

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Análise de Manutenção Centrada em Confiabilidade
aplicada ao Sistema de Ar Condicionado de um
Ônibus de uso Urbano no Rio de Janeiro**

Marcos Túlio Gurjão Leonardo
Walter Marinho Goldstein Junior

Prof. Orientador: Leydervan Xavier, D.C.

**Rio de Janeiro
Junho de 2015**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Análise de Manutenção Centrada em Confiabilidade
aplicada ao Sistema de Ar Condicionado de um
Ônibus de uso Urbano no Rio de Janeiro**

Marcos Túlio Gurjão Leonardo
Walter Marinho Goldstein Junior

Projeto Final apresentado em cumprimento às
normas do Departamento de Educação Superior
do CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Prof. Orientador: Leydervan Xavier

**Rio de Janeiro
Junho de 2015**

Dedico o presente trabalho aos membros da minha família e amigos.

Marcos Tulio Gurjão Leonardo

Dedico a elaboração deste projeto à minha família e amigos.

Walter Marinho Goldstein Junior

AGRADECIMENTOS

“A Força não provém de uma capacidade física e sim de uma vontade indomável.”

-Mahatma Gandhi

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade de realizar este sonho e por toda a força e motivação que me trouxeram até aqui. Agradeço aos meus pais, Marcos Antônio Leonardo da Silva e Rita de Cassia Gurjão Leonardo e irmã Franciele Gurjão Leonardo, pois sem eles seria muito difícil suportar a pressão exigida pelo curso e pela vida durante esses anos. Todo o apoio dado através, de amor, carinho, confiança, conselhos, cobranças, compreensão nos momentos ruins e até mesmo o suporte financeiro, foram de extrema importância para minha formação profissional como Engenheiro Mecânico e a formação como cidadão. Ao Mestre Leydervan Xavier por me acolher nesse desafio e ao Mestre Alexandre Rosa pelos ensinamentos. Para finalizar, agradeço essa conquista aos meus amigos: Vinicius Mares Guia, Leonardo Almeida Correa, Rafael Espindola Pinto, Daniel Braga Mascarenhas Martins, Thales Cunha, Renata Silveira Melo, Daniel Harduim, Fillipe Mattos Deseta e meu companheiro de projeto final Walter Marinho Goldstein Junior. Todos sempre ao meu lado e que fizeram desta longa jornada um momento único na minha vida. Obrigado de Coração!

Marcos Tulio Gurjão Leonardo

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado à honra de concluir um desafio tão belo, intenso e edificante como é a finalização de um curso e a formação de um Engenheiro Mecânico. Agradeço aos meus pais Jaqueline Bravo Goldstein e Walter Marinho Goldstein, irmã Maria Clara Bravo Goldstein e namorada Jacqueline Aparecida Soares Ferreira por todo apoio e atenção dada a mim durante esses anos, abdicando de parte da vida de vocês para dedicação, orientação, confiança e carinho dada a mim em momentos difíceis e no dia-a-dia. Tenho a absoluta certeza de que 90% do que eu sou hoje como cidadão eu devo a vocês, e que este projeto não estaria finalizado sem a paciência e dedicação doadas a mim. Ao mestre Leydervan Xavier pelo acolhimento e dedicação inigualáveis e ao meu companheiro de conclusão de curso e amigo para a vida Marcos Túlio Gurjão Leonardo, meus sinceros agradecimentos.

Walter Marinho Goldstein Junior

RESUMO

Neste projeto, o problema central é a confiabilidade do sistema de ar condicionado usado intensivamente em uma frota de ônibus urbanos, com cerca de 100 veículos idênticos. Os autores têm livre acesso ao universo real do problema e puderam interagir diretamente com os atores da organização e seus fornecedores durante todas as etapas do trabalho. No contexto atual, o uso desse equipamento, por um lado se torna indispensável por exigências de conforto e segurança dos clientes e trabalhadores na frota e, por outro, representa um elemento crítico para a imagem e a lucratividade da empresa, pelo impacto negativo que os eventuais problemas de desempenho representam, afetando as relações com os usuários e o poder público concedente das linhas operadas. A necessidade da mobilidade coletiva, cada vez mais, se alinha às necessidades de segurança, conforto e atenção ao meio-ambiente, demandando novas concepções de engenharia para produção, operação e manutenção dos veículos e de seus subsistemas. Neste caso, foi adotada a perspectiva da Manutenção Centrada na Confiabilidade para avaliar as práticas de manutenção existentes e indicar novos procedimentos e alterações nos componentes, a partir das pesquisas de campo e discussões técnicas com a equipe de manutenção e os fabricantes originais dos equipamentos. O trabalho empregou ferramentas típicas da gestão da qualidade, como FMEA e análise de Pareto e se baseou nas Normas Brasileiras e nas referências da literatura sobre Gestão da Manutenção, para descrever, analisar sistemicamente o equipamento em seu contexto funcional. Os modos de falha, a ocorrência de falhas e seus desdobramentos foram investigados e os comportamentos dinâmicos de alguns componentes foram modelados e analisados, com base no método dos elementos finitos. Em decorrência foram propostas mudanças nos processos de operação, manutenção e fabricação de alguns dos componentes. Os resultados compreendem um entendimento mais profundo e organizado do equipamento, uma visão coletiva mais completa e crítica dos processos de trabalho da organização pesquisada e a expectativa de melhoria de desempenho do equipamento e da equipe de manutenção no curto prazo. A maior e mais qualificada interação da equipe de manutenção com o fabricante do equipamento sugere incluir modificações futuras na fabricação do produto e na seleção de fornecedores, com possibilidade de melhoria da capacidade do sistema de ar condicionado usada na frota. Algumas iniciativas são deixadas como sugestão para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), Análise dos Modos de Falha (FMEA), Ônibus como um Sistema, Ar Condicionado.

Definição:

Análise FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma metodologia que objetiva avaliar e minimizar riscos por meio da análise das possíveis falhas (determinação da causa, efeito e risco de cada tipo de falha) e implantação de ações para aumentar a confiabilidade.

ABSTRACT

In this project, the central problem is the reliability of the air conditioning system used intensively in an urban bus fleet, with about 100 identical vehicles. The authors have free access to the real universe of the problem, and were able to interact directly with the actors of the company and its suppliers during all steps of the work.

In the current context, the use of this equipment on one hand becomes indispensable due to requirements regarding comfort and safety of customers and employees in the fleet, and, on the other, is a critical element for the image and the company's profitability, due to the negative impact that any performance issues may represent, affecting relations with users and the grantor government of operated lines.

The need for collective mobility increasingly aligns security needs, comfort and attention to the environment, requiring new engineering designs for production, operation and maintenance of vehicles and their subsystems. In this case, the prospect of Reliability Centered Maintenance was adopted to evaluate the existing maintenance practices and indicate new procedures and modification in the components, from the field's research and technical discussions with maintenance team and original equipment manufacturers.

This work used typical quality management tools, such as FMEA and Pareto analysis. It was based on Brazilian regulations and on references from the literature about Maintenance Management to describe and systematically analyze the equipment in its functional context. The failure modes, the occurrence of failure and its consequences have been investigated, and the dynamic behavior of some components were modeled and analyzed, based on the finite element method. As a result, it has been proposed changes in operating procedures, maintenance and manufacture of some components. The results comprehend in a deeper understanding and organized of the equipment, with a fuller and critical collective view of the company's work processes, and the expectation of performance improvement on the equipment and maintenance staff in a short term.

The biggest and most qualified interaction of maintenance staff with the equipment manufacturer suggests the inclusion of future changes in product manufacturing and supplier selection, with the possibility of improving the capacity of the air conditioning system used in the fleet. Some initiatives are described as suggestions for future Works.

SUMÁRIO

1-Introdução	13
1.1-Objetivos	15
2-Conceitos	17
2.1-Histórico Institucional.....	17
2.2-Histórico do Equipamento	18
2.3-Ciclo de Refrigeração	24
2.4-Especificação Técnica do Ar Condicionado	27
2.4.1-Condensador	29
2.4.2-Evaporador.....	29
2.4.3-Compressor Thermo King X430.....	30
2.4.4- Gás Refrigerante (R-134A).....	32
2.4.5-Filtro Anti-Polén	33
2.4.6-Válvula de Expansão Termostática.....	34
2.4.7-Válvula de Expansão.....	35
2.4.8-Sistema de Controle e Acessórios	35
2.5- Especificações Técnicas do Ônibus	36
2.5.1-Carroceria.....	37
2.5.2-Chassi	38
3-Metodologia	41
3.1-Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM)	41
3.1.1-Seleção da Área do Processo Produtivo adequado para a aplicação do RCM.....	42
3.1.2-Determinação das Falhas Funcionais.....	44
3.1.3-Determinação do Modo de Falha, seus Efeitos e Consequências	45
3.1.4-Selecionamento do Tipo de Manutenção	46
3.1.5-Formulação e Implantação do Plano de Manutenção	47
3.1.6-Melhoria Contínua	47
3.2- Análises dos Modos de Falha e Efeito (FMEA)	48
4-Aplicação do Método.....	52
4.1-Mapeamento dos Subsistemas	54
4.1.1-Parte Elétrica.....	55
4.1.2-Condensador	58
4.1.3-Evaporador.....	65

4.1.4-Acabamentos e Isolamentos.....	72
4.1.5-Compressor	75
4.2 – Mapeamentos do Modo de Falhas.....	78
4.3-Aplicação do FMEA com a Equipe	82
4.4-Resultados do FMEA.....	90
4.5-Implantação do Diagrama de RCM	90
4.5.1-Chicotes Elétricos	91
4.5.2-Mangotes Flexíveis	92
4.5.3-Polias e seus Componentes	93
4.5.4-Central Elétrica	94
4.5.5-Alternador	95
4.5.6-Sensores de Temperatura e Pressostatos	96
4.5.7-Eletroventiladores	97
4.6-Propostas de Melhorias	98
4.6.1- Caso 1 - Chicotes Elétricos	98
4.6.2-Caso 2 - Mangotes Flexíveis.....	102
4.6.3-Caso 3 - Polia e Seus Componentes.....	115
4.6.4-Caso 4 - Central Elétrica	116
4.6.5-Caso 5 - Alternador.....	118
4.5.6-Caso 6 - Sensores de Temperatura e Pressostatos.....	120
4.5.7-Caso 7 - Eletroventiladores	120
5-Conclusão.....	125
5.1-Propostas para Trabalhos Futuros.....	125
6-Referências Bibliográficas	127
Anexo I.....	130
Anexo II	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Trocas térmicas entre o homem e o meio.	14
Figura 2: Máquina de Refrigeração criada por Perkins.....	20
Figura 3: Modelo de máquina de gelo desenvolvida por James Harrison.....	21
Figura 4: Esquema que mostra os componentes responsáveis pelo ciclo de refrigeração.	25
Figura 5: Gráfico, Pressão X Entalpia.....	26
Figura 6: Sistema de refrigeração completo do ônibus.	26
Figura 7: Vista superior com dimensões em milímetros, do ar condicionado Thermo King LTR – COMFORT,	28
Figura 8: Vista isométrica do ar condicionado Thermo King LTR – COMFORT,	28
Figura 9: Foto do condensador com a tampa de proteção aberta.	29
Figura 10: Foto do Evaporador (está indicado pela seta vermelha e os motores estão indicados pela seta azul).....	30
Figura 11: Vista Isométrica e vista isométrica com corte do Compressor Thermo King X430.....	31
Figura 12: Vista explodida do Compressor Thermo King X430	31
Figura 13: Estrutura molecular R134a.	32
Figura 14: Foto do cilindro comercial de gás R134A	32
Figura 15: Foto e figura do Filtro de gás R134A e seu interior, contendo 20% de gramagem.	33
Figura 16: Válvula de Expansão Termostática.....	35
Figura 17: Display Thermo King	36
Figura 18: ônibus 1001em operação. Carroceria Apache Vip III e Chassis Mercedes-Benz	37
Figura 19: Vista lateral e frontal, partes (dianteira e traseira). Carroceria Caio Apache Vip III.	38
Figura 20: Vista isométrica do modelo de chassis Mercedes-Benz Of-1721.....	39
Figura 21: Um item passível de manutenção.	43
Figura 22: Uma situação não passível de manutenção.....	44
Figura 23: Definição da falha funcional.....	45
Figura 24: Gráfico de Pareto – Defeitos que geraram Incidentes de Manutenção	52
Figura 25: Gráfico de Pareto – Intervalos de Idade dos Defeitos de Ar Condicionado	53
Figura 26: Árvore de Funções – Ar Condicionado	55
Figura 27: Vista Explodida – Subsistema Conjunto Painel de Controle.....	56
Figura 28: Vista Explodida – Subsistema Componentes Elétricos.	58
Figura 29: Vista Explodida – Subsistema, Componentes Estruturais do Condensador.	60
Figura 30: Vista Explodida – Subsistema, Componentes de Refrigeração do Condensador.	62
Figura 31: Vista Explodida – Subsistema, Estrutural do Condensador & Ventiladores.	64
Figura 32: Vista Explodida – Subsistema de Componentes de Refrigeração do Evaporador.....	69
Figura 33: Vista Explodida – Subsistema Estrutural do Evaporador & Sopradores.	72
Figura 34: Vista Explodida – Subsistema Juntas da Unidade, Grade & Filtro	73
Figura 35: Vista Explodida – Subsistema: Componentes de Isolamento.....	74
Figura 36: Vista Explodida – Subsistema: Compressor e seus Componentes	78
Figura 37: Diagrama Genérico de RCM para o Ar Condicionado do Ônibus	91
Figura 38: Diagrama de RCM para os Chicotes Elétricos	92
Figura 39: Diagrama de RCM para os Mangotes Flexíveis	93
Figura 40: Diagrama de RCM para as Polias e Componentes	94
Figura 41: Diagrama de RCM para a Central Elétrica	95

Figura 42: Diagrama de RCM para o Alternador.....	96
Figura 43: Diagrama de RCM para os Sensores de Temperatura e Pressostatos	97
Figura 44: Diagrama de RCM para os Eletroventiladores	98
Figura 45: Diagrama de Pareto – Falhas nos Chicotes Elétricos.....	99
Figura 46: Chicote Elétrico do Compressor do Ar Condicionado	100
Figura 47: Recurso da Oficina – Fixação do Chicote do Compressor.	101
Figura 48: Proposta de Solução – Fixação dos Chicotes Elétricos.	101
Figura 49: Mangote sendo medido e inspecionado, para elaboração do modelo 3D.	102
Figura 50: Foto Mangote Norma SAE J 2064 Tipo B 1 1/8pol.	103
Figura 51: Pontos de Atrito – Geradores de Abrasão.....	104
Figura 52: Modelo computacional Mangote - Calha.....	105
Figura 53: Localização e orientação do mangote em relação ao ônibus	106
Figura 54: Pontos de Fixação e Região em Balanço do Equipamento.....	109
Figura 55: Malha Mista com Base em Curvatura. Elementos, Sólido e Casca.	110
Figura 56: Deslocamento Máximo em Vermelho, provocado pelas Forças Inerciais.....	111
Figura 57: Ponto de Tensão Máxima, critério de Von Mises.....	111
Figura 58: DCL no elastômero.....	113
Figura 59: Vista isométrica: dispositivo anti-movimento.	114
Figura 60: Detalhe para a posição do elastômero.....	114
Figura 61: Esquema de funcionamento do Suporte anti- balanço.	114
Figura 62: Análise de Consumo – Rolamento da Polia do Compressor.	115
Figura 63: Polia do Compressor Do Ar Condicionado.	116
Figura 64: Localização da Central Elétrica do Ar Condicionado.....	117
Figura 65: Relê do Ar Condicionado.	117
Figura 66: Filtro Desumidificador – Solução para Proteção da Central Elétrica	118
Figura 67: Alterações da Fiação de Alimentação do Alternador-Tomada	119
Figura 68: Alterações da Fiação de Alimentação do Alternador-Fiação	119
Figura 69: Força em um condutor imerso em um campo magnético.	120
Figura 70:Princípio de funcionamento de um motor DC.....	121
Figura 71: O sistema de escovas	122
Figura 72: Motor do Evaporador – Modelo SPALL B40	123
Figura 73: Análise de Pareto – Falha nos Eletroventiladores	123
Figura 74: Motor convencional com escovas.....	124
Figura 75: Princípio de Funcionamento – Chave Encoder.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características ar condicionado Thermo King – LTR COMFORT	27
Tabela 2: Características do evaporador Thermo King.....	30
Tabela 3: Dimensões do ônibus.	38
Tabela 4: Critério de Risco Severidade.....	49
Tabela 5: Critério de Risco Ocorrência.....	49
Tabela 6: Critério de Risco Detecção.....	50
Tabela 7: Equipe de Manutenção de Refrigeração.....	53
Tabela 8: Modos de Falha do Sistema de Ar Condicionado.	80
Tabela 9: Análise do Modo e Efeito de Falha.....	81
Tabela 10: FMEA da Primeira Equipe do Turno Diurno.	84
Tabela 11: FMEA da Primeira Equipe do Turno Noturno.	85
Tabela 12: FMEA da Segunda Equipe do Turno Diurno.	86
Tabela 13: FMEA da Segunda Equipe do Turno Noturno.	87
Tabela 14: Resultado Acumulado do FMEA – Somatório dos Índices de cada Colaborador.....	88
Tabela 15: Itens priorizados através do FMEA.....	90
Tabela 16: Características do mangote.....	103
Tabela 17: Valores de Atrito Fonte.....	108
Tabela 18: Propriedades da Borracha.....	110
Tabela 19: Frequências Ressonantes do Sistema.	112

1-Introdução

Atualmente, especialmente em grandes cidades, não é possível imaginar as atividades do dia-a-dia sem o uso do ar condicionado. Seja em escritórios, prédios residenciais, hospitais e até mesmo nos veículos automotores tal equipamento deixou há tempos de ser um equipamento de luxo para tornar-se um padrão.

Quando se pensa em condicionar um ambiente, geralmente levam-se em consideração três fatores básicos, são eles: uma melhoria de um processo industrial, um controle apurado de um processo industrial ou a manutenção do conforto humano. Em um sistema industrial as condições a serem mantidas são estabelecidas pela natureza do processo, do material ou dos equipamentos a se condicionar. Já em um sistema para conforto, as condições são determinadas pelos requisitos do corpo humano.

Para executar funções básicas o sistema de condicionamento de ar deve ter condições de controlar, no local a ser condicionado, as propriedades e parâmetros relacionados ao ar, tais como: temperatura, umidade, nível de ruído e qualidade do ar interior.

Segundo a ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers– (1997), conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve uma pessoa. De acordo com tal definição, o conforto térmico de um indivíduo é subjetivo. Num sistema de condicionamento de ar, deseja-se atender ao maior número de indivíduos possível.

A sensação de conforto depende da facilidade com que o indivíduo estabelece o balanço térmico com o meio, para manter sua temperatura interna corporal em 37 °C. Existem limites para a temperatura externa (da pele) e suor eliminado (máximo de 1litro por hora).

O tipo de atividade e de vestuário são fatores de conforto térmico individual, segundo a ASHRAE. Já a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a velocidade do ar e a umidade relativa são fatores ambientais.

Há quatro formas de transferência de calor relacionadas ao corpo humano:- condução, usualmente desprezada; e evaporação pela exalação de vapor d'água, por perspiração insensível e pelo suor; condução e convecção. Na Figura 1 estão representadas as quatro formas.

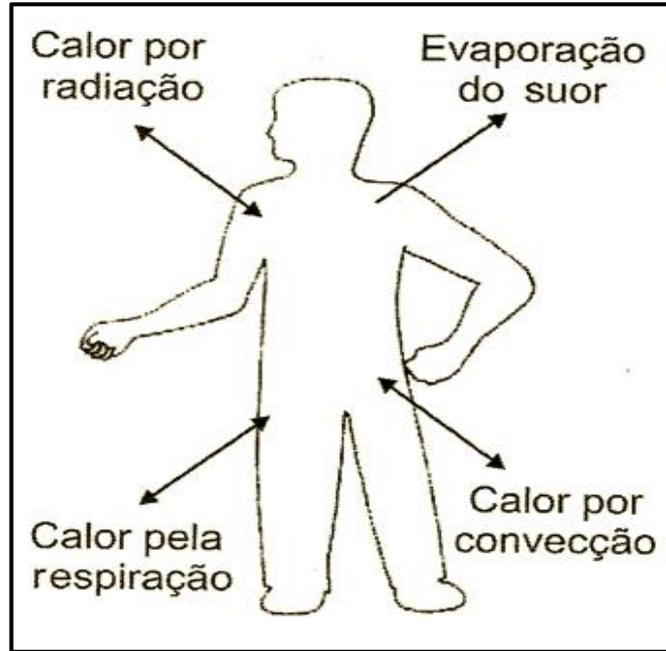


Figura 1: Trocas térmicas entre o homem e o meio.

(Fonte: Resende, 2010)

A avaliação dos ambientes é feita através de índices térmicos. Um dos primeiros foi a temperatura efetiva (TE). Foram estabelecidos índices diretos, cujo principal foi adotado pela legislação brasileira sobre higiene e segurança do trabalho (NR 15 – Atividades e Operações Insalubres), nomeado *índice de bulbo úmido – temperatura de globo, IBUTG*, já na literatura internacional é chamado **WBGT** (wet bulb globe temperature)

Indicando uma tendência mundial, nota-se que os usuários de veículos automotivos estão cada vez mais preocupados com aspectos referentes ao conforto interno, adotando esse critério em par de igualdades com o desempenho veicular, na avaliação de sua satisfação ou para aquisição deste tipo de produto. Para atender estas exigências, a indústria automobilística, em geral, tem desenvolvido sistemas de climatização que propiciem níveis de conforto adequados em diversos segmentos de veículos. No caso dos veículos pesados, a tendência é a mesma, e o conforto térmico torna-se uma necessidade devido à competição em mercado extremamente disputado. Nos veículos, em geral, três fatores são relevantes para determinar soluções eficientes para a climatização: a limitação do espaço disponível para instalação, funcionamento dos equipamentos e a necessidade de redução do consumo energético sem afetar drasticamente a eficiência quilométrica (quilômetros percorridos por volume de combustível consumido) do veículo em questão.

Devido à evolução o mercado, veículos mais aerodinâmicos e de visual modernos, mais silenciosos e confortáveis têm sido projetados e produzidos. Estes veículos devem fornecer o máximo de espaço interno aos seus usuários sem aumentar suas principais dimensões externas. Assim, o compartimento do motor torna-se cada vez menor. Como consequência seus componentes tornam-se mais compactos. Ao mesmo tempo, os baixos índices de consumo do veículo, exigidos pela situação econômica atual, têm causado restrições ao uso de opcionais de alto consumo energético, exigindo dos fabricantes projetos mais criteriosos, utilizando-se controles eletrônicos e componentes melhor dimensionados.

As exigências cada vez maiores da sociedade para que uma empresa de transporte coletivo atue de forma responsável, prezando pela segurança e conforto, além de buscarem reduzir impactos negativos ao meio ambiente, representam um grande desafio. Manter os ativos de forma que os mesmos trabalhem na sua melhor condição, produzindo eficientemente sem que a falha gere acidentes é uma preocupação cada vez maior com as áreas de manutenção [Moreira, 2005].

Dotar os veículos urbanos da Auto Viação 1001 com ar condicionado se iniciou como um diferencial em seu serviço, tornando-se hoje um equipamento essencial para a satisfação de seus clientes. A empresa conta com aproximadamente 250 veículos para atender suas linhas, de forma que o ônibus possui um plano de manutenção que é executado periodicamente. Os planos existentes, até o momento, foram totalmente desenvolvidos e aperfeiçoados de forma empírica pela equipe de manutenção. Desta forma as decisões, com base na experiência e em critérios técnicos, cuja fundamentação nem sempre foi registrada adequadamente, tornam limitadas as possibilidades de rastreabilidade e aperfeiçoamento dos processos. Neste contexto, o sistema de ar condicionado vem se tornando o “calcanhar de Aquiles” desta frota. Como os ônibus com sistema de ar condicionado possuem janelas coladas, a pane desse sistema afeta, negativamente, bem-estar dos usuários e trabalhadores da empresa e acarreta suspensão temporária do uso do veículo, até que a pane seja reparada. Atualmente, há um número de eventos de manutenção corretiva que parece excessivo à empresa, demandando mudanças na gestão da manutenção da frota.

1.1-Objetivos

No que se refere a estratégias e concepções de manutenção, até a década de 1960, segundo Augusto Tavares (A Evolução da Manutenção – 2006), em geral, o objetivo principal da manutenção era a preservação do equipamento, através de ações corretivas, posteriores às

panes e de condutas de prevenção rotineiras, tentando-se evitar que outros eventos afetassem o seu desempenho. Para isto, procedia-se a sua desativação temporária e se realizavam procedimentos corretivos ou preventivos de rotina. Havia o entendimento de que todos os itens obedeciam a um mesmo mecanismo de falha, representado pela curva da banheira. Esta perspectiva implicava em ações baseadas na manutenção preventiva ou corretiva e desta forma admitia-se que todo item apresentava inicialmente uma taxa de falha decrescente, estabilizando-se posteriormente e crescendo apenas após o final da vida útil e era justamente neste momento a atuação firme da manutenção. Entretanto, estudos recentes apontaram que existe cada vez menos relação entre a idade operacional da maioria dos itens com a probabilidade dos mesmos falharem [Siqueira, 2009].

Com a evolução tecnológica, o objetivo principal da manutenção passou a ser a preservação das funcionalidades desejadas do equipamento. Alta confiabilidade que é a capacidade de um sistema de realizar e manter seu funcionamento em circunstâncias de rotina, bem como circunstâncias hostis e inesperadas e disponibilidade que nada mais é que manter a máquina disponível para operação, sem paradas e sem comprometer o andamento do serviço, aliadas a custos racionalizados, tornaram-se questões chaves.

Como manter um equipamento com alta disponibilidade e confiabilidade, com baixos custos e ainda levar em conta a preocupação com outros fatores, como segurança e meio ambiente? Eis o ponto de partida para o presente trabalho.

A evolução mencionada resultou na propagação de uma metodologia, que revolucionou a aviação civil mundial e posteriormente os mais diversos segmentos da engenharia de manutenção, a Manutenção Centrada em Confiabilidade – MCC ou RCM do inglês. Através dela e da ferramenta FMEA (Failure Mode and Effect Analysis ou, para o português, Análise de Modos de Falhas e Defeitos) foi desenvolvido um plano de manutenção e a melhoria de alguns componentes do sistema de ar condicionado de uma frota de ônibus urbanos.

2-Conceitos

Neste capítulo serão introduzidos os conceitos necessários para o desenvolvimento do projeto. Será abordado o histórico da empresa, para ser inserido o contexto da importância da funcionalidade do equipamento de Ar Condicionado nos ônibus da Auto Viação 1001.

A história do Ar Condicionado e seus princípios de funcionamento também serão introduzidos com o desejo do conhecimento e familiarização do equipamento para posteriores especificações técnicas tanto do modelo do Ar Condicionado adotadas como do ônibus que estamos analisando.

2.1-Histórico Institucional

A Auto Viação 1001 foi criada em 1948 e comprada por Jelson da Costa Antunes em 1968 que procedeu a fusão de suas seis microempresas: Auto Viação São José (ligava São Gonçalo a Niterói), Expresso Niterói x Rio Bonito, a Expresso Itaboraí (linhas que ligavam Itaboraí a São Gonçalo além de linhas internas em Itaboraí), Vispan (Viação São Paulo-Niterói) e a Citran (ligava Rio de Janeiro a Minas Gerais) e a antiga Viação 1001 que na época era considerada a terceira maior empresa de transporte rodoviário do estado Rio de Janeiro, suas primeiras linhas ligavam Niterói as cidades do centro norte, tais como Nova Friburgo, Miracema, Campos e Macaé.

A empresa hoje detém 67% das linhas intermunicipais do estado do Rio de Janeiro, sendo que em Niterói e Nova Friburgo alcança, praticamente, 95%. Tal fato se deve às linhas que foram incorporadas no decorrer dos anos tais como as linhas do noroeste fluminense que pertenciam a Empresa Brasil S/A, que operava Rio de Janeiro x Itaperuna via Campos dos Goytacazes e também a linha Araruama x Itaperuna. Na década de 1980 se desfaz do setor urbano que fazia as linhas Cabo Frio x Bacaxá, Sampaio Correia x Cabo Frio, Araruama x Iguaba, Saquarema x Cabo Frio repassando tais linhas para a Viação Salineira e as linhas que se originaram das empresas Auto Viação São José, Expresso Niterói x Rio Bonito, o Expresso Itaboraí e Cachoeiras de Macacu para a Viação Rio Ita Limitada que operava nas cidades de Miracema e Itaperuna realizando uma troca entre as linhas que ambas operavam.

Ao longo da década de 1990 a empresa, assim como as demais do grupo, sofre um processo de reestruturação, modernizando suas frotas e processos. Passa então a adotar ônibus “Double Deck”, que possuem dois andares e quatro eixos além de inovar com o serviço

“Double Service” (dois serviços em um mesmo ônibus, serviço leito e executivo), criaram-se as chamadas “Salas VIPS” em seus principais terminais atuantes, sendo a primeira empresa de ônibus a implantar o sistema de Milhas de Vantagem advindas do sistema aéreo de transportes.

A empresa hoje conta com aproximadamente 1200 veículos empregando mais de 4000 funcionários por toda extensão do Estado do Rio de Janeiro, responsável pela movimentação de aproximadamente 24 milhões de pessoas por ano percorrendo cerca de 100 milhões de quilômetros, detendo a concessão de 133 linhas, sendo 102 intermunicipais e 31 interestaduais.

2.2-Histórico do Equipamento

Desde a pré-história, o homem tem a necessidade, ou a vontade de obter formas de resfriamento que façam com que alimentos ou outras substâncias alcancem temperaturas inferiores à do ambiente.

Registros anteriores a 2.000 a.C. indicam que os efeitos exercidos por baixas temperaturas sobre a preservação de alimentos já eram conhecidos. Alexandre o grande, serviu bebidas resfriadas com neves aos seus soldados por volta de 300 a.C.

Já a civilização egípcia, que devida a sua situação geográfica e ao clima de seu país, não dispunham de gelo natural, refrescavam água por evaporação, usando vasos de barro semelhantes às moringas, tão comuns no interior do Brasil. O barro, sendo poroso, deixa passar um pouco de água contida no seu interior, a evaporação desta para o ambiente faz baixar a temperatura do sistema. Entretanto, durante um largo período de tempo, na realidade muitos séculos, a única utilidade que o homem encontrou foi de refrigerar alimentos e bebidas para melhorar seu paladar.

Métodos mais antigos de produção de frio faziam uso de gelo natural ou de misturas de sal e neve. Posteriormente descobriu-se que se dissolvendo nitrato de sódio em água abaixava-se a temperatura da mistura – pelo menos no século XIV este fato já era conhecido.

