

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

FERRAMENTA PARA DIAGNOSE DE FALHA EM SISTEMA DE FREIOS DE UM
VEÍCULO BAJA SAE

Marcelo Filgueiras Cruz

São Paulo

2014

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

FERRAMENTA PARA DIAGNOSE DE FALHA EM SISTEMA DE FREIOS DE UM
VEÍCULO BAJA SAE

Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do título de
Graduação em Engenharia

Marcelo Filgueiras Cruz

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto Leal Alves

Área de concentração:

Engenharia Mecânica

São Paulo

2014

Cruz, Marcelo Filgueiras

Ferramenta para diagnose de falha em sistema de freios de um veículo Baja SAE, por M. F. Cruz. São Paulo: EPUSP, 2014. 59 p. + apêndices.

Trabalho de formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica

1. Análise de falhas 2. Identificação de falhas 3. Baja SAE I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica III.t.

RESUMO

Em ambientes de competição é de suma importância que a identificação de falhas seja realizada de forma eficiente, consistente e confiável. Embora a literatura sobre análise de falhas seja extensa, há o espaço para o desenvolvimento de uma ferramenta voltada especificamente para o processo de identificação. Este trabalho propõe o projeto de tal ferramenta através do levantamento das falhas potenciais de um dado sistema mecânico, dos respectivos métodos de identificação, da descrição do processo de análise e do armazenamento dos resultados. A ferramenta baseia-se em um banco de dados relacional que permite a necessária flexibilidade em fornecer informações derivadas dos dados armazenados. É realizado um estudo de caso, aplicando-se a teoria desenvolvida ao sistema de freios de um protótipo Baja SAE.

ABSTRACT

In a racing environment it is vital that the failure identification process is carried out in an efficient, consistent and reliable way. Although the literature regarding failure analysis is extensive, there is room for the development of a tool oriented specifically to failure identification process. This research proposes the design of such tool through the listing of a mechanical systems potential failures, their identification methods, the description of the analysis procedure and the results' data logging. The tool is based on a relational database system that allows for the necessary flexibility in providing information derived from stored data. The theory developed is applied to the braking system of a Baja SAE prototype as a case study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Número estimado de voltas dos 10 primeiros colocados no enduro de resistência na 20ª Competição Baja SAE Brasil – Petrobras. Dados baseados em SAE Brasil (2014).	3
Figura 2 – Modelo de resolução de problemas adaptado de Scutti; McBrine (2002). 5	5
Figura 3 – Formulário para revisão bibliográfica.	6
Figura 4 – Discos de freio.	7
Figura 5 – Pinças de freio.	8
Figura 6 – Tubulação hidráulica.	8
Figura 7 – Cilindros mestre.	9
Figura 8 – <i>Balance bar</i>	9
Figura 9 – Pedal.	10
Figura 10 – Diagrama de blocos do sistema de freios do protótipo Baja SAE 2014 da Equipe Poli.	10
Figura 11 – Típica distribuição de falhas, adaptado de Scutti; McBrine (2002).	13
Figura 12 – Exemplo de formulário para geração de uma Tabela de Falhas (TF)...	24
Figura 13 – Relação entre causas, modos de falha e efeitos potenciais.	26
Figura 14 – Exemplo de modo de falha observado na etapa de <i>FMEA</i>	27
Figura 15 – Relação entre componentes das falhas do estudo de caso.	28
Figura 16 – Exemplo de atribuição de índices a componentes de falha e respectivos N.P.R.	32
Figura 17 – Evolução da falha potencial de maior risco dentre as apresentadas no exemplo.	33
Figura 18 – Exemplo de métodos de identificação de componentes de falha.	35
Figura 19 – Interação entre os processos de desmontagem e de análise.	37
Figura 20 – Critério de corte baseado em N.P.R.	38
Figura 21 – Falhas potenciais que compõem o processo de análise.	39
Figura 22 – Lista de ações do processo de análise do sistema de freios do protótipo Baja SAE.	40
Figura 23 – Processo de análise.	41
Figura 24 – Diagrama entidade-relacionamento.	43
Figura 25 – Dicionário de dados.	44

Figura 26 – Números de série das peças do estudo de caso.....	46
Figura 27 – <i>Script</i> para visualização de números de série.	46
Figura 28 – Descrição do sistema do estudo de caso.	47
Figura 29 – <i>Script</i> para visualização da descrição de um sistema.	47
Figura 30 – Descrição do processo de análise do estudo de caso.....	48
Figura 31 – <i>Script</i> para descrição do processo de análise.	49
Figura 32 – Dados para teste do banco de dados.....	52
Figura 33 – Pesquisa correspondente à primeira pergunta.	53
Figura 34 – Resposta à primeira pergunta.	53
Figura 35 – Pesquisa correspondente à segunda pergunta.	54
Figura 36 – Resposta à segunda pergunta.	54
Figura 37 – Pesquisa correspondente à terceira pergunta.	54
Figura 38 – Resposta à terceira pergunta.	55
Figura 39 – Pesquisa correspondente à quarta pergunta.....	55
Figura 40 – Resposta à quarta pergunta.....	55

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Motivação.....	1
1.1.1.	Diagnose	1
1.1.2.	Baja SAE	2
1.2.	Objetivos.....	4
1.3.	Perspectiva de contribuição	4
1.3.1.	Contribuição para equipes de Baja SAE	4
1.3.2.	Contribuição para a indústria	4
1.3.3.	Contribuição acadêmica.....	5
1.4.	Método.....	5
1.4.1.	Pesquisa.....	5
1.4.2.	Estudo de caso	6
2.	DEFINIÇÕES E CONCEITOS.....	11
2.1.	Melhoria Contínua.....	11
2.2.	Falha.....	11
2.3.	Análise de falha.....	13
2.4.	Análise de causa raiz	14
2.5.	Métodos de análise de falhas.....	14
3.	RESUMO DO PROJETO	19
3.1.	Descrição do Problema	19
3.2.	Proposta de solução	20
3.3.	Materiais	21
4.	PROJETO DA FERRAMENTA.....	23
4.1.	FMEA.....	23
4.1.1.	Aplicação ao estudo de caso	26

4.2.	Análise quantitativa	30
4.2.1.	Aplicação ao estudo de caso	31
4.3.	Métodos de identificação.....	34
4.3.1.	Aplicação ao estudo de caso	34
4.4.	Processo de análise.....	36
4.4.1.	Aplicação ao estudo de caso	38
4.5.	Banco de dados	42
4.5.1.	Aplicação ao estudo de caso	45
5.	TESTES.....	50
5.1.	Primeiro teste.....	50
5.1.1.	Objetivo	50
5.1.2.	Procedimento.....	50
5.1.3.	Resultados.....	53
5.2.	Segundo teste.....	56
5.2.1.	Objetivo	56
5.2.2.	Procedimento.....	56
5.2.3.	Resultados.....	56
6.	CONCLUSÃO	57
6.1.	Limitações.....	58
6.2.	Trabalhos futuros	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
	Apêndices.....	61
I.	tabela de falhas (tf)	61
II.	<i>Script</i> de criação do banco de dados	63

1. INTRODUÇÃO

Este documento descreve o trabalho realizado como Trabalho de Formatura de Engenharia Mecânica, cujo escopo é o desenvolvimento de uma ferramenta para diagnose de falha. Este documento se divide nas seguintes seções:

- Introdução;
- Definições e conceitos;
- Resumo do projeto;
- Projeto da ferramenta;
- Testes;
- Conclusão.

1.1. Motivação

A motivação deste trabalho provém da dificuldade em se atingir o nível desejado de confiabilidade de componentes e sistemas mecânicos. Pretende-se, portanto, aprimorar o conhecimento e entendimento acerca do comportamento destes frente a situações reais.

Através deste estudo, procura-se fornecer instrumentos para que grupos de projeto como equipes de Baja SAE possam diagnosticar de forma sistemática as falhas encontradas e assim realimentem sua espiral de projeto com dados efetivamente construtivos.

Neste momento, se fazem importantes as seguintes definições:

1.1.1. Diagnose

O processo aqui tratado como diagnose refere-se ao ato de investigar, reconhecer, categorizar e definir a falha ou condição de determinado componente ou conjunto de componentes mecânicos. Bloch; Geitner (1997) definem: “*Diagnosis (...) is simply another word for ‘recognition’, as, for instance, the recognition of a disease*”. Ainda utilizando a definição dos autores, deve-se diferenciar entre dois métodos distintos de diagnose:

- 1) No qual a investigação ocorre após a ocorrência da falha.

- 2) No qual a diagnose é parte do monitoramento da “saúde” mecânica através da análise de parâmetros de condição e desempenho.

Os esforços deste projeto serão focados no método 1 apresentado acima. No entanto, é importante ressaltar que este método pode ser, e recomenda-se que seja, alimentado com informações decorrentes do monitoramento da “saúde” - método 2.

1.1.2. Baja SAE

O programa Baja SAE, ou “*Baja SAE Series*” (SAE INTERNATIONAL, 2013), é um programa interuniversitário no qual estudantes de graduação de cursos de engenharia devem projetar, construir e competir entre si com um veículo conforme um conjunto de regras.

O programa se iniciou nos Estado Unidos da América e foi trazido para o Brasil em 1994, quando a competição teve sua primeira edição nacional. Atualmente, as melhores equipes brasileira são convidadas a participar de uma edição da série norteamericana, uma vez que o conjunto de regras brasileiro é fortemente influenciado por aquele publicado pela *SAE International*.

O regulamento descreve em seu primeiro artigo o objetivo das equipes:

Each team's goal is to design and build a single-seat, all-terrain, sporting vehicle whose structure contains the driver. The vehicle is to be a prototype for a reliable, maintainable, ergonomic, and economic production vehicle which serves a recreational user market, sized at approximately 4000 units per year. The vehicle should aspire to marketleading performance in terms of speed, handling, ride, and ruggedness over rough terrain and off-road conditions. Performance will be measured by success in the dynamic events which are described in the Baja SAE Rules, and are subject to event-site weather and course conditions. (SAE INTERNATIONAL, 2013)

É possível constatar, de imediato, a importância da versatilidade de um veículo Baja SAE. As competições são organizadas de forma a colocar à prova esta versatilidade, de modo que um Baja bem sucedido é aquele capaz de superar o desconhecido.

Falhas de um Baja durante o período de competição não são eventos raros, mas custam, em geral, pontos que podem decidir posições importantes.



Figura 1 – Número estimado de voltas dos 10 primeiros colocados no enduro de resistência na 20ª Competição Baja SAE Brasil – Petrobras. Dados baseados em SAE Brasil (2014).

A Figura 1 ilustra a influência de falhas no número total de voltas no enduro de resistência, prova que detém 400 pontos de 1000 possíveis, da competição nacional ocorrida em março de 2014. O número estimado de voltas é calculado na Equação (1):

$$N_{estimado} = \frac{(T_{enduro} - T_{abastecimento})}{T_{volta\ média}} \quad (1)$$

Sendo que T_{enduro} é o tempo total de prova – quatro horas, $T_{abastecimento}$ é o tempo gasto com abastecimentos e $T_{volta\ média}$ é a duração média de volta sem falhas.

Esta diferença estimada, transformada em pontuação, seria suficiente para modificar a posição geral da equipe *Poli Phantom* de décimo nono para décimo primeiro, e da equipe *Poli Audax* de terceiro para segundo.

É evidente, dada a dificuldade de se estimar e simular as condições às quais o veículo é submetido e a diferença que uma falha pode ocasionar no resultado final, a

importância de toda e qualquer ação que busca o aumento de confiabilidade do veículo e de seus subsistemas.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é projetar uma ferramenta de documentação de dados provenientes de uma diagnose de falha em um sistema de freio de um veículo Baja SAE.

O projeto desta ferramenta em si está inserido no ciclo de projeto do produto, neste caso, de um subsistema mecânico. As análises que precedem a construção da ferramenta e sua interação com os demais passos do ciclo completo também serão abordados neste trabalho e podem, portanto, ser considerados objetivos secundários.

1.3. Perspectiva de contribuição

1.3.1. Contribuição para equipes de Baja SAE

Um veículo Baja SAE difere de qualquer outra categoria de competição em suas dimensões, massa, configuração e motorização. Este fato faz com que as equipes de Baja SAE encontrem no projeto próprio de subsistemas e componentes a melhor aproximação da solução ótima para um melhor desempenho. Além disso, o projeto é frequentemente modificado em busca da melhoria contínua e da transmissão de conhecimento às novas gerações.

Frequentemente os projetistas destas equipes são confrontados com relações de compromisso entre confiabilidade e desempenho e/ou custos de produção, por exemplo. Assim, este trabalho contribui para o sucesso das equipes não somente de forma direta evitando falhas mas também de forma indireta, uma vez que qualquer ação que tenha como foco um maior conhecimento acerca da confiabilidade dos componentes aumenta a eficiência das relações de compromisso citadas.

1.3.2. Contribuição para a indústria

Embora o estudo de caso deste trabalho seja específico a um subsistema de um tipo de veículo pouco usual, a teoria desenvolvida sobre o projeto da ferramenta, sua localização no ciclo de projeto do componente/sistema e os métodos de identificação de falhas podem ser facilmente transportados para ambientes diferentes.

1.3.3. Contribuição acadêmica

A literatura científica voltada para a área trabalha extensamente na determinação da causa raiz e no desenvolvimento de correções. Estes passos no entanto, dependem de uma correta identificação da falha. Scutti; McBrine (2002) apresentam um simplificado modelo de resolução de problemas, como segue na Figura 2:

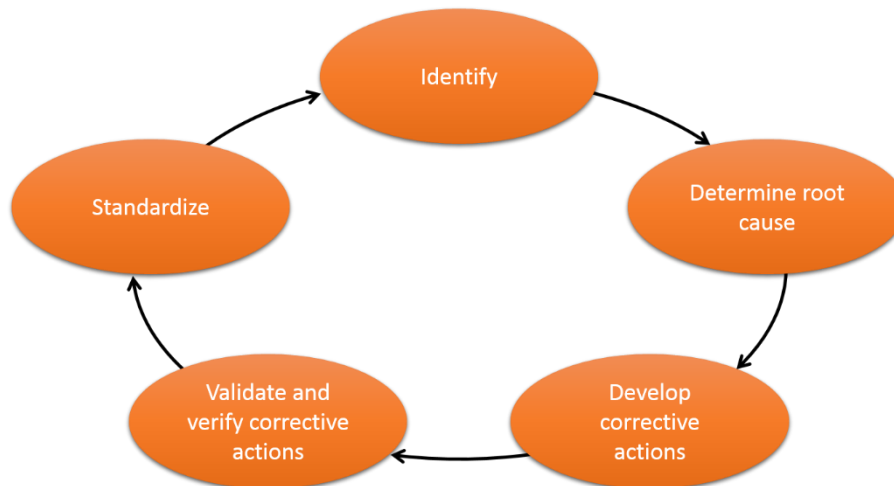


Figura 2 – Modelo de resolução de problemas adaptado de Scutti; McBrine (2002).

Os autores ainda definem esta etapa como:

Identify: Describe the current situation. Define the deficiency in terms of the symptoms (or indicators). Determine the impact of the deficiency on the component, product, system, and customer. Set a goal. Collect data to provide a measurement of the deficiency.

A ferramenta projetada nesta pesquisa é fundamentada em uma sistematização deste passo.

Por se tratar de um projeto multidisciplinar, conhecimentos das áreas trabalhadas no curso de graduação de Engenharia Mecânica como Metodologia de Projeto, Elementos de Máquinas, Materiais de Engenharia e Engenharia Automotiva serão utilizados de forma complementar.

1.4. Método

1.4.1. Pesquisa

A metodologia de pesquisa utilizada neste trabalho é baseada em revisão bibliográfica em bancos de dados especializados em artigos científicos e patentes. O formulário

apresentado na Figura 3 é o modelo utilizado para documentação de todas as revisões realizadas.

Literature Research

- **TYPE OF RESEARCH:**
(Exploratory / Specific)

- **QUESTION:**
(Research must answer this question)

- **KEY WORDS:**
(Key words related to search)

- **STRINGS:**
(String of words used on search tool. Use "&", "OR", "-" etc. More than one string possible)

- **DATABASE:**
(Database used, i.e. Google Scholar)

- **ADDITIONAL CRITERIA:**
 - **Type:** (Articles only, patents only, all)
 - **Date:** (Date of publication, i.e.: from 1910 until 1912)
 - **Journals:** (Specific journals, any)

Figura 3 – Formulário para revisão bibliográfica.

Todos os resultados de uma pesquisa são guardados, assim como o respectivo formulário. Adicionalmente, a leitura do resumo ou relevância determinada pela ferramenta de busca podem servir como critérios adicionais para aceitação do material.

1.4.2. Estudo de caso

A teoria desenvolvida é aplicada ao sistema de freios do veículo Baja SAE projetado no ano de 2014 pela Equipe Poli de Baja. Este estudo, realizado em parceria com a equipe, resulta em uma ferramenta de identificação de falhas será utilizada nos testes de validação da própria ferramenta e no restante da vida útil do sistema de freios.

Os dados obtidos através desta ferramenta serão utilizados no próximo ciclo de projeto do subsistema, que ocorrerá quando a equipe julgar necessário. Desta forma,

não serão apresentados aqui os resultados concretos relacionados ao aumento de confiabilidade do produto de estudo.

