeiro | C | RS07-40EX601 | Laudo: CLASSIFICACAO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTICULAS APONTA PARA O NIVEL DE "ATENCAO". |
| 9 | Atenção | Janeiro | A | RS01-L-229C-R | Laudo: CLASSIFICACAO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTICULAS APONTA PARA O NIVEL DE "ATENCAO". |
| 10 | Ok | Janeiro | A | RS01-SP-600A | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 11 | Ok | Janeiro | A | RS01-SEX-601B | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 12 | Atenção | Janeiro | A | RS01-SP-600B | Laudo: CLASSIFICACAO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTICULAS APONTA PARA O NIVEL DE "ATENCAO". |
| 13 | Trocar | Janeiro | A | RS01-11-IE-203 | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA NAO SE ENCONTRA EM CONDICOES DE USO. |
| 14 | Trocar/Atenção | Janeiro | A | RS01-12-IE-203 | Laudo: OS RESULTADOS DE CONTAGEM DE PARTICULAS FOI OBTIDO ATRAVES DE METODO NORMALIZADO PELO PROCEDIMENTO ISO 4407 QUE ATENDE AS NOR- MAS ISO 4406-17, NAS1638 E AS4059. ESTA METODOLOGIA SERA USADA QUANDO HOVER PRESENCA DE AGUA. ESTE CONTAMINANTE INTERFERE NAS LEITURAS REALIZADAS ATRAVES DE LEITURA A LASER APRESENTANDO FAL- SOS VALORES. |
| 15 | Ok | Fevereiro | A | RS01-SEX-601A | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 16 | Ok | Fevereiro | B | RS04-35C01A | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 17 | Ok | Fevereiro | A | RS01-L-229C-R | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 18 | Ok | Fevereiro | A | RS01-SP-600A | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 19 | Ok | Fevereiro | A | RS01-SEX-601B | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| 20 | Atenção | Fevereiro | A | RS01-SP-600B | Laudo: CLASSIFICACAO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTICULAS APONTA PARA O NIVEL DE "ATENCAO". |

| Amostra | Condição | Mês | Obra | Equipamento | Laudos |
|---------|----------|-----------|------|----------------|--|
| 21 | Ok | Fevereiro | A | RS01-L-229D-R | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 22 | Ok | Fevereiro | A | RS01-12-IE-203 | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 23 | Atenção | Fevereiro | B | RS04-35C01B | Laudos: CLASSIFICAÇÃO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTÍCULAS APONTA PARA O NÍVEL DE "ATENÇÃO". |
| 24 | Ok | Fevereiro | C | RS07-G-20801 | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 25 | Ok | Fevereiro | C | RS07-G-20801 | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 26 | Ok | Fevereiro | C | RS07-G-820 | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 27 | Ok | Fevereiro | C | RS07-G-820 | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 28 | Atenção | Fevereiro | C | RS07-50EX801 | Laudos: CLASSIFICAÇÃO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTÍCULAS APONTA PARA O NÍVEL DE "ATENÇÃO". |
| 29 | Ok | Fevereiro | C | RS07-50EX801 | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 30 | Ok | Março | A | RS01-L-229C-R | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 31 | Ok | Março | A | RS01-SEX-601A | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 32 | Ok | Março | A | RS01-SP-600A | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 33 | Ok | Março | A | RS01-SEX-601B | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 34 | Atenção | Março | A | RS01-SP-600B | Laudos: CLASSIFICAÇÃO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTÍCULAS APONTA PARA O NÍVEL DE "ATENÇÃO". |
| 35 | Ok | Março | A | RS01-L-229D-R | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 36 | Atenção | Março | A | RS01-12-IE-203 | Laudos: CLASSIFICAÇÃO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTÍCULAS APONTA PARA O NÍVEL DE "ATENÇÃO". |
| 37 | Atenção | Março | C | RS07-G-20801 | Laudos: CLASSIFICAÇÃO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTÍCULAS APONTA PARA O NÍVEL DE "ATENÇÃO". |
| 38 | Ok | Março | C | RS07-G-20801 | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 39 | Atenção | Março | C | RS07-G-820 | Laudos: CLASSIFICAÇÃO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTÍCULAS APONTA PARA O NÍVEL DE "ATENÇÃO". |
| 40 | Atenção | Março | C | RS07-G-820 | Laudos: CLASSIFICAÇÃO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTÍCULAS APONTA PARA O NÍVEL DE "ATENÇÃO". |
| 41 | Ok | Março | C | RS07-50EX801 | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 42 | Ok | Março | C | RS07-50EX801 | Laudos: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDIÇÕES DE USO. |
| 43 | Atenção | Março | B | RS04-34C01A | Laudos: CLASSIFICAÇÃO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTÍCULAS APONTA PARA O NÍVEL DE "ATENÇÃO". |
| 44 | Atenção | Março | B | RS04-34C01B | Laudos: CLASSIFICAÇÃO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTÍCULAS APONTA PARA O NÍVEL DE "ATENÇÃO". |