O gelo natural era enviado dos locais de clima frio ou era recolhido durante o inverno e armazenado em salas frias, bem isoladas termicamente. A menção histórica mais antiga a esse respeito data de aproximadamente 1.000 a.C. num antigo livro de poemas chinês, chamado ShiChing. Essas casas de armazenamento eram feitas de diversos materiais isolantes, como a palha e o esterco.

No século XVIII a.C. o gelo estava disponível apenas para os ricos e poderosos. Em 1806 um homem chamado Frederick Tudor deu início a um negócio no qual blocos de gelo eram retirados do rio Hudson (em Nova York) e mananciais próximos, vendidos a grande parte da população, por um preço bem acessível.

Tudor, eventualmente, despachava gelo para locais ao redor do mundo e sua primeira empreitada foi um carregamento de 130 toneladas, para o porto de St. Pierre, na ilha da Martinique, na região do Caribe. O gelo era desconhecido por lá e não havia instalações para armazená-lo. A empreitada poderia ter sido um desastre caso Tudor não tivesse se associado a um proprietário local do setor de alimentos com o qual produziu e comercializou sorvetes.

Um intenso movimento de cargas foi mantido para os estados do sul dos EUA até ser suspenso pela guerra civil americana. Diversos empresários entraram no negócio do comércio de gelo e começaram a trazê-lo de outras localidades. Dados históricos revelam que 156 mil toneladas de gelo foram embarcadas em Boston, em 1854. As casas de gelo, ao longo dos EUA, costumeiramente faziam uso de serragem como isolante térmico e muitas tinham paredes de até 1 metro de espessura.

O comércio de gelo natural continuou mesmo depois do desenvolvimento do gelo artificial, estimulado pelo argumento que tinha qualidades superiores ao feito pela mão do homem, pois era crença geral que o gelo artificial era prejudicial à saúde humana. O negócio finalmente terminou por volta de 1930 (HEROLD, 2011).

O principal método usado para produzir refrigeração baseia-se no processo de evaporação de um líquido chamado refrigerante.

No ano de 1755 já se conhecia o efeito de resfriamento causado pelo éter ao se evaporar sobre a pele. Naquele tempo, o professor de química, William Cullen, demonstrou a formação de gelo na água em contato com um recipiente contendo éter; ao reduzir a pressão sobre o éter promoveu sua ebulição a uma temperatura baixa o suficiente para proporcionar a formação do gelo.

Metade do ciclo de refrigeração estava resolvida, entretanto, ainda restava achar uma forma de recircular o éter evaporado, evitando desperdiçá-lo para o ambiente. Isso tornaria o sistema inviável economicamente, pois o éter evaporado deveria ser repostado.

A idéia de unir as técnicas de evaporação e condensação e criar um sistema cíclico parece ter sido sugerida pela primeira vez por Oliver Evans, da Filadélfia, mas a primeira máquina cíclica de refrigeração foi feita por Jacob Perkins. A sua descrição pode ser encontrada nas especificações de uma patente de 1834 e vista na Figura 2. (DI RIENZO, 2006)

Haviam patentes anteriores dadas a máquinas de refrigeração, a primeira datada de 1790, mas Perkins parece ter sido o primeiro a tê-la construído e colocado em uso.

O sistema poderia ser usado com qualquer fluido volátil, especialmente éter e consiste de quatro componentes principais: evaporador, compressor, condensador e válvula de expansão, do ciclo de refrigeração mecânica. (DI RIENZO, 2006)

O compressor bombeia o vapor para o condensador, que é basicamente um trocador de calor. O vapor é aquecido pela compressão e resfriado ao longo do condensador por um fluido externo como água ou ar, fazendo com que ele condense, tornando-se líquido. Este líquido escoo através da válvula de expansão, que é basicamente um trecho da tubulação que de alguma forma oferece uma restrição à passagem do escoamento, criando com isso um diferencial de pressão através dele. Esta súbita queda de pressão faz com que parte do escoamento entre em ebulição gerando uma mistura de líquido mais vapor.

A energia necessária para promover esta ebulição é retirada da parte ainda líquida do escoamento reduzindo a temperatura da mistura que se encaminha para o evaporador. O evaporador, que é um trocador de calor, retira calor do meio que se deseja resfriar e usa esta energia para promover a evaporação do restante do escoamento que ainda se encontra no estado líquido. Ao final do evaporador, todo o escoamento já se tornou vapor e é conduzido para o compressor, e o ciclo se inicia novamente.

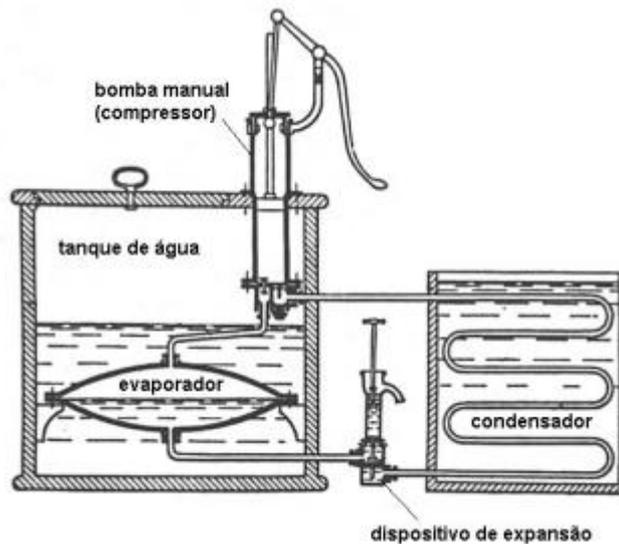


Figura 2: Máquina de Refrigeração criada por Perkins.

(STOECKER, 1985)

Apesar de ter gerado grande repercussão, não há nenhum registro da invenção de Perkins na literatura da época, e apenas casualmente Bramwell (STOECKER, 1985) fez-lhe uma referência 50 anos depois.

O maior responsável por colocar máquinas de refrigeração em uso foi o escocês James Harrison. Iniciou-se no assunto a partir de um breve treinamento técnico nas aulas de química durante seu curso de tipografia na universidade. Ao perceber o efeito de resfriamento do éter, inventou, em torno de 1850, uma máquina acionada manualmente para produção de gelo. Nos anos de 1856 e 1857 solicitou patentes na Grã-Bretanha, e deu continuidade ao desenvolvimento construindo máquinas ainda mais evoluídas na Inglaterra. Tais equipamentos foram enviados para diversos lugares visando aplicações como produção de gelo e a cristalização de parafina. A Figura 3 mostra a máquina proposta por James Harrison.

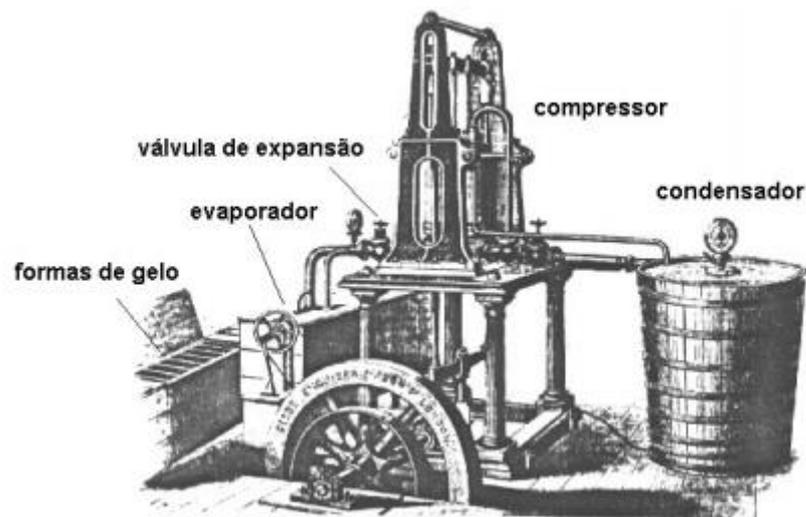


Figura 3: Modelo de máquina de gelo desenvolvida por James Harrison
(STOECKER, 1985)

As máquinas foram fabricadas regularmente até o advento dos sistemas com Amônia e Dióxido de Carbono, chegando a se tornar populares na Índia.

O éter quando submetido à pressão de uma atmosfera evapora a temperatura de $34,5^{\circ}\text{C}$. Quando o objetivo é produzir gelo esta pressão deve ser bem mais baixa para que a evaporação ocorra em temperaturas inferiores a 0°C . A ocorrência de um vazamento permitiria

então a passagem de ar para dentro do equipamento, constituindo um ambiente de enorme potencial explosivo.

Já o Dimetil Éter, com ponto de ebulição de $-23,6^{\circ}\text{C}$ introduzido por Caries Tellier em 1864 e o Dióxido de Enxofre, com ponto de ebulição de -10°C introduzido em 1874, não incorriam neste problema.

Estes dois refrigerantes possibilitavam a produção de gelo mantendo o sistema a uma pressão acima da atmosférica. O Dimetil Éter nunca chegou a ser usado de forma generalizada, entretanto, o Dióxido de Enxofre foi usado extensivamente por aproximadamente 60 anos.

Cari Von Linde foi o primeiro a introduzir Amônia como refrigerante em torno de 1870. Por ter um ponto de ebulição de $-33,3^{\circ}\text{C}$ proporcionava temperaturas bem mais baixas do que as disponíveis anteriormente, apesar de apresentar pressões em torno de dez atmosferas ou mais no condensador, requerendo assim construções mais robustas.

Apesar do primeiro sistema de refrigeração por compressão ter sido desenvolvido em 1834 por Jakob Perkins, apenas uma década após o início da comercialização da máquina de refrigeração por absorção de Carré, esse sistema somente passou a dominar o mercado na década de 1930. Essa demora se deveu aos seguintes fatores: alto custo da energia mecânica e elétrica; elevado nível de ruído e motores grandes, pesados e caros. Lembrando que até o início do século os motores elétricos eram isolados por meio de tecido;

O domínio dos sistemas de refrigeração por compressão ocorreu devido a quatro fatores:

- Invenção dos CFCs (Cloro-Flúor-Carbono). Os CFCs, usados como fluido refrigerante em máquinas por compressão não podiam ser usados em máquinas por absorção por não terem afinidade química com outras substâncias, apresentavam a vantagem de serem atóxicos não inflamáveis e menos corrosivos que os refrigerantes até então empregados, como amônia, butano, e outros. Naquela época desconhecia-se a ação destruidora dos CFCs sobre a camada de ozônio troposférico que protege a Terra da radiação ultravioleta vinda do Sol. Hoje devido a esse efeito os CFCs estão sendo banidos;

- Barateamento da eletricidade;

- Introdução do verniz isolante que barateou e reduziu as dimensões dos motores elétricos;

- Logo após a 2ª Guerra Mundial a Tecumseh desenvolveu o compressor hermético para refrigerante R12, o que popularizou definitivamente a refrigeração por compressão.

Na década de 1970, em razão da crise energética, foram comercializados, por empresas como Carrier, York e Trane, vários modelos de equipamentos de condicionamento ambiental por absorção para uso em sistemas de cogeração, principalmente usando o par água – Brometo de lítio. Nos veículos automotores, as aplicações se deram na primeira metade do século XX, com o ar condicionado automotivo Debut. Uma empresa de Nova York foi à primeira fonte de condicionadores de ar em veículos em 1933. As unidades foram altamente personalizadas e equipadas individualmente em veículos como limusines entre outros veículos de luxo.

O Fréon, composto químico inventado por Charles Kattering e Thomas Midgley, era composto de clorofluorcarbonos – uma mistura de carbono, flúor e halogêneos de hidrogênio e cloro. Embora a invenção e a aplicação do Fréon fossem usadas inicialmente em aparelhos de ar condicionado de construção civil, se tornou padrão em aplicações para sistemas automotivos onde eram usadas bobinas, condensadores e compressores para circulação de tal refrigerante. (CAMARGO JR, 2008)

A Packard Motor Car Company ofereceu o primeiro ar condicionado viável com combinação de calefação para veículos em 1939. O aparelho custava US\$ 274, considerado um optativo bastante custoso para a época. O compressor, com peso bruto de 1,5 ton., era guiado por uma correia interligada ao motor. A unidade não possuía termostato para ligá-lo ou desligá-lo e o ar frio era gerado na parte traseira do veículo e descarregado na parte frontal do mesmo. (CAMARGO JR, 2008)

A Cadillac seguiu o exemplo em 1941, fabricando seu próprio sistema de ar condicionado, semelhante ao desenho da Packard. Foram vendidas cerca de 400 unidades com o opcional que ainda se tornava custoso. O equipamento era localizado atrás do banco do passageiro traseiro, onde era necessária a retirada do banco para realização de suas manutenções.

Frederick Mc Kinley Jones era um mecânico e inventor que registrou aproximadamente 40 patentes de ar condicionado automotivo. Em julho de 1940, foi emitida uma patente para um dispositivo de refrigeração que foi montado para o teto de um caminhão. Tempos depois, foram produzidos os primeiros caminhões frigoríficos que transportavam alimentos congelados, que era uma invenção de Clarence Birdseye. (CAMARGO JR, 2008)

A Nash-Kelvinator Corporation foi a primeira fabricante de um sistema de ventilação, calefação e condicionamento de ar integrado. A unidade foi produzida em massa em 1954 em um veículo produzido pela empresa. Tal modelo ostentava um estilo compacto, com preço acessível de US\$ 345, com controladores ajustáveis, embreagem elétrica e localizado

inteiramente no compartimento do motor. As unidades produzidas em massa foram chamadas “All-WeatherEye”. (CAMARGO JR, 2008)

Em 1954 a General Motors iniciou a fabricação de um sistema de condicionamento de ar montado na frente do veículo. Este surgiu como um opcional nos veículos Pontiac, que possuíam motores de oito cilindros em linha reta. Controladores separados foram adicionados para a distribuição de ar e os níveis de arrefecimento, com um design e conceito ligeiramente diferente dos veículos Nash. (CAMARGO JR, 2008)

O conceito de ar condicionado para veículos de passeio e caminhões tornou-se popular em 1960, equipando cerca de 20% dos veículos dos Estados Unidos. A American Motors introduziu ar condicionado em todos os modelos do seu veículo de luxo AMC Ambassador a partir de 1968. Na virada de 1969 54% dos veículos nacionais já possuíam sistema de refrigeração de ar onde termostatos de controle de clima automático foram aplicados durante este tempo. (CAMARGO JR, 2008)

O refrigerante R-134a foi introduzido em 1992 para o até então utilizado Fréon R-12. O principal motivo da troca do Fréon R-12, inventado por Ketterin e Midgley, foi à quantia elevada de clorofluorcarbonos em sua composição, composto que destrói o ozônio na atmosfera. O R-134a seguindo os critérios estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (EPA-Environmental Protection Agency), não possuía compostos químicos dispostos a agredir o ozônio. A partir de 1995, os novos sistemas de ar condicionado passavam a ser obrigatoriamente equipados com os equipamentos que atendessem à norma de utilização do novo gás refrigerante R-134a.

Em 2011, segundo estudos mundiais, 99% dos veículos fabricados foram equipados com sistema de ar condicionado, com a programação de controle de clima, saídas direcionais e um aumento do desempenho, permitindo uma melhor economia de combustível.

2.3-Ciclo de Refrigeração

Conforme o ar condicionado foi referenciado anteriormente, seu ciclo de refrigeração é de grande relevância para a RCC, pois a mesma tem como objetivo o foco no sistema como um todo e não apenas o equipamento. O entendimento do sistema de refrigeração será uma excelente ferramenta na busca por falhas no processo de resfriamento. A Figura 4 mostra um sistema com os componentes básicos para a refrigeração.

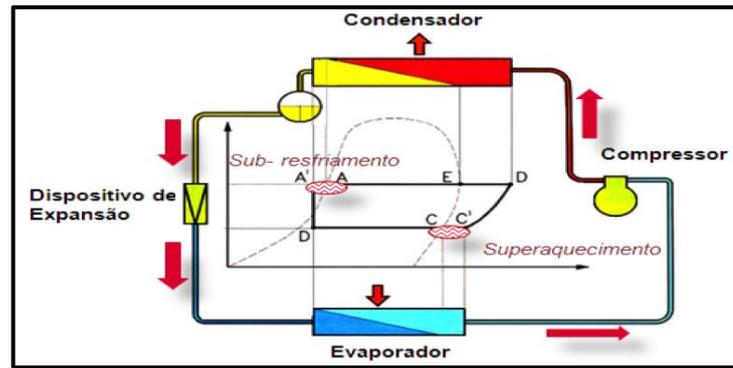


Figura 4: Esquema que mostra os componentes responsáveis pelo ciclo de refrigeração.

(ambientegeado.com.br)

Na Figura 5, o processo 1–2 (ocorre no compressor, que pode ser alternativo, centrífugo de parafuso e etc.). É um processo adiabático reversível, o refrigerante entra no compressor com a mesma pressão que sai do evaporador. O refrigerante é comprimido até atingir a pressão de condensação e, neste estado, ele está superaquecido com temperatura T_2 que é maior que a temperatura de condensação.

O refrigerante sai do compressor e então entra no processo 2–3 que ocorre no condensador, (a condensação que pode ser água ou ao ar, convecção forçada ou natural) é um processo de rejeição de calor do refrigerante para o meio de resfriamento desde a temperatura T_2 de saída do compressor até a temperatura de condensação (T_C) e em seguida rejeição de calor na Temperatura T_C até que todo o vapor tenha se tornado líquido saturado na pressão de condensação (P_C). Na sequência, a entrada na válvula de expansão onde ocorre o processo 3–4 é uma expansão irreversível desde a P_C e líquido saturado. Finalmente o processo 4–1 que ocorre no evaporador, transferência de calor a pressão constante, consequentemente à temperatura constante, desde vapor úmido no estado 4 até vapor saturado seco no estado. Observa-se que o calor transferido no evaporador não modifica a temperatura do refrigerante, mas somente muda o seu estado.

A Figura 5 define os pontos de pressão e entalpia do Ciclo de Refrigeração, no processo 1–2 citado anteriormente, a compressão ocorre à entropia constante $S_1=S_2$. O título nesse processo é igual a 1. No estágio 2 até 3 observa-se que a pressão mantém-se constante ao longo da condensação e também no processo de evaporação 4–1. A expansão ocorre com entalpia constante.

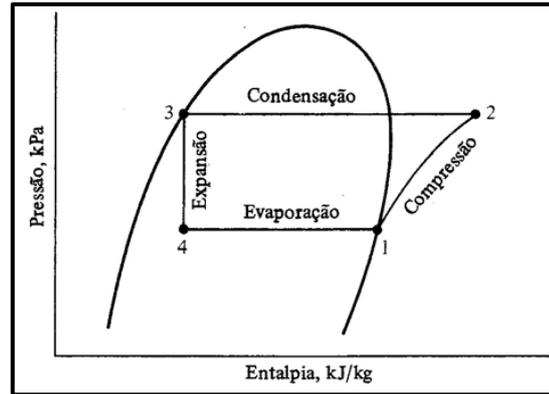


Figura 5: Gráfico, Pressão X Entalpia.

O funcionamento deste ciclo se dá no ônibus quando o compressor descarrega o gás de alta pressão e temperatura no condensador, através das instalações e mangueiras existentes no ônibus. No condensador, o gás refrigerante se condensa e se transforma para o estado líquido através da liberação de calor com o uso dos ventiladores, que captam o ar à temperatura ambiente. Este líquido flui para um reservatório no qual é armazenado. Na válvula de expansão, este líquido sofre uma modificação e abaixa sua temperatura e pressão, se transformando em uma mistura típica líquido-gás. Tal mistura flui para o evaporador e se transforma em gás novamente para retornar ao compressor, fechando assim o ciclo de refrigeração exposto na Figura 6.

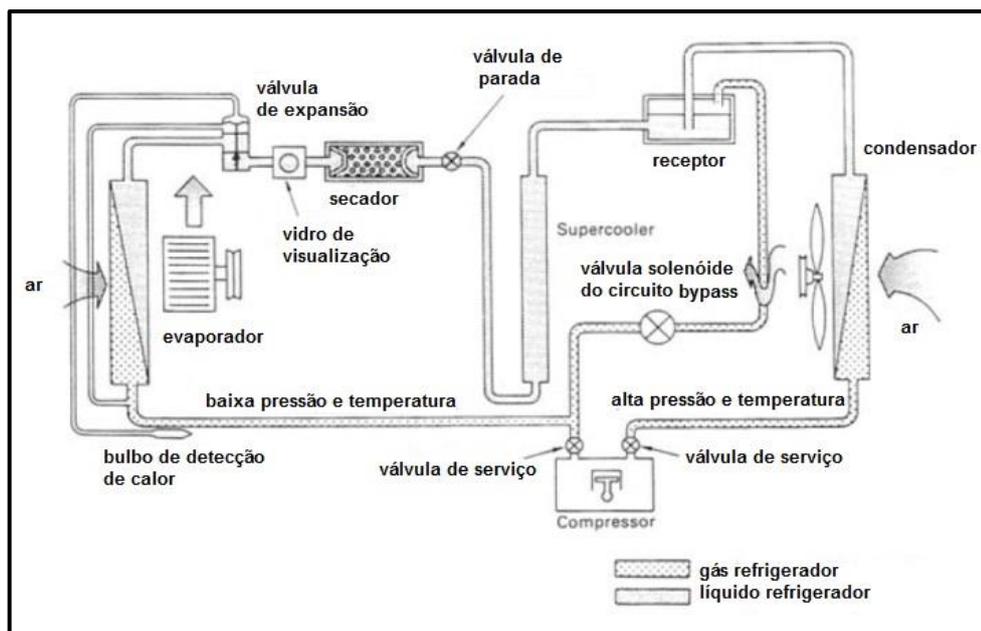


Figura 6: Sistema de refrigeração completo do ônibus.

2.4-Especificação Técnica do Ar Condicionado

O condicionamento de ar ou ar condicionado como é conhecido popularmente, é o processo de tratamento do ar interior em espaços fechados. Esse tratamento consiste em regular a qualidade do ar interior, no que diz respeito às suas condições de temperatura, umidade, limpeza e movimento. Para tal, um sistema de condicionamento de ar inclui as funções de aquecimento, arrefecimento, umidificação, renovação, filtragem e ventilação do ar.

O sistema de ar condicionado em um ônibus contribui muito para a qualidade da viagem, de modo a proporcionar um ambiente interior cujas condições se mantenham relativamente constantes, dentro dos padrões que ofereçam mais conforto às pessoas, apesar das variações das condições meteorológicas exteriores e das cargas térmicas interiores.

O ar condicionado adotado pela empresa 1001 é o modelo LTR – COMFORT para atender linhas urbanas e intermunicipais, fabricado pela empresa THERMO KING. Este sistema de baixo perfil é projetado para se adaptar ao design do ônibus e aumentar a visibilidade do veículo. A configuração de design permite que a unidade seja instalada em qualquer tipo de teto, permitindo a máxima flexibilidade na distribuição de peso.

Para o modelo fabricado em 2010 e cujas instalações elétricas estão em conformidade com a NR-10, os dados técnicos foram organizados na Tabela 1 e as dimensões estão indicadas na Figura 7.

Tabela 1: Características ar condicionado Thermo King – LTR COMFORT

Capacidade de Refrigeração
125.000BTU/h
36.6KW
31.50Kcal/h

Norma Ashrae, (Temperatura ext. 35°C e temperatura int. 27°C bulbo seco e 19°C bulbo úmido).

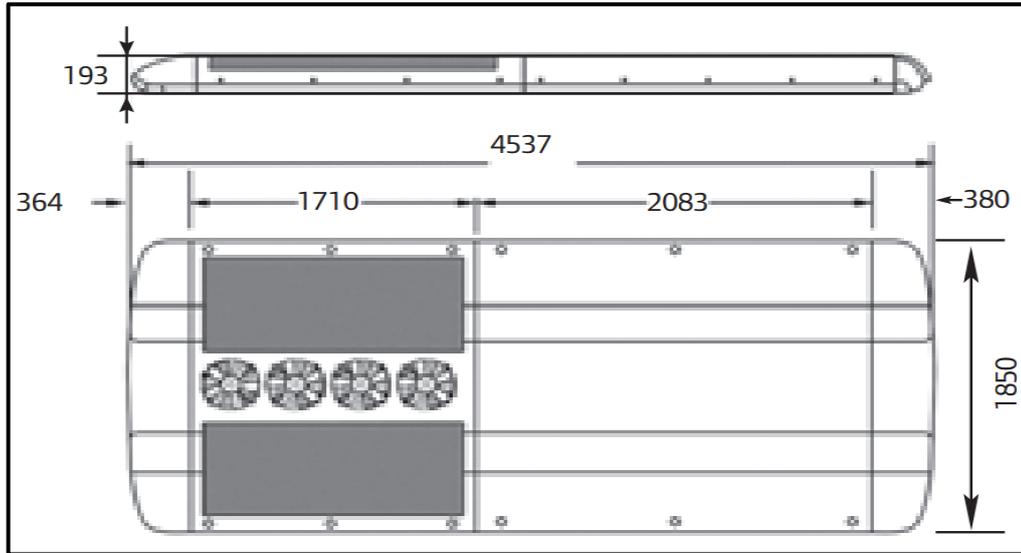


Figura 7: Vista superior com dimensões em milímetros, do ar condicionado Thermo King LTR – COMFORT, (TK PM 025-1-PCç-(REV 1 09_10).

Na Figura 8 consta um layout simples, o que não traz grandes preocupações com relação à instalação do produto. O perfil baixo do modelo diminui as chances de algum tipo de colisão durante o percurso do perímetro urbano, por exemplo: fios, placas e árvores, que geralmente ficam a uma distância curta em relação ao teto do veículo.



Figura 8: Vista isométrica do ar condicionado Thermo King LTR – COMFORT, (TK PM 025-1-PCç-(REV 1 09_10).

2.4.1-Condensador

O condensador é um trocador de calor, e como o nome diz, tem a função de dissipar para o ambiente externo ao sistema de refrigeração o calor absorvido no evaporador e gerado pelo processo de compressão.

A Manutenção inadequada do condensador pode gerar consequências negativas para o sistema de refrigeração e compressor. A retirada da poeira ou sujeira acumulada durante o uso é de suma importância para o desempenho do sistema. O condensador sujo representa aumento de consumo de energia e perda de capacidade de troca de calor, reduzindo assim a capacidade de refrigeração. Na Figura 9 apresenta-se uma foto do condensador do equipamento estudado, com massa de 109 kg.



Figura 9: Foto do condensador com a tampa de proteção aberta.

2.4.2-Evaporador

Da mesma forma que o condensador, o evaporador é um trocador de calor. Sua função é transferir o calor do ambiente a ser refrigerado para o fluido refrigerante que está circulando. Assim, o fluido refrigerante, que está no estado líquido, se transforma em vapor. Enquanto isso, por ter absorvido o calor, o evaporador manterá uma temperatura adequada no gabinete do refrigerador.

Deve ser destacado que todo o sistema de refrigeração é prejudicado se o evaporador não funciona corretamente. Isso ocorre, por exemplo, quando absorve uma quantidade insuficiente de calor. Evitar o acúmulo de gelo e de sujeira no evaporador é essencial para o bom funcionamento do sistema, mostrado na Figura 10. Quando se forma uma camada de gelo nesse componente, ele pode agir como um isolante térmico, impedindo a troca de calor entre o

ar e a superfície do evaporador. Na Tabela 2 constam os dados do comportamento do ar no evaporador do sistema. A massa do equipamento é de 138 kg.

Tabela 2: Características do evaporador Thermo King
(Catálogo THERMOKING LRT COMFORT)

Valores de ar do Evaporador	
Vazão de ar	5.440 m ³ /h – (3.200 CFM)
Média velocidade	2.300 m ³ /h – (1370 CFM)

mm/pol. de CA de pressão estática externa



Figura 10: Foto do Evaporador (está indicado pela seta vermelha e os motores estão indicados pela seta azul).

2.4.3-Compressor Thermo King X430

O compressor é o “coração” de um sistema de refrigeração. Sua função é bombear o fluido refrigerante (R134a) que circula por todo o sistema ora no estado líquido, ora no estado gasoso. No processo de resfriamento de um ar condicionado, o compressor recebe o fluido na forma de gás do evaporador, e promove o bombeamento desse gás até o condensador, aparelho que torna a liquidificar o fluido e dissipar o calor do sistema.

O compressor empregado tem carcaça de alumínio com massa de 52 kg, consumo de 110 A, camisas dos cilindros substituíveis fabricadas em aço e virabrequim apoiado em rolamentos. As instalações estão de acordo com a NR-09 (NBR 14787). Na Figura 11, estão ilustrações do equipamento.



Figura 11: Vista Isométrica e vista isométrica com corte do Compressor Thermo King X430.
(INGERSOLL RAND Rev. 10-2010).

Todas as peças do compressor X430 são comerciais e sua base pode ser remanufaturada, o que aumenta a eficácia do plano de manutenção do sistema. Com itens comerciais, pode-se criar um estoque de peças a fim de reduzir tempo de Manutenção Preventiva, Corretiva e evitar atraso logístico, consequentemente uma redução no tempo de máquina inoperante. A Figura 12 mostra detalhadamente todos os componentes do compressor.

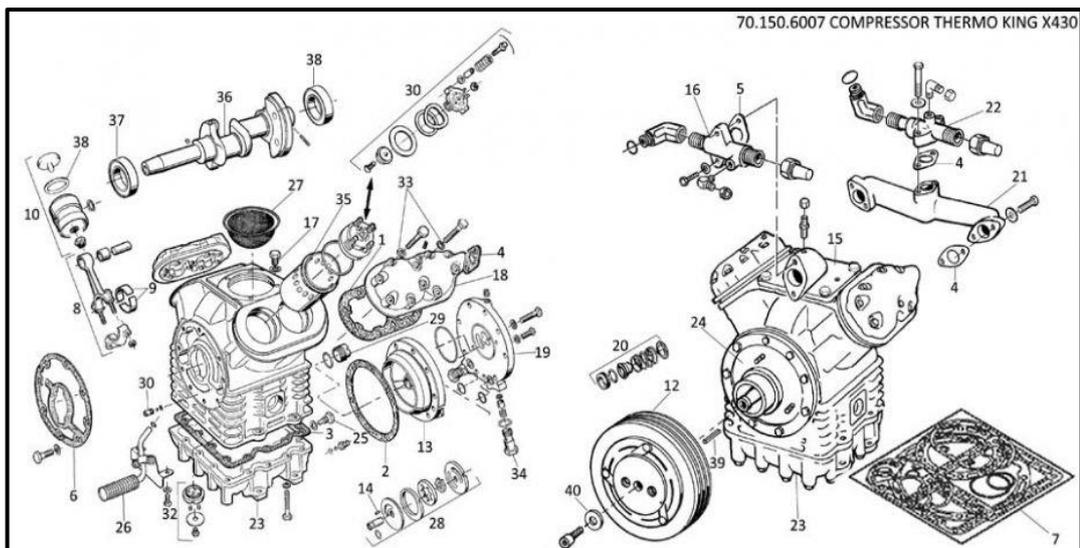


Figura 12: Vista explodida do Compressor Thermo King X430

(Fonte: TKJ compressores).