O sistema de freios do protótipo Baja SAE da Equipe Poli do ano de 2014 pode ser representado pelos componentes:

- **Discos de freio** (Figura 4):

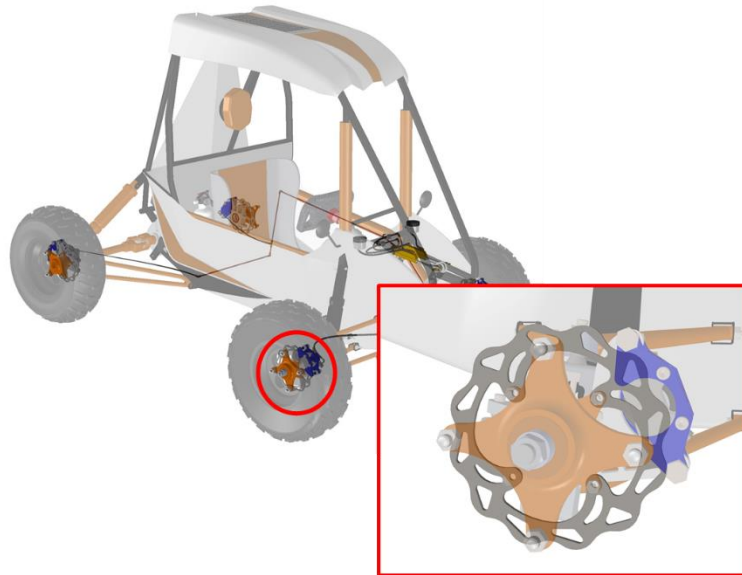


Figura 4 – Discos de freio.

- **Pinças de freio** (Figura 5):

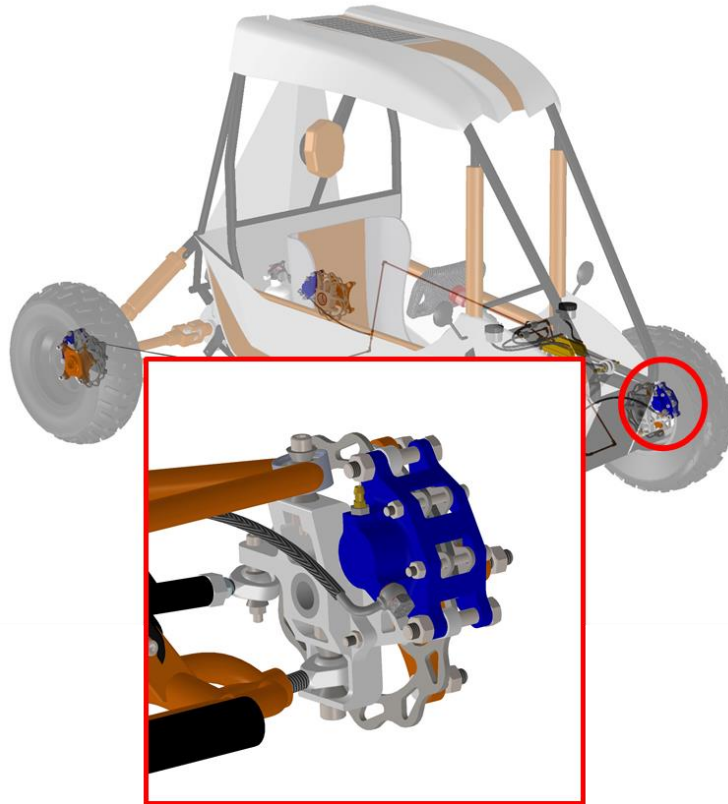


Figura 5 – Pinças de freio.

- **Tubulação hidráulica (Figura 6):**

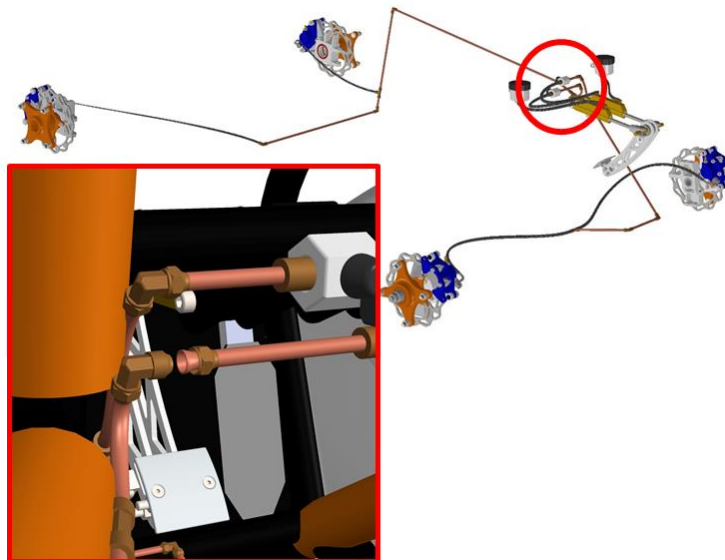


Figura 6 – Tubulação hidráulica.

- **Cilindros mestre (Figura 7):**

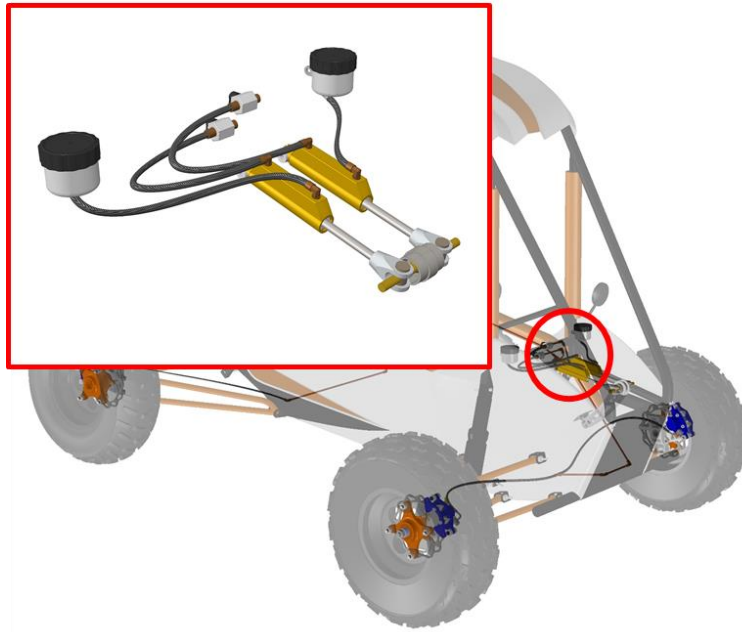


Figura 7 – Cilindros mestre.

- **Balance bar** (Figura 8):

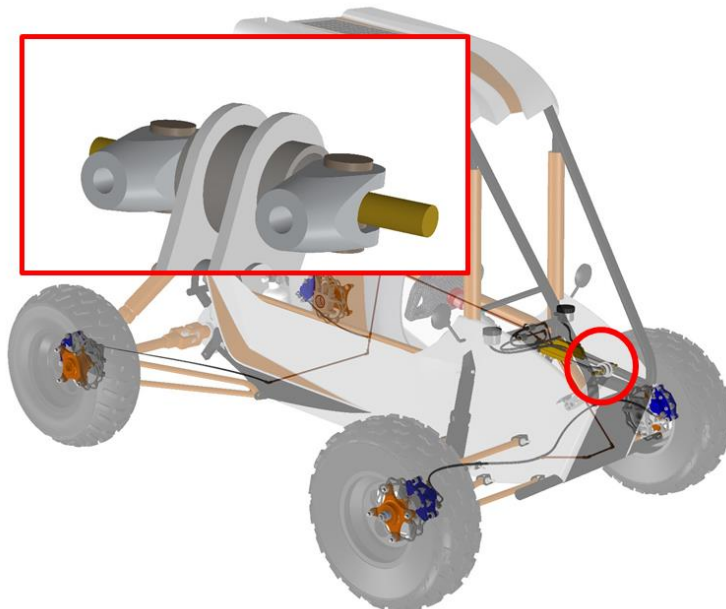


Figura 8 – Balance bar.

- **Pedal** (Figura 9):

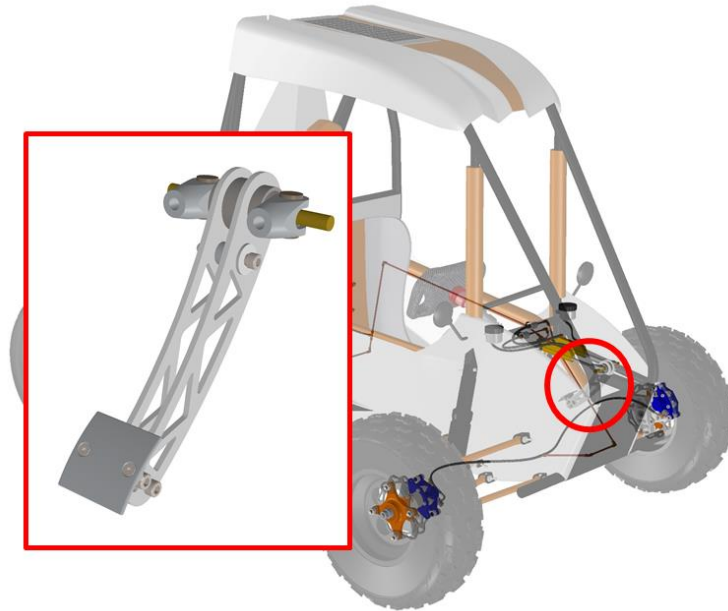


Figura 9 – Pedal.

- Diagrama de blocos (Figura 10):

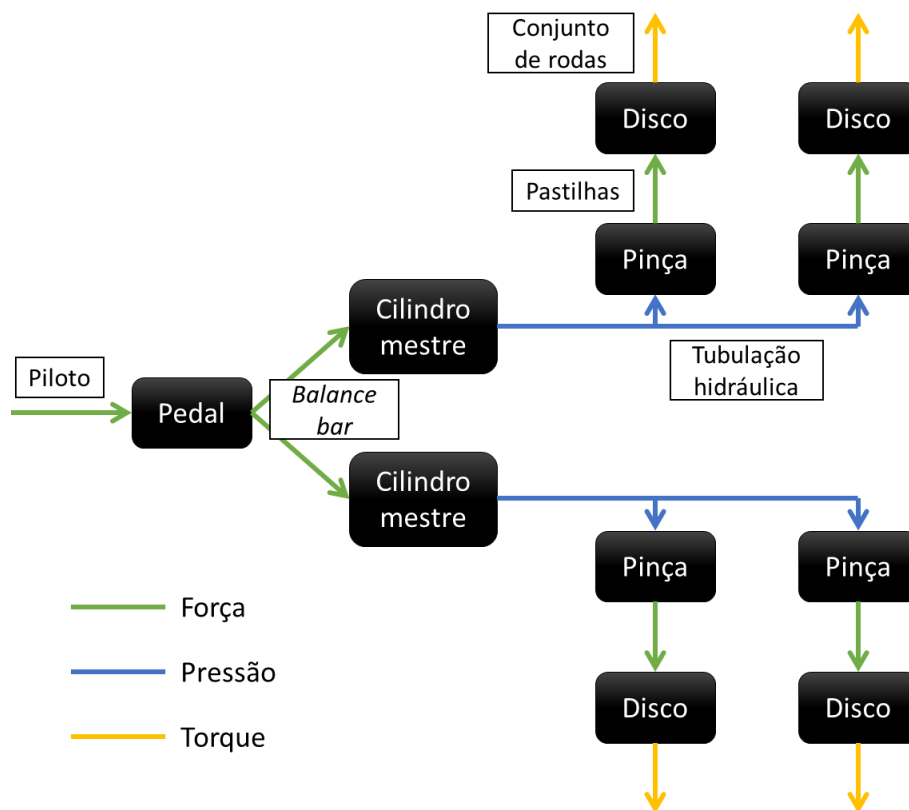


Figura 10 – Diagrama de blocos do sistema de freios do protótipo Baja SAE 2014 da Equipe Poli.

2. DEFINIÇÕES E CONCEITOS

Nesta seção busca-se definir os conceitos básicos utilizados no projeto. Com esta finalidade, é feita uma revisão bibliográfica em publicações relacionadas aos diversos assuntos tratados neste trabalho.

Este capítulo traz definições para os seguintes conceitos:

- Melhoria Contínua;
- Falha;
- Análise de falha;
- Análise de causa raiz;
- Métodos de análise de falhas.

2.1. Melhoria Contínua

Alguns projetos, como o que será tratado no estudo de caso deste trabalho, podem se beneficiar do processo de Melhoria Contínua. Neste trabalho usaremos a definição de Caffyn; Bessant (1996) apud Mesquita; Alliprandini (2003): “Melhoria contínua é um processo (...) focado na inovação incremental e contínua”. Mesquita; Alliprandini (2003) fornecem uma boa comparação, baseada na literatura específica, acerca dos processos de melhoria revolucionária (ou por inovação) e melhoria contínua. Atualmente, os projetos da Equipe Poli utilizam uma mescla entre os dois processos.

2.2. Falha

Scutti; McBrine (2002) definem falha da seguinte maneira na:

(...) In the general sense of the word, a failure is defined as an undesirable event or condition. For the purposes of discussion related to failure analysis and prevention, it is a general term used to imply that a component is unable to adequately perform its intended function. The intended function of a component and therefore the definition of failure may range greatly. For instance, discoloration of an architectural feature is a failure of its intended aesthetic function.

A partir desta breve definição, pode-se perceber a importância de uma definição clara e completa da função, ou das funções, que o produto que se projeta deve realizar.

Os autores definem ainda diferentes níveis de falhas, são eles:

- Perda de função:

The simplest form of a failure is a system or component that operates, but does not perform its intended function (BOYER, 1975). This is considered a loss of function. A jet engine that runs but can only produce partial thrust (insufficient to enable an aircraft to take off) is an example of a loss of function.

- Perda de vida útil:

The next level of failure involves a system or component that performs its function but is unreliable or unsafe (BOYER, 1975). In this form of failure, the system or component has sustained a loss of service life. For example, a wire rope for an elevator has lost its service life when it has sustained fatigue fractures of some of the individual wires, due to irregularities in the wrapping over the sheave. Even though the wire rope continues to function, the presence of fatigue fractures of some of the wires results in an unsafe condition and is therefore considered a failure. Another example of such a failure is the inability of an integrated circuit to function reliably.

- Tornar-se inoperável:

In the next level of severity of failure, a system or component is inoperable (BOYER, 1975), such as a pump shaft fracture that causes the impeller to seize or a loss of load-carrying capability of a structural bolt in-service due to fracture.

Destacam também a importância da definição de falha e de seus diferentes componentes para o sucesso de uma análise:

(...) A logical failure analysis approach first requires a clear understanding of the failure definition and the distinction between an indicator (i.e., symptom), a cause, a failure mechanism, and a consequence.

Although it may be considered by some to be an exercise in semantics, a clear understanding of each piece of the situation associated with a failure greatly enhances the ability to understand causes and mitigating options and to specify appropriate corrective action. (...)

(...) Recognizing the indicators, causes, mechanisms, and consequences helps to focus investigative actions:

- *Indicators(s): Monitor these as precursors and symptoms of failures.*
- *Cause(s): Focus mitigating actions on these.*
- *Failure mechanism(s): These describe how the material failed according to the engineering textbook definitions. If the analysis is correct, the mechanism will be consistent with the cause(s). If the mechanism is not properly understood, then all true cause(s) will not be identified and corrective action will not be fully effective.*
- *Consequence(s): This is what we are trying to avoid.*

Uma falha também pode ser classificada de acordo com quando ela ocorre dentro do ciclo de vida de projeto do componente, de acordo com a Figura 11:

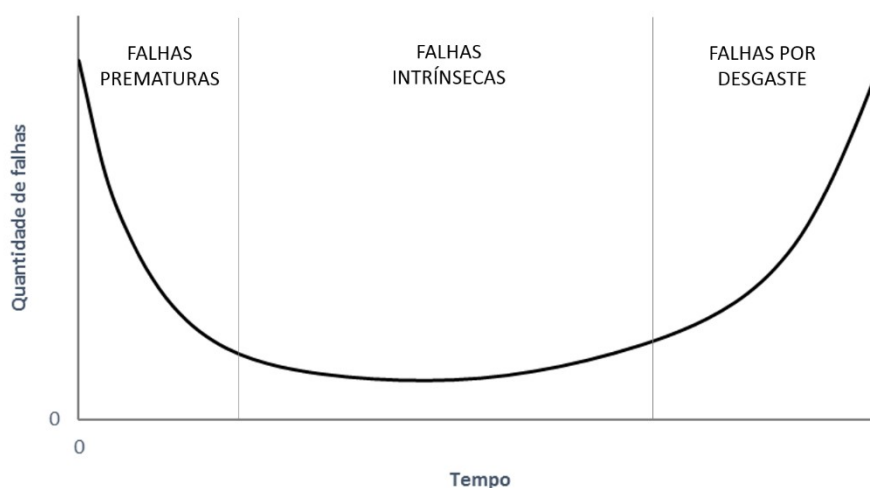


Figura 11 – Típica distribuição de falhas, adaptado de Scutti; McBrine (2002).

2.3. Análise de falha

Análise de falha pode ser definido, de forma geral, de acordo com Scutti; McBrine (2002) como:

Failure analysis is considered to be the examination of the characteristics and causes of equipment or component failure. In most cases this involves the consideration of physical evidence and the use of engineering and scientific principles and analytical tools. Often, the reason why one performs a failure analysis is to characterize the causes of failure with the overall objective to avoid repeat of similar failures.

2.4. Análise de causa raiz

Os autores Scutti; McBrine (2002) ressaltam a importância da identificação da causa raiz de uma falha como meio de se corrigir e evitar sua recorrência:

The principles of root-cause analysis (RCA) may be applied to ensure that the root cause is understood and appropriate corrective actions may be identified. An RCA exercise may simply be a momentary mental exercise or an extensive logistical charting analysis.

Many volumes have been written on the process and methods of RCA. The concept of RCA does not apply to failures alone, but is applied in response to an undesirable event or condition (...). Root-cause analysis is intended to identify the fundamental cause(s) that if corrected will prevent recurrence.