APÊNDICE B: DADOS VALIDAÇÃO

| Amostra | Condição | Evento | Viscosidade a 40°C | TAN | Alumínio | Cobre | Cromo | Ferro | Silício | Chumbo |
|---------|----------|--------|--------------------|------|----------|-------|-------|-------|---------|--------|
| Test1 | Ok | 0 | 216,3 | 0,38 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 3,13 | 1,06 | 0,1 |
| Test2 | Ok | 0 | 223,6 | 2,71 | 20,53 | 0,1 | 0,1 | 4,63 | 117,3 | 0,1 |
| Test3 | Atencao | 1 | 365,6 | 0,31 | 0,1 | 0,44 | 0,1 | 5,8 | 6,11 | 0,1 |
| Test4 | Atencao | 1 | 230,4 | 0,54 | 0,1 | 10,58 | 0,26 | 156,2 | 4,99 | 10,56 |
| Test5 | Atencao | 1 | 386,2 | 0,32 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 4,39 | 5,7 | 0,1 |

| Amostra | Condição | Evento | Zinco | Estanho | Molibdênio | Niquel | Cálcio | Sódio | Prata | N04 |
|---------|----------|--------|-------|---------|------------|--------|--------|-------|-------|------|
| Test1 | Ok | 0 | 12,23 | 0,1 | 5,84 | 0,1 | 0,61 | 0,68 | 0,1 | 2410 |
| Test2 | Ok | 0 | 1657 | 0,1 | 1332 | 0,1 | 14,67 | 1,14 | 0,1 | 2510 |
| Test3 | Atencao | 1 | 25,06 | 0,1 | 14,21 | 0,1 | 4,78 | 0,04 | 0,1 | 2260 |
| Test4 | Atencao | 1 | 23,02 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,12 | 1,03 | 0,1 | 3250 |
| Test5 | Atencao | 1 | 25,07 | 0,1 | 17,2 | 0,1 | 4 | 0,39 | 0,1 | 2235 |

| Amostra | Condição | Evento | N06 | N14 | Boro | Bário | Magnésio | Manganês | Fósforo | Titânio |
|---------|----------|--------|------|-----|------|-------|----------|----------|---------|---------|
| Test1 | Ok | 0 | 580 | 30 | 0,1 | 0,1 | 13,38 | 0,1 | 285,5 | 0,1 |
| Test2 | Ok | 0 | 550 | 40 | 0,1 | 0,1 | 1727 | 0,1 | 1424 | 0,1 |
| Test3 | Atencao | 1 | 1680 | 270 | 0,1 | 0,1 | 16,44 | 0,1 | 297,5 | 0,1 |
| Test4 | Atencao | 1 | 1740 | 290 | 0,1 | 0,1 | 0,35 | 0,2 | 310,2 | 0,1 |
| Test5 | Atencao | 1 | 1320 | 340 | 0,1 | 0,1 | 26,69 | 0,1 | 284,7 | 0,1 |

| Amostra | Condição | Evento | Vanádio | Teor de Água Volumétrico |
|---------|----------|--------|---------|--------------------------|
| Test1 | Ok | 0 | 0,1 | 194ppm |
| Test2 | Ok | 0 | 0,1 | 581ppm |
| Test3 | Atencao | 1 | 0,1 | 648ppm |
| Test4 | Atencao | 1 | 0,1 | 287ppm |
| Test5 | Atencao | 1 | 0,1 | 422ppm |

| Amostra | Condição | Mês | Obra | Equipamento | Laudo |
|---------|----------|-----------|------|----------------|---|
| Test1 | Ok | Abril | B | RS04-34C01A | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| Test2 | Ok | Janeiro | B | RS04-13C01B | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA ENCONTRA-SE EM CONDICOES DE USO. |
| Test3 | Atenção | Fevereiro | A | RS01-11-IE-203 | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA NAO SE ENCONTRA EM CONDICOES DE USO.O LUBRIFICANTE SOFREU CONSIDERAVEL AUMENTO DE VISCOSIDADE SENDO ACONSELHAVEL SUA SUBSTITUICAO. |
| Test4 | Atenção | Fevereiro | C | RS07-50EX801 | Laudo: CLASSIFICACAO PARA O RESULTADO DE CONTAGEM DE PARTICULAS APONTA PARA O NIVEL DE "ATENCAO". |
| Test5 | Atenção | Março | A | RS01-11-IE-203 | Laudo: O PRODUTO REPRESENTADO PELA AMOSTRA NAO SE ENCONTRA EM CONDICOES DE USO.O LUBRIFICANTE SOFREU CONSIDERAVEL AUMENTO DE VISCOSIDADE SENDO ACONSELHAVEL SUA SUBSTITUICAO. |