2.4.4- Gás Refrigerante (R-134A)

A Figura 13 mostra a uma representação da estrutura molecular $C_2H_2F_4$, do gás R134a.

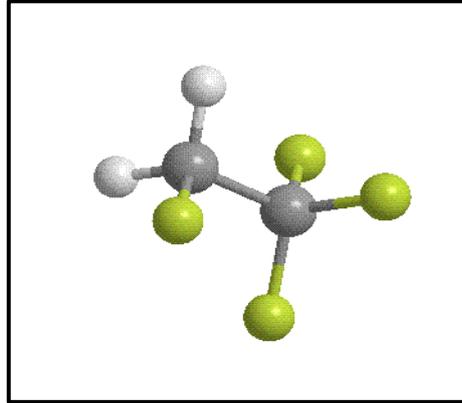


Figura 13: Estrutura molecular R134a.

(Wikipédia)

Legenda: Amarelo (Flúor); Cinza (Carbono); Branco (Hidrogênio).

O gás de massa molar 102,03 g/mol e densidade 4,25 kg/m³ a 15°C (gás), surgiu da busca incessante de produzir gases refrigerantes que não afetassem diretamente o meio ambiente e a camada de ozônio, portanto é um gás refrigerante que ajuda na sustentabilidade do nosso planeta. O gás possui pontos de fusão e ebulição respectivamente de -103,3°C (169,85 K) e -26,3°C (246,85 K). O R134A possuindo em sua composição um baixo nível de atributos que agridem o meio ambiente e exclui a empresa 1001 de qualquer não conformidade com relação à utilização de gases inadequados. O tipo de cilindro adotado pela empresa é mostrado na Figura 14.



Figura 14: Foto do cilindro comercial de gás R134A

- **Características:**

Possui composição diferente ao refrigerante R12, mas praticamente faz a mesma função. O R134A escapa mais facilmente através de pequenos vazamentos, não sendo tóxico e muito menos inflamável o que garante maior segurança na instalação do mesmo.

O gás refrigerante R134A funciona com óleos sintéticos, mas a união entre ambos absorve um maior volume de água do que o gás refrigerante R12, sendo necessária a utilização de um filtro secador vinculado a sua estrutura molecular.

O filtro secador deve ter carcaça de cobre, gramagem molecular Sieves XH-9 em torno de 20%, a Figura 15 mostra a configuração do modelo de filtro de gás.

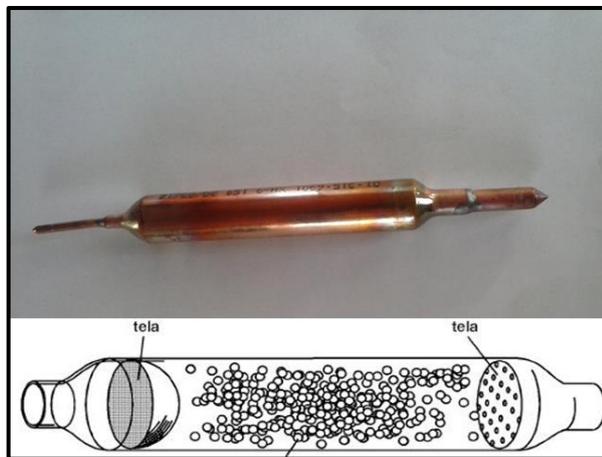


Figura 15: Foto e figura do Filtro de gás R134A e seu interior, contendo 20% de gramagem.

(fonte: www.refrigeracao.net)

- **Instalação:**

Deve se tomar alguns cuidados para fazer a instalação do gás refrigerante R134A, em hipótese alguma qualquer das ferramentas usadas na sua instalação pode ter tido contato com gases diferentes, principalmente o R12 e óleo mineral. Para evitar problemas, devem-se usar ferramentas exclusivas na instalação do gás refrigerante R134A.

- **Verificações de Vazamento:**

A detecção de vazamento do refrigerante R134A ocorre através de aparelhos eletrônicos ou lâmpada ultravioleta, já o uso de chamas na detecção de vazamentos nesse gás é simplesmente em vão.

2.4.5-Filtro Anti-Polén

A Filtração do ar provê os meios para obter o nível de limpeza de partículas requerido por qualquer sistema de ventilação de “ar condicionado”. Esta simples tarefa impede que a sujeira passe para o interior dos sistemas de ventilação de aquecimento ou ar condicionado removendo partículas tão pequenas quanto 0,1 micrón que poderiam causar um curto circuito em um microchip. Assim, com a filtração consegue-se contribuir com os seguintes processos:

- Proteção do bem-estar geral dos ocupantes de um espaço.
- Proteção de espaços ocupados removendo o pó existente no ar.
- Redução na manutenção de interiores, diminuindo a frequência de lavagem e limpeza de materiais como cortinas e bancos, tornando o ambiente visualmente mais limpo.
- Proteção dos conteúdos existentes em espaços ocupados inclusive carpetes,
- Remoção de bactérias no ar garantindo maior segurança para os passageiros.

2.4.6-Válvula de Expansão Termostática

A válvula termostática tem a serventia de uma proteção das pressões de alta e baixa do Compressor. Sua utilidade se refere diretamente à segurança e extensão da vida útil do componente nela acoplado (compressor), compreendendo a fiscalização das pressões na região de baixa e alta pressão. A Figura 16 ilustra esse equipamento.

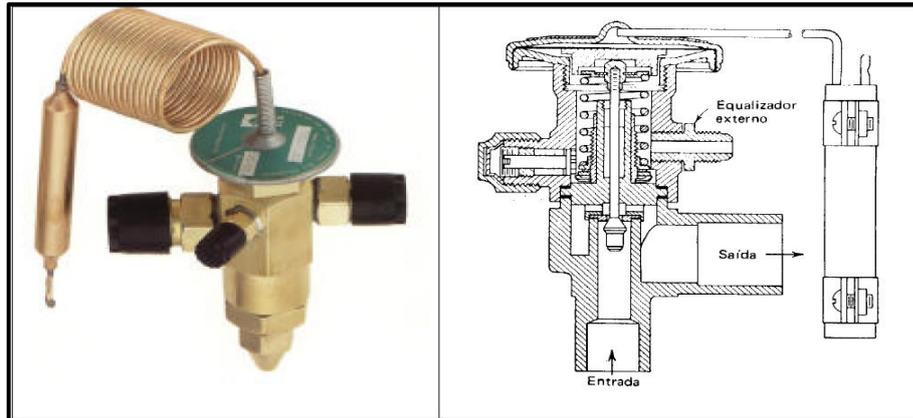


Figura 16: Válvula de Expansão Termostática.

(Fonte: Prof. Luiz Carlos Martinelli Jr – Refrigeração e ar condicionado).

2.4.7-Válvula de Expansão

Localizada no tubo de alta pressão, entre o depósito/desumidificador e o evaporador, a válvula de expansão separa o lado da alta pressão do lado da baixa pressão no circuito do refrigerante. Controlando o caudal de refrigerante que entra no evaporador, assegura que o refrigerante líquido se evapora completamente, de forma a que só regresse ao compressor vapor de refrigerante.

A válvula de expansão não se pode regular e substituem-se como unidade completa.

2.4.8-Sistema de Controle e Acessórios

Os Controladores Eletrônicos foram concebidos para aperfeiçoar a operação do sistema de climatização, possibilitando a escolha da temperatura de trabalho (set-point) no interior do ônibus através de simples toque nas telas. A temperatura escolhida aparece diretamente no mostrador do controlador, bem como a temperatura no interior do veículo. Serve ainda para alertar e verificar as falhas por meio dos mostradores e teclas do próprio controlador. A Figura 17 mostra o display utilizado para regular a temperatura desejada.

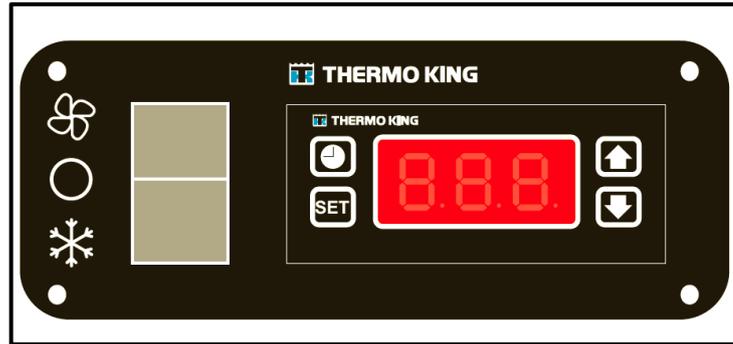


Figura 17: Display Thermo King

(Fonte: Catálogo do fabricante).

O Horímetro registra o tempo que um dispositivo está sendo usado. Ele é frequentemente usado em aplicações de aviação para registrar o tempo que a alimentação de uma turbina está ligada. No caso em questão registra o tempo de funcionamento do compressor.

O Alarme fica responsável por alertar a falha do sensor, sendo um elemento fundamental para a detecção de falhas do processo de refrigeração.

2.5- Especificações Técnicas do Ônibus

O ônibus é o principal produto da empresa 1001, através de diferentes maneiras como: locação, a venda e principalmente, pela venda do serviço de transporte de usuários de trajetos urbanos. Para este projeto foram considerados apenas ônibus de uma mesma marca, carroceria e que realizem trajetos equivalentes dentro do perímetro urbano.

As linhas urbanas da Auto Viação 1001 são operadas entre cidades vizinhas em ônibus urbanos (com duas portas e roleta) ou seletivos (com uma porta, como os rodoviários). Para essas linhas não é possível comprar bilhetes de passagens. O pagamento é feito em dinheiro direto ao motorista ou cobrador ou com o RioCard (bilhete único do Estado do Rio de Janeiro). A Figura 18 mostra o modelo de ônibus em atividade durante a jornada de trabalho.



Figura 18: ônibus 1001 em operação. Carroceria Apache Vip III e Chassis Mercedes-Benz
(Fonte: Gustavo Bayde)

2.5.1-Carroceria

O Apache Vip III ou simplesmente VIP III é um modelo de carroceria de ônibus urbano fabricado pela CAIO Induscar (onibusbrasil.com) desde 2012. Sofreu pequenas modificações externas em relação ao modelo anterior.

Pode ser montado nos seguintes chassis de motorização dianteira:

- ✓ Mercedes-Benz OF-1721 Euro 5, OF-1724 e OF-1519
- ✓ Volkswagen 15.190 OD Euro 5, 17.230 OD Euro 5 e 17.260 OD Euro 5
- ✓ Volvo B270F
- ✓ Scania F250HB Urbano
- ✓ Iveco S170

Para objeto de estudo, o modelo de chassis escolhido, foi Mercedes-Benz que será especificado em detalhes no item 2.5.2.

A fim de eximir possíveis diferenças em relação à forma, vedação, disposição dos bancos e dimensões de cada carroceria será considerado também apenas um modelo, Apache Vip III.

O conhecimento da geometria da carroceria é um fator que influenciará no controle da qualidade do sistema de refrigeração e nos planos de manutenção da empresa, pois uma vez o mesmo dimensionado, caso a climatização apresente não conformidade com a temperatura

esperada, sabe-se que há uma ocorrência de falha no arrefecimento. A Tabela 3 e Figura 19 mostram respectivamente dimensões e vistas do ônibus.

Tabela 3: Dimensões do ônibus.

(Wikipédia)

Visão Geral	
Nomes Alternativos	Vip III
Produção	2012 – presente
Fabricante	CAIO Induscar
Modelo	Carroceria urbana
Ficha técnica	
Motor	Frontal
Dimensões	
Comprimento	9500 mm min--13200 mm (máx.)
Largura	2500 mm
Altura	3185--3260 (externa) 2065--2140 (interna)



Figura 19: Vista lateral e frontal, partes (dianteira e traseira). Carroceria Caio Apache Vip III.

(Everton Fellon, 2012)

2.5.2-Chassi

Foi adotado um único modelo de chassi visando eliminar diferenças com relação às características físicas e propriedades mecânicas encontradas em carrocerias de diferentes fabricantes, para a análise de falhas do sistema de ar condicionado. Com um único modelo de chassi em análise, pode se homogeneizar fatores como: amortecimento, torque, potência e disposição do motor que poderiam influenciar o estudo de forma distinta, dificultando a

identificação dos modos de falha do sistema de ar condicionado. Na Figura 20 consta o modelo 1721, desenvolvido com motor OM 924 LA de 4 cilindros, potência de 208 cv e 780 Nm de torque, esse chassi prioriza a economia de combustível, a rentabilidade e a qualidade do transporte. Com PBT de 17 toneladas, o OF 1721 recebe carrocerias de até 13,2 metros de comprimento para aplicações urbanas e rodoviárias/fretamento. (Fonte Site Mercedes-Benz).



Figura 20: Vista isométrica do modelo de chassi Mercedes-Benz Of-1721.

(Fonte: Catálogo Mercedes-Benz)

Principais características

- Motor OM-924 LA – completamente eletrônico, com unidades injetoras individuais para cada cilindro, proporciona maior economia de combustível e possui alto torque em baixas rotações.

Top Brake – freio motor auxiliar garante uma potência adicional de frenagem de 30% conjugado com o sistema borboleta, proporcionando maior segurança nas operações e aumentando a vida útil dos freios, além de permitir menos troca de marchas, economia de combustível e aumento da velocidade média em declives, o que, conseqüentemente, reduz o tempo de viagem.

- Câmbio MB G 85-6 – câmbio com carcaça de alumínio, menor peso, possui 6 marchas com um novo escalonamento entre elas, proporcionando relações mais baixas de operação de 1 a 6 marchas. Painel de instrumentos todos os veículos são equipados com tacógrafo, odômetro, relógio, conta-giros, indicadores de temperatura do líquido de arrefecimento, da pressão do óleo do motor, da pressão pneumática do sistema de

freios e do nível do tanque de combustível. Luzes de aviso–controle de carga da bateria, luz alta dos faróis principais, luzes indicadoras de direção, de baixa pressão do óleo do motor, de baixo nível do líquido de arrefecimento, de freio de estacionamento acionado, de baixo nível de líquido de embreagem, de baixa pressão do sistema pneumático, de controle do sistema de aceleração eletrônico/módulos eletrônicos MR e FR e de alta temperatura do líquido de arrefecimento. Central Elétrica Fuse Box – proporciona ao encarregador/cliente facilidade para acrescentar seus componentes, uma vez que o sistema é modular, possui tamanho reduzido e é de fácil aquisição no mercado.

- Blue Tec 5 – tecnologia Mercedes-Benz que consiste em reduzir os gases contaminados, através de uma reação química com o AdBlue, em um catalisador de redução seletiva (SCR ou “Selective Catalytic Reduction”). Além do catalisador, a combustão do motor foi otimizada, o que resulta em uma queima mais eficiente de combustível e uma emissão mais limpa.

3-Metodologia

Usando-se uma das ferramentas da Gestão da Qualidade (referência norma ISO 9000 e etc.) construiu-se um gráfico de colunas que ordena as frequências das ocorrências, da maior para a menor, permitindo a priorização dos problemas, procurando levar a cabo o princípio de Pareto (80% das consequências advêm de 20% das causas). Com isto foi possível visualizar e analisar melhores causas ou problemas mais importantes em relação à manutenção dos veículos da empresa Auto Viação 1001, possibilitando a concentração de esforços sobre os mesmos.

Em seguida, a abordagem de RCM foi empregada para obter melhorias em áreas em que serão estabelecidos níveis mínimos de segurança na manutenção, realizar mudanças nos procedimentos operacionais e estratégicos além de estabelecer regimes de manutenção de capitais e planos. Uma aplicação bem sucedida de RCM, segundo a literatura, deverá gerar um aumento da eficácia de custos, maior tempo de funcionamento da máquina em questão, além de uma maior compreensão do nível de risco para a gestão dos processos sob responsabilidade da organização.

3.1-Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM)

A metodologia RCM, como é mais usualmente referenciada, é usada para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional. Para isso, a metodologia analisa as funções e padrões de desempenho: de que forma ocorre à falha, o que causa cada falha, o que acontece quando ocorre a falha e o que deve ser feito para preveni-la. Como resultado, obtém-se um aumento da disponibilidade, o que permite um aumento de produção (NASCIF, 2000). A metodologia RCM teve sua origem na década de 60, na indústria aeronáutica americana. Desde então, vem sendo aplicada com sucesso por muitos anos, primeiramente na indústria aeronáutica e, mais tarde, nas usinas nucleares, refinarias de petróleo e muitas outras indústrias (RAUSAND, 1998).

A RCM é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente. Para ser desenvolvida, a metodologia utiliza sete perguntas sobre cada item em revisão ou sob análise crítica, para que seja preservada a função do sistema produtivo, a saber, (MOUBRAY, 2000):

- 1- Quais são as funções e os níveis de desempenho do equipamento no seu contexto operacional atual?
- 2- Quais são as falhas do equipamento que impedem o mesmo de desempenhar suas funções?
- 3- O que causa cada falha funcional?
- 4- O que acontece quando cada falha ocorre?
- 5- Como acontece cada falha?
- 6- O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- 7- O que pode ser feito se nenhuma ação proativa for encontrada?

Dependendo das respostas dadas às perguntas acima, a RCM vai sugerir e direcionar o replanejamento do programa de manutenção, de modo a se estabelecer o nível de desempenho aceitável por quem aplica esta metodologia. As respostas para as perguntas básicas da metodologia RCM podem ser desenvolvidas em sete passos, como definido a seguir: (KRONER, 1999):

3.1.1-Seleção da Área do Processo Produtivo adequado para a aplicação do RCM

Identificar os bens do sistema que será submetido à metodologia do RCM, organizar todas as informações e fazer um meticuloso planejamento para a implantação. Os elementos chaves para o processo de planejamento são:

- ✓ Decidir quais componentes são mais prováveis de se beneficiarem do processo RCM e, se assim for, exatamente como eles irão se beneficiar.
- ✓ Estimar os recursos requeridos para aplicação do processo nos componentes selecionados.
- ✓ Nos casos onde os prováveis benefícios justificam o investimento, decidir em que detalhe, quem realizará e quem auditarão cada análise, quando e onde, e arranjar para todos os envolvidos receberem o treinamento adequado.
- ✓ Assegurar que o contexto operacional do sistema esteja claramente entendido.

Antes que a metodologia RCM determine o que deve ser feito para assegurar que o ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça, no seu contexto operacional atual, devem-se fazer duas coisas. Determinar o que o usuário quer que ele faça – Desempenho Desejado. E em seguida assegurar que ele é capaz de fazer o que os seus

usuários querem fazer Capacidade Intrínseca, ou seja, ter a capacidade tecnológica processual produtiva. Cada item físico tem funções que podem ser classificadas em:

- *Funções primárias:* são as funções que justificam porque o item foi adquirido. Esta categoria de função cobre questões tais como de velocidade, quantidade, capacidade de transporte ou armazenagem, qualidade do produto e serviços ao cliente.
- *Funções secundárias:* são funções reconhecidas e desejadas para que o item faça além das suas funções principais. Os usuários também têm expectativas nas áreas de segurança, controle, conforto, economia e outras mais.

Na prática, muitos ativos são adequadamente projetados e construídos. Por isso, é possível desenvolver programas de manutenção que assegurem que tais ativos continuem a fazer o que seus usuários esperam. Tais ativos são passíveis de manutenção, como na Figura 21.

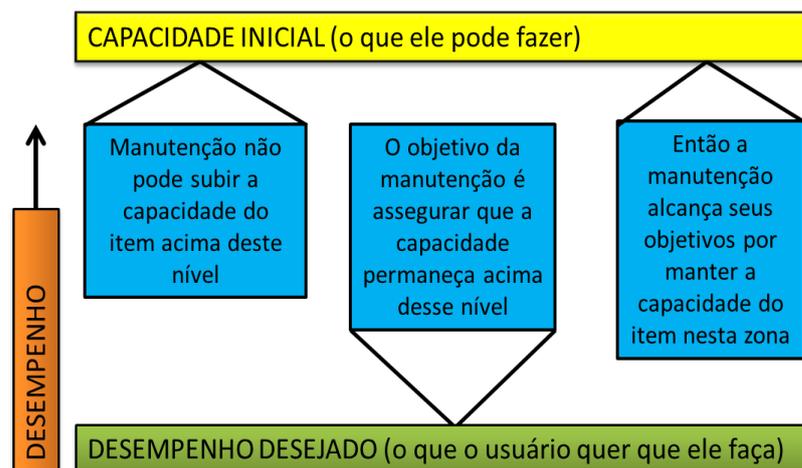


Figura 21: Um item passível de manutenção.

(MOUBRAY, 2000)

Por outro lado, se o desempenho desejado exceder a capacidade inicial, nenhum tipo de manutenção pode levar ao desempenho desejado. Ou seja, tais ativos não são passíveis de manutenção, como mostra a Figura 22.



Figura 22: Uma situação não passível de manutenção
(MOUBRAY, 2000)

3.1.2-Determinação das Falhas Funcionais

Conforme a Norma NBR – 5462 de Confiabilidade e Manutenibilidade, (ABNT1994), segue abaixo a definição do conceito e dos tipos de falhas possíveis.

Falha: término da capacidade de um item desempenhar a função requerida. Depois da falha, o item tem uma pane. A “falha” é um evento; diferente de “pane” que é um estado.

Falha Crítica: falha que provavelmente resultará em condições perigosas e inseguras para pessoas, danos materiais significativos ou outras consequências inaceitáveis.

Falha não crítica: falha que não seja crítica.

Falha por uso incorreto: falha devida à aplicação de solicitações além dos limites especificados ou a erros de instalação ou operação.

Falha por manuseio: falha causada por manuseio incorreto ou falta de cuidado com o item.

Falha por fragilidade: falha devida a uma fragilidade no próprio item, quando submetido a solicitações previstas nas especificações. (Nota: Uma fragilidade pode ser inerente ou induzida).

Falha de projeto: falha de um item devida a projeto inadequado.

Falha de fabricação: falha de um item devida a não-conformidade da fabricação com o projeto ou com os processos de fabricação especificados.

Falha aleatória: qualquer falha cuja causa ou mecanismo faça com que seu instante de ocorrência se torne imprevisível, a não ser no sentido probabilístico ou estatístico.

Falha por deterioração: falha que resulta de mecanismos de deterioração inerentes ao item, os quais determinam uma taxa de falha instantânea crescente ao longo do tempo.

Falha repentina: falha que não poderia ser prevista por um exame anterior ou monitoração.

Falha gradual: falha devida a uma mudança gradual com o tempo de dadas características de um item. (Nota: Uma falha gradual pode ser prevista por um exame anterior ou monitoração e pode, às vezes, ser evitada por ações de manutenção).

Falha catastrófica: falha repentina que resulta na incapacidade completa de um item desempenhar todas as funções requeridas.

Falha relevante: falha que deve ser considerada na interpretação dos resultados operacionais ou de ensaios, ou no cálculo do valor de uma medida de confiabilidade. (Nota: O critério para consideração deve ser especificado).

Uma falha funcional é definida como a incapacidade de qualquer ativo de cumprir uma função, para um padrão de desempenho que é aceitável pelo usuário. Os padrões de desempenho devem ser definidos em conjunto pelos departamentos de engenharia, produção e manutenção. Na Figura 23, está representada a definição da falha funcional. O desempenho desejado do ativo é maior que a sua capacidade, isto é, maior que a capacidade produtiva do ativo. Todas as falhas funcionais que afetam cada função devem ser registradas. As falhas funcionais podem ser classificadas em falhas parciais e totais, falhas limites inferiores e superiores e falhas contexto operacional.

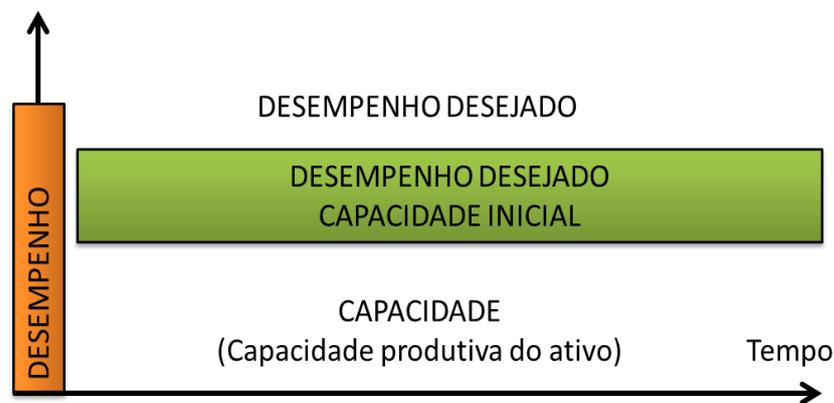


Figura 23: Definição da falha funcional.

(MOUBRAY, 2000).

3.1.3-Determinação do Modo de Falha, seus Efeitos e Consequências

Uma vez que cada falha funcional foi identificada, o próximo passo é tentar identificar todos os eventos prováveis (modo de falha) que causam cada falha funcional, os efeitos e as consequências de cada falha funcional. Para determinar os modos, efeitos e consequências da falha, utiliza-se uma técnica indutiva, estruturada e lógica para identificar e/ou antecipar a (s) causa (s), efeitos e consequências de cada modo de falha de um item do sistema produtivo

(LAFRAIA, 2001), esta técnica é conhecida como FMEA. Para a aplicação da técnica FMEA, numa investigação de uma falha funcional de um item, a metodologia utiliza um formulário com várias perguntas. Estas perguntas geram informações que poderão conduzir o gestor do processo a optar por um determinado tipo de ação para eliminar a causa da falha, amenizar o efeito da falha e/ou, até, amenizar as consequências da falha.

3.1.4-Selecionamento do Tipo de Manutenção

Após a conclusão de FMEA, selecionar o tipo de manutenção preventiva tecnicamente adequada para assegurar que a falha não acontecerá e se acontecer, que os seus efeitos sejam adequadamente tratados. Podem-se definir como manutenção preventiva as tarefas efetuadas a intervalos predeterminados, conforme critérios prescritos e planejados, destinados a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do desempenho de um item (LAFRAIA, 2001). As tarefas de manutenção preventiva podem então ser classificadas em: baseada no tempo (Manutenção Preventiva Clássica), baseada na condição (Manutenção Preditiva) e baseada em testes para descobrir a falha (Manutenção Detectiva).

Manutenção Preventiva: baseada no tempo é destinada à prevenção ou postergação da falha. Pode incluir: substituição, restauração ou inspeção. Este tipo de manutenção tem a característica de que suas ações e sua periodicidade são predeterminadas e ocorrerão sem informações adicionais na data preestabelecida (PINTO; XAVIER, 1999). Este tipo de manutenção é eficaz quando se encaixa em pelo menos um dos pontos abaixo.

- Há um ponto identificável do aumento da taxa condicional de falha;
- A maioria dos itens sobrevive àquela data;
- Restaura a resistência do item ao valor inicial;

Manutenção Preditiva: baseada na condição, a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (NBR-5462). Este tipo de manutenção é tecnicamente viável quando:

- É possível se identificar claramente o processo de deterioração;
- O tempo para a falha é razoavelmente determinável;
- O intervalo das medições é menor que o intervalo para falha;

- O tempo para a falha após a medição é suficiente para prevenir ou evitar as consequências da falha funcional.

Manutenção Detectiva: baseada em testes para descobrir se existem falhas, antes de uma necessidade operacional. Este tipo de manutenção tem a missão de descobrir falhas ocultas. As falhas ocultas são aquelas que não se tornam evidentes ao operador ou equipe em condições normais de operação.

Manutenção Corretiva: manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (NBR-5462). Este tipo de manutenção tem caráter efetivo quando:

- Nenhuma manutenção preventiva for efetiva;
- O custo da falha é menor que a manutenção preventiva para evitar a falha.
- A falha é de baixa importância

3.1.5-Formulação e Implantação do Plano de Manutenção

Ao iniciar a formulação do plano de manutenção e posterior implantação das recomendações da RCM, é conveniente comparar estas recomendações com as atividades de manutenção já existentes no programa de manutenção. A questão então é decidir se devem ser feitas novas atividades, mudar as atividades existentes ou até mesmo eliminar algumas atividades de manutenção (KRONER, 1999).

3.1.6-Melhoria Contínua

Após implantação da manutenção centrada em confiabilidade, revisões periódicas são mandatórias. O objetivo destas atividades contínuas de revisão periódica é reduzir as falhas, aumentar a qualidade da manutenção e a disponibilidade dos recursos, identificarem a necessidade de expandir o programa RCM, reagirem a mudanças na indústria e nas condições econômicas. Sempre existe um modo melhor de fazer as coisas. A melhoria contínua, também conhecida como *kaizen*, deve ser uma preocupação constante das organizações e das pessoas (NASCIF, 2000). Essa melhora atinge os métodos, processos, pessoas, ferramentas, máquinas, tudo que se relaciona com as atividades no dia a dia.

3.2- Análises dos Modos de Falha e Efeito (FMEA)

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) é uma ferramenta usada para aumentar a confiabilidade de certo produto durante a fase de projeto ou processo. A ferramenta consiste basicamente em sistematizar um grupo de atividades para detectar possíveis falhas e avaliar os efeitos das mesmas para o projeto/processo. A partir dessas possíveis falhas, identificam-se ações a serem tomadas para eliminar ou reduzir a probabilidade de que as mesmas ocorram. Essas ações também podem objetivar aumentar a probabilidade de detecção dessas falhas, para que produtos que apresentam inconformidades não cheguem ao cliente.

Desde modo é obtida uma lista de possíveis falhas, organizada por ordem de risco que elas representam e com respectivas ações a serem praticadas para mitigá-las. Essa lista auxilia na escolha de projetos alternativos com alta confiabilidade durante as etapas iniciais da fase de projeto. Assim garante-se que todas as possíveis falhas de um projeto/processo sejam consideradas e suas probabilidades de ocorrência minimizadas (quando se fizer necessário).

Geralmente é aceito que existem quatro tipos de FMEA. As etapas e a maneira de realização da análise são as mesmas, diferenciando-se principalmente quanto ao objetivo. Desta maneira, temos:

- **FMEA de design:** São consideradas as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto ou no processo decorrente do projeto. É comumente denominada também de FMEA de projeto ou produto
- **FMEA de processos:** São consideradas as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas do processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto.
- **FMEA de sistemas:** São considerados sistemas e subsistemas nas fases conceituais e de projeto. O objetivo desta análise é focalizar nos modos de falhas entre funções do sistema. São inclusas as interações entre sistemas e elementos dos sistemas.
- **FMEA de serviços:** São analisados os serviços antes de eles atingirem o consumidor. É usado para identificar tarefas críticas ou significantes para auxiliar a elaboração de planos de controle. Ajudam a eliminar gargalos nos processos e tarefas.

Apesar das etapas e a maneira de realização da análise serem as mesmas, existem pequenas variações entre cada tipo de análise. Um exemplo de diferença é a definição dos índices (serão descritos posteriormente) adotados na elaboração do FMEA.

Os mecanismos utilizados no FMEA são relativamente simples. O método consiste basicamente em identificar e dispor todos os modos de falha em potencial em uma tabela que facilitará a sua interpretação.