2.5. Métodos de análise de falhas

Podemos identificar dois principais métodos de análise de falhas, o *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) e o *Fault Tree Analysis* (FTA). Suas definições e principais características são:

- FMEA

De acordo com Bowles (2002) FMEA pode ser definido como:

FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) has evolved into a powerful tool that can be used by design engineers during all phases of product development to enhance product safety and reliability by eliminating or mitigating the potential effects of item failures. FMEA consists of examining the modes and causes of item failures and

determining the product response to the failures. Steps can then be taken to change the design in order to eliminate the failure, mitigate its effects, or develop compensating provisions in case the failure should occur. (...)

As the name suggests, FMEA is a procedure that examines each item in a system, considers how that item can fail, and then determines how that failure will affect the operation of the system. It is a structured, logical, and systematic analysis. Identifying possible component failure modes and determining their effects on the system operation helps the analyst to develop a deeper understanding of the relationships among the system components and, ultimately, to improve the system design by making changes to either eliminate or mitigate the undesirable effects of a failure.

O processo de uma análise de falha conforme o método FMEA também é descrito por Bowles (2002), conforme segue:

The FMEA methodology is based on a hierarchical, inductive approach to analysis; the analyst must determine how every possible failure mode of every system component affects the system operation. The procedure consists of:

- 1. Identifying all item failure modes*
- 2. Determining the effect of the failure for each failure mode, both locally and on the overall system being analyzed*
- 3. Classifying the failure by its effects on the system operation and mission*
- 4. Determining the failure's probability of occurrence*
- 5. Identifying how the failure mode can be detected. (This is especially important for fault tolerant configurations.)*
- 6. Identifying any compensating provisions or design changes to mitigate the failure effects.*

The details of the FMEA analysis are captured on analysis worksheets. These worksheets provide a description of the failure modes and their consequences traceable to diagrams or other design documentation.

Generally they include:

- Identification of the component being analyzed*
- Its purpose or function*
- The component failure mode*
- The cause of the failure and how the failure is detected*
- The local, subsystem, and system-level effects of the failure mode*
- The severity classification and probability of occurrence of the failure mode*

A FMEA normally analyzes each item failure as if it were the only failure within the system. When the failure is undetectable or latent or the item is redundant, the analysis may be extended to determine the effects of another failure, which in combination with the first failure could result in an undesirable condition. All single-point failures identified during the analysis that have undesirable consequences must be identified on the FMEA worksheets for proper disposition.

O método FMEA pode aplicado a diversos projetos, por se tratar de um método genérico. Desta forma, é comum encontrar especificações do método das quais destacam-se:

- Design-FMEA (d-FMEA): trata-se do método aplicado a projetos de produtos. “The objective for a product or design FMEA is to uncover problems with the product that will result in safety hazards, product malfunctions, or a shortened product life” (MIKULAK, 2012);*
- Process-FMEA (p-FMEA): trata-se do método aplicado a projeto de processos. “Process FMEAs uncover process problems related to the manufacture of the product” (MIKULAK, 2012).*

O processo convencional do desenvolvimento de uma FMEA, utilizado neste trabalho, descrito por (MIKULAK, 2012) e pelo (INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA, 1997) envolve a formação de uma equipe normalmente formada por especialistas e projetistas dos mais diversos níveis de envolvimento com o produto analisado. Por este fato uma análise deste tipo pode apresentar um custo elevado. Uma alternativa é a automação de parte desta análise através do método de FMEA baseado em modelo, discutindo em profundidade por (FRARACCI, 2010). Em (STRUSS; FRARACCI, 2011) os autores aplicam esta ferramenta a um sistema hidráulico de freios.

- FTA

De acordo com os autores Roland; Moriarty (1990) FTA pode ser definida como:

Fault Tree Analysis (FTA) has, since its development in 1961, gained widespread recognition as one of the more powerful analytic tools for analyzing sets of events arranged on systems. (...) The method was first conceived by H. A. Watson of the Bell Laboratories to evaluate the safety of an ICBM launch control system. (...)

The method structures relations between events in a system into a Boolean logic model that leads to accident causation. These events are structured so that they lead to a specific outcome. This approach to analysis is called deductive.

Os autores também ressaltam as quatro principais vantagens do método FTA sobre outros meios de análise de sistemas:

1. *It Directs the Analyst Deductively to Accident-related Events. (...) The deductive approach assumes the major system or subsystem failure and examines lower order events to determine what are all combinations that could cause this specified, harm-causing event.*
2. *It Provides a Depiction of System Functions That Lead to Undesired Outcomes. A graphical depiction of the relationships between events that lead to a major accident is a comforting item for management to view.*

3. It Provides Options for Both Qualitative and Quantitative Analysis.

(...) Qualitative analysis is more commonly used because it does not require precise event rates for the End events. It is quite useful in examining system logic for its causation of accident events. Quantitative analysis requires quantitative input data that are not easily obtained for systems under development. However, such analysis allows one to measure the likelihood of occurrence of the Top event or of any node or subsystem within the tree.

4. It Provides the Analyst with Insight into System Behavior. *The process of fault tree analysis is so carefully prescribed and so detailed in its logical relationships, that it forces the analyst to understand the system beyond the level enjoyed by the system designers involved in only one part of the system or even system managers.*

3. RESUMO DO PROJETO

Neste capítulo será aprofundada a discussão sobre o problema que este projeto visa resolver e assim definidos uma proposta de solução, os materiais e os métodos utilizados para atingir esta solução. Desta forma, o capítulo será dividido entre:

- Descrição do problema;
- Proposta de solução;
- Materiais.

3.1. Descrição do Problema

Atualmente, a Equipe Poli de Baja, assim como diversas outras equipes de competição e até empresas dos diversos ramos da indústria, não possui um método claro e repetível de identificação, acompanhamento e documentação das falhas encontradas. Este fato, tratando-se especificamente da Equipe Poli, estende-se além do projeto do sistema de freios e compreende as outras diversas áreas de projeto, incluindo o planejamento e administração.

Tendo em vista o caráter cíclico da operação de uma equipe como a Equipe Poli e que também é encontrado em qualquer outro projeto onde se aplique o conceito de melhoria contínua, a deficiência na identificação, documentação e, conseqüentemente, comunicação das falhas ocorridas entre um ciclo e outro causam uma alta taxa de repetição destas falhas, diminuindo consideravelmente a eficiência do conceito de melhoria. Este modelo de estratégia é tratado por Bessant; Caffyn; Gallagher (2001) onde é chamado de “*Resource based strategy*”, e é definido como um modelo de estratégia baseado no conhecimento, ou recursos, que a empresa ou organização possui:

Resources (...) can be grouped into tangible assets – buildings, plant, equipment, etc. – and intangible assets. This latter group is made up of knowledge assets – what an enterprise knows about (its core technologies, its market knowledge, etc.) (...). The important feature here is that, unlike tangible assets, they are difficult to acquire and copy because they are often the product of extended learning process.

O problema geral que este trabalho visa mitigar, é a perda de competitividade de uma entidade, qualquer que seja seu campo de atuação, ao negligenciar a construção de uma base sólida de conhecimento acerca de seus projetos e processos.

3.2. Proposta de solução

Para atingir o objetivo final deste trabalho, propõe-se realizar um projeto que pode ser dividido nas seguintes etapas:

- FMEA:
 - **Descrição:** nesta etapa será feita uma FMEA de projeto sobre o sistema de freios instalado no mais recente protótipo da Equipe Poli. É importante ressaltar que, diferentemente de uma FMEA usual segundo Mikulak (2012), o objetivo aqui não será sugerir modificações de projeto e sim identificar e qualificar os possíveis modos de falha do projeto já executado.
 - **Saída:** esta etapa deverá ter como saída uma tabela ilustrando para cada componente do subsistema os diversos modos de falha e suas respectivas análises de efeito. Neste trabalho, esta tabela será tratada como Tabela de Falhas (TF).
- Análise quantitativa:
 - **Descrição:** nesta etapa, munido das informações provenientes da etapa anterior, serão atribuídos aos modos de falha índices de severidade, de ocorrência e de detecção.
 - **Saída:** naturalmente, a saída desta etapa será a atribuição dos índices que permitirão elencar cada modo por sua importância.
- Métodos de identificação:
 - **Descrição:** após categorizar os modos de falha, de acordo com seus índices, serão definidos os respectivos métodos de identificação. Aqui deverão ser estudados métodos de medição, documentação e eventuais testes que propiciem a correta identificação da falha.
 - **Saída:** um conjunto de ações (medições, documentações e testes), a ser acrescentado à Tabela de Falhas, que devem ser realizadas ao se analisar o sistema.

- Processo de análise:
 - **Descrição:** com a lista de ações de identificação, deverá ser descrito um processo de desmontagem e análise do subsistema suficientemente detalhado de forma que a análise possa ser realizada sem que haja um treinamento específico extenso do analista.
 - **Saída:** um documento como uma lista de passos e/ou diagrama de blocos descrevendo o processo de desmontagem e análise do subsistema.
- Banco de dados:
 - **Descrição:** projeto de um banco de dados relacional para armazenamento e pós processamento das medições e documentações realizadas no processo descrito no passo anterior.
 - **Saída:** evidentemente, um banco de dados com campos onde serão armazenados de forma sistemática os resultados de uma análise.

As saídas das duas últimas etapas, descrição do processo de análise e banco de dados, serão tratados aqui por Ferramenta de Diagnose (FD). A TF e a FD constituem a ferramenta que é o principal objetivo deste trabalho.

Por meio destes documentos, será possível realizar análises e identificações de falha de modo sistemático e consistente bem como armazenar os dados de forma eficiente e instrutiva.

3.3. Materiais

Considerando os passos do projeto descritos na seção anterior, são definidos os materiais:

- FMEA: o material utilizado é a documentação do projeto do objeto de estudo – cálculos de dimensionamento, desenhos etc. – e um software de edição de planilhas, como o *Microsoft Excel*, para a criação da TF;
- Análise quantitativa: é utilizada a TF e, portanto, um software editor de planilhas;
- Métodos de identificação: é utilizada a TF e, portanto, um software editor de planilhas;

- Processo de análise: o processo de análise será descrito com base nos métodos de identificação da TF e dos passos de desmontagem do sistema;
- Banco de dados: o software utilizado na criação do banco de dados relacional é o *MySQL Workbench*, que possui uma interface amigável, facilitando sua programação.

4. PROJETO DA FERRAMENTA

O projeto da ferramenta deverá seguir uma sequência de passos, definidos na seção 3.2. Neste capítulo, cada um destes passos é discutido com maior profundidade e riqueza de detalhes concomitantemente com sua aplicação no estudo de caso: o sistema de freios do protótipo Baja SAE do ano de 2014 da Equipe Poli.

4.1. FMEA

O objetivo deste passo é obter uma tabela contendo as falhas potenciais e seus efeitos do equipamento em questão. Desta maneira, a metodologia FMEA utilizada será baseada naquela descrita por Mikulak (2012) e pelo Instituto da Qualidade Automotiva (1997) – documento tecnicamente equivalente ao SAE J-1739.

Assim como ressaltado na seção 3.2, a finalidade deste passo é diferente daquela de uma FMEA comum, uma vez que conforme o Instituto da Qualidade Automotiva (1997) esta tem o objetivo de:

- (1) *Reconhecer e avaliar a falha potencial de um produto/processo e seus efeitos;*
- (2) *Identificar ações que podem eliminar ou reduzir a chance do modo de falha potencial vir a ocorrer;*
- (3) *Documentar o processo de análise.*

Tendo em vista que o objetivo principal é identificar falhas reais, pressupõe-se que o produto/processo já está em fase de testes em protótipos ou até mesmo totalmente implementado. Assim, o segundo objetivo de uma FMEA não condiz com o que se pretende neste trabalho. Se faz necessário, portanto, adaptar o formulário proposto pelas referências e normas relativas ao assunto.

O formulário que, uma vez preenchido, resulta na TF utilizado neste estudo de caso é apresentado na Figura 12:

Mesmo que se decida utilizar outro formulário este deve conter, nesta etapa do projeto, as informações:

- (1) **Cabeçalho:** conjunto de informações que tem como objetivo identificar a tabela de falhas quanto à data, revisão, material estudado, responsável, equipe etc.;
- (2) **Item/Função:** o item ao qual o modo de falha se refere. Aqui pode se incluir, se necessário for, uma breve descrição de sua função;
- (3) **Número do modo:** identificação numérica do modo de falha;
- (4) **Modo de falha potencial:** conforme definido pelo Instituto da Qualidade Automotiva (1997), “O Modo de Falha Potencial é definido como a maneira pela qual um componente, subsistema ou sistema potencialmente falharia ao cumprir o objetivo do projeto. (...) Modos de falha que podem ocorrer apenas sob certas condições de uso (...) e de operação (...) deveriam ser considerados”;
- (5) **Número do efeito:** identificação numérica do efeito;
- (6) **Efeito(s) potencial(ais) da falha:** efeitos potenciais são a forma com que o modo de falha afeta a capacidade do componente, subsistema ou sistema de desempenhar sua função. Cada modo de falha leva a um ou mais efeitos, assim como um efeito pode ser consequência de diferentes modos de falha;
- (8) **Número da causa:** identificação numérica da causa;
- (9) **Causas e mecanismos:** “A Causa (...) é definida como uma indicação de uma deficiência de projeto, cuja consequência é o modo de falha”;
- (11) **Modo de detecção:** descreve como o efeito pode ser detectado durante a operação do objeto de estudo;

Os itens de número (7), (10), (12) e (13) são abordados na Seção 4.2, já os de número (14), (15) e (16) na Seção 4.3.

É interessante ressaltar, a essa altura, a relação entre os três componentes da falha: causas potenciais, modo de falha potencial e efeitos potenciais. A Figura 13 ilustra esta relação:

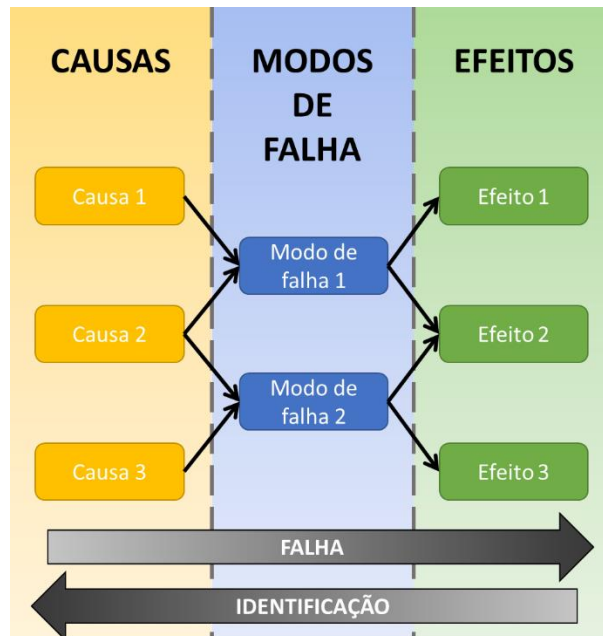


Figura 13 – Relação entre causas, modos de falha e efeitos potenciais.

4.1.1. Aplicação ao estudo de caso

Foi realizada uma análise, conforme detalhado neste capítulo, cujo resultado foi a descrição dos modos de falha dispostos na forma de TF. O resultado por completo é o Apêndice I deste trabalho. Na Figura 14 é apresentado um exemplo, que será trabalhado em todas as etapas do projeto, de um modo de falha levantado nesta etapa do projeto. Nota-se que os campos não correspondentes aos trabalhados nesta etapa foram omitidos, com a finalidade de melhor visualização do processo.

Item / Função	Número do modo	Modo de falha potencial	Número do efeito	Efeito(s) potencial(is) da falha	Número da causa	Causas e mecanismos	Modo de deteção	
Discos de freio	1		1	Desgaste excessivo do disco	1	Força de pinça assimétrica	Barulho ao acionar o freio	
					2	Deformação térmica		
					3	Choque com objeto estranho		
					4	Erro de projeto: subdimensionamento		
	2			2	Travamento da rotação do disco	1	Força de pinça assimétrica	Não detectável
						2	Deformação térmica	
						3	Choque com objeto estranho	
						4	Erro de projeto: subdimensionamento	
	3			3	Desgaste excessivo das pastilhas	1	Força de pinça assimétrica	Barulho ao acionar o freio
						2	Deformação térmica	
						3	Choque com objeto estranho	
						4	Erro de projeto: subdimensionamento	
	4			4	Torque residual de frenagem	1	Força de pinça assimétrica	Perda gradual de desempenho longitudinal
						2	Deformação térmica	
						3	Choque com objeto estranho	
						4	Erro de projeto: subdimensionamento	

Figura 14 – Exemplo de modo de falha observado na etapa de FMEA.

Conforme se observa na Figura 13 e na Figura 14, uma causa pode levar a diferentes modos de falha e este, por sua vez, pode ser gerado por uma ou mais causas. De forma semelhante, um modo de falha pode ter um ou mais efeitos, e um efeito pode ser ocasionado por diferentes modos de falha. As relações de toda a TF (Apêndice) são apresentadas na Figura 15.

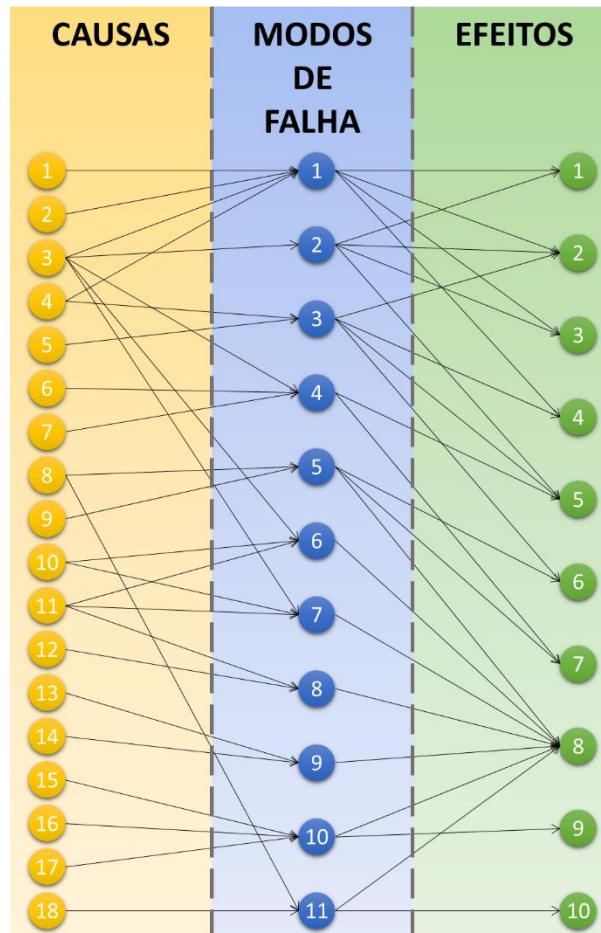


Figura 15 – Relação entre componentes das falhas do estudo de caso.

Em uma análise direta, onde não são levados em consideração os pesos de cada componente de falha – conforme trata a Seção 4.2 – destacam-se a causa e o efeito com maior número de conexões, entende-se: a causa que dá início ao maior número de modos de falha diferentes (e não aquela que tem maior probabilidade de ocorrer) e, de modo análogo, o efeito que é gerado a partir do maior número de modos de falha. São eles: causa número três, “choque com objeto estranho”, e efeito número oito, “vazamento de fluido de freio”.

De fato, um veículo Baja SAE está sujeito ao impacto de diversos objetos estranhos como pedras e galhos de árvores e até colisões com outros veículos devido às suas

condições de operação. É de se esperar, portanto, que este fator seja causa de diversos modos de falha.

Por se tratar de um sistema hidráulico, espera-se também que diversos modos de falha ocasionem efeitos de travamento de mecanismos de atuadores – efeito específico ao componente em questão como pinça de freio ou cilindro mestre – e vazamento de fluido – efeito genérico, pois pode ocorrer em componentes distintos.

O projetista da ferramenta deve delimitar o conjunto de critérios através dos quais ele irá decidir o nível de detalhamento de uma causa ou mecanismo de falha. Neste estudo de caso, foram consideradas os seguintes critérios:

- Mau uso: causas relacionadas ao mau uso do sistema, como acionamento incorreto ou presença de objetos estranhos como sujeira e detritos. São **consideradas** como causas neste estudo;
- Decorrentes de outros modos de falha: causas que estão relacionadas à ocorrência de outro modo de falha (ou efeito), por exemplo: “falha do ponto de ancoragem do flexível” como causa de “esmagamento do flexível por componente de suspensão” (Apêndice I). São **consideradas** como causas neste estudo;
- Erros de projeto: causas relacionadas a áreas onde o modelo de esforços e/ou dimensionamento e simulação do componente são deficientes dadas as ferramentas das quais a equipe dispõe. São **consideradas** como causas neste estudo;
- Defeitos de fabricação: causas relacionadas a defeitos de materiais ou processos de fabricação, fazendo com que o componente real seja diferente do especificado no projeto. São **desconsideradas** como causas neste estudo, uma vez que se pressupõe que há um controle de qualidade que garanta o bom estado dos componentes instalados no sistema;
- Erros de montagem: de modo análogo aos defeitos de fabricação, causas relacionadas a montagem não conforme o projeto. São **desconsideradas** como causas neste estudo, uma vez que se faz a hipótese de que a montagem é supervisionada e verificada suficientemente a ponto de se evitar falhas por este motivo. Importante ressaltar que áreas onde a montagem não é bem

especificada, como alguns torques de aperto por exemplo, são consideradas erros de projeto.

4.2. Análise quantitativa

Nesta etapa, serão designados para cada componente de falha listado na etapa anterior – FMEA – um índice. São eles, de acordo com a numeração apresentada na Figura 12:

- (7) **Índice de Severidade (I.S.):** índice que avalia a proporção da deficiência que o modo de falha impõe sobre o objeto de estudo. “**A severidade se aplica somente ao efeito**” (INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA, 1997). Este índice deve receber uma nota estimada em uma escala de um a dez sendo que, de acordo com as definições feitas na Seção 2.2, será convencionalizado que: notas entre um e três correspondem a perda de função, notas entre quatro e seis a perda de vida útil e entre sete e dez a tornar-se inoperável;
- (10) **Índice de Ocorrência (I.O.):** este índice procura avaliar a probabilidade do modo de falha ocorrer. O Índice de Ocorrência se aplica, diferentemente do I.S., a cada causa e mecanismo de um modo de falha, estimando-se uma nota em uma escala de um a dez;
- (12) **Índice de Detecção (I.D.):** estima-se uma nota em uma escala de um a dez, onde é avaliada a facilidade com que o efeito em questão é detectado. Deste modo, se um efeito é dificilmente detectado e se desenvolve até fazer com que o componente, subsistema ou sistema se torne inoperável, deve-se atribuir um alto valor a este índice – o contrário também é válido;
- (13) **N.P.R. (Número de Prioridade de Risco):**

$$N.P.R. = (I.S.) \times (I.O.) \times (I.D.) \quad (2)$$

É, conforme o Instituto da Qualidade Automotiva (1997), o produto entre os três índices avaliados – Equação (2). Este número irá elencar, com notas variando entre um e um mil, os modos de falha que apresentam maior risco e, portanto, devem ter prioridade superior.

4.2.1. Aplicação ao estudo de caso

O resultado da implementação desta etapa pode ser observado na TF (Apêndice I). A Figura 16 ilustra a atribuição dos índices aos componentes de falha do exemplo citado na Seção 4.1.1 (Figura 14).

Item / Função	Número do modo	Modo de falha potencial	Número do efeito	Efeito(s) potencial(is) da falha	Índice de severidade	Número da causa	Causas e mecanismos	Índice de Ocorrência	Modo de deteção	Índice de Deteção	N.P.R.
Discos de freio	1	Deformação plástica das abas de fixação	1	Desgaste excessivo do disco	5	1	Força de pinça assimétrica	2	Barulho ao atonar o freio	6	60
			2	Travamento da rotação do disco	8	2	Deformação térmica	1			30
			3	Desgaste excessivo das pastilhas	5	3	Choque com objeto estranho	4			120
			4	Torque residual de frenagem	3	4	Erro de projeto: subdimensionamento	3			90
	2	Deformação plástica das abas de fixação	1	Travamento da rotação do disco	8	1	Força de pinça assimétrica	2	Perda repentina de desempenho longitudinal	8	64
			2			Deformação térmica	1	256			
			3			Choque com objeto estranho	4	192			
			4			Erro de projeto: subdimensionamento	3	60			
	3	Deformação plástica das abas de fixação	1	Desgaste excessivo das pastilhas	5	1	Força de pinça assimétrica	2	Barulho ao atonar o freio	6	30
			2			Deformação térmica	1	120			
			3			Choque com objeto estranho	4	90			
			4			Erro de projeto: subdimensionamento	3	30			
	4	Deformação plástica das abas de fixação	1	Torque residual de frenagem	3	1	Força de pinça assimétrica	2	Perda gradual de desempenho longitudinal	5	15
			2			Deformação térmica	1	60			
			3			Choque com objeto estranho	4	60			
			4			Erro de projeto: subdimensionamento	3	45			

Figura 16 – Exemplo de atribuição de índices a componentes de falha e respectivos N.P.R..

Analisando os componentes cuja combinação resulta no maior N.P.R. deste exemplo, tem-se que:

- Índice de Severidade ($I.S. = 8$): relacionado ao efeito “Travamento da rotação do disco”. Conforme discutido na Seção 4.2, este efeito recebeu nota oito pois torna o veículo inoperável. No entanto, não recebeu uma nota ainda maior uma vez que se este efeito ocorrer somente em uma roda dianteira do veículo, este ainda é capaz de se locomover até uma área apropriada para reparos.
- Índice de Ocorrência ($I.O. = 4$): relacionado à causa/mecanismo “Choque com objeto estranho”. Esta causa, como citado na Seção 4.1.1, é recorrente em um veículo que opera em condições e terrenos fora de estrada e de competição. Associado a esta constatação está o conhecimento disponibilizado pela própria Equipe Poli, que retrata este evento como uma das principais causas de suas falhas. É importante ressaltar que a nota atribuída a esta causa/mecanismo, mesmo que baixa dentro da escala, é uma das maiores de toda a TF (Apêndice I).
- Índice de Detecção ($I.D. = 8$): relacionado ao modo de detecção do efeito, “Perda repentina de desempenho longitudinal”. Recebe uma das maiores notas de toda a TF (Apêndice I) uma vez que o efeito não dá sinais de sua evolução até que a situação de tornar o veículo inoperável se instale, impossibilitando que o usuário tome atitudes para interromper seu progresso.

Desta forma, conclui-se que, para o modo de falha “Deformação plástica das abas de fixação” dos discos de freio, a evolução da falha ilustrada na Figura 17 é aquela que apresenta maior risco ao funcionamento do sistema, portanto deve ser tratada com maior prioridade.

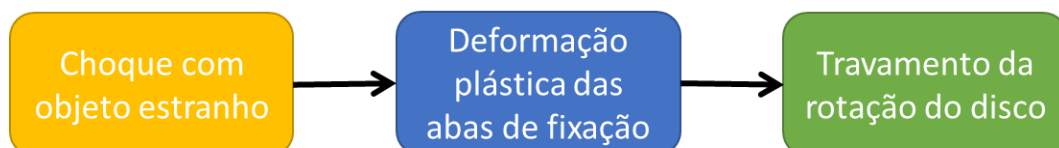


Figura 17 – Evolução da falha potencial de maior risco dentre as apresentadas no exemplo.

Um maior N.P.R. influencia diretamente na decisão do projetista acerca da inclusão ou não de uma falha potencial na ferramenta final. Isto devido ao fato de que o

processo de análise de falha pode apresentar um alto custo de tempo e recursos humanos, sendo interessante assim restringir a análise às falhas de maior N.P.R.

4.3. Métodos de identificação

Conforme citado na Seção 3.2, nesta etapa do projeto devem ser listados quais os métodos de identificação para cada componente de falha. Consiste, portanto, em se levantar quais ações devem ser tomadas de modo a caracterizar aquele componente.

Nesta etapa, devem ser preenchidos os seguintes campos da TF, segundo a numeração da Figura 12:

- (14) Identificação do efeito:** ação – documentação, medida, teste – a ser realizada pelo analista que comprove e mensure a ocorrência do efeito potencial em questão.
- (15) Identificação do modo:** ação a ser realizada pelo analista que comprove e mensure a ocorrência do modo de falha em questão.
- (16) Identificação da causa:** ação a ser realizada pelo analista que comprove e mensure a ocorrência da causa e mecanismo de falha em questão.

Dentre os possíveis métodos de identificação, o projetista deve manter em mente o material disponível pela equipe de analistas e o custo de cada medida. Assim, deve-se levar em consideração as ferramentas e recursos disponíveis.

4.3.1. Aplicação ao estudo de caso

Esta etapa de projeto leva à conclusão da TF, apresentada no Apêndice I. A Figura 18 ilustra o exemplo tratado nas Seções 4.1.1 e 4.2.1:

Observa-se no exemplo (Figura 18) que como método de identificação da causa referente à causa “Erro de projeto: subdimensionamento” lê-se “Não identificável”. De fato, modos de falha causados por erros de projeto não apresentam sinais imediatos que comprovem sua causa, diferentemente daqueles gerados por mau uso ou decorrentes de outros modos de falha. Assim, quando o analista se deparar com uma situação onde o efeito e o modo de falha são identificados mas a causa parece estar ausente, deve-se suspeitar de erro de projeto e, em alguns casos, deve-se realizar uma aprofundada análise de causa raiz. Estes procedimentos serão detalhados na Seção 4.4 a seguir.

4.4. Processo de análise

Esta etapa e a próxima (Seção 4.5) irão gerar os documentos que formam a Ferramenta de Diagnose, objetivo principal deste trabalho.

O processo de análise está diretamente ligado ao processo de desmontagem – completa ou parcial – do componente, subsistema ou sistema a ser analisado, conforme ilustra a Figura 19.

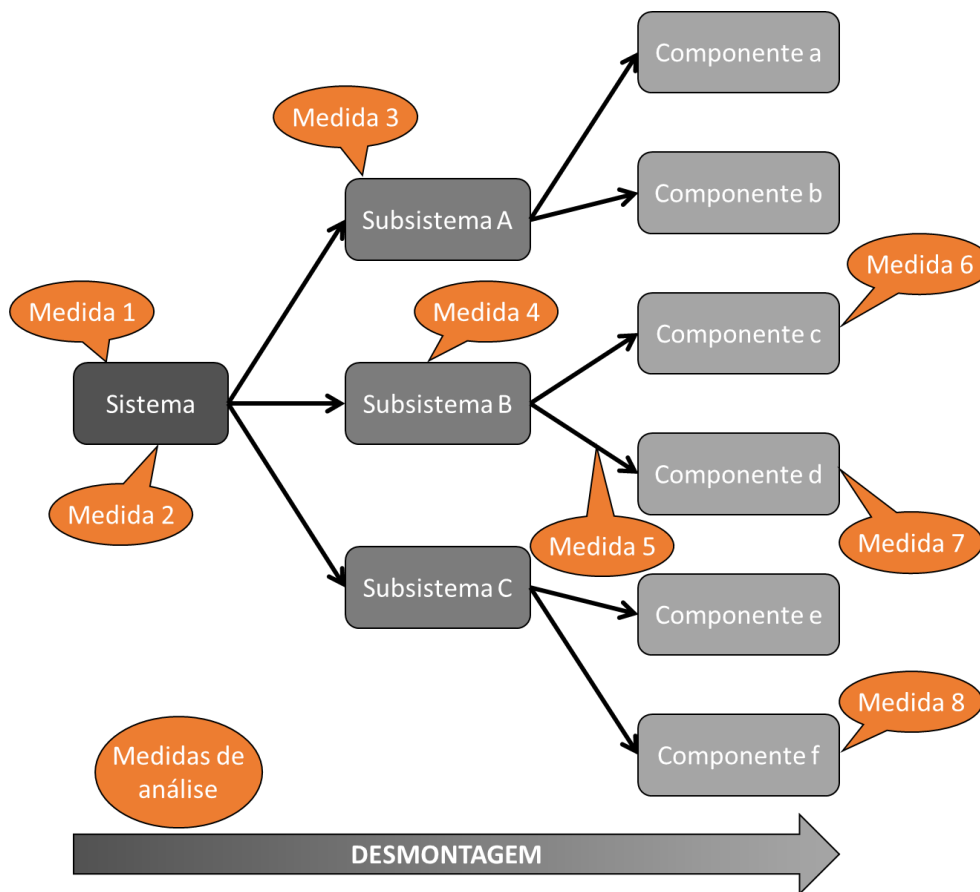


Figura 19 – Interação entre os processos de desmontagem e de análise.

Observa-se na Figura 19 que algumas medidas de análise são tomadas em todos os estágios de desmontagem dos componentes e, inclusive, em processos de desmontagem como, por exemplo, medidas de torque de aperto de parafusos.

Para se obter o processo combinado de análise e desmontagem, é necessário, portanto, estar de posse do diagrama de blocos do processo de desmontagem e de todas as medidas a serem tomadas no processo de análise. Para sistemas de desmontagem complexa – com um alto número de subsistemas e componentes, por exemplo – sugere-se que seja utilizada a teoria desenvolvida por Gungor e Gupta (1997), onde é avaliada uma metodologia para processos de desmontagem que calcula o tempo total do processo. Neste caso, basta considerar cada medida de análise como um passo de desmontagem. Os mesmos autores, Gungor e Gupta (1998), analisam ainda sequências de desmontagem para produtos que apresentam defeitos, já que estes podem influenciar, ou impossibilitar, o próprio processo de desmontagem original.

4.4.1. Aplicação ao estudo de caso

Primeiramente, definem-se quais falhas potenciais formam o processo de análise. Para esta definição se utiliza como critério o N.P.R., da maneira ilustrada na Figura 20:

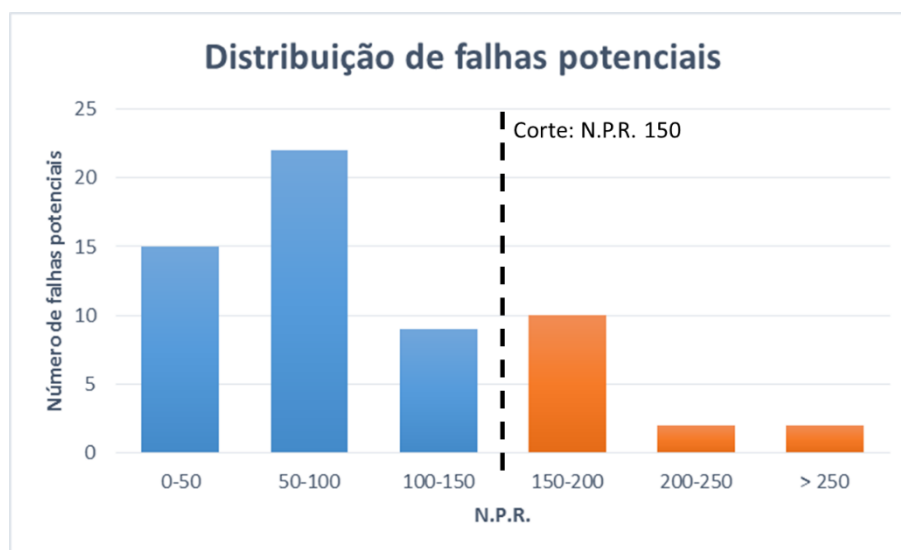


Figura 20 – Critério de corte baseado em N.P.R.