Após os modos de falha estarem dispostos na tabela, eles deverão ser analisados e classificados em relação a três aspectos: Severidade, detectabilidade e ocorrência, indicados nas Tabelas 4, 5 e 6. Pela multiplicação desses três índices, tem-se à disposição, os modos de falha ordenados de acordo com a sua importância. Desta maneira, obtêm-se uma tabela que auxilia na tomada de decisões de mudanças (relacionadas com o aumento de confiabilidade) no projeto.

Tabela 4: Critério de Risco Severidade

[José Carlos de Toledo, Daniel Capaldo Amaral, 2012].

SEVERIDADE		
Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	O cliente mal percebe que a falha ocorreu
2	Pequena	Ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento do cliente;
3		
4		Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente
5	Moderada	
6		
7	Alta	Sistema deixa de funcionar e grande descontentamento do cliente
8		
9	Muito Alta	Idem ao anterior porém afeta a segurança
10		

Tabela 5: Critério de Risco Ocorrência.

[José Carlos de Toledo, Daniel Capaldo Amaral, 2012].

OCORRÊNCIA			
Índice	Ocorrência	Proporção	Cpk
1	Remota	1:1.000.000	Cpk > 1,67
2	Pequena	1:20.000	Cpk > 1,00
3		1:4.000	
4		1:1.000	
5	Moderada	1:400	Cpk < 1,00
6		1:80	
7		1:40	
8	Alta	1:20	
9		1:8	
10	Muito Alta	1:2	

Tabela 6: Critério de Risco Detecção.

[José Carlos de Toledo, Daniel Capaldo Amaral, 2012].

DETECÇÃO		
Índice	Detecção	Critério
1	Muito Grande	Certamente será detectado
2		
3	Grande	Grande probabilidade de ser detectado
4		
5	Moderada	Provavelmente será detectado
6		
7	Pequena	Provavelmente não será detectado
8		
9	Muito Pequena	Certamente não será detectado
10		

Posteriormente, serão apresentadas explicações mais detalhadas sobre o funcionamento e elaboração de um FMEA.

O FMEA traz à empresa, em geral, um melhor conhecimento dos problemas nos produtos/processos. O método gera uma forma sistemática de se hierarquizar informações sobre as falhas dos produtos/processos, estabelecendo-se, portanto, um sistema de prioridades de melhorias, investimento, desenvolvimento, análises teste e validação.

A aplicação da ferramenta gera arquivos que servem como uma referência para o futuro ao nível das evoluções possíveis, da documentação de erros do passado, do desenvolvimento de técnicas avançadas de projeto e do incentivo para a necessidade constante de desenvolvimento. Desta maneira são geradas ações de melhoria no projeto do produto/processo, que devem ser devidamente monitoradas (melhoria contínua).

Devido a essa documentação de riscos e prevenção de ocorrência de falhas, o tempo e o custo de desenvolvimento diminuem. Ao mesmo tempo a confiabilidade, qualidade e segurança do produto/processo aumentam.

Esse método ajuda a empresa a manter sempre o foco no cliente, garantindo sua satisfação e segurança. Assim, facilita a empresa a identificar características críticas para a qualidade.

A análise do FMEA pode ser um ponto inicial para vários outros tipos de análise, por exemplo:

- Análise de sistema de segurança;
- Análise de planejamento de manutenção;
- Planejamento da produção;
- Análise de nível de reparos;

- Planejamento de testes;
- Análise de apoio à logística;

Pode-se observar então, que o FMEA pode ser um método iterativo, pois à medida que são feitas análises adicionais, novas informações, que podem aumentar a precisão do método, surgem.

Há também o benefício de incorporar dentro da organização a atitude de prevenção de falhas, a atitude de cooperação e trabalho em equipe. Este último é importante para, entre outros aspectos, capturar o conhecimento coletivo de um time.

4- Aplicação do Método

A frota da Auto Viação 1001 compreende cerca de 1600 veículos dentre eles, 220 urbanos. A análise em questão compreende um universo de 100 veículos pertencente à filial do Maruí, localizada em Niterói.

Esses veículos são responsáveis pelas linhas: Niterói x Galeão, Niterói x Gávea, Niterói x Humaitá e Niterói x Ipanema. A empresa, por sua vez, realiza diversos controles referentes às manutenções e intervenções de seus veículos. Um deles mede diretamente a eficiência da manutenção, em que analisa, por uma base de dados, todos os incidentes realizados por uma pane mecânica do veículo fora de sua garagem, afetando diretamente os clientes.

O chamado SOS subdivide-se em duas particularidades: a falha que é intermitente ou sucessiva, mas que não provoca traslado de clientes (chamada de retorno) e a falha que compromete diretamente o funcionamento do veículo enquanto os passageiros estão situados no interior do mesmo apelidado de SOS, pois se deve disponibilizar outro veículo com outro motorista para o traslado dos passageiros e a continuação da viagem.

Foi elaborada uma base que compreende os meses de Janeiro a Outubro de 2014 da filial do Maruí, em que dos 919 incidentes contabilizados neste período, 268 eram por problemas no sistema de Ar Condicionado, refletindo 29% do total mensurado como se pode ver com o gráfico de Pareto da Figura 24:

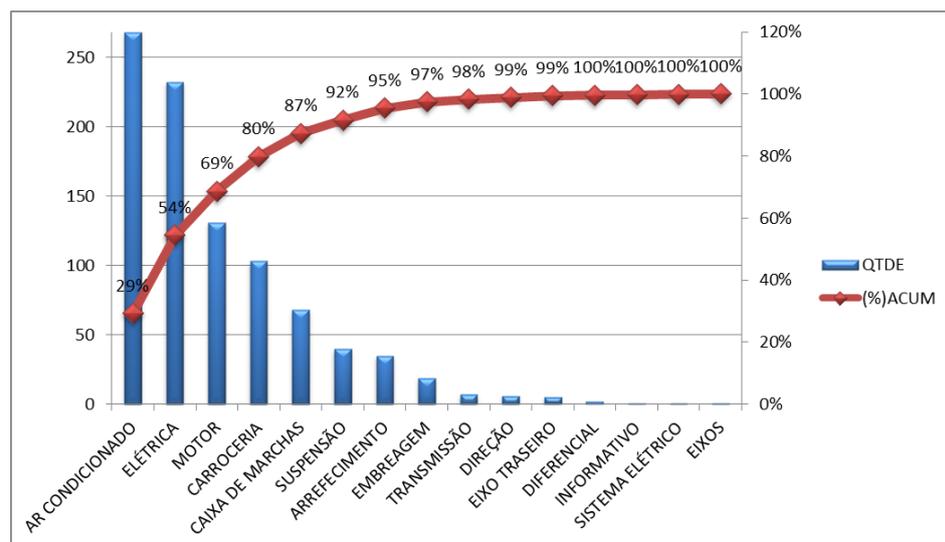


Figura 24: Gráfico de Pareto – Defeitos que geraram Incidentes de Manutenção

Após tomar foco nos defeitos de Ar Condicionado foi analisada a idade dos mesmos e como resultado constatou-se que 69% das falhas ocorridas por tais problemas eram de

veículos na faixa de zero a um ano de uso, compreendendo ao modelo de Ar Condicionado LRT COMFORT, como mostra o gráfico da Figura 25.

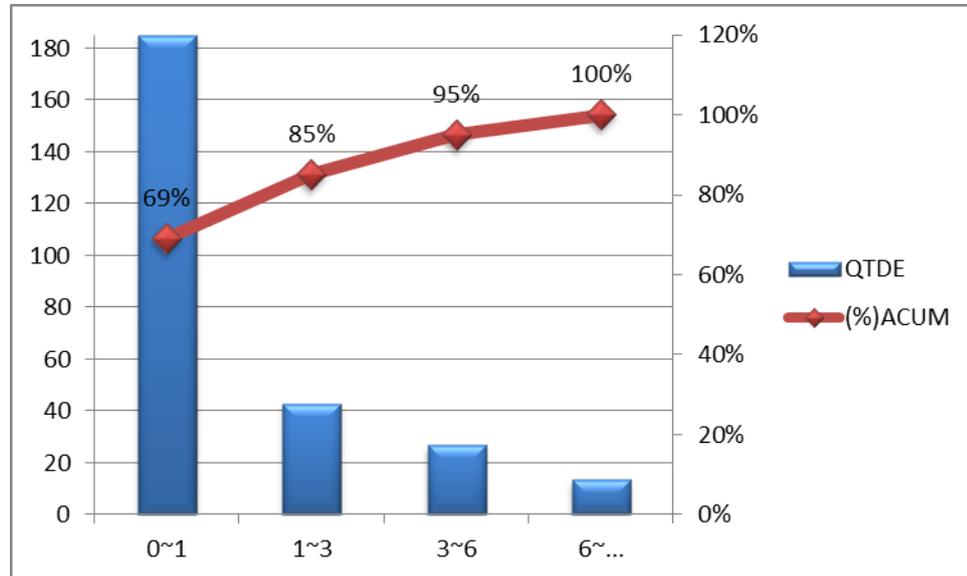


Figura 25: Gráfico de Pareto – Intervalos de Idade dos Defeitos de Ar Condicionado

Tais dados tiveram serventia para comprovar a necessidade de um trabalho aprofundado em relação ao Ar Condicionado dos veículos urbanos da Auto Viação 1001 com intuito de reduzir drasticamente os incidentes que tanto denigrem a confiabilidade da manutenção de sua frota.

A oficina da filial analisada é composta por (quatro) turnos em uma escala 12X36 cuja composição técnica está descrita na Tabela 7.

PROFISSIONAIS DE REFRIGERAÇÃO	EQUIPE 1 DIA	EQUIPE 1 NOITE	EQUIPE 2 DIA	EQUIPE 2 NOITE	TOTAL
TÉCNICOS DE REFRIGERAÇÃO	2	3	2	3	10
LÍDERES DE REFRIGERAÇÃO		1		1	2

Tabela 7: Equipe de Manutenção de Refrigeração.

Compreendendo assim um corpo de 12 funcionários para realização do projeto. Os líderes foram submetidos a uma entrevista para auxílio na elaboração da Análise dos Modos de Efeito e Falha e todos os outros funcionários, inclusive os líderes preencheram a planilha para se analisar os índices de ocorrência, severidade, detecção e riscos.

4.1-Mapeamento dos Subsistemas

Com base na revisão bibliográfica e do descritivo dos componentes compreendidos no Sistema de Ar Condicionado LRT COMFORT foi possível dividir os componentes do Sistema de Refrigeração em cinco sistemas:

- **Parte Elétrica**
- **Condensador**
- **Evaporador**
- **Acabamentos e Isolamentos**
- **Compressor**

Dentro desses grupos foram divididos os subsistemas que conferem todo o corpo de estudo:

✓ **Parte Elétrica:**

- A. Conjunto do Painel de Controle;
- B. Componentes Elétricos.

✓ **Condensador:**

- A. Componentes de Instalação do Condensador;
- B. Componentes de Refrigeração do Condensador;
- C. Estrutural do Condensador & Ventiladores.

✓ **Evaporador:**

- A. Componentes de Refrigeração do Evaporador;
- B. Estrutural do Evaporador & Sopradores.

✓ **Acabamentos e Isolamentos:**

- A. Juntas da Unidade, Grade & Filtros;
- B. Componentes de Isolamento.

✓ **Compressor:**

- A. Compressor e seus componentes.

Tais elementos foram organizados em uma árvore de funções, apresentada na Figura 26. O objetivo desta imagem é facilitar a visualização do papel desempenhado por cada componente ao longo do processo de condicionamento de ar do veículo.

Atribuir um papel a cada componente do Sistema de Ar Condicionado significa dizer que cada elemento pode ser descrito pela ação que ele executa no sistema, durante o processo de condicionamento de ar, como pode ser observado na Figura 26. Conhecer a ação a ser desempenhada pelos componentes é uma das formas de antecipar possíveis falhas de execução do projeto e de montagem, bem como auxiliar na determinação dos tipos de manutenção que cada subsistema necessitará.

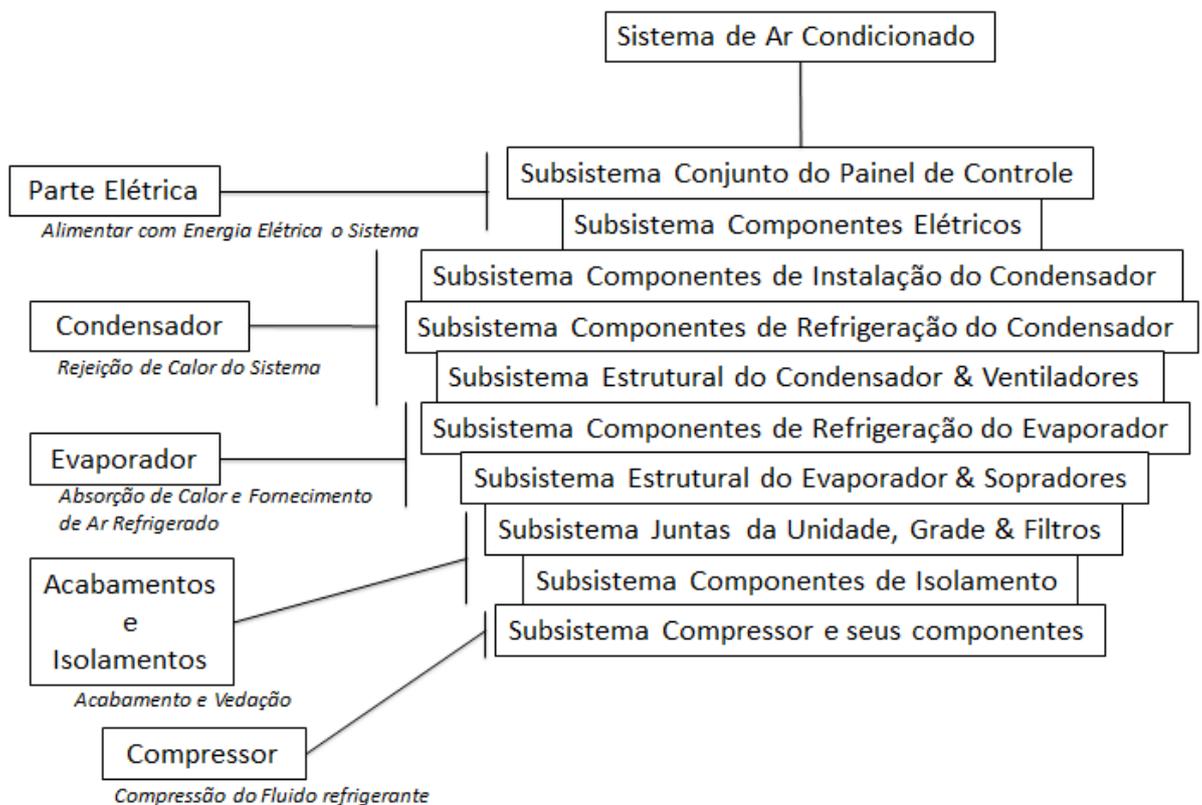


Figura 26: Árvore de Funções – Ar Condicionado

4.1.1-Parte Elétrica

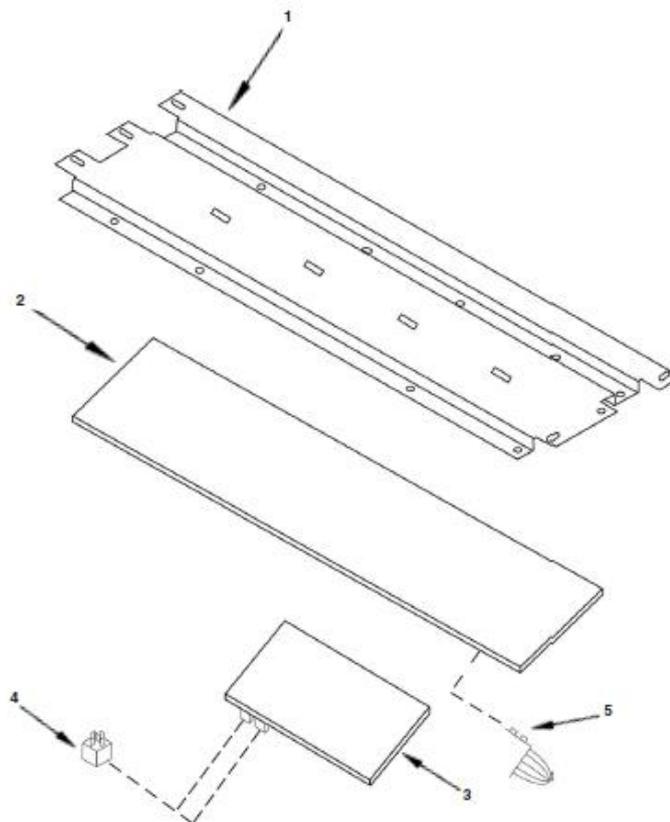
A parte elétrica tem como principal função alimentar de energia o sistema além de interligá-lo por meio de chicotes, acompanharem as variações de temperaturas pelos sensores, realizar a proteção dos equipamentos por meio de fusíveis e pressostatos.

Este grupo de itens foi separado em dois subsistemas, conjunto painel de controle que compreende a central elétrica do equipamento e o subsistema componentes elétricos no qual

compreende diversos itens como chicotes, eletroventiladores, sensores, pressostatos e alternadores de energia.

A. Subsistema: Conjunto do Painel de Controle

Este subsistema compreende como principal item a Central Elétrica e seus relês que é responsável por desconectar do circuito, o enrolamento auxiliar do compressor e o capacitor de partida, assim que a rotação de trabalho for atingida. Esse sistema comanda também o sensor de retorno de ar, responsável pela detecção da temperatura interna. Na Figura 27 estão indicada as posições e formas de fixação de alguns desses componentes.



Nº	ITEM
1	SUPORTE PRINCIPAL
2	SUPORTE BASE
3	CENTRAL ELÉTRICA
4	RELÊ -24V (BARRAMENTO)
5	SENSOR DE RETORNO DE AR - 10K

Figura 27: Vista Explodida – Subsistema Conjunto Painel de Controle.

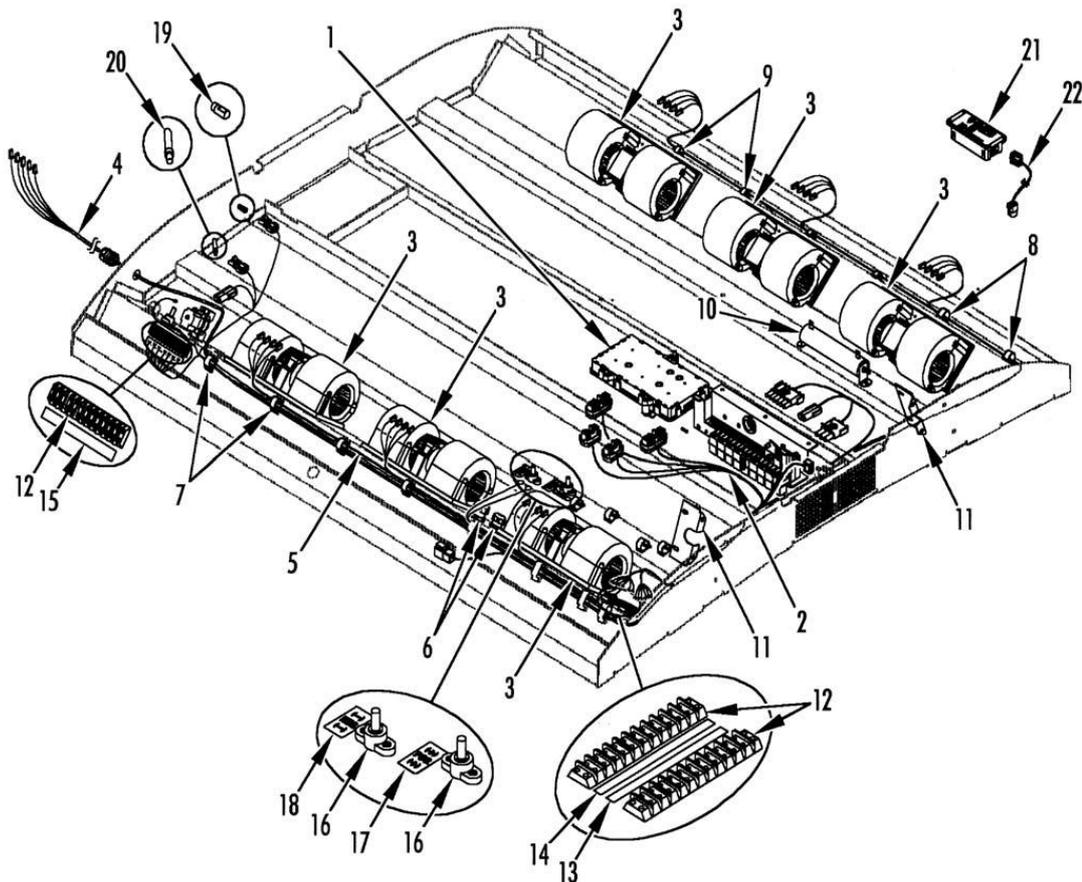
(Manual de Peças LRT-COMFORT – REV1 09_10)

B. Subsistema: Componentes Elétricos

Este subsistema é composto pelos elementos elétricos e equipamentos auxiliares tais como os eletroventiladores responsáveis pela circulação de ar tanto pela serpentina do condensador como também do evaporador.

Constam deste subsistema, também, o painel de controle ou display responsável pelo monitoramento da temperatura interna do veículo e os alternadores responsáveis pela geração de corrente alternada transformando-a em corrente contínua acionada por meio de uma correia ligada ao motor. A Figura 28 mostra disposição dos componentes elétricos na estrutura do equipamento de refrigeração.

Há, também, os sensores de temperatura e pressostatos, que possuem a função de informar a temperatura ao computador de bordo. Outros componentes importantes são os chicotes elétricos responsáveis pela condução de energia por todo o equipamento.



Nº	ITEM
1	PAINEL - CONTROLE
2	CHICOTE - evaporador
2	CONECTOR
3	SOPRADOR - duplo, evaporador

4	CHICOTE - sopradores condensador
5	CHICOTE - sopradores condensador - no evaporador.
6	CONECTOR - prensa cabo
6	PORCA – trava
7	ABRAÇADEIRA – cabo (3/4’’)
8	ABRAÇADEIRA – cabo
9	ABRAÇADEIRA – cabo (1/2’’)
10	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
11	SUPORTE , bloco
11	PARAFUSO – placa
11	ARRUELA DE PRESSÃO
11	55-2086 ARRUELA LISA
11	33-489 GROMETT (1.250 id)
11	99-2280 PERFIL - borracha A/R
12	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
13	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
14	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
15	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
16	51-1172 PRISIONEIRO – cabo de potência
16	PARAFUSO – bloco
16	51-749 ARRUELA DE PRESSÃO – int th (3/8’’)
16	55-3066 ARRUELA LISA (3/8’’)
16	PORCA – contraporca sextavada (3/8’’)
17	ETIQUETA – positivo
18	ETIQUETA – negativo
19	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
20	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
21	PAINEL MOT. V1.9 // PAINEL MOT. G7
22	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
23	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO

Figura 28: Vista Explodida – Subsistema Componentes Elétricos.
(Manual de Peças LRT-COMFORT – REV1 09_10)

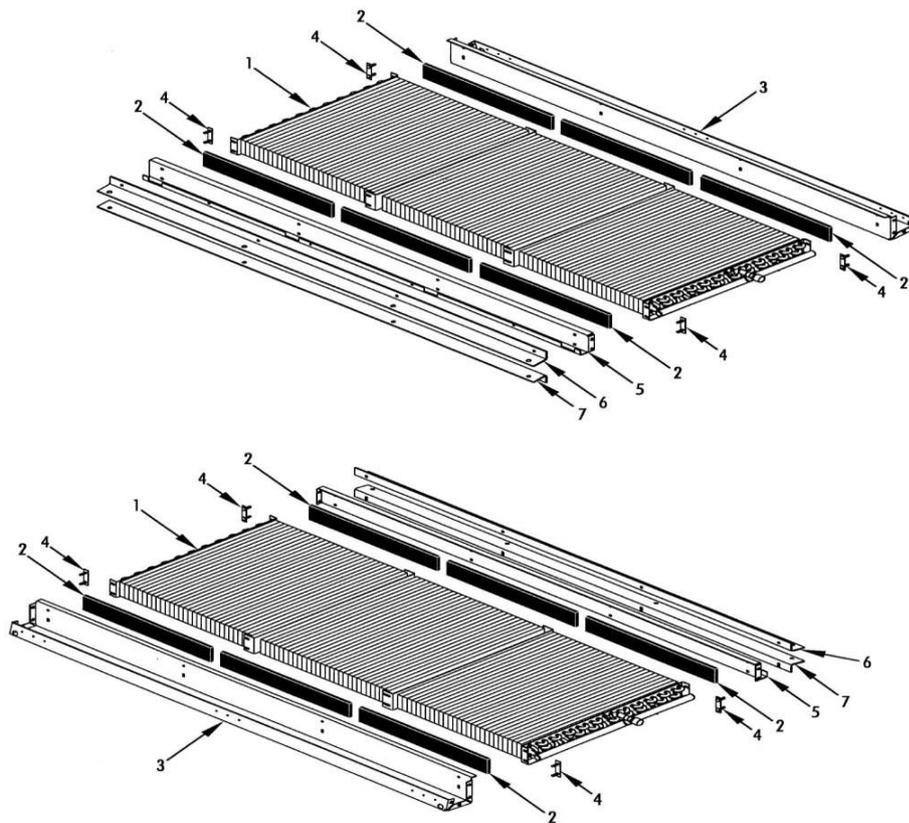
4.1.2-Condensador

O condensador consiste de uma serpentina com uma série de aletas para arrefecimento cuja função é dissipar o calor absorvido pelo fluido refrigerante do interior do veículo para o meio externo, transformando o fluido do estado gasoso para o estado líquido.

Este grupo foi separado em dois subsistemas que compreendem: os itens de instalação do condensador, que consistem nos componentes estruturais do condensador, nas placas de isolamento e dos suportes de instalação do mesmo, no seu local de trabalho; e o subsistema componente de refrigeração do condensador, que compreende a serpentina propriamente dita, o filtro secador, e a válvula de alívio.

A. Subsistema: Componentes Estruturais do Condensador

Este subsistema compreende os elementos de fixação da serpentina do condensador bem como suas mantas de isolamento, visto na Figura 29.



Nº	ITEM
1	SERPENTINA – condensador
2	ISOLAMENTO – serpentina
3	CANALETA – suporte, condensador

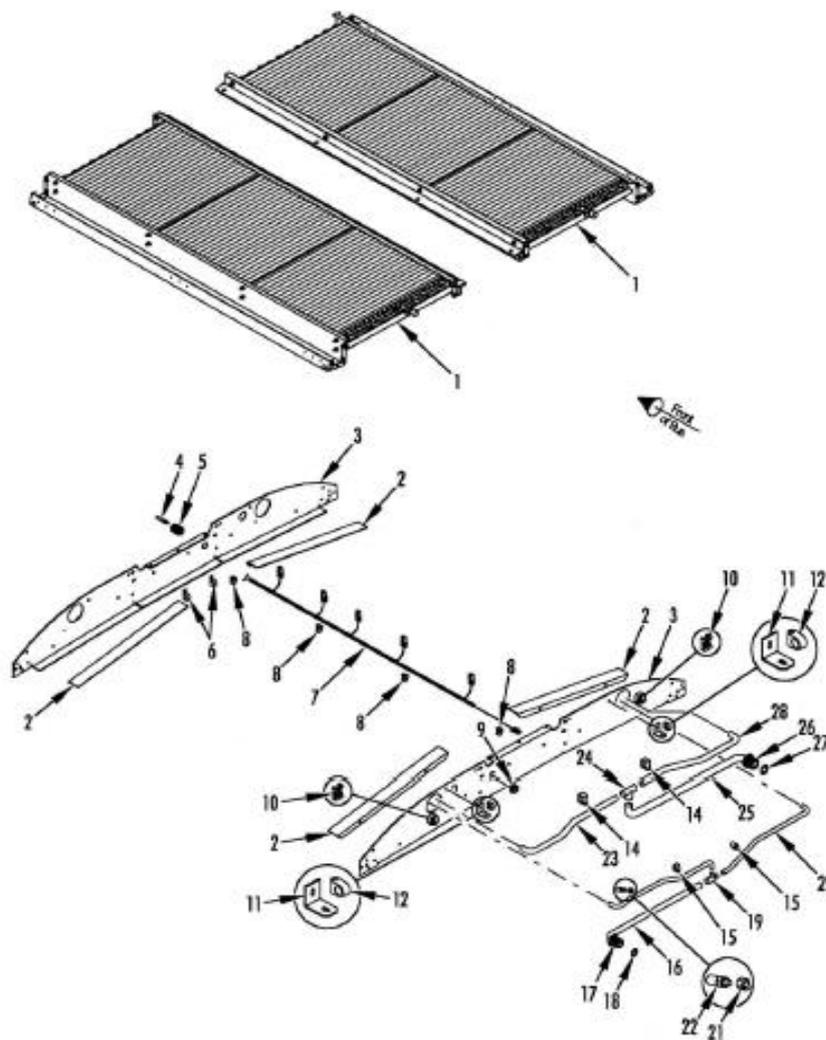
4	PLACA – fixação da canaleta
4	ARRUELA lisa
4	PORCA
5	PLACA – suporte, serpentina
5	PARAFUSO
6	SUPORTE, superior
7	ÂNGULO – suporte, inferior
7	INSERTO

Figura 29: Vista Explodida – Subsistema, Componentes Estruturais do Condensador.

(Manual de Peças LRT-COMFORT – REV1 09_10)

B. Subsistema: Componentes de Refrigeração do Condensador.

Este subsistema compreende os elementos de refrigeração do condensador tais como a serpentina, que é responsável pela troca de calor do gás, que está em vapor com, o ar externo para sua transformação em líquido e o filtro secador, que possui a utilidade de eliminar a umidade do fluido antes da entrada no compressor para evitar um problema denominado calço hidráulico (travamento abrupto e conseqüente empeno ou ruptura das bielas devido à compressão de água na câmara de compressão). A Figura 30 mostra todos os componentes desse subsistema.