Assim, são consideradas no processo de análise as quatorze falhas potenciais – correspondentes a aproximadamente vinte e três por cento do total – que foram graduadas com N.P.R. maior ou igual a cento e cinquenta, marcadas em laranja na Figura 20. A exclusão das falhas potenciais de menor N.P.R. é feita com o objetivo de se melhorar a eficiência do processo de análise, diminuindo seu custo de mão de obra e mantendo sua eficácia alta, identificando as falhas de maior risco. Estas falhas potenciais e seus respectivos métodos de identificação estão listados a seguir na Figura 21:

Item/Função	Nome do modo	Modo da falha potencial	Numero da falha	Efeito(s) potencial(is) da falha	Indice da Severidade	Numero da causa	Causa e mecanismo	Indicador de detecção	Método de deteção	Indice de Detecção	N.P.R.	Identificação do efeito	Identificação do modo	Identificação da causa
Discos de freio	1	Deformação plástica da aba de fricção	2	Travamento da rotação do disco	8	3	Choque com objeto estranho	4	Revisão visual de desempenho longitudinal	8	256	Inspeção visual	Medição do parâmetro de flocos de centro do disco de fricção	Inspeção visual
Discos de freio	1	Deformação plástica da aba de fricção	2	Travamento da rotação do disco	8	4	Erro de projeto: subdimensão do elemento	3	Revisão visual de desempenho longitudinal	8	152	Inspeção visual	Medição do parâmetro de flocos de centro do disco de fricção em relação à face de fricção	Não identificável
Discos de freio	2	Superfície de fricção irregular (por tabuleiros, defeitos em absc. etc.)	2	Travamento da rotação do disco	8	3	Choque com objeto estranho	3	Não detectável	10	200	Inspeção visual	Inspeção visual	Inspeção visual
Pinça de freio e pastilhas - flange de fricção	3	Deformação plástica da flange de fricção	2	Travamento da rotação do disco	8	5	Travamento por objeto estranho	2	Não detectável	10	160	Inspeção visual	Medição da planicidade da face de fricção da flange de fricção	Inspeção visual
Pinça de freio e pastilhas - flange de fricção	3	Deformação plástica da flange de fricção	2	Travamento da rotação do disco	8	4	Erro de projeto: subdimensão do elemento	4	Não detectável	10	320	Inspeção visual	Medição da planicidade da face de fricção da flange de fricção	Não identificável
Pinça de freio e pastilhas - anel de vedação entre lençóis e caixa	5	Desgaste do anel de vedação	7	Travamento do mecanismo de pinça	8	8	Desgaste por objeto estranho (pedra)	3	Revisão visual de desempenho longitudinal	7	168	Medição do índice de desgaste	Medição da dureza do anel de vedação	Inspeção visual
Pinça de freio e pastilhas - parafuso anagrador	6	Deformação plástica do parafuso anagrador	8	Vazamento de fluido de freio	6	10	Choque com componentes da suspensão	5	Indicação de nível de fluido	6	180	Teste de vazamento: aplicar pressão ao sistema e realizar inspeção visual	Inspeção visual	Inspeção visual (parafuso anagrador + brinco de suspensão)
Pinça de freio e pastilhas - parafuso brinco	6	Deformação plástica do parafuso brinco	8	Vazamento de fluido de freio	6	11	Choque com componentes da suspensão	5	Indicação de nível de fluido	6	180	Teste de vazamento: aplicar pressão ao sistema e realizar inspeção visual	Inspeção visual	Não identificável
Pinça de freio e pastilhas - parafuso brinco	7	Deformação plástica do parafuso brinco	8	Vazamento de fluido de freio	6	10	Choque com componentes da suspensão	5	Indicação de nível de fluido	6	180	Teste de vazamento: aplicar pressão ao sistema e realizar inspeção visual	Inspeção visual	Inspeção visual (parafuso brinco + brinco de suspensão)
Pinça de freio e pastilhas - parafuso brinco	7	Deformação plástica do parafuso brinco	8	Vazamento de fluido de freio	6	11	Erro de projeto: torque de aperto inadequado	5	Indicação de nível de fluido	6	180	Teste de vazamento: aplicar pressão ao sistema e realizar inspeção visual	Inspeção visual	Não identificável
Tubulação hidráulica - porção do conduto	8	Propagação de trinca na parede da porção do conduto	8	Vazamento de fluido de freio	6	11	Erro de projeto: torque de aperto inadequado	5	Indicação de nível de fluido	6	180	Teste de vazamento: aplicar pressão ao sistema e realizar inspeção visual	Inspeção visual	Inspeção visual (parafuso brinco + brinco de suspensão)
Tubulação hidráulica - flange de vedação dos tubos	9	Propagação de trinca na flange de vedação	8	Vazamento de fluido de freio	6	14	Erro de projeto: torque de aperto inadequado	5	Indicação de nível de fluido	6	180	Teste de vazamento: aplicar pressão ao sistema e realizar inspeção visual	Inspeção visual	Não identificável
Tubulação hidráulica - flexões	10	Enrugamento do flexível por componentes da suspensão	8	Vazamento de fluido de freio	6	16	Erro de projeto: torque de aperto inadequado	6	Indicação de nível de fluido	6	216	Teste de vazamento: aplicar pressão ao sistema e realizar inspeção visual	Inspeção visual	Medição da distância entre flexões e componentes da suspensão
Tubulação hidráulica - flexões	10	Enrugamento do flexível por componentes da suspensão	8	Vazamento de fluido de freio	6	17	Erro de projeto: comprimento inadequado	5	Indicação de nível de fluido	6	180	Teste de vazamento: aplicar pressão ao sistema e realizar inspeção visual	Inspeção visual	Medição da distância entre flexões e componentes da suspensão

Figura 21 – Falhas potenciais que compõem o processo de análise.

A partir da definição do conjunto de falhas potenciais que se busca identificar, e, conseqüentemente, dos métodos de identificação de seus componentes, e das etapas de desmontagem do sistema, pode-se listar todas as ações que compreendem o processo de análise e desmontagem do objeto de estudo, assim como suas dependências (Figura 22).

Dependência	Tipo (D/A)	#	Subsistema	Componente	Ação	Descrição
-	A	1	Discos de freio	-	Inspeção visual	Inspeccionar a rotação dos discos quanto a travamentos
22	A	2	Pinças de freio	Pistões	Medição	Medir o retorno do pistão de acionamento
-	A	3	Sistema	-	Teste de vazamento	Manter o sistema sob pressão por determinado tempo
3	A	4	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar os sangradores quanto a vazamento
4	A	5	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar os parafusos banjo quanto a vazamento
5	A	6	Tubulação	Conexões	Inspeção visual	Inspeccionar as conexões quanto a vazamento
6	A	7	Tubulação	Flexíveis	Inspeção visual	Inspeccionar os flexíveis quanto a vazamento
24	A	8	Discos de freio	Faces de fixação	Medição	Medir o paralelismo entre faces de fixação e de atrito
24	A	9	Discos de freio	Superfície de atrito	Inspeção visual	Inspeccionar as faces de atrito quanto a protuberâncias (defeitos em alto-relevo)
22	A	10	Pinças de freio	Flanges	Medição	Medir a planicidade das faces de fixação
28	A	11	Pinças de freio	Anel de vedação	Medição	Medir os diâmetros interno e externo
29	A	12	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
30	A	13	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
23	A	14	Tubulação	Conexões	Medida	Medir o torque de aperto das porcas das conexões
26	A	15	Tubulação	Flanges	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a trincas
26	A	16	Tubulação	Flexíveis	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a esmagamento
24	A	17	Discos de freio	-	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a choque com objeto estranho
28	A	18	Pinças de freio	Anéis de vedação	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a desgaste por objeto estranho
29	A	19	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a choque com braços de suspensão (em todo o curso e esterçamento)
30	A	20	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a choque com braços de suspensão (em todo o curso e esterçamento)
-	A	21	Tubulação	Flexíveis	Medição	Medir o afastamento entre flexiveir e braços de suspensão (em todo o curso e esterçamento)
7	D	22	Pinças de freio	Flanges	Desmontagem	Soltar as flanges de fixação das pinças de freio do veículo
2	D	23	Sistema	-	Esvaziamento	Esgotar o sistema de fluido de freio através dos sangradores
22	D	24	Discos de freio	-	Desmontagem	Soltar os discos de freio dos cubos de roda
14	D	25	Tubulação	Conexões	Desmontagem	Soltar todas as conexões da tubulação hidráulica
25	D	26	Tubulação	Ancoragens	Desmontagem	Cortar os pontos de ancoragem da tubulação hidráulica
23	D	27	Pinças de freio	Pistões	Desmontagem	Extrair os pistões das pinças de freio
27	D	28	Pinças de freio	Anéis de vedação	Desmontagem	Extrair os anéis de vedação das pinças de freio
23	D	29	Pinças de freio	Sangrador	Desmontagem	Desmontar os sangradores
23	D	30	Pinças de freio	Parafuso banjo	Desmontagem	Demosntar os parafusos banjo

Legenda:

Identificação de efeito
Identificação de modo
Identificação de causa
Desmontagem

Figura 22 – Lista de ações do processo de análise do sistema de freios do protótipo Baja SAE.

Ordenam-se e detalham-se as ações listadas na Figura 22 adaptando-se a técnica de Gungor e Gupta (1997), e então se obtém o processo de análise ilustrado na Figura 23:

Passo	Subsistema	Componente	Ação	Descrição
1	Discos de freio	-	Inspeção visual	Inspeccionar a rotação do disco DD quanto a travamentos
2	Discos de freio	-	Inspeção visual	Inspeccionar a rotação do disco DE quanto a travamentos
3	Discos de freio	-	Inspeção visual	Inspeccionar a rotação do disco TD quanto a travamentos
4	Discos de freio	-	Inspeção visual	Inspeccionar a rotação do disco TE quanto a travamentos
5	Sistema	-	Teste de vazamento	Manter o sistema sob pressão (5 MPa) e verificar a queda na linha dianteira após 10 minutos
6	Sistema	-	Teste de vazamento	Manter o sistema sob pressão (5 MPa) e verificar a queda na linha traseira após 10 minutos
7	Tubulação	Flexíveis	Medição	Medir o afastamento entre flexíveis e braços de suspensão DD (em todo o curso e esterçamento)
8	Tubulação	Flexíveis	Medição	Medir o afastamento entre flexíveis e braços de suspensão DE (em todo o curso e esterçamento)
9	Tubulação	Flexíveis	Medição	Medir o afastamento entre flexíveis e braços de suspensão TD (em todo o curso e esterçamento)
10	Tubulação	Flexíveis	Medição	Medir o afastamento entre flexíveis e braços de suspensão TE (em todo o curso e esterçamento)
11	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a choque com braços de suspensão DD (em todo o curso e esterçamento)
12	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a choque com braços de suspensão DE (em todo o curso e esterçamento)
13	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a choque com braços de suspensão DD (em todo o curso e esterçamento)
14	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a choque com braços de suspensão DE (em todo o curso e esterçamento)
15	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar o sangrador DD quanto a vazamento
16	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar o sangrador DE quanto a vazamento
17	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar o sangrador TD quanto a vazamento
18	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar o sangrador TE quanto a vazamento
19	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar o parafuso banjo DD quanto a vazamento
20	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar o parafuso banjo DE quanto a vazamento
21	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar o parafuso banjo TD quanto a vazamento
22	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar o parafuso banjo TE quanto a vazamento
23	Tubulação	Conexões	Inspeção visual	Inspeccionar as conexões quanto a vazamento
24	Tubulação	Flexíveis	Inspeção visual	Inspeccionar o flexível DD quanto a vazamento
25	Tubulação	Flexíveis	Inspeção visual	Inspeccionar o flexível DE quanto a vazamento
26	Tubulação	Flexíveis	Inspeção visual	Inspeccionar o flexível TD quanto a vazamento
27	Tubulação	Flexíveis	Inspeção visual	Inspeccionar o flexível TE quanto a vazamento
28	Sistema	-	Teste de vazamento	Aliviar a pressão do sistema
29	Pinças de freio	Flanges	Desmontagem	Soltar as flanges de fixação das pinças de freio do veículo
30	Pinças de freio	Flanges	Medição	Medir a planicidade das faces de fixação da flange DD
31	Pinças de freio	Flanges	Medição	Medir a planicidade das faces de fixação da flange DE
32	Pinças de freio	Flanges	Medição	Medir a planicidade das faces de fixação da flange TD
33	Pinças de freio	Flanges	Medição	Medir a planicidade das faces de fixação da flange TE
34	Pinças de freio	Pistões	Medição	Medir o retorno do pistão de acionamento DD
35	Pinças de freio	Pistões	Medição	Medir o retorno do pistão de acionamento DE
36	Pinças de freio	Pistões	Medição	Medir o retorno do pistão de acionamento TD
37	Pinças de freio	Pistões	Medição	Medir o retorno do pistão de acionamento TE
38	Discos de freio	-	Desmontagem	Soltar os discos de freio dos cubos de roda
39	Discos de freio	Faces de fixação	Medição	Medir o paralelismo entre faces de fixação e de atrito do disco DD
40	Discos de freio	Faces de fixação	Medição	Medir o paralelismo entre faces de fixação e de atrito do disco DE
41	Discos de freio	Faces de fixação	Medição	Medir o paralelismo entre faces de fixação e de atrito do disco TD
42	Discos de freio	Faces de fixação	Medição	Medir o paralelismo entre faces de fixação e de atrito do disco TE
43	Discos de freio	Superfície de atrito	Inspeção visual	Inspeccionar as faces de atrito do disco DD quanto a protuberâncias (defeitos em alto-relevo)
44	Discos de freio	Superfície de atrito	Inspeção visual	Inspeccionar as faces de atrito do disco DE quanto a protuberâncias (defeitos em alto-relevo)
45	Discos de freio	Superfície de atrito	Inspeção visual	Inspeccionar as faces de atrito do disco TD quanto a protuberâncias (defeitos em alto-relevo)
46	Discos de freio	Superfície de atrito	Inspeção visual	Inspeccionar as faces de atrito do disco TE quanto a protuberâncias (defeitos em alto-relevo)
47	Discos de freio	-	Inspeção visual	Inspeccionar o disco DD quanto a choque com objeto estranho
48	Discos de freio	-	Inspeção visual	Inspeccionar o disco DE quanto a choque com objeto estranho
49	Discos de freio	-	Inspeção visual	Inspeccionar o disco TD quanto a choque com objeto estranho
50	Discos de freio	-	Inspeção visual	Inspeccionar o disco TE quanto a choque com objeto estranho
51	Sistema	-	Esvaziamento	Esgotar o sistema de fluido de freio através dos sangradores
52	Tubulação	Conexões	Medição	Medir o torque de aperto das porcas das conexões
53	Tubulação	Conexões	Desmontagem	Soltar todas as conexões da tubulação hidráulica
54	Pinças de freio	Pistões	Desmontagem	Extrair os pistões das pinças de freio
55	Pinças de freio	Anéis de vedação	Desmontagem	Extrair os anéis de vedação das pinças de freio
56	Pinças de freio	Anel de vedação	Medição	Medir os diâmetros interno e externo do anel DD
57	Pinças de freio	Anel de vedação	Medição	Medir os diâmetros interno e externo do anel DE
58	Pinças de freio	Anel de vedação	Medição	Medir os diâmetros interno e externo do anel TD
59	Pinças de freio	Anel de vedação	Medição	Medir os diâmetros interno e externo do anel TE
60	Pinças de freio	Anel de vedação	Inspeção visual	Inspeccionar o anel DD quanto a desgaste por objeto estranho
61	Pinças de freio	Anel de vedação	Inspeção visual	Inspeccionar o anel DE quanto a desgaste por objeto estranho
62	Pinças de freio	Anel de vedação	Inspeção visual	Inspeccionar o anel TD quanto a desgaste por objeto estranho
63	Pinças de freio	Anel de vedação	Inspeção visual	Inspeccionar o anel TE quanto a desgaste por objeto estranho
64	Pinças de freio	Parafuso banjo	Desmontagem	Demonstrar os parafusos banjo
65	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar o parafuso DD quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
66	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar o parafuso DE quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
67	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar o parafuso TD quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
68	Pinças de freio	Parafuso banjo	Inspeção visual	Inspeccionar o parafuso TE quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
69	Pinças de freio	Sangrador	Desmontagem	Desmontar os sangradores
70	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar o sangrador DD quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
71	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar o sangrador DE quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
72	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar o sangrador TD quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
73	Pinças de freio	Sangrador	Inspeção visual	Inspeccionar o sangrador TE quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
74	Tubulação	Ancoragens	Desmontagem	Cortar os pontos de ancoragem da tubulação hidráulica
75	Tubulação	Flanges	Inspeção visual	Inspeccionar quanto a trincas
76	Tubulação	Flexíveis	Inspeção visual	Inspeccionar o flexível DD quanto a esmagamento
76	Tubulação	Flexíveis	Inspeção visual	Inspeccionar o flexível DE quanto a esmagamento
76	Tubulação	Flexíveis	Inspeção visual	Inspeccionar o flexível TD quanto a esmagamento
76	Tubulação	Flexíveis	Inspeção visual	Inspeccionar o flexível TE quanto a esmagamento

Figura 23 – Processo de análise.

4.5. Banco de dados

Na Seção 4.4 definem-se todas as ações de análise, como medições, testes e inspeções, que resultam em um conjunto de dados. Nesta etapa do projeto é analisada e construída a forma de coleta e armazenamento destes dados, que compõem o conhecimento adquirido acerca do produto em questão.