Nº	ITEM
1	SERPENTINA – condensador (veja 200D7BR)
1	INSERTO (1/4-20)
2	SUPORTE – bloco desativado
2	PARAFUSO – suporte
2	ARRUELA DE PRESSÃO
2	ARRUELA CHATA
2	INSERÇÃO
3	PLACA – cobertura da extremidade do condensador
4	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
5	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
6	ABRAÇADEIRA – chicote (0,875 de diâmetro)
6	PARAFUSO – abraçadeira
6	ARRUELA DE PRESSÃO
6	arruela lisa
7	CHICOTE – condensador
8	ABRAÇADEIRA – chicote
9	GROMMET

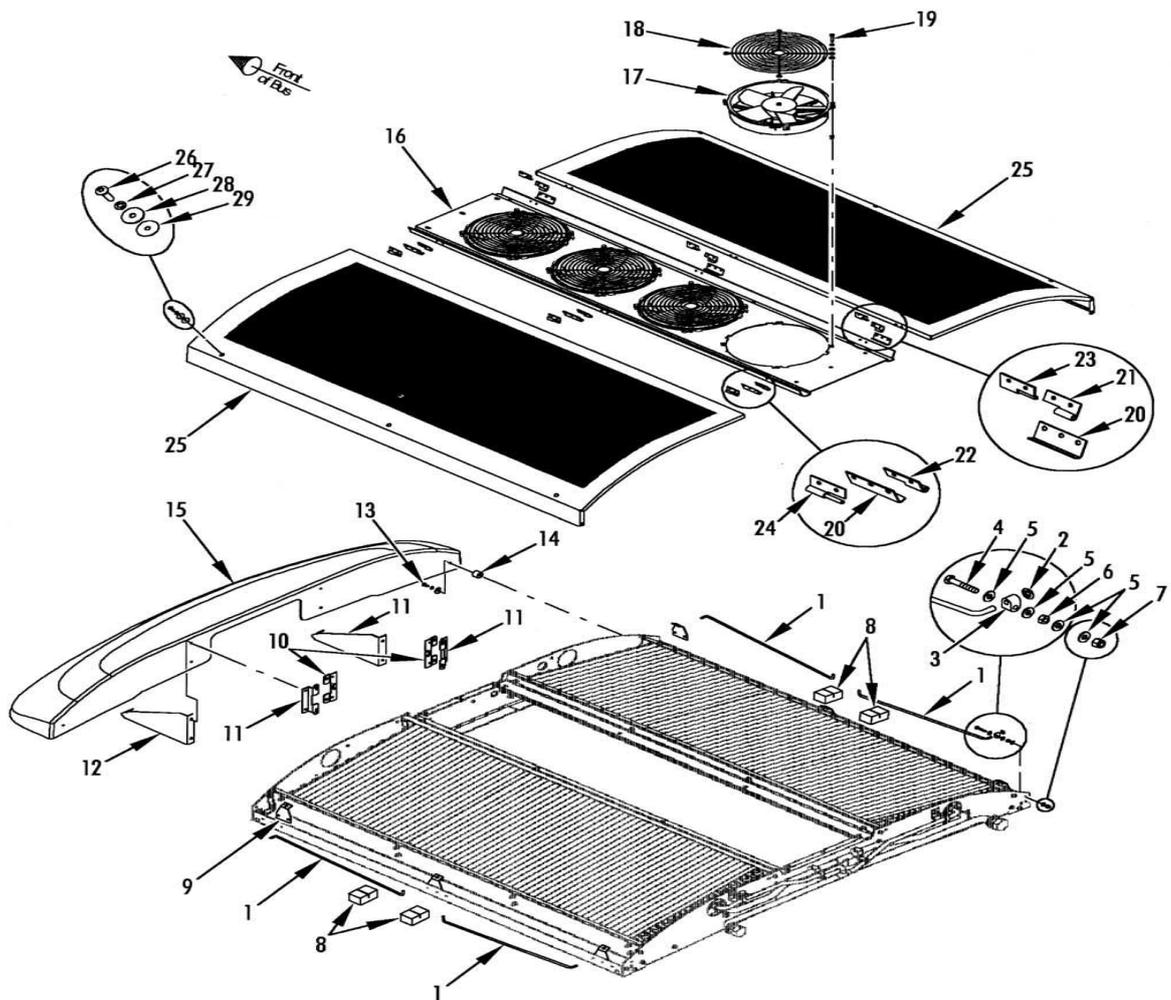
10	MONTAGEM – cinta de unir cabos
10	REBITE – montagem
11	SUPORTE – tubulação
11	PARAFUSO – suporte
11	ARRUELA CHATA
11	PORCA
12	ABRAÇADEIRA – tubo
12	PARAFUSO – grampo
12	ARRUELA LISA
12	PORCA
13	ABRAÇADEIRA – tubo
13	PARAFUSO – abraçadeira
13	ARRUELA LISA
13	PORCA
14	ABRAÇADEIRA – tubo
15	ABRAÇADEIRA – tubo
15	PARAFUSO – abraçadeira
15	1800 ARRUELA DE PRESSÃO
15	ARRUELA LISA
15	ARRUELA – spl (id 0,281)
15	INSERTO
16	TUBO – linha de líquido, lado do motorista
17	ADAPTADOR – (# 16, ORS)
18	ANEL (id 15/16)
19	T (7/8 x 5/8 x 5/8)
20	TUBO – linha de líquido, lado do motorista
21	CONEXÃO - suporte
22	VÁLVULA – alívio
23	TUBO – descarga
24	T (7/8 x 7/8 x 1-1/8)
25	TUBO – descarga
26	ADAPTADOR – (# 20, ORS)
27	ANEL (id 1-3/16)
28	TUBO – descarga
29	TUBO – linha de líquido para o lado do meio-fio

Figura 30: Vista Explodida – Subsistema, Componentes de Refrigeração do Condensador.

(Manual de Peças LRT-COMFORT – REV1 09_10)

C. Subsistema: Estrutural do Condensador & Ventiladores.

Este subsistema, mostrado na Figura 31 compreende os elementos de estrutura e acabamento do condensador, cuja localização é na parte superior do ônibus. Os itens contidos são os eletroventiladores do condensador, painéis de acabamento, grades, tampas e articulações para abertura e fechamento das mesmas.



Nº	ITEM
1	BARRA – suporte, tampa
2	ANEL
3	ABRAÇADEIRA
4	PARAFURO – abraçadeira
5	ARRUELA LISA
6	PORCA – sextavada
7	PORCA – trava
8	SUPORTE – barra de suporte
9	SUPORTE – suporte, cobertura
9	INSERTO (1/4"-20)
9	PARAFUSO – suporte
9	ARRUELA DE PRESSÃO

9	ARRUELA LISA
9	INSERTO (1/4"-20)
10	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
11	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
12	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
13	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
14	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
15	CARENAGEM
16	PAINEL – ventiladores centrais do condensador
16	PARAFUSO – painel (1/4"-20 x 1,6 no comprimento)
16	PARAFUSO - painel (1/4"-20 x 7/8 no comprimento)
16	ARRUELA DE PRESSÃO
16	ARRUELA LISA
17	VENTILADOR – condensador (24 VDC)
18	PROTETOR – ventilador
19	PARAFUSO – protetor & ventilador
19	ARRUELA DE PRESSÃO
19	ARRUELA LISA
19	PARAFUSO
20	SUPORTE – guia, cobertura
21	ARTICULAÇÃO – cobertura, lado do motorista
22	ARTICULAÇÃO – cobertura, lado do meio-fio
22	PARAFUSO – articulação do painel
22	ARRUELA LISA
22	PORCA
23	ARTICULAÇÃO – cobertura, lado do motorista
24	ARTICULAÇÃO – cobertura, lado do meio-fio
24	PARAFUSO – articulação
24	ARRUELA DE PRESSÃO – int th
24	PORCA
25	AMPA – COND CS // TAMPA - COND. RS
26	PARAFUSO – tampa
27	ARRUELA DE PRESSÃO
28	ARRUELA – spl (id 0,266)
29	ARRUELA - nylon

Figura 31: Vista Explodida – Subsistema, Estrutural do Condensador & Ventiladores.

(Manual de Peças LRT-COMFORT – REV1 09_10)

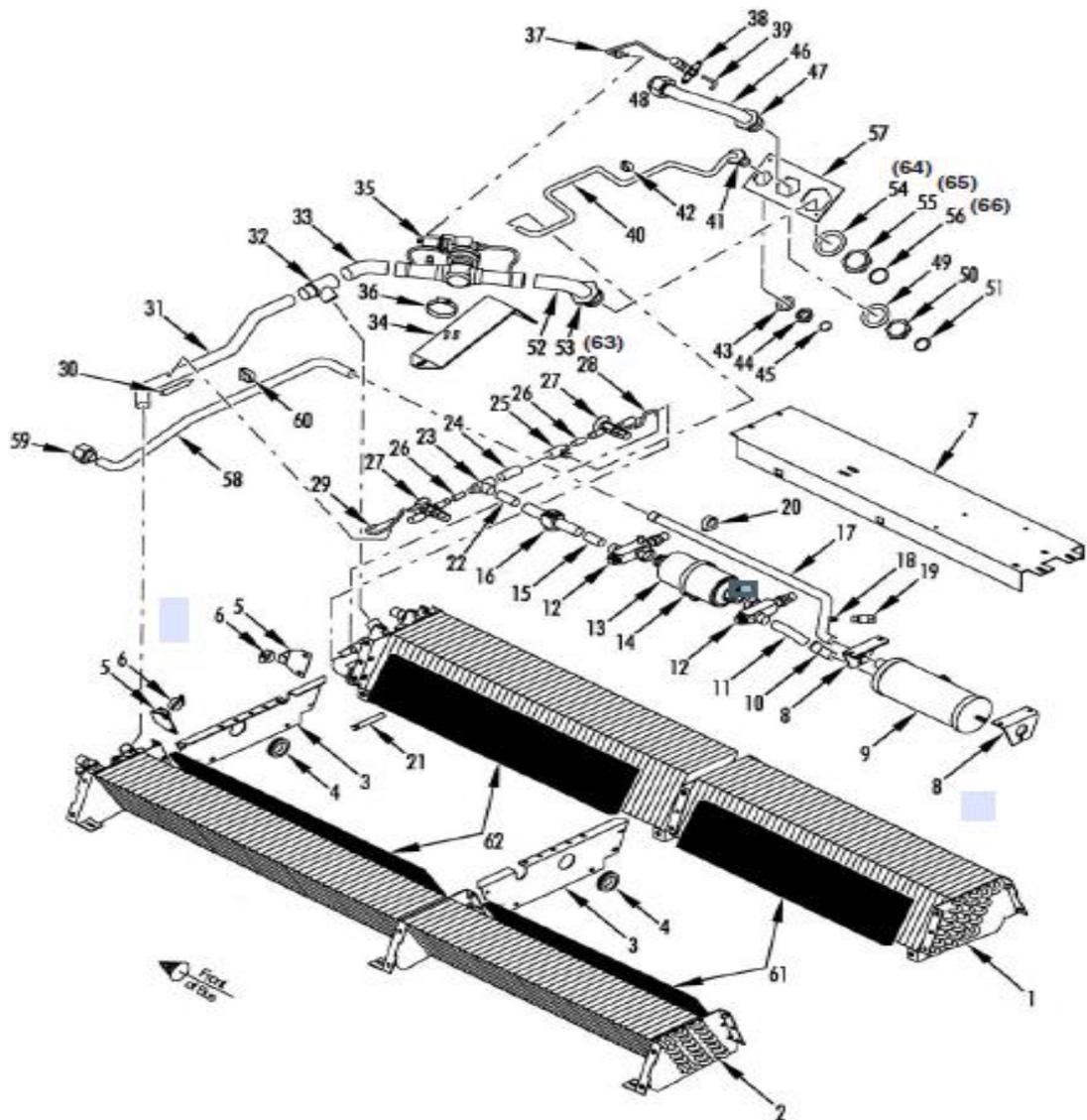
4.1.3-Evaporador

Este grupamento de itens compreende o evaporador e seus agregados que formam um conjunto é responsável pela queda de temperatura e, que trabalhando juntamente com a válvula de expansão, reduz a temperatura do sistema. Ele refrigera e desumidifica o fluxo de ar que é insuflado ao compartimento de passageiros. A Figura 32 mostra todos os componentes do Evaporador.

O grupo foi dividido em dois subsistemas: um de componentes de refrigeração do evaporador, que compreende a serpentina do evaporador, válvula de expansão, tubo de conexão, luvas entre outros; e outro subsistema, que se refere ao estrutural do evaporador, que contempla as tampas responsáveis pela vedação do ar gelado na câmara de distribuição para o ambiente interno do ônibus por meio dos eletroventiladores do evaporador.

A. Subsistema: Componentes de Refrigeração do Evaporador

Esse subsistema consiste na parte do ciclo responsável pela troca de calor, cuja função é transferir o calor do ambiente refrigerado para o fluido refrigerante, que está circulando. Assim, o fluido refrigerante, que está no estado líquido, se transforma em vapor. Enquanto isso, por ter absorvido o calor, o evaporador manterá uma temperatura adequada no gabinete do refrigerador. Os itens contidos neste subsistema são: serpentinas do evaporador, filtro secador, válvula de expansão, os filtros de ar de retorno e diversas tubulações, luvas e conexões.



Nº	ITEM
1	SERPETINA – evaporador, lado do meio-fio
2	SERPETINA – evaporador, lado do motorista
2	SERPENTINA (COMPLETA)
2	ARRUELA DE PRESSÃO
2	ARRUELA – spl (id 0,281)
3	PLACA – evaporador, central
3	PARAFUSO – placa
3	ARRUELA DE PRESSÃO
3	ARRUELA LISA
4	GROMMET (id 1,50")
5	PLACA – suporte, válvula de expansão
5	PARAFUSO – placa

5	ARRUELA DE PRESSÃO
5	ARRUELA LISA 4
6	ABRAÇADEIRA (0,750" de diâmetro) 2
7	PLACA – tubulação de montagem 1
7	PARAFUSO – placa
7	ARRUELA DE PRESSÃO 4
7	ARRUELA LISA
8	SUPORTE – tanque de líquido
8	PARAFUSO – suporte
8	ARRUELA DE PRESSÃO
8	ARRUELA LISA
8	SUPORTE – tanque de líquido
9	TANQUE – de líquido
9	INDICADOR – líquido
9	ANEL (1-1/6" od)
9	PORCA – tanque de líquido
9	ARRUELA LISA 3
10	COTOVELO (7/8" ftg)
11	TUBO – tanque de líquido para válvula de fechamento
12	VÁLVULA – fechamento
12	PARAFUSO – válvula
12	ARRUELA DE PRESSÃO
12	ARRUELA – spl
13	FILTRO SECADOR
14	ABRAÇADEIRA (1,00" de diâmetro)
15	TUBO (1,750" de comprimento)
16	INDICADOR – líquido
17	TUBO – líquido, tanque de líquido
18	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
19	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
20	CHAVE - somente
20	ABRAÇADEIRA – tubo
20	PARAFUSO – grampo
20	ARRUELA LISA
20	PORCA
21	SENSOR – temperatura - 10K - BRANCO
22	TUBO (2,00" de comprimento)
23	T (7/8" x 1/2" x 1/2") 1
24	TUBO (2,125" de comprimento)
25	T (7/8" x 1/2" x 1/2")
26	TUBO (1,20" de comprimento)
27	VÁLVULA – expansão
28	TUBO – equalizador, lado do meio-fio
29	TUBO – lado do motorista
30	SENSOR – temperatura

31	TUBO – sucção
32	T (1 3/8" x 1-1/8" x 1-1/8")
33	TUBO – sucção, redutor
34	SUORTE – válvula
34	PARAFUSO – suporte
34	ARRUELA DE PRESSÃO
34	ARRUELA LISA
35	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
36	GRAMPO – válvula
37	TUBO – equalizador, válvula de fechamento
38	VÁLVULA – fechamento
38	PARAFUSO – válvula de fechamento
38	ARRUELA DE PRESSÃO
38	ARRUELA CHATA
39	TUBO – válvula de fechamento do equalizador
40	TUBO – linha de líquido
41	ADAPTADOR – (# 10)
42	GRAMPO – tubo
42	PARAFUSO – grampo
42	ARRUELA DE PRESSÃO
42	ARRUELA LISA
43	ARRUELA DE PRESSÃO (id 1,02)
44	PORCA – (1-1/4")
45	ANEL (id 9/16")
46	TUBO – descarga
47	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
48	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
49	ARRUELA DE PRESSÃO
50	PORCA - divisória (1-11/16"-12)
51	ANEL (id 1-3/16")
52	TUBO – sucção
53	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
54	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
55	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
56	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
57	PLACA – conexões de saída / entrada de gás
57	REBITE – placa
58	TUBO – linha de líquido
59	PORCA – ressalto
59	LUVA (# 16)
60	ABRAÇADEIRA – tubo
60	PARAFUSO – abraçadeira
60	ARRUELA LISA
60	PORCA
61	FILTRO – ar retorno (30,50" x 6,50" x 1,0")

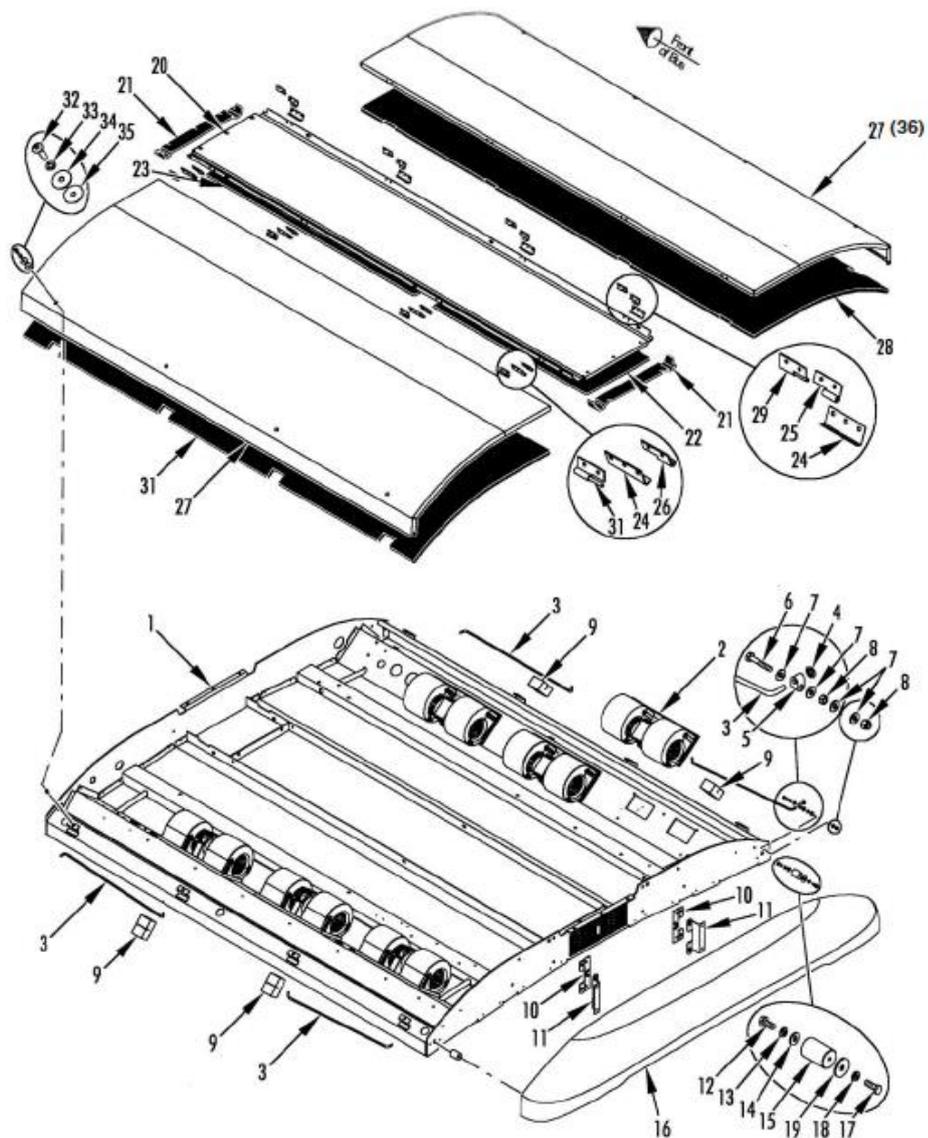
62	FILTRO – ar retorno (37,00" x 6,50" x 1,0")
63	ADAPTADOR - (#16)
64	ARRUELA DE TRAVA
65	PORCA
66	O-RING

Figura 32: Vista Explodida – Subsistema de Componentes de Refrigeração do Evaporador

(Manual de Peças LRT-COMFORT – REV1 09_10)

B. Subsistema: Estrutural do Evaporador & Sopradores.

Este subsistema tem a função de proteção e fixação correta de todos os componentes do evaporador. Os itens contidos neste subgrupo são: tampas do evaporador, sistemas de isolamento, dobradiças e suportes de fixação, observados na Figura 33.



Nº	ITEM
1	CARCAÇA – evaporador
1	INSERTO (1/4"-20)
1	INSERTO (1/4"-20, brs)
1	INSERTO (8/32")
1	INSERTO (10/32")
2	SOPRADOR – evaporador
3	BARRA – suporte, tampas
4	ANEL
5	FIXADOR – barra
6	PARAFUSO – abraçadeira
7	ARRUELA LISA
8	PORCA
9	BLOCO – espuma, barra de suporte
10	SUORTE – suporte, carenagem
10	PARAFUSO – suporte

10	ARRUELA DE PRESSÃO
10	ARRUELA LISA
11	INSERTO
11	SUPORTE – carenagem
11	PARAFUSO – apoio para suporte
11	ARRUELA LISA
11	PARAFUSO
11	ARRUELA LISA
11	ARRUELA – spl (id 0,281)
11	PORCA
12	PARAFUSO – suporte da carenagem
13	ARRUELA DE PRESSÃO
14	ARRUELA LISA
15	ESPAÇADOR – cone
16	CARENAGEM – evaporador
17	PARAFUSO – carenagem
18	ARRUELA DE PRESSÃO
19	ARRUELA – spl (id 0,281)
20	SUPORTE, central
20	PARAFUSO – canal 12
20	ARRUELA DE PRESSÃO
20	ARRUELA LISA
21	FAIXA – isolamento
22	ISOLAMENTO – painel
23	ISOLAMENTO – painel
24	SUPORTE – guia, cobertura
25	ARTICULAÇÃO – cobertura, lado do motorista
26	ARTICULAÇÃO – cobertura, lado do meio-fio
26	ARRUELA CHATA
27	TAMPA – evaporador (lado do motorista)
28	ISOLAMENTO – cobertura
29	DOBRADIÇA – cobertura, lado do meio-fio
29	ARRUELA DE PRESSÃO – dente interno
29	PORCA
30	ISOLAMENTO – cobertura
31	ARTICULAÇÃO – cobertura, lado do motorista
31	ARRUELA – dente interno
31	PORCA
32	PARAFUSO – tampa
33	ARRUELA DE PRESSÃO
34	ARRUELA – spl (id 0,266)
35	ARRUELA – náilon
36	TAMPA, evaporador, (lado do meio fio)

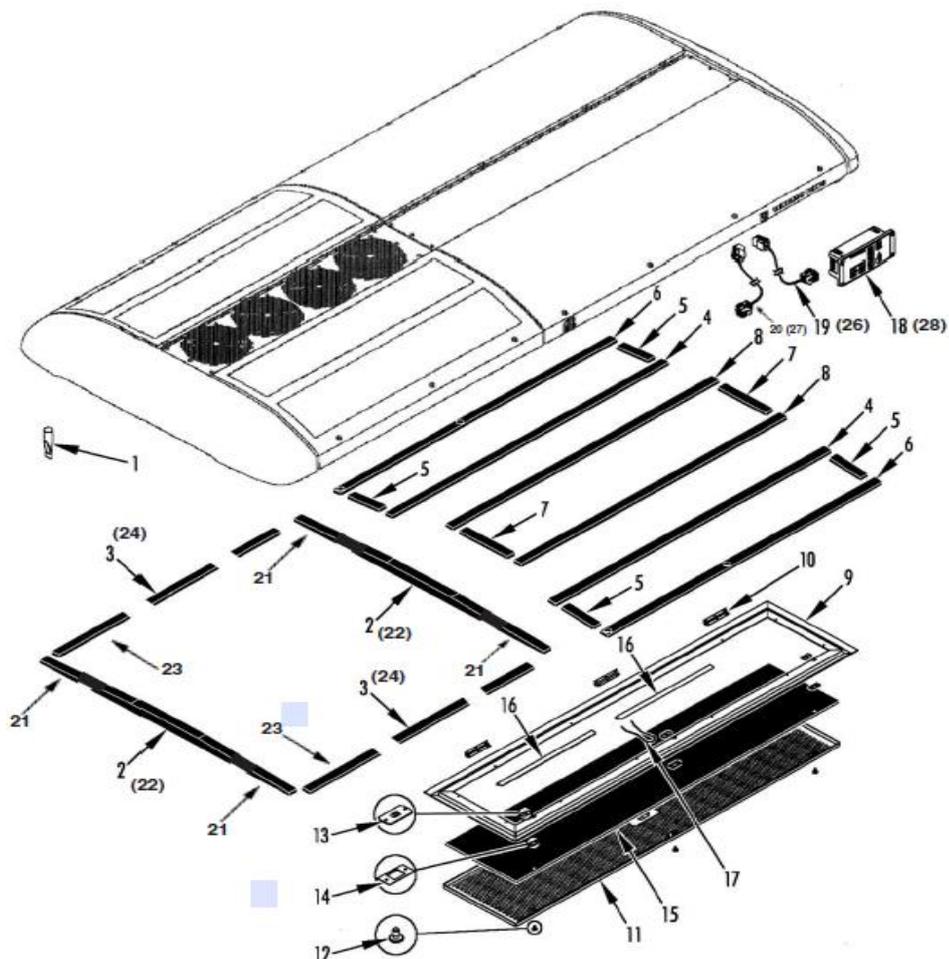
Figura 33: Vista Explodida – Subsistema Estrutural do Evaporador & Sopradores.
(Manual de Peças LRT-COMFORT – REV1 09_10)

4.1.4-Acabamentos e Isolamentos

Este grupo de itens compreende todo o isolamento do sistema do Ar Condicionado, tanto no condensador como no evaporador, visando à melhoria tanto da troca térmica, como para manter a baixa temperatura confinada.

A. Subsistema: Juntas da Unidade, Grade & Filtro.

Subsistema responsável pela união dos componentes de vedação, por manter unidas as partes, que estão sujeitas a diversas intempéries a que o sistema está submetido. Os itens contidos são: manta do condensador, de descarga, tira de vedação, chicote do display do motorista, o display do motorista, o chicote do compressor, manta de isolamento, espuma, tela do filtro, tampa do filtro, e borrachas de vedação, observados na Figura 34.

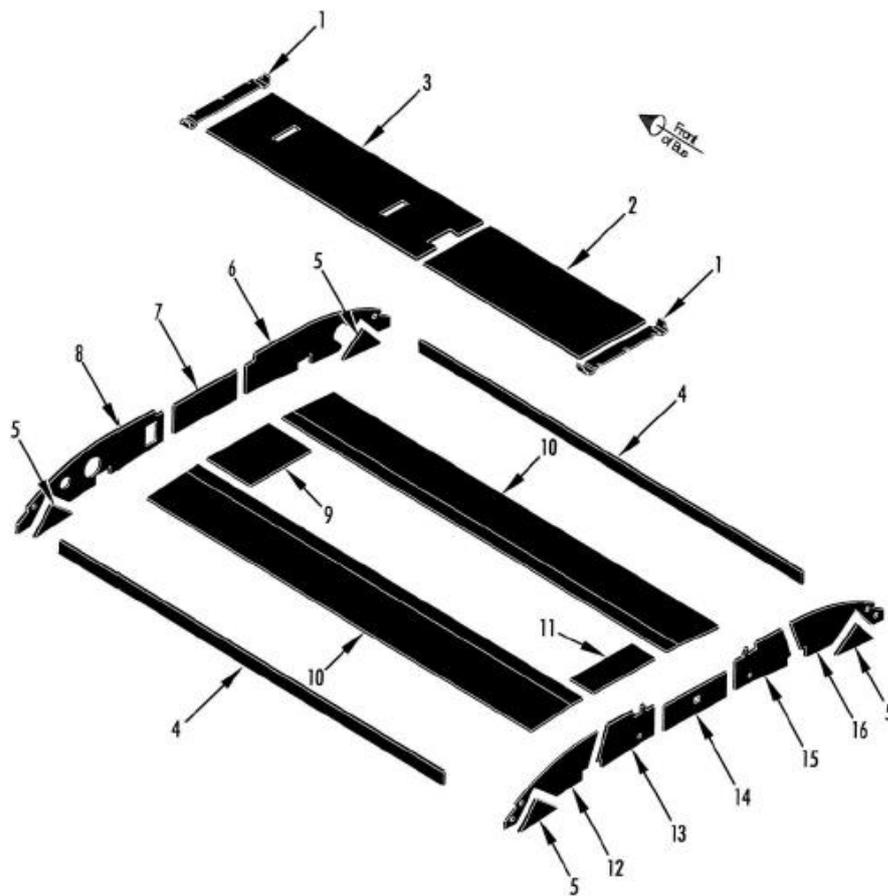


Nº	ITEM
1	ADAPTADOR – dreno
2	MANTA – condensador, central
3	MANTA – condensador, laterais
4	MANTA – descarga, interna
5	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
6	BORRACHA – externa
7	BORRACHA – ar de retorno, central
8	BORRACHA – ar de retorno, lateral
9	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
10	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
11	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
12	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
13	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
14	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
15	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
16	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
17	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
18	PAINEL DO MOTORISTA
19	CHICOTE - painel do motorista (ESP)
20	CHICOTE - compressor (ESP)
21	MANTA DE ISOLAÇÃO
22	VEDAÇÃO FRONTAL
23	TIRA DE VEDAÇÃO - LATERAL
24	TIRA DE VEDAÇÃO - LATERAL
25	TIRA DE VEDAÇÃO - LATERAL
26	CHICOTE - PAINEL MOTORISTA
27	CHICOTE - COMPRESSOR
28	PAINEL MOT. V 1.9 // PAINEL MOT G7

Figura 34: Vista Explodida – Subsistema Juntas da Unidade, Grade & Filtro
(Manual de Peças LRT-COMFORT – REV1 09_10)

B. Subsistema: Componentes de Isolamento.

Este subsistema compreende o isolamento térmico nas partes interessadas, submetido tanto a baixas temperaturas (evaporador) quanto a altas temperaturas (condensador) e, que está diretamente ligado à eficiência térmica do equipamento em seu funcionamento pleno. Os itens são: painéis de isolamento térmico do condensador e do evaporador, conforme a Figura 35.



Nº	ITEM
1	PAINEL – isolamento, central
2	PAINEL – isolamento, dianteiro central
3	PAINEL – isolamento, traseiro central
4	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
5	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
6	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
7	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
8	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
9	PAINEL – isolamento, dianteiro central
10	PAINEL – isolamento, laterais
11	PAINEL – isolamento, traseiro
12	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
13	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
14	PAINEL – isolamento, “damper”
15	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO
16	NÃO UTILIZADO NESTE MODELO

Figura 35: Vista Explodida – Subsistema: Componentes de Isolamento.