Sugere-se a implementação da teoria de banco de dados relacional, que de acordo com Date (2000), é o mais comumente utilizado pois “(...) admitem a interpretação precedente de dados e bancos de dados de forma muito direta (quase trivial, na realidade).” É importante ressaltar que, ainda de acordo com Date (2000), que o termo “relacional” está ligado a palavra “relação”, que é termo para uma tabela, e não ao relacionamento entre tabelas, operação que é extensamente utilizada neste modelo de dados.

Dentre as vantagens de se utilizar um sistema de banco de dados expostas por Date (2000), destacam-se:

- *Os dados podem ser compartilhados*
- *A redundância pode ser reduzida*
- *A inconsistência pode ser evitada*

Nesta etapa do projeto, recomenda-se o estudo da teoria de bancos de dados e de ferramentas de gerenciamento de bancos de dados (SGBD) relacionais. O detalhamento deste estudo, embora ele seja parte relevante para a conclusão da ferramenta, foge do escopo deste trabalho. Como resultado, se faz suficiente afirmar que o projeto do DB que sustenta a ferramenta parte do princípio da modelagem semântica, descrita por Date (2000). A aplicação deste conceito garante a manutenção evolutiva e a escalabilidade do sistema, aproximando as relações de dados dos conceitos do domínio da aplicação.

No modelo de entidade-relacionamento apresentado na Figura 24, as relações encontram-se na terceira forma normal (DATE, 2000), garantindo flexibilidade, não redundância de dados e facilidade de atualização.

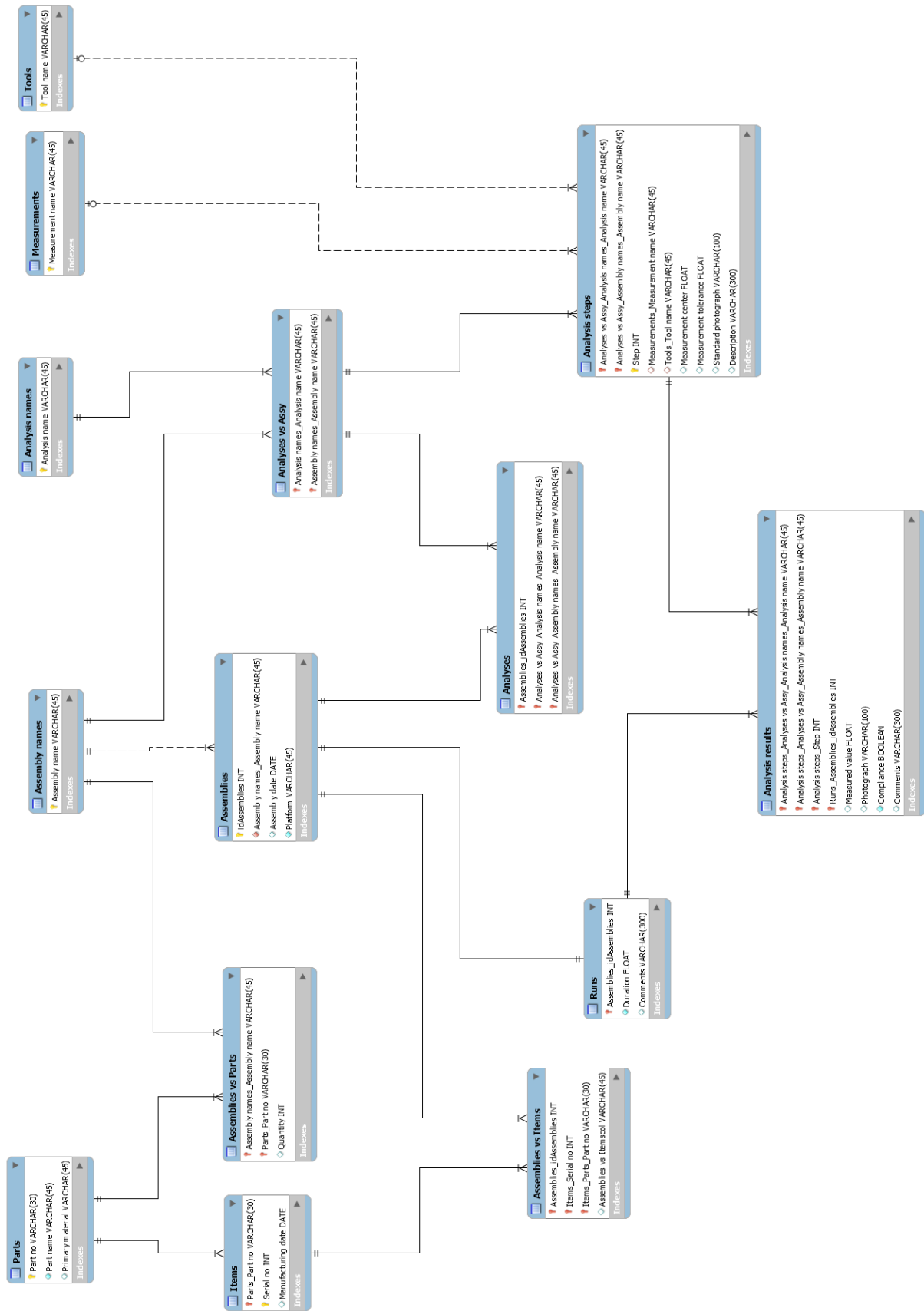


Figura 24 – Diagrama entidade-relacionamento.

A Figura 25 descreve as relações que integram o banco de dados:

RELAÇÃO	SEMÂNTICA	CHAVE(S)	DEMAIS ATRIBUTOS
Parts	Registra peças	Part no : número identificador de uma peça	Part name
			Primary material
Items	Registra peças individualmente	(FK)Parts : chave externa de "Parts "	Manufacturing date
		Serial no: número de série do indivíduo	
Assembly names	Registra o nome das possíveis montagens	Assembly name: nome da montagem	-
Assemblies vs Parts	Registra quais peças participam de cada possível montagem	(FK)Parts: chave externa de "Parts "	-
		(FK)Assembly names : chave externa de "Assembly names "	
Assemblies	Registra as reais montagens	idAssemblies: número identificador de uma montagem real	(F)Assembly names
			Assembly date
			Platform
Assemblies vs Items	Registra quais os itens presentes em cada montagem real	(FK)Assemblies: chave externa de "Assemblies "	-
		(FK)Items: chave externa de "Items "	
Runs	Registra informações sobre o uso de uma montagem	(FK)Assemblies: chave externa de "Assemblies"	Duration
			Comments
Measurements	Registra as possíveis medidas de análise	Measurement name: nome da medida	-
Tools	Registra as possíveis ferramentas utilizadas	Tool name: nome da ferramenta	-
Analysis names	Registra o nome das possíveis análises	Analysis name: nome da análise	-
Analyses vs Assemblies	Registra a quais montagens cada análise se aplica	(FK)Analysis names: chave externa de "Analysis names "	-
		(FK)Assembly names: chave externa de "Assembly names "	
Analysis steps	Registra os passos de cada análise	Step: número do passo	(F)Measurements
			(FK)Analyses vs Assemblies: chave externa de "Analyses vs Assemblies "
			(F)Tools
			Measurement center
			Measurement tolerance
Analyses	Registra quais análises foram feitas em montagens reais	(FK)Assemblies: chave externa de "Assemblies "	-
		(FK)Analyses vs Assemblies: chave externa de "Analyses vs Assemblies "	
Analysis results	Registra os resultados de cada passo realizado em uma análise	(FK)Runs: chave externa de "Runs "	Measured value
			Photograph
		(FK)Analysis steps : chave externa de "Analysis steps "	Compliance
			Comments

Figura 25 – Dicionário de dados.

O modelo apresentado na Figura 24 e na Figura 25 é flexível o suficiente para atender a diversas análises diferentes. O que irá diferenciar cada análise, e cada montagem a que aquela se aplica é como o banco é preenchido, mantendo-se a mesma estrutura de relações e relacionamentos.

4.5.1. Aplicação ao estudo de caso

Para aplicar o modelo ao estudo de caso, basta entrar com os dados do objeto de estudo nas respectivas relações.

A Equipe Poli, até o momento, não utiliza da prática de identificar de modo formal suas peças. Toma-se portanto a liberdade de criar um padrão de nomenclatura de forma que se identifique claramente uma peça, um sistema e uma análise:

- Peça (*Part no*): “2014_EP_FREIOS_001” = Disco de freio;
- Sistema (*Assembly name*): “2014_EP_FREIOS_V1.0” = versão 1.0 da montagem do sistema de freios;
- Análise (*Analysis name*): “EP_FREIOS_INSPEC_V1.0” = versão 1.0 do processo de inspeção do sistema de freios.

Em seguida, preenchem-se as relações com os dados sobre o sistema, suas peças e a análise:

- Peças (Figura 26):

Part name	Part number	Serial number
001 - Disco de freio	2014_EP_FREIOS_001	1
001 - Disco de freio	2014_EP_FREIOS_001	2
001 - Disco de freio	2014_EP_FREIOS_001	3
001 - Disco de freio	2014_EP_FREIOS_001	4
002 - Pinça de freio	2014_EP_FREIOS_002	1
002 - Pinça de freio	2014_EP_FREIOS_002	2
002 - Pinça de freio	2014_EP_FREIOS_002	3
002 - Pinça de freio	2014_EP_FREIOS_002	4
003 - Tubulação hidráulica e conexões	2014_EP_FREIOS_003	1
004 - Cilindro mestre	2014_EP_FREIOS_004	1
004 - Cilindro mestre	2014_EP_FREIOS_004	2
005 - Balance bar	2014_EP_FREIOS_005	1
006 - Pedal	2014_EP_FREIOS_006	1

Figura 26 – Números de série das peças do estudo de caso.

Para se realizar esta pesquisa, utiliza-se o seguinte *script* (Figura 27):

```

1  /*          QUERY 01
2  This query shows all serial numbers
3  for a given part number.
4  */
5
6  •  USE fd;
7
8  •  set @input = '2014_EP_FREIOS_001';
9
10 •  SELECT
11     `Part name`,
12     `Parts_Part no` as "Part number",
13     `Serial no` as "Serial number"
14 FROM `parts`
15 JOIN `items` ON
16     `items`.`Parts_Part no` = `parts`.`Part no`
17 /*where
18     `Part no` = @input;*/

```

Figura 27 – *Script* para visualização de números de série.

- Sistema (Figura 28):

Assembly name	Part number	Part name	Quantity
2014_EP_FREIOS_V1.0	2014_EP_FREIOS_001	001 - Disco de freio	4
2014_EP_FREIOS_V1.0	2014_EP_FREIOS_002	002 - Pinça de freio	4
2014_EP_FREIOS_V1.0	2014_EP_FREIOS_003	003 - Tubulação hidráulica e conexões	1
2014_EP_FREIOS_V1.0	2014_EP_FREIOS_004	004 - Cilindro mestre	2
2014_EP_FREIOS_V1.0	2014_EP_FREIOS_005	005 - Balance bar	1
2014_EP_FREIOS_V1.0	2014_EP_FREIOS_006	006 - Pedal	1

Figura 28 – Descrição do sistema do estudo de caso.

Onde o *script* utilizado na pesquisa é (Figura 29):

```

1  /*          QUERY 02
2  | This query shows all part numbers
3  | ,part names and quantity in a
4  | given assembly.
5  | */
6
7  • USE fd;
8
9  • set @input = '2014_EP_FREIOS_V1.0';
10
11 • SELECT
12   `Assembly names_Assembly name` as "Assembly name",
13   `Parts_Part no` as "Part number",
14   `Part name`,
15   `Quantity`
16 FROM `assemblies vs parts`
17 JOIN parts ON
18   `parts`.`Part no` = `assemblies vs parts`.`Parts_Part no`
19 where
20   `Assembly names_Assembly name` = @input;

```

Figura 29 – *Script* para visualização da descrição de um sistema.

- Análise (Figura 30):

Analysis name	Step	Measurement	Tool	Description
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	1	Inspeção	NULA	Inspeccionar a rotação do disco DD quanto a travamentos
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	2	Inspeção	NULA	Inspeccionar a rotação do disco DE quanto a travamentos
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	3	Inspeção	NULA	Inspeccionar a rotação do disco TD quanto a travamentos
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	4	Inspeção	NULA	Inspeccionar a rotação do disco TE quanto a travamentos
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	5	Inspeção	Manômetro	Manter o sistema sob pressão (5 MPa) e verificar a queda na linha dianteira após 10 minutos
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	6	Inspeção	Manômetro	Manter o sistema sob pressão (5 MPa) e verificar a queda na linha traseira após 10 minutos
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	7	Afastamento	Trena	Medir o afastamento entre flexíveis e braços de suspensão DD (em todo o curso e esterçamento)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	8	Afastamento	Trena	Medir o afastamento entre flexíveis e braços de suspensão DE (em todo o curso e esterçamento)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	9	Afastamento	Trena	Medir o afastamento entre flexíveis e braços de suspensão TD (em todo o curso e esterçamento)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	10	Afastamento	Trena	Medir o afastamento entre flexíveis e braços de suspensão TE (em todo o curso e esterçamento)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	11	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar quanto a choque com braços de suspensão DD (em todo o curso e esterçamento)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	12	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar quanto a choque com braços de suspensão DE (em todo o curso e esterçamento)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	13	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar quanto a choque com braços de suspensão DD (em todo o curso e esterçamento)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	14	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar quanto a choque com braços de suspensão DE (em todo o curso e esterçamento)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	15	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o sangrador DD quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	16	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o sangrador DE quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	17	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o sangrador TD quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	18	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o sangrador TE quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	19	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o parafuso banjo DD quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	20	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o parafuso banjo DE quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	21	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o parafuso banjo TD quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	22	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o parafuso banjo TE quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	23	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar as conexões quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	24	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o flexível DD quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	25	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o flexível DE quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	26	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o flexível TD quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	27	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o flexível TE quanto a vazamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	28	NULA	NULA	Aliviar a pressão do sistema
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	29	NULA	NULA	Soltar as flanges de fixação das pinças de freio do veículo
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	30	Planicidade	Transferidor	Medir a planicidade das faces de fixação da flange DD
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	31	Planicidade	Transferidor	Medir a planicidade das faces de fixação da flange DE
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	32	Planicidade	Transferidor	Medir a planicidade das faces de fixação da flange TD
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	33	Planicidade	Transferidor	Medir a planicidade das faces de fixação da flange TE
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	34	Deslocamento	Relógio comparador	Medir o retorno do pistão de acionamento DD
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	35	Deslocamento	Relógio comparador	Medir o retorno do pistão de acionamento DE
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	36	Deslocamento	Relógio comparador	Medir o retorno do pistão de acionamento TD
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	37	Deslocamento	Relógio comparador	Medir o retorno do pistão de acionamento TE
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	38	NULA	NULA	Soltar os discos de freio dos cubos de roda
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	39	Paralelismo	Transferidor	Medir o paralelismo entre faces de fixação e de atrito do disco DD
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	40	Paralelismo	Transferidor	Medir o paralelismo entre faces de fixação e de atrito do disco DE
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	41	Paralelismo	Transferidor	Medir o paralelismo entre faces de fixação e de atrito do disco TD
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	42	Paralelismo	Transferidor	Medir o paralelismo entre faces de fixação e de atrito do disco TE
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	43	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar as faces de atrito do disco DD quanto a protuberâncias (defeitos em alto-relevo)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	44	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar as faces de atrito do disco DE quanto a protuberâncias (defeitos em alto-relevo)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	45	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar as faces de atrito do disco TD quanto a protuberâncias (defeitos em alto-relevo)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	46	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar as faces de atrito do disco TE quanto a protuberâncias (defeitos em alto-relevo)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	47	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o disco DD quanto a choque com objeto estranho
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	48	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o disco DE quanto a choque com objeto estranho
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	49	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o disco TD quanto a choque com objeto estranho
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	50	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o disco TE quanto a choque com objeto estranho
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	51	NULA	NULA	Esgotar o sistema de fluido de freio através dos sangradores
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	52	Torque	Torquímetro	Medir o torque de aperto das porcas das conexões
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	53	NULA	NULA	Soltar todas as conexões da tubulação hidráulica
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	54	NULA	NULA	Extrair os pistões das pinças de freio
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	55	NULA	NULA	Extrair os anéis de vedação das pinças de freio
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	56	Diâmetro interno	Paquímetro	Medir o diâmetro interno do anel DD
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	57	Diâmetro externo	Paquímetro	Medir o diâmetro externo do anel DD
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	58	Diâmetro interno	Paquímetro	Medir o diâmetro interno do anel DE
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	59	Diâmetro externo	Paquímetro	
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	60	Diâmetro interno	Paquímetro	
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	61	Diâmetro externo	Paquímetro	
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	62	Diâmetro interno	Paquímetro	
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	63	Diâmetro externo	Paquímetro	Medir o diâmetro externo do anel TE
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	64	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o anel DD quanto a desgaste por objeto estranho
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	65	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o anel DE quanto a desgaste por objeto estranho
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	66	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o anel TD quanto a desgaste por objeto estranho
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	67	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o anel TE quanto a desgaste por objeto estranho
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	68	NULA	NULA	Demonstrar os parafusos banjo
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	69	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o parafuso DD quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	70	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o parafuso DE quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	71	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o parafuso TD quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	72	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o parafuso TE quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	73	NULA	NULA	Desmontar os sangradores
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	74	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o sangrador DD quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	75	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o sangrador DE quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	76	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o sangrador TD quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	77	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o sangrador TE quanto a deformação plástica (flexão e vedação)
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	78	NULA	NULA	Cortar os pontos de ancoragem da tubulação hidráulica
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	79	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar quanto a trincas
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	80	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o flexível DD quanto a esmagamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	81	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o flexível DE quanto a esmagamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	82	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o flexível TD quanto a esmagamento
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	83	Fotografia	Máquina fotográfica	Inspeccionar o flexível TE quanto a esmagamento

Figura 30 – Descrição do processo de análise do estudo de caso.