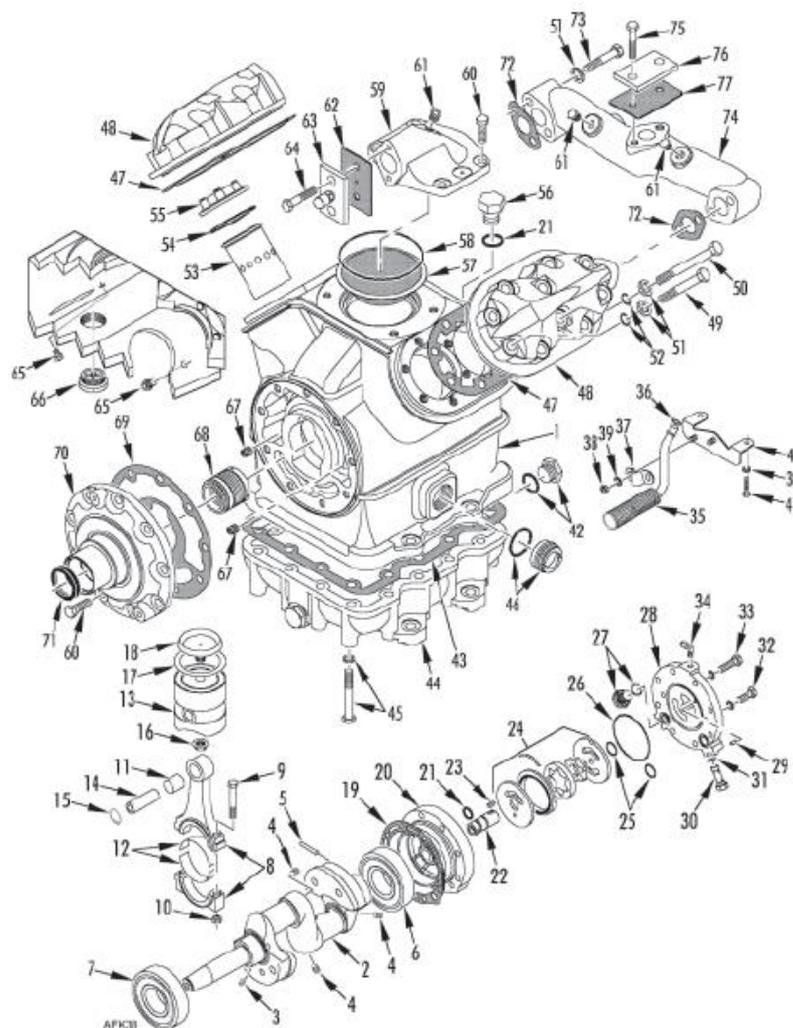
(Manual de Peças LRT-COMFORT – REV1 09_10)

4.1.5-Compressor

Este grupamento é de fundamental importância no ciclo, sendo chamado de coração do ar condicionado, pois tem a funcionalidade de comprimir o fluido refrigerante, sempre no estado físico de vapor, elevando drasticamente a pressão do fluido. Além de ser o componente mais caro de todo o sistema. A vista explodida do compressor pode ser vista na Figura 36.

A. Subsistema: Compressor e seus Componentes

Este subsistema consiste no compressor propriamente dito, com seus componentes internos como pistão, polia da embreagem, embreagem eletromagnética, eixo e seus agregados tais como as correias de acionamento, tanto do alternador como a do motor e os mangotes de alta e baixa pressão.



Nº	ITEM
1	Corpo - Compressor
2	Virabrequim
2	Contrapeso do Rebite
3	medição - Bujão
4	Bujão
5	Pino-Guia
6	Rolamento Esférico
7	Rolamento Esférico
8	Haste de Conexão
9	Parafuso da Haste de Conexão
10	Porca (12 pontos)
11	Bucha - Pino do Pistão
12	Haste de Conexão de Ajuste do Rolamento (padrão)
12	Ajuste do Rolamento (0,005 US)
12	Ajuste do Rolamento (0,010 US)
12	Ajuste do Rolamento (0,020 US)
12	Ajuste do Rolamento (0,030 US)
13	Pistão
14	Pistão do Pino
15	Anel de Retenção
16	Porca
17	Pistão de Lingueta
18	Pistão do Cabeçote
19	Extremidade da Bomba da Junta
20	Bomba do Alojamento
21	Anel
22	Bomba de Óleo do Eixo
23	Eixo da Chave
24	Óleo da Bomba
25	Anel
26	Anel
27	Tampa da Bomba do Óleo do Bujão
27	Anel
28	Tampa - Bomba
29	Pino-Guia
30	Regulador
31	Anel
32	Parafuso - Tampa ao Alojamento
32	Arruela plana
33	Parafuso - Bomba
33	Arruela plana
34	Válvula - Cotovelo (90 graus)
34	Válvula - Em "T"
34	Vedador - Rosca

34	Válvula da Cobertura
35	Tela - Sucção de Óleo
36	Anel
37	Braçadeira - Tela
38	Porca
39	Arruela de Pressão
40	Suporte - Tela
41	Parafuso - Suporte
42	Bujão Magnético
42	Anel
43	Junta - Reservatório de Óleo
44	Tanque Coletor - Óleo
45	Parafuso - Reservatório de Óleo
45	Arruela plana
46	Indicador - Líquido
46	Anel
47	Junta - Cabeçote do Cilindro
48	Cabeçote - Cilindro
49	Parafuso (2 pol. Comp.)
50	Parafuso (2-5/8 pol. Comp.)
51	Arruela - Vedação
52	Anel de Retenção
53	Luva - cilindro
54	Anel
55	Plana - válvula
56	Abastecimento de óleo do Bujão
57	Sucção da Tela
58	Anel
59	Coletor - Sucção
60	Parafuso - Coletor, Placa e Alojamento
60	Arruela plana
61	Bujão - Coletor
62	Junta - Placa de sucção (Somente armazenamento)
63	Placa - Sucção
64	Parafuso - Placa
65	Válvula - Retenção
66	Válvula - Verificação (Retorno de óleo)
67	Válvula - Retenção
68	Vedação - Virabrequim (bronze com foles de aço inox)
69	Junta - Extremidade de acionamento
70	Rolamento do alojamento
71	Vedação - Óleo
72	Junta - Coletor
73	Parafuso - Coletor
74	Coletor - Descarga

75	Parafuso
76	Placa descarga
77	Junta - Placa de descarga (somente armazenamento)

Figura 36: Vista Explodida – Subsistema: Compressor e seus Componentes

(Manual Revisão Geral do Compressor x426 e x430 para Ar Condicionado de Ônibus – REV.7, 4/03)

4.2 – Mapeamentos do Modo de Falhas

Para a aplicação da FMEA à linha de Ar Condicionado dos ônibus seria necessário o levantamento do histórico de falhas do equipamento, porém, tal resultado não poderia ser alcançado, pois no histórico de Ordens de Serviço que são preenchidos pelos motoristas, estão registradas falhas genéricas, assim não seria possível a detecção de falhas específicas do equipamento. Alguns exemplos de registros típicos são: "Ar não funciona", "ar gelando pouco", "ar não gela e temperatura variando".

Com a finalidade alcançar o resultado, a partir dos dados prévios do presente trabalho, foi realizado um *Brainstorming* com os especialistas em refrigeração da garagem do Maruí da Auto Viação 1001 a fim de se identificar as principais anomalias nos equipamentos da Linha LRT COMFORT da Thermo King.

Com os dois Líderes de Seção, foram contempladas as seguintes anomalias:

- Parada de funcionamento dos Eletroventiladores;
- Não marcação de temperatura dos Sensores e Pressostatos;
- Alternador sem funcionar;
- Problemas nos Chicotes Elétricos;
- Painel do Motorista danificado;
- Fixação da Serpentina do Condensador rachada;
- Central elétrica com componentes queimados;
- Filtro Secador entupido
- Serpentina congelada ou com excesso de água condensada;
- Quebra ou queda da Tampa de acabamento do Filtro de Ar de Retorno;
- Vedação deficiente ou quebra das tampas do evaporador;
- Mangotes flexíveis arrebentados, furados ou vazamento em suas conexões;

- Perda da viscosidade do Óleo de Lubrificação do Compressor;
- Regulagem de tolerância deficiente da Placa de Embreagem;
- Rolamento da Polia trancado.

Contudo, para alguns elementos, não basta apenas ter conhecimento sobre seu projeto e instalação para inferir automaticamente quais serão seus prováveis modos de falha. É o caso, por exemplo, dos mangotes flexíveis que estão suscetíveis à vibração amortecida do compressor, sendo que este erro pode estar relacionado ao contato do mangote na carroceria do veículo. Da mesma forma, as falhas devidas à manutenção incorreta dos componentes, à primeira vista, também não são fáceis de serem listadas. Para tal, é necessário reunir o máximo de informações possíveis sobre as dificuldades encontradas durante o projeto, instalação, testes e manutenção dos diferentes sistemas anteriores aos que serão reprojatados.

A Tabela 8 apresenta todos os modos de falha analisados pelo corpo de liderança da Auto Viação 1001, os quais foram previstos e evitados ou de fato aconteceram ao longo de um ano de operação dos veículos analisados, bem como a categoria (projeto ou manutenção) ao qual pertencem.

Tabela 8: Modos de Falha do Sistema de Ar Condicionado.

COMPONENTE	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	CATEGORIA
Eletroventiladores	Fazer circular ar pelas serpentinas do evaporador e do condensador efetuando a troca de calor	Parada de funcionamento	Manutenção
Sensores de Temperatura e Pressostatos	Informar a temperatura no computador de bordo	Não marcação da temperatura	Manutenção
Alternador	Alimentar o equipamento com energia elétrica	Ausência de Energia	Manutenção
Chicotes Elétricos	Conduzir energia por todo o equipamento	Pane elétrica dos componentes que estão ligados	Manutenção
Painel do Motorista	Monitoramento da programação da temperatura interna do veículo	Quebrado	Manutenção
		Não liga	
		Números falhando	
		Membrana rasgada	
		Interruptor danificado	
Fixação da Serpentina do Condensador	Realizar a troca de calor do refrigerante para o meio externo	Rachadura na estrutura de fixação	Manutenção
		Quebra do parafuso de fixação	
		Serpentina avariada	
Central Elétrica	Acionamento dos eletroventiladores e da bobina do compressor	Deixar de alimentar um ou mais componentes no qual se destina	Manutenção
Filtro Secador	Eliminar a umidade do sistema	Entupimento do filtro	Manutenção
Serpentina	Trocar calor do refrigerante com o ar interno do salão	Congelamento	Manutenção
		Excesso de água condensada	
Tampas de acabamento do Filtro de Ar de retorno	Fixar mantas filtrantes	Quebra da tampa danificada	Projeto
		Queda da tampa sobre o cliente	
Tampas do Evaporador	Vedar a câmara do evaporador do meio externo	Quebra da tampa danificada	Projeto
		Vedação deficiente	
Mangotes Flexíveis	Transportar gás refrigerante para o sistema	Mangote arrebitado	Projeto
		Mangote furado	
		Vazamento na conexão	
Óleo do Compressor	Lubrificar o compressor	Perda da Viscosidade	Manutenção
Placa de Embreagem	Acoplar a polia do compressor	Regulagem de tolerância deficiente	Manutenção
Polia e seus Componentes	Transmitir torque do motor para o compressor	Rolamento trancado	Projeto

Através dos dados acima mencionados, foram separadas as falhas por perdas de função do equipamento e pelos subsistemas analisados anteriormente, elaborando assim a planilha da FMEA utilizada mostrada na Tabela 9.

Tabela 9: Análise do Modo e Efeito de Falha

 Análise dos Modos e Efeitos de Falha								
Instituição:	Centro Federal de Educação Tecnológica		Equipamento		Sistema de Ar Condicionado Thermo King LRT Comfort			
Empresa:	Auto Viação 1001							
DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CONTROLES ATUAIS	ÍNDICES			SxOxD
					S	O	D	
Componentes Elétricos	Parar o funcionamento dos Eletroventiladores	Escovas gastas	Perda de rendimento do equipamento	Troca do componente em caso de pane				
		Mau contato por falha no relê	Perda de rendimento do equipamento	Troca do componente em caso de pane				
		Hélice frouxa	Perda de rendimento do equipamento	Troca do componente em caso de pane				
		Alta tensão dos alternadores	Perda de rendimento do equipamento	Troca do componente em caso de pane				
	Não Marcação da Temperatura dos Sensores e Pressostatos	Sensor em curto	Ar ligado direto	Troca do componente em caso de pane				
		Chicote do sensor danificado	Sem refrigeração	Troca do componente em caso de pane				
		Sensor aberto	Ar ligado direto	Troca do componente em caso de pane				
	Alternador sem funcionar	Escovas do Alternador Gastas	Equipamento não liga	Troca do componente em vida útil				
		Fusível Queimado	Equipamento não liga	Troca do componente em vida útil				
		Pane elétrica no chicote	Equipamento não liga	Troca do componente em vida útil				
	Problemas com Chicotes Elétricos	Atrito direto com a estrutura	Equipamento não liga	Inspeção Visual Regular				
		Falha na montagem	Equipamento não liga	Inspeção Visual Regular				
		Conectores e bornes frouxos devido à trepidação	Equipamento não liga	Inspeção Regular				
	Painel do Motorista danificado	Falha do Operador	Dificuldade ou impossibilidade de se programar a temperatura ou ligar o equipamento	Troca do componente em caso de pane				
	Componentes Estruturais do Condensador	Fixação da Serpentina do Condensador Rachada	Estrutura avariada	Vazamento do gás refrigerante	Inspeção Visual Regular			
			Trepidação	Vazamento do gás refrigerante	Inspeção Visual Regular			
Acidente			Vazamento do gás refrigerante	Inspeção Visual Regular				

Conjunto Painel de Controle	Central elétrica com componentes queimados	Mau contato no soquete do relê	Ventilação interrompida nas saídas do duto	Limpeza nos terminais				
		Circuito impresso interrompido	Ventilação interrompida nas saídas do duto	Limpeza nos terminais				
Refrigeração do Condensador	Filtro Secador entupido	Umidade excessiva devido a um vácuo mal realizado	Deficiência da capacidade de refrigeração	Troca do componente em caso de pane				
Refrigeração do Evaporador	Serpentina congelada ou com excesso de água condensada	Excesso de impurezas nas aletas das serpentinas	Vazamento de água condensada para o interior do veículo	Lavagem da Serpentina				
Juntas da Unidade, grade & filtro	Quebra ou queda da Tampa de acabamento do Filtro de Ar de Retorno	Má fixação	Queda do componente sobre o cliente	Inspeção Visual Regular				
Estrutural do Evaporador	Vedação deficiente ou quebra das tampas do evaporador	Quebra das trancas da tampa	Entrada de ar externa para dentro do evaporador	Inspeção Visual Regular				
Compressor do Ar Condicionado	Mangotes Flexíveis arrebitados, furados ou vazamento em suas conexões	Alta pressão no condensador	Equipamento não liga	Inspeção Visual Regular				
		Roçamento na carroceria	Equipamento não liga	Inspeção Visual Regular				
		Má instalação do mangote	Equipamento não liga	Inspeção Visual Regular				
	Perda da Viscosidade do Óleo de Lubrificação do Compressor	Desgaste das peças	Perda de rendimento do equipamento	Inspeção Visual Regular				
	Regulagem de tolerância deficiente da Placa de Embreagem	Curto-circuito magnético	Equipamento não liga	Inspeção Visual Regular				
	Rolamento da Polia trancado	Falta de Lubrificação	Perda da correia	Inspeção Visual Regular				

4.3-Aplicação do FMEA com a Equipe

Houve em São Paulo, uma reunião com a Engenharia da Thermo King para exposição do trabalho realizado com um dos componentes da dupla deste projeto. Esta reunião foi de extrema importância, pois houve um melhor relacionamento com o fabricante que expôs que utiliza a FMEA como ferramenta nos testes de desenvolvimento de novos equipamentos, mas que, as vivências práticas dos consumidores poderiam dar uma visualização da aplicação muito mais eficiente do que a mostrada em testes de bancada. Por isso, o mesmo se prontificou a ajudar com informações que fossem necessárias para o desenvolvimento do projeto, porém alguns procedimentos como as cotas de peças são segredos de engenharia não podendo ser fornecidas.

As informações recebidas, ainda assim, foram importantes, também, para verificação se o equipamento havia sofrido alguma modificação significativa, a exemplo da embreagem do

compressor, que para barateamento do equipamento, o fornecedor original foi trocado por uma empresa nacionalizada.

A primeira visita na Auto Viação 1001 ocorreu no dia vinte e três de setembro de dois mil e quinze, quando houve a participação dos professores orientadores Leydervan Xavier e José Antônio Assunção Peixoto e os presentes integrantes do Projeto Final. Esta visita representou um entrelaço inicial com a empresa onde foi apresentado o Gerente Técnico Fabrício Ribeiro Longo que apresentou as missões e objetivos da empresa. Nesta etapa identificamos as possibilidades iniciais de absorção de informações, tanto do banco de dados (RP) da empresa quanto da sensibilidade dos funcionários. Foram apresentadas, na filial Matriz, as seções de manutenção, o estoque de peças e a parte de planejamento e controle da produção, responsável pelo agendamento de revisões preventivas, indicadores de eficiência de manutenção e criação dos controles para análise de fatos e dados.

O objeto de análise, Sistema de Ar Condicionado da linha LRT Comfort da Thermo King, se encontra na frota da filial denominada Maruí, onde predominam os veículos urbanos. Esse equipamento é utilizado em veículos urbanos, onde foi realizada a segunda visita técnica, com a presença dos dois autores do projeto. Um dos alunos, que é funcionário da Auto Viação 1001, foi promovido para assumir a Supervisão de Manutenção da filial mencionada, fato que influenciou de forma ideal para o desenvolvimento das análises.

A segunda visita, desta vez com os dois integrantes do Projeto Final, foi realizada no dia doze de abril de dois mil e quinze em reunião com as Lideranças de Manutenção (Encarregados de Refrigeração), quando foi montada toda a estrutura do FMEA que seria utilizado nas entrevistas, percebendo-se as principais dificuldades e problemas identificados no sistema analisado.

Uma terceira visita, teve que ser realizada em 2 (duas) etapas nos dias vinte e três e vinte e quatro de abril de dois mil e quatorze, para se adaptar o trabalho, em que todos os Técnicos de Refrigeração deveriam participar da seção de entrevistas, ao regime de serviço da oficina, que opera em uma escala 12 x 36,

Após as entrevistas de dez (10) contribuintes, já que da formação de doze (12), dois (dois) estavam de férias no período de abril, foi montada uma análise acumulativa dos dados mencionados sobre a multiplicação dos índices de Severidade, Ocorrência e Detecção de cada funcionário realizando um somatório dos índices multiplicados de cada colaborador para realizar a percepção dos principais pontos de melhoria no Sistema de Ar Condicionado da linha LRT COMFORT da Thermo King como mostrada nas Tabelas 10, 11, 12 e 13. Em seguida, na Tabela 14, foi realizada uma formatação condicional em escalas de cor,

transpondo as falhas mais críticas avaliadas no processo, sendo o vermelho a falha julgada pela ferramenta mais prejudicial e a verde a menos impactante no funcionamento do equipamento.

Tabela 10:FMEA da Primeira Equipe do Turno Diurno.

DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	ÍNDICES			S x O x D	ÍNDICES			S x O x D
			TÉC 1 E.1 DIA				TÉC 2 E.1 DIA			
			S	O	D		S	O	D	
ELETROVENTILADORES	PARADA DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO	ESCOVAS GASTAS	4	9	1	36				0
		MAU CONTATO POR FALHA NO RELÊ								
		HÉLICE FROUXA								
		ALTA TENSÃO DOS ALTERNADORES								
SENSORES DE TEMPERATURA E PRESSOSTATOS	NÃO MARCAÇÃO DA TEMPERATURA	SENSOR EM CURTO	8	4	1	32				0
		CHICOTE DO SENSOR DANIFICADO								
		SENSOR ABERTO								
GERADOR DE ENERGIA (ALTERNADORES)	AUSÊNCIA DE ENERGIA	ESCOVAS GASTAS	8	7	1	56				0
		FUSÍVEL QUEIMADO								
		PANE ELÉTRICA NO CHICOTE								
CHICOTES ELÉTRICOS	CONDUÇÃO DE ENERGIA	ATRITO DIRETO COM A ESTRUTURA	8	9	5	360				0
		FALHA DE MONTAGEM								
		CONECTORES E BORNES FROUXOS								
PAINEL DO MOTORISTA	MONITORAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA TEMPERATURA	QUEBRADO	2	6	1	12				0
		NÃO LIGA								
		NÚMEROS FALHANDO								
		MEMBRANA RASGADA								
		INTERRUPTOR DANIFICADO								
DISPLAY APAGADO										
FIXAÇÃO DA SERPENTINA DO CONDENSADOR	REALIZAR A TROCA DE CALOR DO REFRIGERANTE PARA O MEIO EXTERNO	RACHADURA NA ESTRUTURA DE FIXAÇÃO	8	9	3	216				0
		QUEBRA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO								
		SERPENTINA AVARIADA								
CENTRAL ELÉTRICA	ACIONAMENTO DOS ELETROVENTILADORES E A BOBINA DO COMPRESSOR	DEIXAR DE ALIMENTAR OS COMPONENTES	8	6	1	48				0
FILTRO SECADOR	ELIMINAR A UMIDADE DO SISTEMA	ENTUPIMENTO DO FILTRO	5	9	1	45				0
SERPENTINA	TROCA DE CALOR DO REFRIGERANTE COM O AR INTERNO DO SALÃO	CONGELAMENTO	5	6	1	30				0
		EXCESSO DE ÁGUA CONDENSADA								
TAMPAS DE ACABAMENTO DO FILTRO DE RETORNO	FIXAR MANTAS FILTRANTES	QUEBRA DA TAMPA	5	4	1	20				0
		QUEDA DA TAMPA SOBRE O CLIENTE								
TAMPAS DO EVAPORADOR	VEDAÇÃO DA CÂMARA DO MEIO EXTERNO	QUEBRA DA TAMPA	5	4	1	20				0
		VEDAÇÃO DEFICIENTE								
MANGOTES FLEXÍVEIS	TRANSPORTE DO GÁS	MANGOTE ARREBENTADO	8	9	8	576				0

	REFRIGERANTE PARA O SISTEMA	MANGOTE FURADO							
		VAZAMENTO DAS CONEXÕES							
ÓLEO DO COMPRESSOR	LUBRIFICAÇÃO DO COMPRESSOR	PERDA DA VISCOSIDADE	4	6	3	72			0
PLACA DE EMBREAGEM	ACOPLAMENTO ELETROMAGNÉTICO DA POLIA	REGULAGEM DE TOLERÂNCIA DEFICIENTE	8	6	1	48			0
POLIA E SEUS COMPONENTES	TRANSMISSÃO DO TORQUE DO MOTOR PARA O COMPRESSOR	ROLAMENTO TRANCADO	8	8	1	64			0
		POLIA EMPENADA							

Tabela 11:FMEA da Primeira Equipe do Turno Noturno.

DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	ÍNDICES			S x O x D	ÍNDICES			S x O x D	ÍNDICES			S x O x D	ÍNDICES			S x O x D
			LÍD E.1 NOITE				TÉC 1 E.1 NOITE				TÉC 2 E.1 NOITE				TÉC 3 E.1 NOITE			
			S	O	D		S	O	D		S	O	D		S	O	D	
ELETROVENTILADORES	PARADA DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO	ESCOVAS GASTAS	5	9	1	45	5	9	5	225	3	8	2	48				0
		MAU CONTATO POR FALHA NO RELÊ																
		HÉLICE FROUXA																
		ALTA TENSÃO DOS ALTERNADORES																
SENSORES DE TEMPERATURA E PRESSOSTATOS	NÃO MARCAÇÃO DA TEMPERATURA	SENSOR EM CURTO	7	8	1	56	7	7	5	245	8	6	1	48				0
		CHICOTE DO SENSOR DANIFICADO																
		SENSOR ABERTO																
GERADOR DE ENERGIA (ALTERNADORES)	AUSÊNCIA DE ENERGIA	ESCOVAS GASTAS	8	7	1	56	8	8	2	128	7	7	4	196				0
		FUSÍVEL QUEIMADO																
		PANÊ ELÉTRICA NO CHICOTE																
CHICOTES ELÉTRICOS	CONDUÇÃO DE ENERGIA	ATRITO DIRETO COM A ESTRUTURA	8	7	1	56	8	8	5	320	8	6	4	192				0
		FALHA DE MONTAGEM																
		CONECTORES E BORNES FROUXOS																
PAINEL DO MOTORISTA	MONITORAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA TEMPERATURA	QUEBRADO	8	7	1	56	1	7	3	21	7	7	4	196				0
		NÃO LIGA																
		NÚMEROS FALHANDO																
		MEMBRANA RASGADA																
		INTERRUPTOR DANIFICADO																
FIXAÇÃO DA SERPENTINA DO CONDENSADOR	REALIZAR A TROCA DE CALOR DO REFRIGERANTE PARA O MEIO EXTERNO	RACHADURA NA ESTRUTURA DE FIXAÇÃO	8	4	1	32	3	8	4	96	8	5	2	80				0
		QUEBRA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO																
		SERPENTINA AVARIADA																
CENTRAL ELÉTRICA	ACIONAMENTO DOS ELETROVENTILADORES E A BOBINA DO COMPRESSOR	DEIXAR DE ALIMENTAR OS COMPONENTES	5	4	1	20	7	7	5	245	7	6	6	252				0
FILTRO SECADOR	ELIMINAR A UMIDADE DO SISTEMA	ENTUPIIMENTO DO FILTRO	8	7	1	56	3	5	7	105	6	6	5	180				0

SERPENTINA	TROCA DE CALOR DO REFRIGERANTE COM O AR INTERNO DO SALÃO	CONGELAMENTO	10	7	1	70	6	9	2	108	8	6	2	96				0
		EXCESSO DE ÁGUA CONDENSADA																
TAMPAS DE ACABAMENTO DO FILTRO DE RETORNO	FIXAR MANTAS FILTRANTES	QUEBRA DA TAMPA	10	7	1	70	2	10	1	20	8	7	3	168				0
		QUEDA DA TAMPA SOBRE O CLIENTE																
TAMPAS DO EVAPORADOR	VEDAÇÃO DA CÂMARA DO MEIO EXTERNO	QUEBRA DA TAMPA	5	4	6	120	1	7	2	14	8	6	2	96				0
		VEDAÇÃO DEFICIENTE																
MANGOTES FLEXÍVEIS	TRANSPORTE DO GÁS REFRIGERANTE PARA O SISTEMA	MANGOTE ARREBENTADO	8	9	4	288	5	8	2	80	8	7	8	448				0
		MANGOTE FURADO																
		VAZAMENTO DAS CONEXÕES																
ÓLEO DO COMPRESSOR	LUBRIFICAÇÃO DO COMPRESSOR	PERDA DA VISCOSIDADE	9	2	1	18	1	2	8	16	7	7	2	98				0
PLACA DE EMBREAGEM	ACOPLAMENTO ELETROMAGNÉTICO DA POLIA	REGULAGEM DE TOLERÂNCIA DEFICIENTE	9	9	1	81	5	5	1	25	8	6	6	288				0
POLIA E SEUS COMPONENTES	TRANSMISSÃO DO TORQUE DO MOTOR PARA O COMPRESSOR	ROLAMENTO TRANCADO	9	9	4	324	7	6	1	42	8	9	1	72				0
		POLIA EMPENADA																

Tabela 12:FMEA da Segunda Equipe do Turno Diurno.

DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	ÍNDICES			S x O x D	ÍNDICES			S x O x D
			TÉC 1 E.2 DIA				TÉC 2 E.2 DIA			
			S	O	D		S	O	D	
ELETROVENTILADORES	PARADA DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO	ESCOVAS GASTAS	7	7	3	147	8	8	3	192
		MAU CONTATO POR FALHA NO RELÊ								
		HÉLICE FROUXA								
		ALTA TENSÃO DOS ALTERNADORES								
SENSORES DE TEMPERATURA E PRESSOSTATOS	NÃO MARCAÇÃO DA TEMPERATURA	SENSOR EM CURTO	8	4	3	96	7	6	2	84
		CHICOTE DO SENSOR DANIFICADO								
		SENSOR ABERTO								
GERADOR DE ENERGIA (ALTERNADORES)	AUSÊNCIA DE ENERGIA	ESCOVAS GASTAS	8	4	1	32	8	7	2	112
		FUSÍVEL QUEIMADO								
		PANE ELÉTRICA NO CHICOTE								
CHICOTES ELÉTRICOS	CONDUÇÃO DE ENERGIA	ATRITO DIRETO COM A ESTRUTURA	10	6	1	60	6	6	2	72
		FALHA DE MONTAGEM								
		CONNECTORES E BORNES FROUXOS								
PAINEL DO MOTORISTA	MONITORAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA TEMPERATURA	QUEBRADO	8	4	1	32	5	6	2	60
		NÃO LIGA								
		NÚMEROS FALHANDO								
		MEMBRANA RASGADA								
		INTERRUPTOR DANIFICADO								
		DISPLAY APAGADO								
FIXAÇÃO DA SERPENTINA DO CONDENSADOR	REALIZAR A TROCA DE CALOR DO REFRIGERANTE PARA O MEIO EXTERNO	RACHADURA NA ESTRUTURA DE FIXAÇÃO	10	4	1	40	7	6	2	84
		QUEBRA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO								

		SERPENTINA AVARIADA								
CENTRAL ELÉTRICA	ACIONAMENTO DOS ELETROVENTILADORES E A BOBINA DO COMPRESSOR	DEIXAR DE ALIMENTAR OS COMPONENTES	8	5	2	80	6	6	3	108
FILTRO SECADOR	ELIMINAR A UMIDADE DO SISTEMA	ENTUPIMENTO DO FILTRO	7	5	3	105	7	6	3	126
SERPENTINA	TROCA DE CALOR DO REFRIGERANTE COM O AR INTERNO DO SALÃO	CONGELAMENTO	8	7	1	56	8	8	1	64
		EXCESSO DE ÁGUA CONDENSADA								
TAMPAS DE ACABAMENTO DO FILTRO DE RETORNO	FIXAR MANTAS FILTRANTES	QUEBRA DA TAMPA	5	6	1	30	9	6	2	108
		QUEDA DA TAMPA SOBRE O CLIENTE								
TAMPAS DO EVAPORADOR	VEDAÇÃO DA CÂMARA DO MEIO EXTERNO	QUEBRA DA TAMPA	4	5	2	40	8	6	2	96
		VEDAÇÃO DEFICIENTE								
MANGOTES FLEXÍVEIS	TRANSPORTE DO GÁS REFRIGERANTE PARA O SISTEMA	MANGOTE ARREBENTADO	8	6	1	48	7	7	2	98
		MANGOTE FURADO								
		VAZAMENTO DAS CONEXÕES								
ÓLEO DO COMPRESSOR	LUBRIFICAÇÃO DO COMPRESSOR	PERDA DA VISCOSIDADE	4	3	2	24	6	6	2	72
PLACA DE EMBREAGEM	ACOPLAMENTO ELETROMAGNÉTICO DA POLIA	REGULAGEM DE TOLERÂNCIA DEFICIENTE	7	4	1	28	7	7	2	98
POLIA E SEUS COMPONENTES	TRANSMISSÃO DO TORQUE DO MOTOR PARA O COMPRESSOR	ROLAMENTO TRANCADO	9	9	4	324	9	6	2	108
		POLIA EMPENADA								

Tabela 13:FMEA da Segunda Equipe do Turno Noturno.

DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	ÍNDICE S				SxOxD	ÍNDICES				SxOxD	ÍNDICES				SxOxD				
			LÍD E.2 NOITE					TÉC 1 E.2 NOITE					TÉC 2 E.2 NOITE					TÉC 3 E.2 NOITE			
			S	O	D			S	O	D			S	O	D			S	O	D	
ELETROVENTILADORES	PARADA DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO	ESCOVAS GASTAS	5	6	2	60	5	9	2	90	6	6	1	36	4	7	2	56			
		MAU CONTATO POR FALHA NO RELÊ																			
		HÉLICE FROUXA																			
		ALTA TENSÃO DOS ALTERNADORES																			
SENSORES DE TEMPERATURA E PRESSOSTATOS	NÃO MARCAÇÃO DA TEMPERATURA	SENSOR EM CURTO	7	4	5	140	8	7	6	336	8	5	1	40	7	3	4	84			
		CHICOTE DO SENSOR DANIFICADO																			
		SENSOR ABERTO																			
GERADOR DE ENERGIA (ALTERNADORES)	AUSÊNCIA DE ENERGIA	ESCOVAS GASTAS	8	5	5	200	8	8	4	256	8	8	1	64	10	5	5	250			
		FUSÍVEL QUEIMADO																			
		PANE ELÉTRICA NO CHICOTE																			
CHICOTES ELÉTRICOS	CONDUÇÃO DE ENERGIA	ATRITO DIRETO COM A ESTRUTURA	9	5	5	225	8	9	4	288	7	5	2	70	8	5	7	280			
		FALHA DE MONTAGEM																			
		CONECTORES E BORNES FROUXOS																			
PAINEL DO MOTORISTA	MONITORAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA TEMPERATURA	QUEBRADO	1	4	2	8	7	8	4	224	8	5	1	40	6	6	3	108			
		NÃO LIGA																			
		NÚMEROS FALHANDO																			
		MEMBRANA RASGADA																			
		INTERRUPTOR DANIFICADO																			

		DISPLAY APAGADO																		
FIXAÇÃO DA SERPENTINA DO CONDENSADOR	REALIZAR A TROCA DE CALOR DO REFRIGERANTE PARA O MEIO EXTERNO	RACHADURA NA ESTRUTURA DE FIXAÇÃO																		
		QUEBRA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO	2	4	5	40	5	7	3	10	5	7	3	1	21	8	3	3	72	
		SERPENTINA AVARIADA																		
CENTRAL ELÉTRICA	ACIONAMENTO DOS ELETROVENTILADORES E A BOBINA DO COMPRESSOR	DEIXAR DE ALIMENTAR OS COMPONENTES	4	4	4	64	8	7	6	33	6	7	6	1	42	6	5	7	210	
FILTRO SECADOR	ELIMINAR A UMIDADE DO SISTEMA	ENTUPIIMENTO DO FILTRO	6	2	4	48	2	5	6	60	5	3	2	30	1	2	8	16		
SERPENTINA	TROCA DE CALOR DO REFRIGERANTE COM O AR INTERNO DO SALÃO	CONGELAMENTO																		
		EXCESSO DE ÁGUA CONDENSADA	8	5	2	80	4	8	1	32	8	8	1	64	7	5	3	105		
TAMPAS DE ACABAMENTO DO FILTRO DE RETORNO	FIXAR MANTAS FILTRANTES	QUEBRA DA TAMPA																		
		QUEDA DA TAMPA SOBRE O CLIENTE	9	4	6	216	2	9	1	18	10	9	1	90	7	7	1	49		
TAMPAS DO EVAPORADOR	VEDAÇÃO DA CÂMARA DO MEIO EXTERNO	QUEBRA DA TAMPA																		
		VEDAÇÃO DEFICIENTE	4	3	2	24	1	6	3	18	6	5	1	30	6	3	2	36		
MANGOTES FLEXÍVEIS	TRANSPORTE DO GÁS REFRIGERANTE PARA O SISTEMA	MANGOTE ARREBENTADO																		
		MANGOTE FURADO	8	5	3	120	8	8	1	64	8	8	1	64	5	6	4	120		
		VAZAMENTO DAS CONEXÕES																		
ÓLEO DO COMPRESSOR	LUBRIFICAÇÃO DO COMPRESSOR	PERDA DA VISCOSIDADE	1	4	1	4	1	7	5	35	9	6	3	162	1	2	5	10		
PLACA DE EMBREAGEM	ACOPLAMENTO ELETROMAGNÉTICO DA POLIA	REGULAGEM DE TOLERÂNCIA DEFICIENTE	8	4	3	96	7	8	1	56	8	9	1	72	8	4	3	96		
POLIA E SEUS COMPONENTES	TRANSMISSÃO DO TORQUE DO MOTOR PARA O COMPRESSOR	ROLAMENTO TRANCADO	8	9	3	216	7	9	2	126	8	9	4	288	9	6	1	54		
		POLIA EMPENADA																		

Tabela 14: Resultado Acumulado do FMEA – Somatório dos Índices de cada Colaborador.

DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	RESULTADO TOTAL
ELETROVENTILADORES	PARADA DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO	ESCOVAS GASTAS	935
		MAU CONTATO POR FALHA NO RELÊ	
		HÉLICE FROUXA	
		ALTA TENSÃO DOS ALTERNADORES	
SENSORES DE TEMPERATURA E PRESSOSTATOS	NÃO MARCAÇÃO DA TEMPERATURA	SENSOR EM CURTO	1161
		CHICOTE DO SENSOR DANIFICADO	
		SENSOR ABERTO	
GERADOR DE ENERGIA (ALTERNADORES)	AUSÊNCIA DE ENERGIA	ESCOVAS GASTAS	1350
		FUSÍVEL QUEIMADO	
		PANE ELÉTRICA NO CHICOTE	
CHICOTES ELÉTRICOS	CONDUÇÃO DE ENERGIA	ATRITO DIRETO COM A ESTRUTURA	1923

		FALHA DE MONTAGEM	
		CONECTORES E BORNES FROUXOS	
PAINEL DO MOTORISTA	MONITORAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA TEMPERATURA	QUEBRADO	757
		NÃO LIGA	
		NÚMEROS FALHANDO	
		MEMBRANA RASGADA	
		INTERRUPTOR DANIFICADO	
		DISPLAY APAGADO	
FIXAÇÃO DA SERPENTINA DO CONDENSADOR	REALIZAR A TROCA DE CALOR DO REFRIGERANTE PARA O MEIO EXTERNO	RACHADURA NA ESTRUTURA DE FIXAÇÃO	786
		QUEBRA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO	
		SERPENTINA AVARIADA	
CENTRAL ELÉTRICA	ACIONAMENTO DOS ELETROVENTILADORES E A BOBINA DO COMPRESSOR	DEIXAR DE ALIMENTAR OS COMPONENTES	1405
FILTRO SECADOR	ELIMINAR A UMIDADE DO SISTEMA	ENTUPIMENTO DO FILTRO	771
SERPENTINA	TROCA DE CALOR DO REFRIGERANTE COM O AR INTERNO DO SALÃO	CONGELAMENTO	705
		EXCESSO DE ÁGUA CONDENSADA	
TAMPAS DE ACABAMENTO DO FILTRO DE RETORNO	FIXAR MANTAS FILTRANTES	QUEBRA DA TAMPA	789
		QUEDA DA TAMPA SOBRE O CLIENTE	
TAMPAS DO EVAPORADOR	VEDAÇÃO DA CÂMARA DO MEIO EXTERNO	QUEBRA DA TAMPA	494
		VEDAÇÃO DEFICIENTE	
MANGOTES FLEXÍVEIS	TRANSPORTE DO GÁS REFRIGERANTE PARA O SISTEMA	MANGOTE ARREBENTADO	1906
		MANGOTE FURADO	
		VAZAMENTO DAS CONEXÕES	
ÓLEO DO COMPRESSOR	LUBRIFICAÇÃO DO COMPRESSOR	PERDA DA VISCOSIDADE	511
PLACA DE EMBREAGEM	ACOPLAMENTO ELETROMAGNÉTICO DA POLIA	REGULAGEM DE TOLERÂNCIA DEFICIENTE	888
POLIA E SEUS COMPONENTES	TRANSMISSÃO DO TORQUE DO MOTOR PARA O COMPRESSOR	ROLAMENTO TRANCADO	1618
		POLIA EMPENADA	

Como resultado da análise conclui-se que duas falhas são graves, cinco moderadas e oito leves. As duas falhas pertencem a subconjuntos diferentes (Componentes Elétricos e o Compressor do Ar Condicionado), não possuindo a mesma causa raiz das falhas críticas.

Sendo assim uma nova visita foi necessária com a finalidade de informar e discutir os resultados obtidos através da FMEA com a equipe entrevistada. No retorno, no dia treze de maio de dois mil e quinze, foi desmontada, em conjunto com os técnicos e líderes, partes do equipamento do veículo com número de ordem 108.243, como amostra, a fim de identificar as possíveis causas do modo de falha crítico. Foram fotografadas partes do equipamento e realizadas medições de alguns componentes dos subsistemas críticos para posterior comparação com dados fornecidos pela Thermo King, com a finalidade de verificar se o equipamento havia sofrido algum tipo de modificação.

4.4-Resultados do FMEA

A Tabela 14 apresenta o FMEA completo do Sistema de Ar Condicionado LRT COMFORT da Thermo King, caracterizando-se como a síntese do que foi discutido no capítulo anterior.

Observando o descrito no capítulo anterior, especialmente a Tabela 14, percebeu que os componentes mais preocupantes para o ar condicionado são por ordem decrescente de índice de prioridade de risco descritas na tabela a seguir:

Tabela 15:Itens priorizados através do FMEA.

COMPONENTE	FUNÇÃO	CATEGORIA	GRAU
Chicotes Elétricos	Conduzir energia por todo o equipamento	Manutenção	1923
Mangotes Flexíveis	Transportar gás refrigerante para o sistema	Projeto	1906
Polia e seus Componentes	Transmitir torque do motor para o compressor	Projeto	1618
Central Elétrica	Acionamento dos eletroventiladores e da bobina do compressor	Manutenção	1405
Alternador	Alimentar o equipamento com energia elétrica	Manutenção	1350
Sensores de Temperatura e Pressostatos	Informar a temperatura no computador de bordo	Manutenção	1161
Eletroventiladores	Fazer circular ar pelas serpentinas do evaporador e do condensador efetuando a troca de calor	Manutenção	935

4.5-Implantação do Diagrama de RCM

Na sequência da teoria, é chegada a hora da implantação do diagrama lógico do RCM. Tal diagrama é utilizado para acompanhamento dos seguintes pontos:

- Identificar os componentes no sistema/equipamento que são críticos em termos de missão e/ou segurança;
- Fornecer um processo lógico de análise para determinar a praticabilidade e a qualidade desejável das tarefas de manutenção programada a serem definidas;
- Fornecer apoio para justificar as tarefas de manutenção programada.

Diante destes pontos, foi criado o Diagrama RCM do Ar Condicionado para Ônibus conforme descrito na Figura 37:

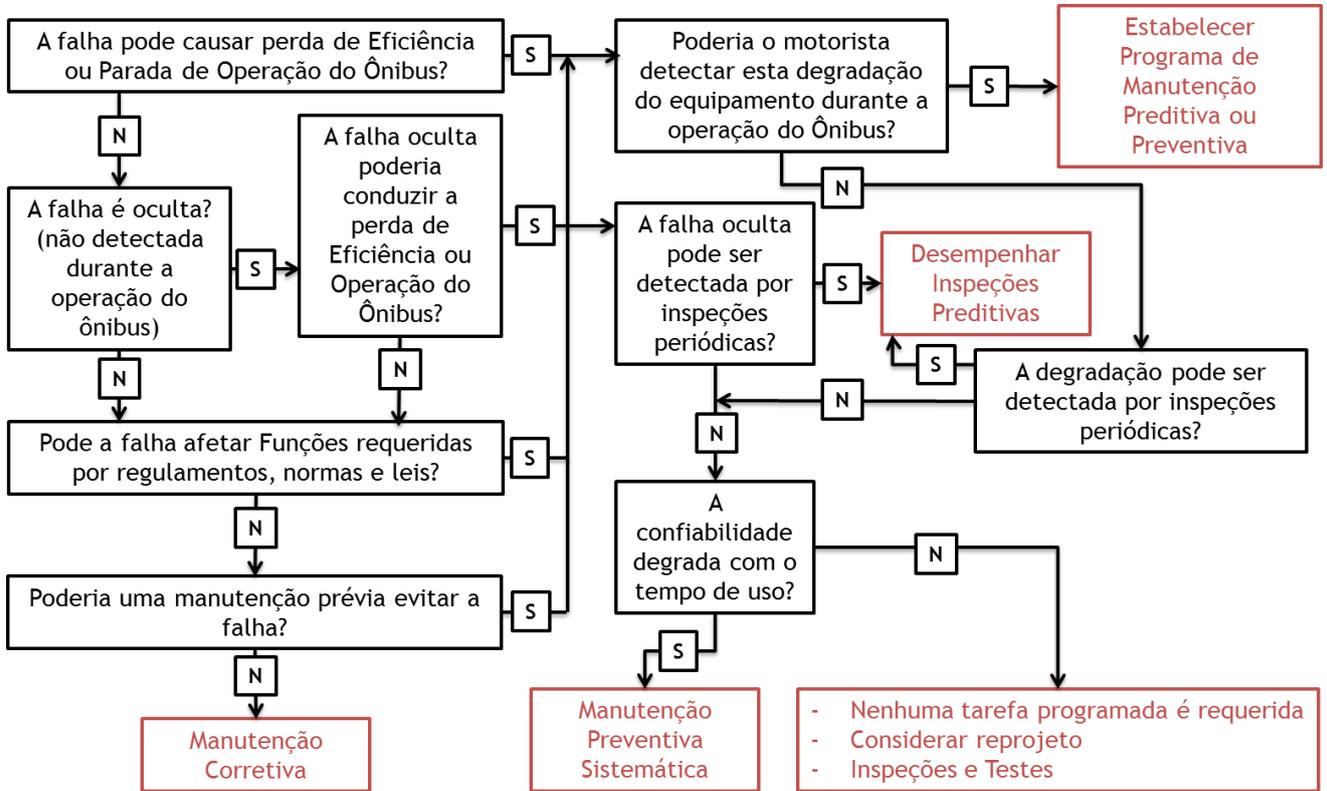


Figura 37: Diagrama Genérico de RCM para o Ar Condicionado do Ônibus

A partir desta demanda o grupo realizou um Diagrama de RCM para cada item priorizado através da ferramenta do FMEA, visando assim à identificação dos processos críticos, fornecendo um processo lógico a justificativas para as tarefas de manutenção que serão sugeridas durante o decorrer deste documento.

4.5.1-Chicotes Elétricos

Foi realizado o diagrama para as falhas dos Chicotes Elétricos que correspondem ao atrito direto com a estrutura, falha na montagem ou conectores e bornes frouxos. O diagrama de RCM, ilustrado na Figura 38, nos submeteu a Manutenção Preventiva Sistemática, mas que porém quando o presente grupo se introduziu no problema, identificou algumas falhas na

concepção e montagem dos elementos nos quais serão mencionados na resolução do Caso1, ilustrado mais a frente do presente texto.

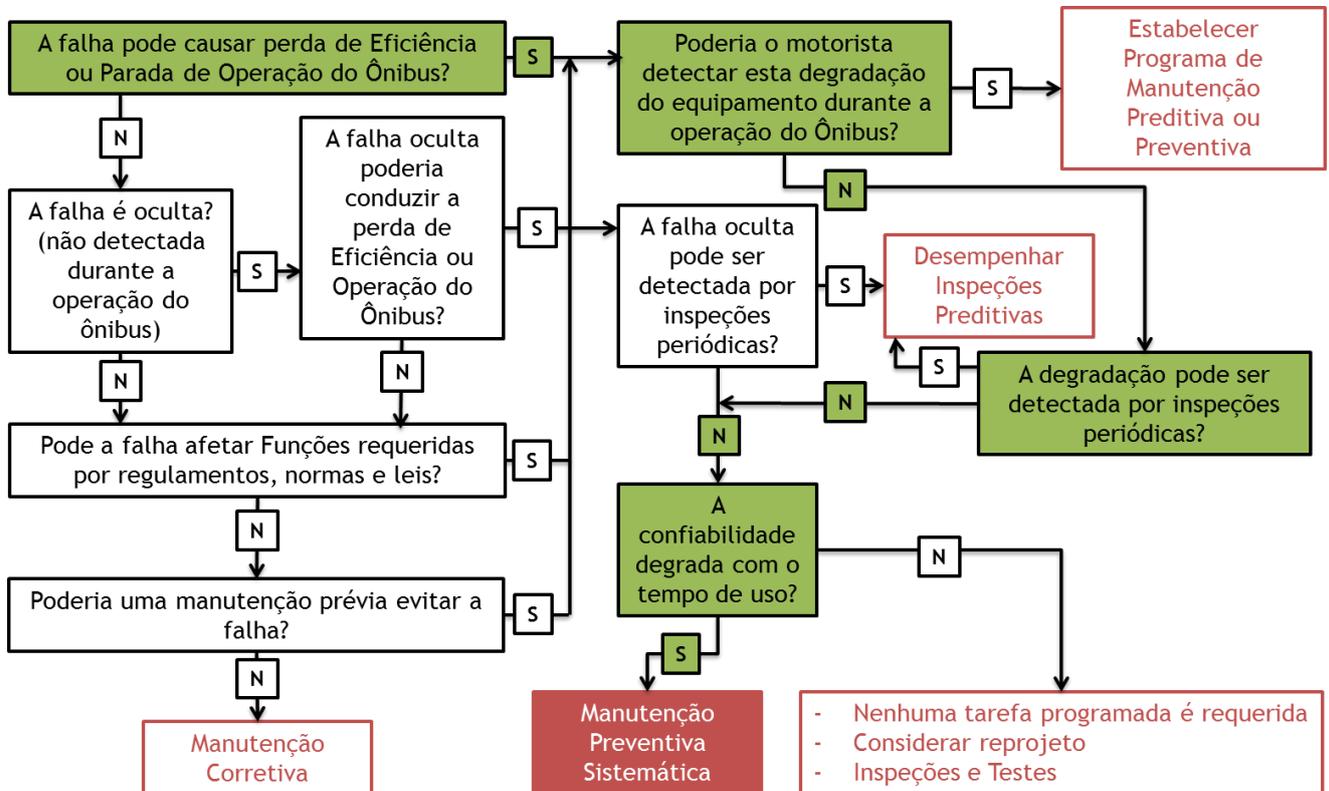


Figura 38: Diagrama de RCM para os Chicotes Elétricos

4.5.2-Mangotes Flexíveis

O diagrama do segundo item corresponde aos Mangotes Flexíveis, tratados devido aos problemas com mangotes arrebitados, furados e vazamento nas conexões. O diagrama de RCM, ilustrado na Figura 39, nos mostra claramente a necessidade de considerações de reprojeto ou inspeções e testes.

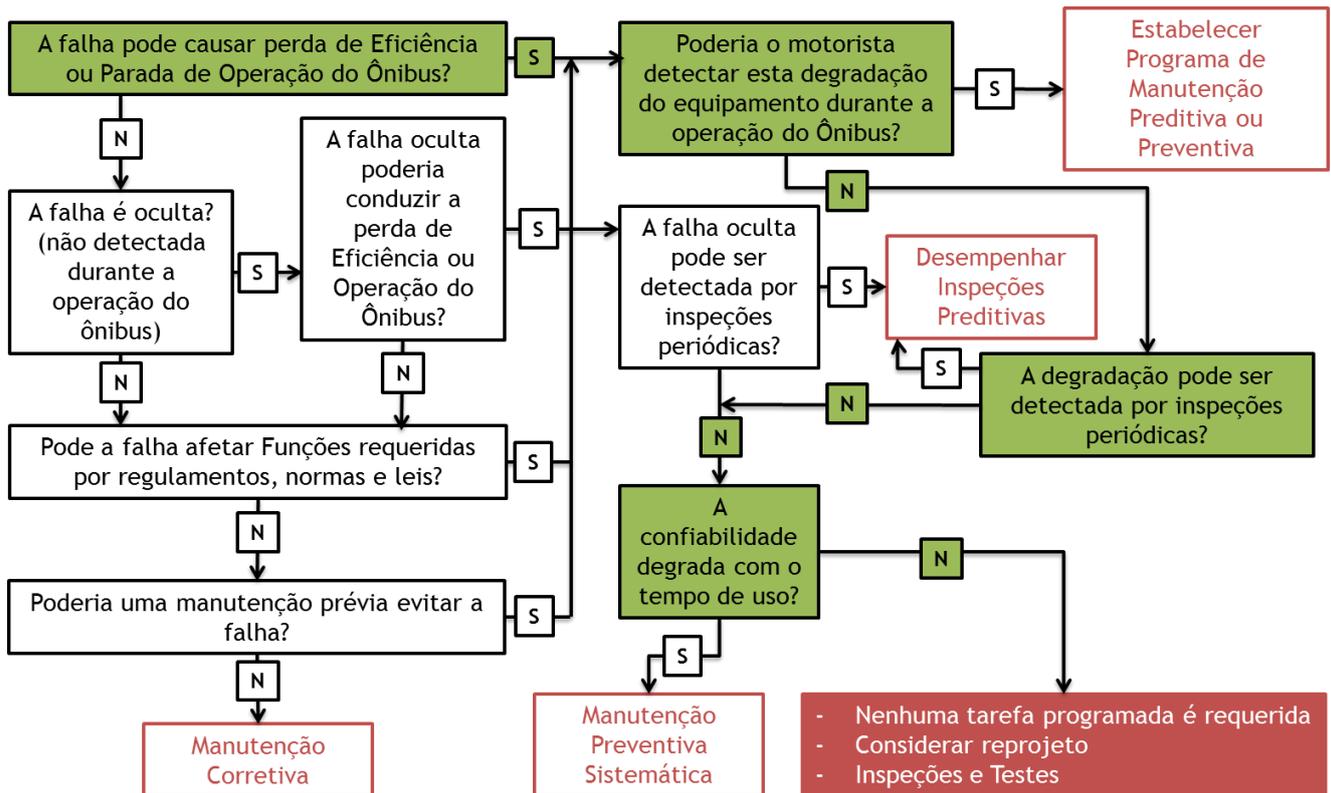


Figura 39: Diagrama de RCM para os Mangotes Flexíveis

4.5.3-Polias e seus Componentes

O diagrama deste item se refere às Polias e seus Componentes, tratados devido aos problemas com rolamento trancado e polia empenada. O diagrama de RCM, ilustrado na Figura 40, nos mostra a convergência para o ato de desempenhar inspeções preditivas, mas que porém quando o grupo se debruçou dentro do problema, surgiu à possibilidade de troca do material da embreagem eletromagnética de acoplamento da polia ao compressor que será discutida com mais afinco adiante.

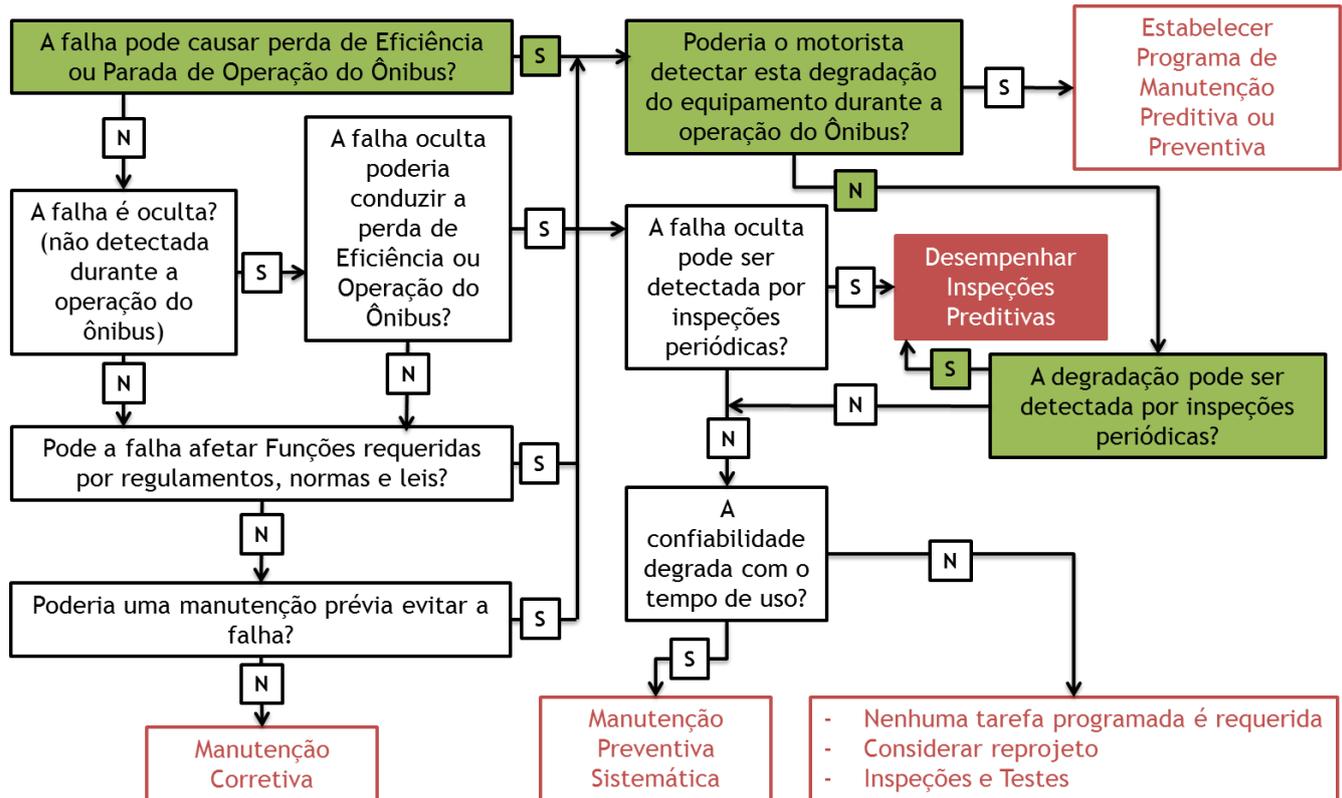


Figura 40: Diagrama de RCM para as Polias e Componentes

4.5.4-Central Elétrica

O diagrama do quarto item analisado se refere a Central Elétrica, tratados devido aos problemas com relação à parada de funcionamento dos componentes na qual ela está monitorando o seus funcionamentos. O diagrama de RCM, ilustrado na Figura 41, nos mostra uma também convergência para o ato de desempenhar inspeções preditivas, que na verdade com uma simples instalação de um equipamento, desempenhará e atenderá com excelência as solicitações na qual o mesmo está sendo submetido.

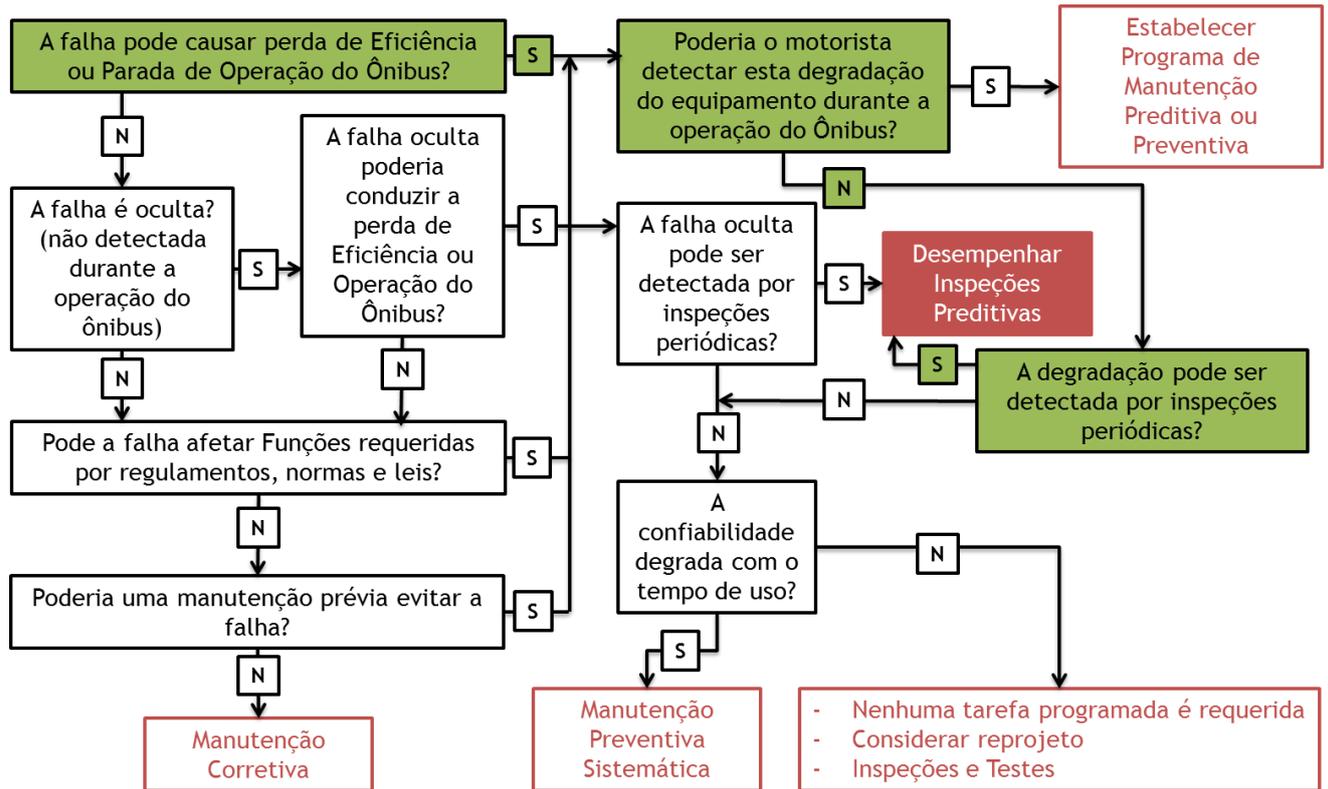


Figura 41: Diagrama de RCM para a Central Elétrica

4.5.5-Alternador

O quinto item priorizado com a ferramenta do FMEA é o Alternador, tratado devido aos problemas com relação às escovas gastas, fusível queimado e pane elétrica no chicote interrompendo a alimentação de energia nos equipamentos do sistema. O diagrama de RCM, ilustrado na Figura 42, nos converge para o ato de uma Manutenção Preventiva Sistemática, mas que a proposta de solução seria a retirada do equipamento, que será explicado melhor na sequência deste documento, reduzindo assim um alternador e uma correia, afetando diretamente o custo final do equipamento além do custo de manutenção nele concebido.