Utiliza-se nesta pesquisa o respectivo *script* (Figura 31):

```
1  /*          QUERY 03
2  | This query shows an analysis
3  | description an analysis name.
4  | */
5
6  • USE fd;
7
8  • set @input = 'EP_FREIOS_INSPEC_V1.0';
9
10 • SELECT
11   `Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` AS "Analysis name",
12   `Step`,
13   `Measurements_Measurement name` AS "Measurement",
14   `Tools_Tool name` AS "Tool",
15   `Description`
16 FROM `analysis steps`
17 WHERE
18   `Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` = @input;
```

Figura 31 – *Script* para descrição do processo de análise.

5. TESTES

Foram realizados dois testes, com objetivos distintos, que tem como finalidade validar a eficácia da ferramenta proposta. Esta seção, portanto, se divide em:

- Teste 1;
- Teste 2.

5.1. Primeiro teste

5.1.1. Objetivo

O objetivo deste teste é avaliar a eficácia do modelo de dados. Ou seja, avaliar a capacidade da ferramenta em armazenar e relacionar os dados coletados.

5.1.2. Procedimento

O teste da ferramenta não é feito com dados reais de uma análise no veículo, uma vez que a disponibilidade de um veículo para montagem, rodagem, desmontagem e análise é restrita dado o calendário de competições e apresentações da equipe. Entende-se, no entanto, que a ferramenta pode ser testada com dados fictícios sem prejuízo à avaliação de seu desempenho.

A utilização da ferramenta projetada neste trabalho é feita seguindo os passos:

1. Registro das peças: registra-se no banco de dados as peças montadas no sistema que será objeto de análise, caso estas ainda não estejam registradas;
2. Registro do sistema: registra-se o sistema no banco de dados, acrescentando seu nome, sua descrição e sua real composição nas respectivas relações, caso estes ainda não estejam registrados. Esta montagem é então identificada por um número (atributo “*idAssemblies*” da relação “*Assemblies*” - Figura 25);
3. Registro do tipo de análise: utilizam-se as informações da etapa de projeto descrita na Seção 4.4 para descrever uma análise e seus respectivos passos (relação “*Analysis steps*” - Figura 25), caso estes ainda não estejam registrados;
4. Descrição da utilização do sistema: registram-se as informações relevantes acerca da utilização do sistema desde sua montagem até o momento da análise (relação “*Runs*” - Figura 25);

5. Registro dos resultados de uma análise: realiza-se a análise de acordo com os passos descritos na relação “*Analysis steps*” (Figura 25) selecionando os dados através de uma pesquisa como a ilustrada na Figura 31. Os resultados da análise são então registrados na relação “*Analysis results*” (Figura 25).

Observa-se que, uma vez que o sistema está estabelecido, ou seja, não se modifica sua composição e novas peças são fabricadas em baixa escala – como é o caso da Equipe Poli na maior parte do tempo, a utilização da ferramenta se restringe aos passos dois, quatro e cinco. Nesta situação, os demais não trazem novas informações e, portanto, não precisam ser repetidos.

Como pode ser observado na Figura 25, os atributos que compõem o resultado de qualquer passo do processo de análise são:

- *Measured value*: um valor numérico decimal. Este atributo é preenchido somente quando o resultado do respectivo passo é uma medida;
- *Photograph*: um link em formato de texto. Este atributo é preenchido somente quando o resultado do respectivo passo é uma documentação fotográfica;
- *Compliance*: um valor binário, booleano (verdadeiro ou falso). Este atributo só não é preenchido quando o respectivo passo for um processo de desmontagem e não de análise;
- *Comments*: texto. Este atributo é reservado para que o analista acrescente, caso necessário, comentários relevantes ao passo em questão.

Os dados que representam o resultado neste teste são (Figura 32):

Step	Meas. Value	Compliance
1		1
2		0
3		1
4		1
5	2.5	0
6	5	1
7	1	1
8	2.25	1
9	3	1
10	2.5	1
11		0
12		1
13		1
14		1
15		0
16		1
17		1
18		1
19		1
20		1
21		1
22		1
23		1
24		1
25		1
26		1
27		1
28		1
29		
30	0.5	1
31	5	0
32	1	1
33	0.5	1
34	0.5	1
35	1	1
36	1	1
37	1.5	1
38		
39	1	1
40	2.5	0
41	0.5	1
42	0.5	1
43		1
44		1
45		1
46		1
47		1
48		1
49		1
50		1
51		
52	12	1
53		
54		
55		
56	30.1	1
57	34	1
58	30	1
59	33.5	1
60	30.2	1
61	34.5	1
62	29.8	1
63	34	1
64		1
65		1
66		1
67		1
68		
69		1
70		1
71		1
72		1
73		
74		0
75		1
76		1
77		1
78		
79		1
80		1
81		1
82		1
83		1

Figura 32 – Dados para teste do banco de dados.

Estes dados agem como uma simulação do passo cinco da utilização da ferramenta e devem ser registrados no banco de dados como se faria em uma análise real.

5.1.3. Resultados

Os resultados de uma análise, ou de um conjunto de análises, podem ser interpretados como respostas a perguntas relacionadas ao comportamento do sistema sob estudo. Assim, nesta seção são exemplificadas algumas perguntas relevantes ao estudo de caso e avaliada a capacidade da ferramenta de fornecer respostas:

1. Em quais análises é utilizado um transferidor como ferramenta?

A pesquisa que responde esta pergunta é (Figura 33):

```
1  /*          QUESTION 01
2  This query lists all analysis that
3  use a given tool.
4  */
5
6  USE fd;
7
8  SET @input = 'Transferidor';
9
10 SELECT DISTINCT
11     `Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` AS "Analysis name",
12     `Tools_Tool name` AS "Tool"
13 FROM `analysis steps`
14 WHERE `analysis steps`.`Tools_Tool name` = @input;
```

Figura 33 – Pesquisa correspondente à primeira pergunta.

Cujo resultado é (Figura 34):

Analysis name	Tool
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	Transferidor

Figura 34 – Resposta à primeira pergunta.

2. Quais são os passos da análise “EP_FREIOS_INSPEC_V1.0” nos quais se fazem medidas de paralelismo?

Pesquisa (Figura 35):

```

1  /*      QUESTION 02
2  This query lists all steps of a
3  given analysis that refer to a
4  given measurement.
5  */
6
7  • USE fd;
8
9  • SET @input1 = 'EP_FREIOS_INSPEC_V1.0';
10 • SET @input2 = 'Paralelismo';
11
12 • SELECT
13     `Step`,
14     `Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` AS "Analysis name",
15     `Measurements_Measurement name` AS "Measurement"
16 FROM `analysis steps`
17 WHERE `analysis steps`.`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` = @input1
18 AND `analysis steps`.`Measurements_Measurement name` = @input2;

```

Figura 35 – Pesquisa correspondente à segunda pergunta.

Resultado (Figura 36):

Step	Analysis name	Measurement
39	EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	Paralelismo
40	EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	Paralelismo
41	EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	Paralelismo
42	EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	Paralelismo

Figura 36 – Resposta à segunda pergunta.

3. Quando foram montados os sistemas que apresentaram inconformidade na medida do passo quarenta (40) da análise “EP_FREIOS_INSPEC_V1.0”?

Pesquisa (Figura 37):

```

1  /*      QUESTION 03
2  This query shows the date of every assembly
3  that were not compliant in a given step of
4  a given analysis.
5  */
6
7  • USE fd;
8
9  • SET @input1 = 'EP_FREIOS_INSPEC_V1.0';
10 • SET @input2 = '40';
11
12 • SELECT
13     `Analysis steps_Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` AS "Analysis name",
14     `Analysis steps_Step` AS "Step",
15     `Compliance`,
16     `idAssemblies` AS "Assembly ID",
17     `Assembly date`
18 FROM `analysis results`
19 JOIN `assemblies` ON
20     `assemblies`.`idAssemblies` = `analysis results`.`Runs_Assemblies_idAssemblies`
21 WHERE `analysis results`.`Analysis steps_Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` = @input1
22 AND `analysis results`.`Analysis steps_Step` = @input2
23 AND `analysis results`.`Compliance` = 0;

```

Figura 37 – Pesquisa correspondente à terceira pergunta.

Resultado (Figura 38):

Analysis name	Step	Compliance	Assembly ID	Assembly date
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	40	0	1	2014-08-01

Figura 38 – Resposta à terceira pergunta.

4. Quais foram os passos da análise “EP_FREIOS_INSPEC_V1.0”, realizada no sistema de identificador “1”, que resultaram em inconformidades?

Pesquisa (Figura 39):

```

1  /*          QUESTION 04
2  This query lists all non compliant
3  steps from a given analysis made on
4  a given assembly.
5  */
6
7  •  USE fd;
8
9  •  SET @input1 = 'EP_FREIOS_INSPEC_V1.0';
10 •  SET @input2 = '1';
11
12 •  SELECT
13     `Analysis steps_Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` AS "Analysis name",
14     `Runs_Assemblies_idAssemblies` AS "Assembly ID",
15     `Analysis steps_Step` AS "Step",
16     `Compliance`
17 FROM `analysis results`
18 WHERE `Compliance` = 0;

```

Figura 39 – Pesquisa correspondente à quarta pergunta.

Resultados (Figura 40):

Analysis name	Assembly ID	Step	Compliance
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	1	2	0
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	1	5	0
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	1	11	0
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	1	15	0
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	1	31	0
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	1	40	0
EP_FREIOS_INSPEC_V1.0	1	74	0

Figura 40 – Resposta à quarta pergunta.

As perguntas apresentadas são somente exemplos de como a ferramenta pode contribuir para o conhecimento do comportamento do sistema sob análise. É importante ressaltar ainda que é possível realizar qualquer operação matemática sobre os resultados, permitindo uma análise estatística. Por exemplo, seria possível obter a porcentagem de não conformidades em uma certa medida, ou ainda a média e o desvio padrão da medida de um certo item, entre outras.

5.2. Segundo teste

5.2.1. Objetivo

O objetivo deste teste é avaliar a coerência do processo de análise e desmontagem proposto ao estudo de caso, quanto a ordem dos passos, disponibilidade de ferramentas e entrada de dados ao banco.

5.2.2. Procedimento

Para cumprir o objetivo proposto para este teste, se utilizou o processo de análise conforme descrito nas Seções 4.4 e 4.4.1 aplicando-o em uma desmontagem e análise real do sistema de freios do protótipo da Equipe Poli.

Os resultados da análise realizada neste teste não são significativos, uma vez que, conforme descrito na Seção 4.1.1, alguns tipos de falha são desconsiderados pela ferramenta, como falhas por erro de montagem. Como o veículo foi montado para exposição, não se conhece o histórico das peças tampouco as condições de montagem, impossibilitando a identificação de falhas.

5.2.3. Resultados

O processo de análise e desmontagem seguiu com rigor os passos determinados pela ferramenta e foi realizado com sucesso.

Pode-se perceber que a definição de tolerâncias, que não é prática comum dos projetos da Equipe Poli, deve ser revisada. Lembra-se, no entanto, que a ferramenta permite que modificações sejam feitas na forma de definição de nova análise. Assim, é possível e encorajado que haja um processo iterativo até que a análise descrita se torne tão estável quanto se deseje.

6. CONCLUSÃO

O objetivo proposto para este trabalho foi o de projetar uma ferramenta de documentação de dados provenientes de uma diagnose de falha em um sistema de freio um veículo Baja SAE.

Avaliando-se os resultados do teste apresentado na Seção 5, considera-se que este objetivo foi atingido uma vez que a ferramenta projetada se mostrou eficaz em atender as mais diversas demandas de informações acerca do comportamento real do sistema. Pode-se considerar ainda que a ferramenta excede aos objetivos propostos uma vez que sua flexibilidade permite que se integre diferentes sistemas e análises em uma só estrutura.

Destaca-se também a preocupação deste em demonstrar de forma clara e objetiva todos os passos do projeto da ferramenta, e não somente o produto final e seus resultados. Desta forma, este trabalho permite fácil repetitividade e grande potencial para expansão.

A contribuição para equipes de Baja SAE se dá não somente na forma direta, como meio de padronizar análises e armazenar resultados, mas também contribuindo para a transmissão de conhecimento entre os ciclos de projeto. Pois, uma vez que se implementa o projeto deste trabalho, ele poderá armazenar informações durante um período ilimitado, fazendo com que os dados permaneçam disponíveis entre edições para processamento de forma consistente e confiável.

Conforme pretendido, a flexibilidade da ferramenta e do processo de seu projeto permitem que o trabalho aqui apresentado seja transportado para diferentes sistemas e plataformas, confirmando seu valor para a indústria mecânica em geral e não somente à área automotiva.

Buscou-se neste trabalho relacionar diversos outros trabalhos acadêmicos de forma a gerar um trabalho em sintonia com a prática atual na área de diagnóstico de falhas e contribuir com a evolução dos métodos de identificação de falha. Neste sentido entende-se que a ferramenta também atende às expectativas.

6.1. Limitações

Houve claras limitações no que se refere aos testes da ferramenta, pois pretendia-se analisar dados reais e assim identificar falhas concretas. Assim, uma aplicação mais extensa da ferramenta permitiria não somente a validação do modelo de banco de dados mas também dos conceitos que o precedem, como a evolução das falhas levantadas na TF.

O cruzamento deste trabalho com projetos semelhantes também foi limitado, uma vez que não se encontrou na literatura estudos ou ferramentas comerciais que tratassem especificamente do processo de identificação de falha, embora os conceitos e terminologia que o permeiam sejam extensamente trabalhados.

A ferramenta desenvolvida permite que se programe formulários e aplicativos que a tornem mais usável. Embora o trabalho tenha buscado uma direção voltada à contribuição para a engenharia mecânica, entende-se que este espaço para potencial melhoria possa ser considerado uma limitação.

6.2. Trabalhos futuros

Os seguintes trabalhos podem dar sequência a este estudo:

- Aperfeiçoamento da interface de utilização;
- Aplicação em diferentes sistemas e ambientes, por exemplo: outros sistemas de um veículo Baja SAE, sistemas de veículos de outra natureza ou ainda outros sistemas mecânicos;
- Pós processamento estatístico dos dados armazenados através da ferramenta (*data-mining*) para identificação automática de tendências;
- Aplicação da ferramenta durante um período maior de tempo, por exemplo: ciclo completo de projeto de um Baja SAE, visando seu aperfeiçoamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BESSANT, J.; CAFFYN, S.; GALLAGHER, M. An evolutionary model of continuous improvement behaviour. **Technovation**, v. 21, n. 2, p. 67–77, fev. 2001.

BLOCH, H. P.; GEITNER, F. K. **Machinery Failure Analysis and Troubleshooting**. Houston: Gulf Publishing Company, 1997.

BOWLES, J. B. Failure Modes and Effects Analysis. In: BECKER, W. T.; SHIPLEY, R. J. (Eds.). **Failure Analysis and Prevention**. ASM Handbook. Ohio: [s.n.]. v. 11.

BOYER, H. E., EDITOR; ASM HANDBOOK COMMITTEE; VARIOUS AUTHORS. **METALS HANDBOOK; VOLUME 10 FAILURE ANALYSIS AND PREVENTION; 8TH EDITION**. First Edition edition ed. [s.l.] American Society For Metals, 1975.

CAFFYN, S.; BESSANT, J. A capability-based model for continuous improvement. **Proceedings of 3th International Conference of the EUROMA**, 1996.

DATE, C. J. **Introdução a sistemas de bancos de dados**. [s.l.] Editora Campus, 2000.

FRARACCI, A. **Model-based failure-modes-and-effects analysis and its application to aircraft subsystems**. [s.l.: s.n.].

GUNGOR, A.; GUPTA, S. M. An evaluation methodology for disassembly processes. **Computers & Industrial Engineering**, v. 33, n. 1, p. 329–332, 1997.

GUNGOR, A.; GUPTA, S. M. Disassembly sequence planning for products with defective parts in product recovery. **Computers & Industrial Engineering**, v. 35, n. 1, p. 161–164, 1998.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial - FMEA**.Q.A., , 1997.

MESQUITA, M.; ALLIPRANDINI, D. H. Competências essenciais para melhoria contínua da produção: estudo de caso em empresas da indústria de autopeças. **Gestão & Produção**, v. 10, n. 1, p. 17–33, abr. 2003.

MIKULAK, R. J. **The Basics of FMEA, 2nd Edition**. 2 edition ed. [s.l.] Productivity Press, 2012.

ROLAND, H. E.; MORIARTY, B. **System Safety Engineering and Management**. 2nd. ed. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1990.

SAE BRASIL. **Informativo 26 - Resultado Final**, 2014. Disponível em: <http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas_estudantis/arquivos/Informativo%2026%20-%20Resultado%20Final.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2014

SAE INTERNATIONAL. **2014 Collegiate Design Series Baja SAE Rules**, 2013. Disponível em: <http://www.sae.org/students/2014_baja_rules_8-2103.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2014

SCUTTI, J. J.; MCBRINE, W. J. Introduction to Failure Analysis and Prevention. In: BECKER, W. T.; SHIPLEY, R. J. (Eds.). . **Failure Analysis and Prevention**. ASM Handbook. Ohio: ASM International, 2002. v. 11.

STRUSS, P.; FRARACCI, A. **FMEA of a braking system-a kingdom for a qualitative valve model**25th International Workshop on Qualitative Reasoning. **Anais...2011**Disponível em: <http://www.qrg.northwestern.edu/papers/Files/qr-workshops/QR2011/2011_Proceedings/qr11_paper21.pdf>. Acesso em: 14 out. 2014

APÊNDICES

I. TABELA DE FALHAS (TF)

II. SCRIPT DE CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS

```
-- MySQL Workbench Forward Engineering

SET @OLD_UNIQUE_CHECKS=@@UNIQUE_CHECKS, UNIQUE_CHECKS=0;
SET @OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS=@@FOREIGN_KEY_CHECKS, FOREIGN_KEY_CHECKS=0;
SET @OLD_SQL_MODE=@@SQL_MODE, SQL_MODE='TRADITIONAL,ALLOW_INVALID_DATES';

-----
-- Schema FD
-----

-----
-- Schema FD
-----
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS `FD` DEFAULT CHARACTER SET utf8 COLLATE utf8_general_ci ;
-----
-- Schema fd
-----

-----
-- Schema fd
-----
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS `fd` DEFAULT CHARACTER SET utf8 ;
USE `FD` ;

-----
-- Table `FD`.`Parts`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Parts` (
  `Part no` VARCHAR(30) NOT NULL,
  `Part name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Primary material` VARCHAR(45) NULL,
  PRIMARY KEY (`Part no`))
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `FD`.`Items`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Items` (
  `Parts_Part no` VARCHAR(30) NOT NULL,
  `Serial no` INT NOT NULL,
  `Manufacturing date` DATE NULL,
  PRIMARY KEY (`Serial no`, `Parts_Part no`),
  INDEX `fk_Items_Parts_idx` (`Parts_Part no` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Items_Parts`
    FOREIGN KEY (`Parts_Part no`)
      REFERENCES `FD`.`Parts` (`Part no`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `FD`.`Assembly names`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Assembly names` (
  `Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Assembly name`))
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `FD`.`Assemblies vs Parts`
-----
```

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Assemblies vs Parts` (
  `Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Parts_Part no` VARCHAR(30) NOT NULL,
  `Quantity` INT NULL,
  PRIMARY KEY (`Assembly names_Assembly name`, `Parts_Part no`),
  INDEX `fk_Assemblies vs Parts_Parts1_idx` (`Parts_Part no` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Assemblies vs Parts_Assembly names1`
    FOREIGN KEY (`Assembly names_Assembly name`)
    REFERENCES `FD`.`Assembly names` (`Assembly name`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `fk_Assemblies vs Parts_Parts1`
    FOREIGN KEY (`Parts_Part no`)
    REFERENCES `FD`.`Parts` (`Part no`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `FD`.`Assemblies`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Assemblies` (
  `idAssemblies` INT NOT NULL,
  `Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Assembly date` DATE NULL,
  `Platform` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`idAssemblies`),
  INDEX `fk_Assemblies_Assembly names1_idx` (`Assembly names_Assembly name` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Assemblies_Assembly names1`
    FOREIGN KEY (`Assembly names_Assembly name`)
    REFERENCES `FD`.`Assembly names` (`Assembly name`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `FD`.`Assemblies vs Items`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Assemblies vs Items` (
  `Assemblies_idAssemblies` INT NOT NULL,
  `Items_Serial no` INT NOT NULL,
  `Items_Parts_Part no` VARCHAR(30) NOT NULL,
  `Assemblies vs Itemscol` VARCHAR(45) NULL,
  PRIMARY KEY (`Assemblies_idAssemblies`, `Items_Serial no`, `Items_Parts_Part no`),
  INDEX `fk_Assemblies vs. Items_Items1_idx` (`Items_Serial no` ASC, `Items_Parts_Part no` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Assemblies vs. Items_Assemblies1`
    FOREIGN KEY (`Assemblies_idAssemblies`)
    REFERENCES `FD`.`Assemblies` (`idAssemblies`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `fk_Assemblies vs. Items_Items1`
    FOREIGN KEY (`Items_Serial no`, `Items_Parts_Part no`)
    REFERENCES `FD`.`Items` (`Serial no`, `Parts_Part no`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `FD`.`Runs`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Runs` (
  `Assemblies_idAssemblies` INT NOT NULL,
  `Duration` FLOAT NOT NULL COMMENT 'Hours',

```

```

`Comments` VARCHAR(300) NULL,
PRIMARY KEY (`Assemblies_idAssemblies`),
INDEX `fk_Runs_Assemblies1_idx` (`Assemblies_idAssemblies` ASC),
CONSTRAINT `fk_Runs_Assemblies1`
  FOREIGN KEY (`Assemblies_idAssemblies`)
  REFERENCES `FD`.`Assemblies` (`idAssemblies`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `FD`.`Measurements`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Measurements` (
  `Measurement name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Measurement name`))
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `FD`.`Tools`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Tools` (
  `Tool name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Tool name`))
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `FD`.`Analysis names`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Analysis names` (
  `Analysis name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Analysis name`))
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `FD`.`Analyses vs Assy`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Analyses vs Assy` (
  `Analysis names_Analysis name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Analysis names_Analysis name`, `Assembly names_Assembly name`),
  INDEX `fk_Analyses vs Assy_Assembly names1_idx` (`Assembly names_Assembly name` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Analyses vs Assy_Analysis names1`
    FOREIGN KEY (`Analysis names_Analysis name`)
    REFERENCES `FD`.`Analysis names` (`Analysis name`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `fk_Analyses vs Assy_Assembly names1`
    FOREIGN KEY (`Assembly names_Assembly name`)
    REFERENCES `FD`.`Assembly names` (`Assembly name`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `FD`.`Analysis steps`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Analysis steps` (
  `Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Step` INT NOT NULL,

```

```

`Measurements_Measurement name` VARCHAR(45) NULL,
`Tools_Tool name` VARCHAR(45) NULL,
`Measurement center` FLOAT NULL,
`Measurement tolerance` FLOAT NULL,
`Standard photograph` VARCHAR(100) NULL,
`Description` VARCHAR(300) NULL,
PRIMARY KEY (`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name`, `Step`),
INDEX `fk_Analysis steps_Measurements1_idx` (`Measurements_Measurement name` ASC),
INDEX `fk_Analysis steps_Tools1_idx` (`Tools_Tool name` ASC),
INDEX `fk_Analysis steps_Analyses vs Assy1_idx` (`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` ASC, `Analyses vs Assy_Assembly
names_Assembly name` ASC),
CONSTRAINT `fk_Analysis steps_Measurements1`
  FOREIGN KEY (`Measurements_Measurement name`)
    REFERENCES `FD`.`Measurements` (`Measurement name`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION,
CONSTRAINT `fk_Analysis steps_Tools1`
  FOREIGN KEY (`Tools_Tool name`)
    REFERENCES `FD`.`Tools` (`Tool name`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION,
CONSTRAINT `fk_Analysis steps_Analyses vs Assy1`
  FOREIGN KEY (`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name`)
    REFERENCES `FD`.`Analyses vs Assy` (`Analysis names_Analysis name`, `Assembly names_Assembly name`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

```

-----
-- Table `FD`.`Analyses`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Analyses` (
  `Assemblies_idAssemblies` INT NOT NULL,
  `Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Assemblies_idAssemblies`, `Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly
name`),
  INDEX `fk_Analyses_Analyses vs Assy1_idx` (`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` ASC, `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly
name` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Analyses_Assemblies1`
    FOREIGN KEY (`Assemblies_idAssemblies`)
      REFERENCES `FD`.`Assemblies` (`idAssemblies`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `fk_Analyses_Analyses vs Assy1`
    FOREIGN KEY (`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name`)
      REFERENCES `FD`.`Analyses vs Assy` (`Analysis names_Analysis name`, `Assembly names_Assembly name`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

```

-----
-- Table `FD`.`Analysis results`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `FD`.`Analysis results` (
  `Analysis steps_Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Analysis steps_Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Analysis steps_Step` INT NOT NULL,
  `Runs_Assemblies_idAssemblies` INT NOT NULL,
  `Measured value` FLOAT NULL,
  `Photograph` VARCHAR(100) NULL,
  `Compliance` TINYINT(1) NOT NULL,
  `Comments` VARCHAR(300) NULL,

```

```

PRIMARY KEY (`Analysis steps_Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analysis steps_Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly
name`, `Analysis steps_Step`, `Runs_Assemblies_idAssemblies`),
INDEX `fk_Analysis results_Runs1_idx` (`Runs_Assemblies_idAssemblies` ASC),
INDEX `fk_Analysis results_Analysis steps1_idx` (`Analysis steps_Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` ASC, `Analysis
steps_Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name` ASC, `Analysis steps_Step` ASC),
CONSTRAINT `fk_Analysis results_Runs1`
  FOREIGN KEY (`Runs_Assemblies_idAssemblies`)
  REFERENCES `fd`.`Runs` (`Assemblies_idAssemblies`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION,
CONSTRAINT `fk_Analysis results_Analysis steps1`
  FOREIGN KEY (`Analysis steps_Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analysis steps_Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly
name`, `Analysis steps_Step`)
  REFERENCES `fd`.`Analysis steps` (`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name`,
`Step`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

```
USE `fd` ;
```

```

-----
-- Table `fd`.`analysis names`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`analysis names` (
  `Analysis name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Analysis name`))
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

```

```

-----
-- Table `fd`.`assembly names`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`assembly names` (
  `Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Assembly name`))
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

```

```

-----
-- Table `fd`.`analyses vs assy`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`analyses vs assy` (
  `Analysis names_Analysis name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Analysis names_Analysis name`, `Assembly names_Assembly name`),
  INDEX `fk_Analyses vs Assy_Assembly names1_idx` (`Assembly names_Assembly name` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Analyses vs Assy_Analysis names1`
    FOREIGN KEY (`Analysis names_Analysis name`)
    REFERENCES `fd`.`analysis names` (`Analysis name`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `fk_Analyses vs Assy_Assembly names1`
    FOREIGN KEY (`Assembly names_Assembly name`)
    REFERENCES `fd`.`assembly names` (`Assembly name`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

```

```

-----
-- Table `fd`.`assemblies`
-----

```

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`assemblies` (
  `idAssemblies` INT(11) NOT NULL,
  `Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Assembly date` DATE NULL DEFAULT NULL,
  `Platform` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`idAssemblies`),
  INDEX `fk_Assemblies_Assembly names1_idx` (`Assembly names_Assembly name` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Assemblies_Assembly names1`
    FOREIGN KEY (`Assembly names_Assembly name`)
    REFERENCES `fd`.`assembly names` (`Assembly name`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

-----
-- Table `fd`.`analyses`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`analyses` (
  `Assemblies_idAssemblies` INT(11) NOT NULL,
  `Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Assemblies_idAssemblies`, `Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name`),
  INDEX `fk_Analyses_Analyses vs Assy1_idx` (`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` ASC, `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Analyses_Analyses vs Assy1`
    FOREIGN KEY (`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name`)
    REFERENCES `fd`.`analyses vs assy` (`Analysis names_Analysis name`, `Assembly names_Assembly name`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `fk_Analyses_Assemblies1`
    FOREIGN KEY (`Assemblies_idAssemblies`)
    REFERENCES `fd`.`assemblies` (`idAssemblies`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

-----
-- Table `fd`.`measurements`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`measurements` (
  `Measurement name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Measurement name`))
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

-----
-- Table `fd`.`tools`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`tools` (
  `Tool name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Tool name`))
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

-----
-- Table `fd`.`analysis steps`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`analysis steps` (
  `Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` VARCHAR(45) NOT NULL,

```

```

`Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
`Step` INT(11) NOT NULL,
`Measurements_Measurement name` VARCHAR(45) NULL DEFAULT NULL,
`Tools_Tool name` VARCHAR(45) NULL DEFAULT NULL,
`Measurement center` FLOAT NULL DEFAULT NULL,
`Measurement tolerance` FLOAT NULL DEFAULT NULL,
`Standard photograph` VARCHAR(100) NULL DEFAULT NULL,
`Description` VARCHAR(300) NULL DEFAULT NULL,
PRIMARY KEY (`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name`, `Step`),
INDEX `fk_Analysis steps_Measurements1_idx` (`Measurements_Measurement name` ASC),
INDEX `fk_Analysis steps_Tools1_idx` (`Tools_Tool name` ASC),
INDEX `fk_Analysis steps_Analyses vs Assy1_idx` (`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` ASC, `Analyses vs Assy_Assembly
names_Assembly name` ASC),
CONSTRAINT `fk_Analysis steps_Analyses vs Assy1`
  FOREIGN KEY (`Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name`)
  REFERENCES `fd`.`analyses vs assy` (`Analysis names_Analysis name`, `Assembly names_Assembly name`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION,
CONSTRAINT `fk_Analysis steps_Measurements1`
  FOREIGN KEY (`Measurements_Measurement name`)
  REFERENCES `fd`.`measurements` (`Measurement name`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION,
CONSTRAINT `fk_Analysis steps_Tools1`
  FOREIGN KEY (`Tools_Tool name`)
  REFERENCES `fd`.`tools` (`Tool name`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

```

```

-----
-- Table `fd`.`runs`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`runs` (
  `Assemblies_idAssemblies` INT(11) NOT NULL,
  `Duration` FLOAT NOT NULL COMMENT 'Hours',
  `Comments` VARCHAR(300) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`Assemblies_idAssemblies`),
  INDEX `fk_Runs_Assemblies1_idx` (`Assemblies_idAssemblies` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Runs_Assemblies1`
    FOREIGN KEY (`Assemblies_idAssemblies`)
    REFERENCES `fd`.`assemblies` (`idAssemblies`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

```

```

-----
-- Table `fd`.`analysis results`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`analysis results` (
  `Analysis steps_Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Analysis steps_Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Analysis steps_Step` INT(11) NOT NULL,
  `Runs_Assemblies_idAssemblies` INT(11) NOT NULL,
  `Measured value` FLOAT NULL DEFAULT NULL,
  `Photograph` VARCHAR(100) NULL DEFAULT NULL,
  `Compliance` TINYINT(1) NOT NULL,
  `Comments` VARCHAR(300) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`Analysis steps_Analyses vs Assy_Analysis names_Analysis name`, `Analysis steps_Analyses vs Assy_Assembly names_Assembly
name`, `Analysis steps_Step`, `Runs_Assemblies_idAssemblies`),
  INDEX `fk_Analysis results_Runs1_idx` (`Runs_Assemblies_idAssemblies` ASC),

```

```

INDEX `fk_Analysis_results_Analysis_steps1_idx` (`Analysis_steps_Analyses vs Assy_Analysis_names_Analysis_name` ASC, `Analysis_steps_Analyses vs Assy_Assembly_names_Assembly_name` ASC, `Analysis_steps_Step` ASC),
CONSTRAINT `fk_Analysis_results_Analysis_steps1`
  FOREIGN KEY (`Analysis_steps_Analyses vs Assy_Analysis_names_Analysis_name`, `Analysis_steps_Analyses vs Assy_Assembly_names_Assembly_name`, `Analysis_steps_Step`)
    REFERENCES `fd`.`analysis_steps` (`Analyses vs Assy_Analysis_names_Analysis_name`, `Analyses vs Assy_Assembly_names_Assembly_name`, `Step`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION,
CONSTRAINT `fk_Analysis_results_Runs1`
  FOREIGN KEY (`Runs_Assemblies_idAssemblies`)
    REFERENCES `fd`.`runs` (`Assemblies_idAssemblies`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

```

```

-----
-- Table `fd`.`parts`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`parts` (
  `Part no` VARCHAR(30) NOT NULL,
  `Part name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Primary material` VARCHAR(45) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`Part no`))
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

```

```

-----
-- Table `fd`.`items`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`items` (
  `Parts_Part no` VARCHAR(30) NOT NULL,
  `Serial no` INT(11) NOT NULL,
  `Manufacturing date` DATE NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`Serial no`, `Parts_Part no`),
  INDEX `fk_Items_Parts_idx` (`Parts_Part no` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Items_Parts`
    FOREIGN KEY (`Parts_Part no`)
      REFERENCES `fd`.`parts` (`Part no`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

```

```

-----
-- Table `fd`.`assemblies vs items`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`assemblies vs items` (
  `Assemblies_idAssemblies` INT(11) NOT NULL,
  `Items_Serial no` INT(11) NOT NULL,
  `Items_Parts_Part no` VARCHAR(30) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`Assemblies_idAssemblies`, `Items_Serial no`, `Items_Parts_Part no`),
  INDEX `fk_Assemblies vs. Items_Items1_idx` (`Items_Serial no` ASC, `Items_Parts_Part no` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Assemblies vs. Items_Assemblies1`
    FOREIGN KEY (`Assemblies_idAssemblies`)
      REFERENCES `fd`.`assemblies` (`idAssemblies`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `fk_Assemblies vs. Items_Items1`
    FOREIGN KEY (`Items_Serial no`, `Items_Parts_Part no`)
      REFERENCES `fd`.`items` (`Serial no`, `Parts_Part no`)
    ON DELETE NO ACTION

```

```

    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

-----
-- Table `fd`.`assemblies vs parts`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fd`.`assemblies vs parts` (
  `Assembly names_Assembly name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `Parts_Part no` VARCHAR(30) NOT NULL,
  `Quantity` INT(11) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`Assembly names_Assembly name`, `Parts_Part no`),
  INDEX `fk_Assemblies vs Parts_Parts1_idx` (`Parts_Part no` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Assemblies vs Parts_Assembly names1`
    FOREIGN KEY (`Assembly names_Assembly name`)
    REFERENCES `fd`.`assembly names` (`Assembly name`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `fk_Assemblies vs Parts_Parts1`
    FOREIGN KEY (`Parts_Part no`)
    REFERENCES `fd`.`parts` (`Part no`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8;

SET SQL_MODE=@OLD_SQL_MODE;
SET FOREIGN_KEY_CHECKS=@OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS;
SET UNIQUE_CHECKS=@OLD_UNIQUE_CHECKS;

```