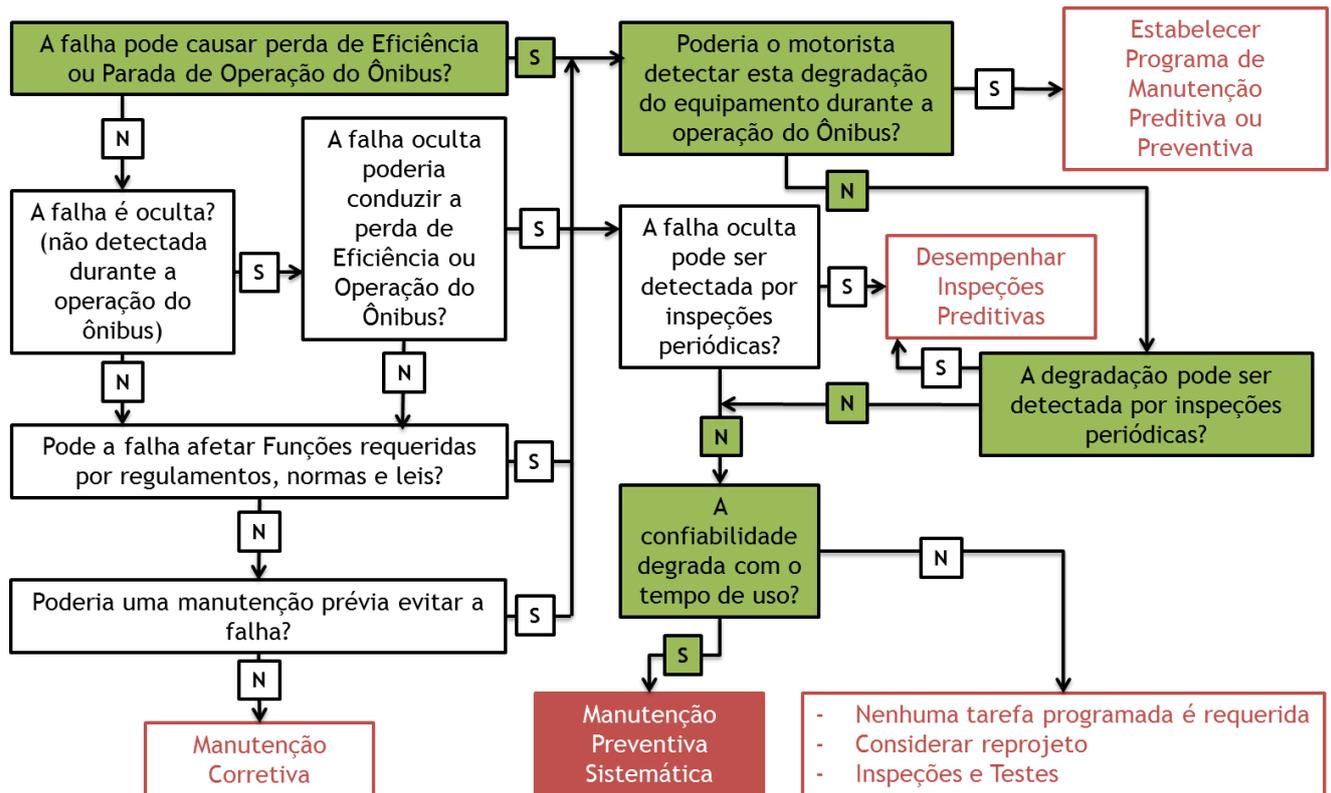


Figura 42: Diagrama de RCM para o Alternador

4.5.6-Sensores de Temperatura e Pressostatos

Os Sensores de Temperatura e Pressostatos, cujos modos de falhas são sensores em curto, chicote do sensor danificado e sensor aberto. O diagrama de RCM, ilustrado na Figura 43, nos indica para o ato de Desempenhar Inspeções Preventivas, mas que a proposta de solução é consequência da primeira falha mencionada referente aos chicotes elétricos observados através da análise completa dos veículos dotados deste equipamento.

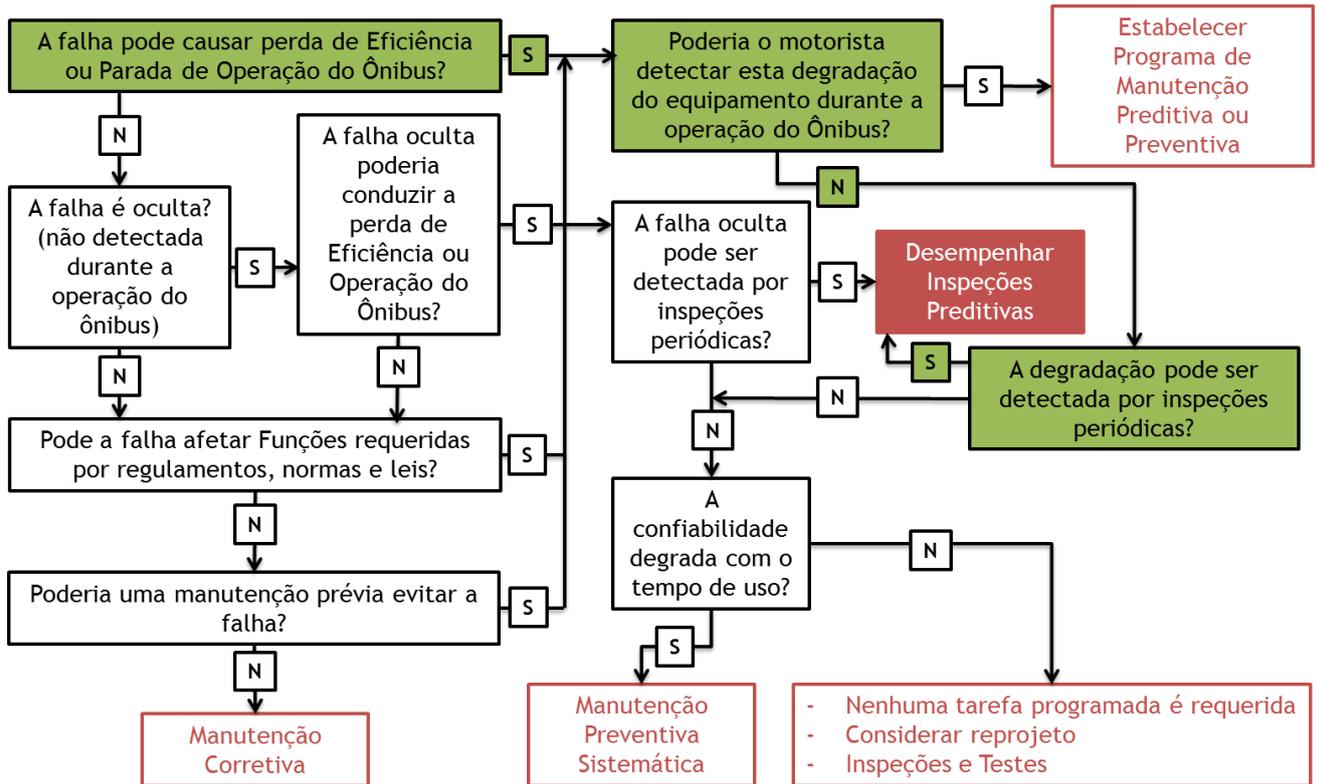


Figura 43: Diagrama de RCM para os Sensores de Temperatura e Pressostatos

4.5.7-Eletroventiladores

O sétimo, mas não menos importante item priorizado na ferramenta não menos importante item priorizado na ferramenta do FMEA são os eletroventiladores, constados tanto no condensador como no evaporador cujos modos de falha se descrevem por escovas gastas, mau contato por falha no relê e alta tensão nos evaporadores. O diagrama de RCM, ilustrado na Figura 44, nos converge para o ato de uma Manutenção Preventiva Sistemática, mas que a proposta de solução seria a consideração de reprojeto por dotar de alto índice de trocas nos veículos analisados, se fazendo necessária a busca de um componente mais confiável para exercer tal funcionalidade.

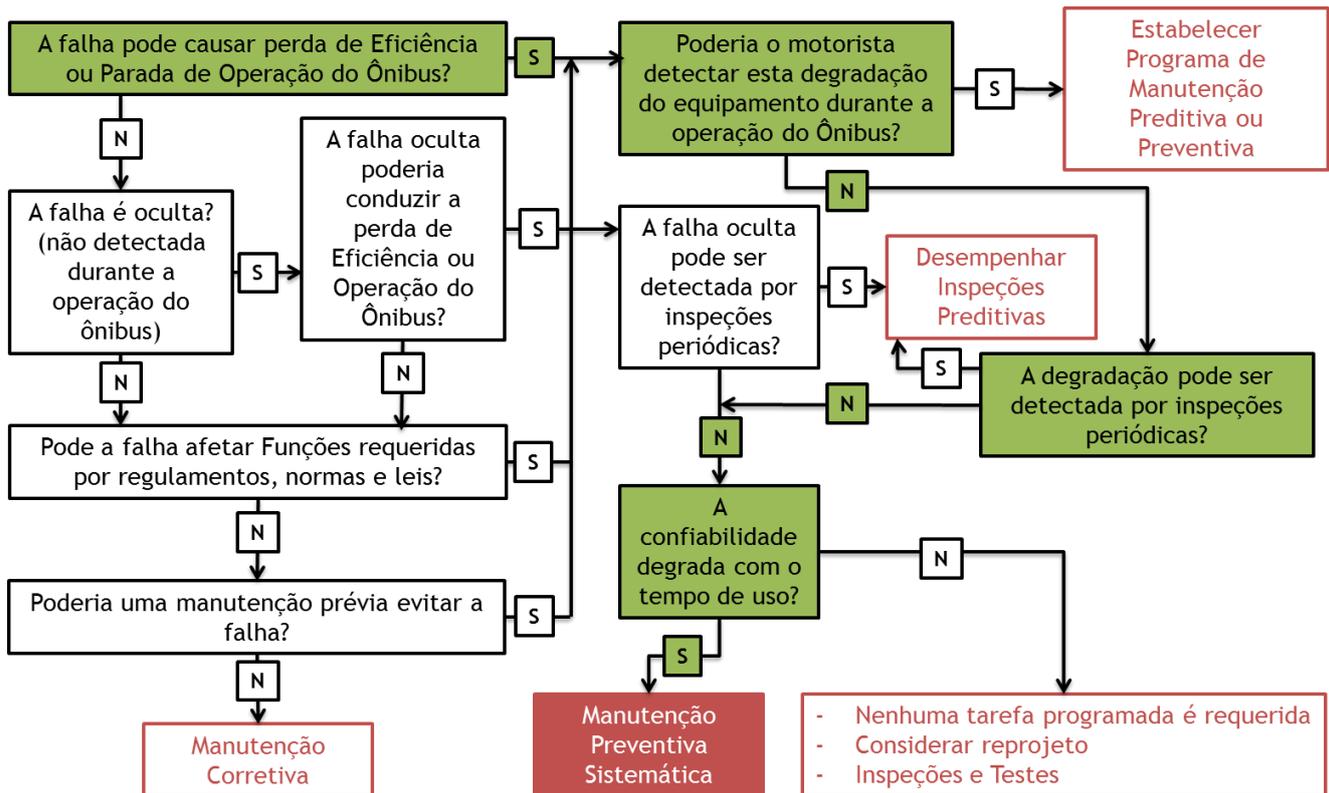


Figura 44: Diagrama de RCM para os Eletroventiladores

4.6-Propostas de Melhorias

Neste item iremos nos aprofundar nas possíveis soluções de cada caso propondo melhorias para cada problema possibilitando assim a redução dos modos de falha analisados a partir dos princípios do RCM com auxílio da ferramenta do FMEA caracterizada a partir dos diagramas mostrados no capítulo anterior.

4.6.1- Caso 1 - Chicotes Elétricos

Apesar de ser um componente relativamente simples, os chicotes elétricos encontram-se, em grande parte de sua extensão, ocultos pela carroceria por meio de dutos embutidos ao longo da extensão do veículo, dificultando a sua inspeção nas revisões preventivas.

Para essa falha foi realizada, de acordo com as bases de Ordens de Serviço da Garagem do Maruí, um Diagrama de Pareto, na Figura 45, transpondo as principais falhas nos Chicotes do equipamento no decorrer de 1 (um) ano de operação.

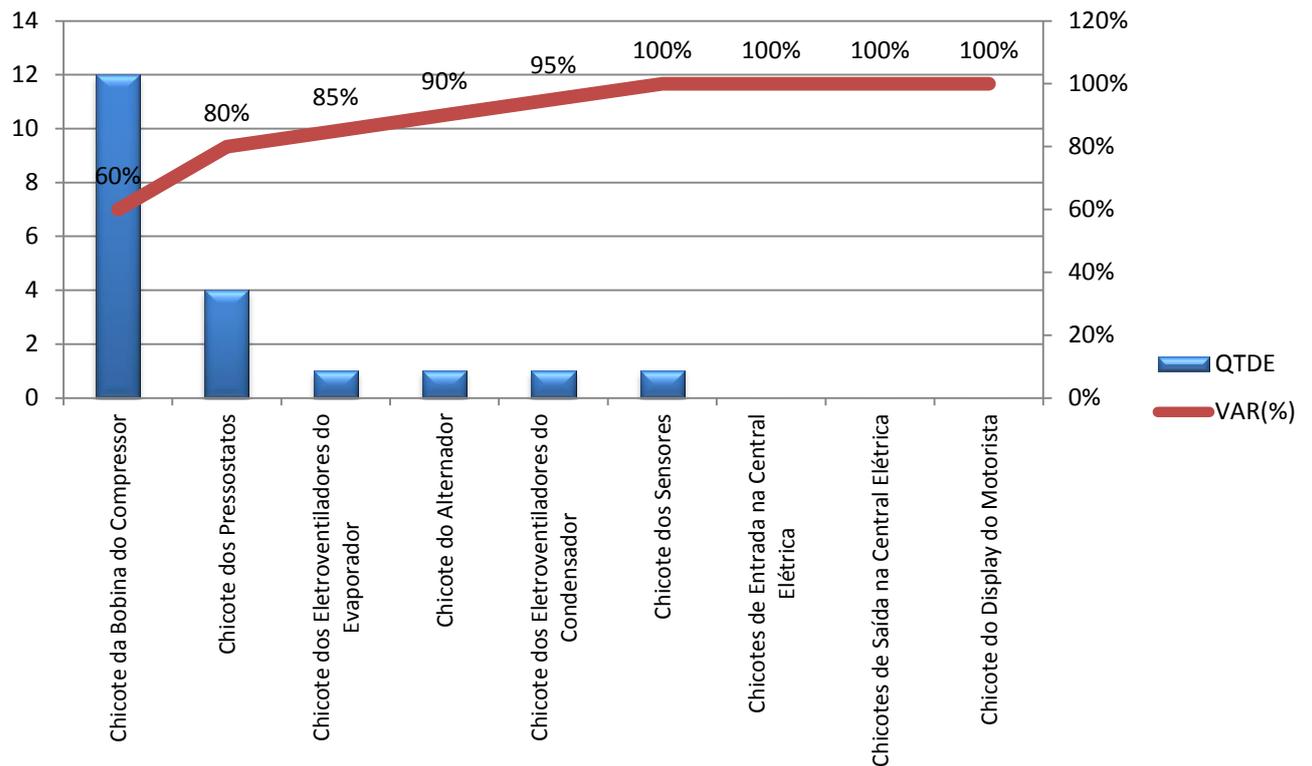


Figura 45: Diagrama de Pareto – Falhas nos Chicotes Elétricos

Com a Análise de Pareto exposta, partiu-se para a prática e pela verificação visual foi encontrado um problema, que permite abordar 80% das falhas com os Chicotes Elétricos do equipamento e, que ainda condiz com outro problema identificado pelo FMEA, que corresponde aos Pressostatos de alta pressão e de baixa pressão do Compressor do Ar Condicionado.

Segundo um de nossos Líderes de Manutenção, a fabricante, visando redução de preço para competir com fábricas de Ar Condicionado para ônibus no mercado nacional, fez uso de chicotes para o Compressor sem proteção de temperatura, deixando-os frágeis à alta temperatura, com isso, sem um suporte adequado da fiação, a mesma acaba por atritar diretamente com a carcaça do compressor, que é quente, vindo a derreter a proteção do fio e fechar curto-circuito no sistema com a carcaça do Compressor como se pode verificar na Figura 46.



Figura 46: Chicote Elétrico do Compressor do Ar Condicionado

A solução da Oficina para este defeito acabou por acarretar outro problema, que está entre os problemas no Ar Condicionado LRT COMFORT da Thermo King analisados pela FMEA. Para evitar a exposição da fiação, os fios foram revestidos com fita isolante que até então não demonstrou nenhum resquício de outra possível falha no componente, porém para fixar essa fiação a solução foi amarrar o chicote ao pressostato de alta pressão com auxílio de uma abraçadeira plástica, cujo resultado pode-se comprovar na Figura 47.



Figura 47: Recurso da Oficina – Fixação do Chicote do Compressor.

Esta solução interfere diretamente no sexto item da Tabela 12 porque, devido à trepidação, tanto do compressor como do ônibus como um todo, ocorre à desconexão do pressostato e a possível queima deste componente, que será analisada adiante.

A solução proposta neste Projeto é o revestimento da fiação com um conduíte para dar rigidez ao Chicote Elétrico e, assim reduzir sua resposta à trepidação do compressor e do ônibus em seu trajeto. Para evitar o contato direto com o Compressor do Ar Condicionado a solução seria a instalação de suportes de abraçamento de chicotes instalados na parte superior do Compressor e em alguns pontos da carroceria do ônibus, para auxílio no trajeto do chicote como mostrados na Figura 48.



Figura 48: Proposta de Solução – Fixação dos Chicotes Elétricos.

4.6.2-Caso 2 - Mangotes Flexíveis

Após a análise dos modos de falha dos mangotes, chegou-se à conclusão de que os mesmos falham devido ao desgaste provocado por atrito com uma calha. Portanto, ao responder se as perguntas feitas pelo método RCM, chegou-se à conclusão que serão necessárias algumas mudanças na montagem do mangote. Para esse problema, o encaminhamento foi para uma análise dinâmica preliminar e simplificada, utilizando o Método dos Elementos Finitos com Superposição Modal.

Para o estudo deste componente, houve a inspeção da sua posição de montagem e também a medição do modelo físico conforme mostra a Figura 49.

Este projeto irá contemplar o amortecimento dos mangotes, a fim de aumentar a vida útil do equipamento. Para o amortecimento da linha em questão, haverá a proposta de um amortecedor, de forma que o mesmo dissipe a energia oriunda das forças inerciais do ônibus.



Figura 49: Mangote sendo medido e inspecionado, para elaboração do modelo 3D.

Os equipamentos utilizados para realizar as medições são de propriedade da Ge Oil & Gas e todos estão devidamente calibrados e em conformidade com as exigências do mercado. A mangueira utilizada para a análise foi gentilmente cedida pela Auto Viação 1001. Na Tabela 16 estão algumas propriedades da mangueira segundo o fabricante.

O mangote, ilustrado na Figura 50, encontra-se de acordo com a Norma SAE J2064 (Society of Automotive Engineers), recomendado para uso em sistemas de refrigeração e ar

condicionado em veículos de grande porte (ônibus) que utilizem gases R-134A, R404A e R407C.

Tabela 16: Características do mangote

[fonte: Catálogo Jason Mangueiras Automotivas]

Tamanho	Diâmetro int.		Diâmetro ext.		Pressão de Trabalho		Pressão de Ruptura		Raio de Curvatura min		Peso	
	mm	Pol.	mm	Pol.	Bar	Psi	Bar	Psi	mm	Pol.	Kg/m	Lbs/pés
7/8"	22,2	0,87	31,5	1,24	35	500	140	2000	155	6,10	0,705	0,474
1 1/8"	28,2	1,12	38,5	1,51	35	500	140	2000	190	7,48	0,930	0,625



Figura 50: Foto Mangote Norma SAE J 2064 Tipo B 1 1/8pol.

O equipamento é composto por uma camada interna de Borracha Butílica (Poli Isobutileno Isopreno IIR), reforçado por fios de Aço Latonado e coberto por borracha sintética em acabamento enfaixado. Ambas as borrachas se caracterizam como Borrachas Vulcanizadas e possuem uma temperatura de operação de (-40 a 125)°C

Com a borracha não existe proporcionalidade entre tensões e deformações, e uma curva típica tensão deformação.

Em muitas aplicações, o produto de borracha está em fricção com as superfícies em contato, o que lhe provoca desgaste. É o que acontece com os pneus dos automóveis, as solas dos calçados, as correias transportadoras, que conduzem materiais de natureza mais ou menos abrasiva, os pavimentos de borracha que estão em centros comerciais e aeroportos, entre muitos outros exemplos. O maior ou menor grau de resistência da borracha à desagregação provocada pelas mais variados tipos de materiais com que está em contato, é a chamada resistência à abrasão (abrasion resistance).

Os mecanismos do processo de abrasão são bastante complexos, envolvendo, entre outros, fenômenos de corte e fadiga. Os mecanismos de abrasão podem ser classificados nas seguintes categorias principais [fonte: ctborracha.com]

Desgaste por abrasão: esta categoria de desgaste ocorre com elevados níveis de atrito e com superfícies de contato de elevado grau de abrasividade (arestas agudas e cortantes). As partículas de borracha são destacadas da superfície em resultado de cortes.

Desgaste por fadiga: esta categoria de desgaste ocorre em contato com superfícies ásperas e duras, com níveis de atrito moderados. As partículas de borracha são destacadas da superfície em resultado de tensões dinâmicas

Desgaste por adesividade: é menos relevante que os mecanismos anteriormente referidos. Ocorre em superfícies relativamente lisas e a velocidade de desgaste varia de forma acentuada com aumentos na pressão de contato, na velocidade relativa das superfícies em contato e na temperatura. Neste caso, as partículas de borracha são transferidas para a superfície em contato, por fenômenos de adesão entre as duas superfícies. Na prática, os mecanismos do processo de desgaste são muito complexos e são criticamente dependentes das condições em que ocorre o processo. Na Figura 51 está ilustrado o processo de fricção que ocorre nos mangotes instalados nos ônibus Apache VIP III na Auto Viação 1001.



Figura 51: Pontos de Atrito – Geradores de Abrasão

- **Análise Dinâmica**

Os critérios adotados para essa análise baseiam-se em dois movimentos realizados pelo ônibus, julgados críticos para o processo de abrasão da mangueira e, são eles: aceleração e desaceleração (Forças inerciais) do veículo. Em relação a vibrações oriundas de outras fontes

no veículo, o mangote se comporta muito bem segundo inspeções realizadas no decorrer deste trabalho, considerando que o motor, compressor e amortecedores do ônibus estão em devidas condições de trabalho. O desgaste por abrasão resulta diretamente no estouro do equipamento nas áreas de contato com a calha do veículo, somando se o fato da borracha possuir ótimo coeficiente de atrito, o que acelera ainda mais o processo de degradação, a Figura 52 mostra o contato da calha com o equipamento, em um modelo computacional do mangote. Conforme citado acima a falha do mangote, resulta em pane do sistema de ar condicionado e conseqüentemente um “Socorro do Veículo”. Portanto foi julgada de suma importância propor uma solução para este componente.



Figura 52: Modelo computacional Mangote - Calha.

Para a análise de movimento, foi elaborado um modelo simples em 3D do mangote, no (SolidWorks), desconsiderando a modelagem da camada de aço latonado. A frenagem do ônibus foi considerada o pior caso das acelerações resultantes dos movimentos.

Adotou se a pressão máxima de descarga do gás R134A pelo compressor, segundo o fabricante.

O eixo do mangote é paralelo ao para-brisa dianteiro do veículo.

Parâmetros adotados para a análise:

Velocidade de um ônibus urbano em uma via expressa como ponte Rio – Niterói, trajeto extremamente utilizado por grande parte da frota dos veículos da empresa.

Segundo o CTB (*Código de Trânsito Brasileiro – Art. 61 a velocidade máxima para uma via urbana é de 80 km/h*), mas sabendo que nem sempre esse limite é respeitado e para tornar essa análise mais conservadora adotou se uma velocidade de 100 km/h ou 27,7m/s em uma frenagem brusca.

Conforme verificado em inspeção e também em reunião com a equipe técnica da empresa, foi constatado que o maior deslocamento do mangote se dá na direção da trajetória do ônibus, porém em um sentido oposto, a Figura 53 mostra a localização e o modo como está posicionada no ônibus.



Figura 53: Localização e orientação do mangote em relação ao ônibus

- **Distância de Frenagem**

É definida como sendo a mínima distância que um veículo consegue parar antes de atingir um obstáculo e de grande importância para o estudo do movimento mangote, uma vez que conhecido o tamanho do trajeto de frenagem, pode se calcular a aceleração de frenagem. Deve ser considerado que o veículo esteja em velocidade de projeto e que este consiga parar com segurança. Velocidade de projeto, segundo a AASHTO, é a velocidade máxima que um veículo consegue manter, em um trecho de estrada, em condições normais de segurança e conforto. Para o cálculo dessa distância tem que ser considerado o tempo de percepção do motorista ao avistar o obstáculo e o momento que este decide frear. Segundo a AASHTO foram feitos testes para medir esse tempo de percepção dos motoristas. Os resultados

mostraram que a maioria necessita de 0,7s para iniciar a frenagem e 5% dos motoristas necessitam de um tempo maior que 1s. Considera-se, também, o tempo de reação do motorista. Esse tempo é o dado pela diferença entre o instante que o motorista decide frear e o instante que este inicia realmente o processo de frenagem. Esse tempo varia entre 0,5 e 1s para a maioria dos casos. Alguns têm reação imediata e outros necessitam de tempo superior a 1s. Para escolher o valor de tempo, incluindo reação e percepção, deve ser considerado um fator de segurança, visto que esse tempo varia de acordo com o nível de atenção do motorista. Usualmente adotam-se os seguintes valores: tempo de percepção 1,5s, tempo de reação 1s, tendo um tempo total de 2,5s.

- **Cálculo de Distância e Frenagem pelo Método da AASHTO**

O método considera duas parcelas para o cálculo da distância de frenagem. A primeira é a distância que o veículo se desloca durante o intervalo de tempo de reação e percepção do motorista. A segunda é a distância percorrida durante o processo de frenagem.

D_1 = distância percorrida durante o tempo de reação (m)

$$D_1 = V \cdot t_r \text{ onde } V - \text{velocidade escalar em (m/s)} \frac{100}{3,6} = 27,77 \text{ m/s} \quad \text{Eq.[1]}$$

t_r – tempo de reação 1s

$$D_1 = 27,7 \text{ m}$$

O valor de D_2 , da frenagem efetiva para um trecho em nível, é definido pela seguinte

$$\text{equação: } D_2 = \frac{v^2}{f \cdot 254} = \frac{100^2}{0,56 \cdot 254} = 70,30 \text{ m} \quad \text{Eq.[2]}$$

D_2 : distância de frenagem (m)

V : velocidade inicial do veículo (km / h)

f : coeficiente de atrito pneu-pavimento

$$D_t = D_1 + D_2 \text{ logo } 27,77 + 70,30 = 98,07 \text{ m} \quad \text{Eq.[3]}$$

Fórmula é derivada da equação de Torricelli para desaceleração em movimento uniformemente acelerado e o fator 254 é um fator de ajuste de unidades para velocidade em km/h, aceleração em m/s^2 e aceleração da gravidade $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. O modelo da AASHTO parte, portanto, de uma hipótese de frenagem ideal em que todos os eixos são freados

aproveitando o coeficiente de atrito máximo de interação rodas/via. Dado que o coeficiente de atrito não é o mesmo para todas as velocidades, ele diminui a maneira que a velocidade aumenta, a AASHTO recomenda os valores relacionados na Tabela 17 para uso no projeto das distâncias de visibilidade, AASHTO (2000).

Tabela 17: Valores de Atrito Fonte

(Fonte: AASHTO, 2000).

Valores do coeficiente de Atrito (f) adotados para projeto		
Velocidade (km / h)	Coeficiente de atrito (f)	
	Pav. Seco	Pav.molhado
50	0.62	0.36
60	0.60	0.34
70	0.59	0.32
80	0.58	0.31
90	0.57	0.31
100	0.56	0.30
110	0.55	0.30
120	0.54	0.29
130	0.53	0.28

Conforme mostrado em Hutchinson (1988), a hipótese da AASHTO de frenagem ideal não releva importantes limitações tecnológicas de construção de sistemas de freios em veículos automotores que não possuam ABS – (AntiBlocking System) Fonte: [17], logo não está sendo considerado: Força de Arrasto e Freio motor, supõe se que para efeitos de cálculos os freios ABS estão em perfeito funcionamento. Considerou-se um ônibus com a carga ideal de trabalho e também uma trajetória plana. A Figura 54 mostra o esquema de aceleração considerada.

Segundo Torricelli:

$$V_f^2 = V_i^2 + 2a\Delta s \quad \text{Eq.[4]}$$

$$\text{Logo: } 0^2 = 27,77^2 + 2a \cdot 98,07$$

$$V_f = 0$$

$$V_i = 27,77 \text{ m/s}$$

$$\Delta s = D_t = 98,07 \text{ m}$$

$$a = -3,93 \text{ m/s}^2 \sim -4 \text{ m/s}^2$$

$$a = a_x$$

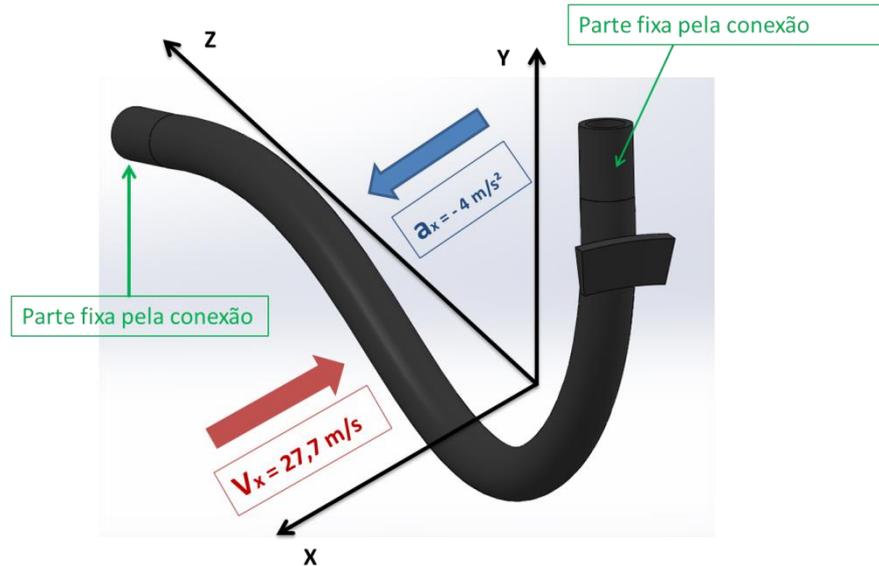


Figura 54: Pontos de Fixação e Região em Balanço do Equipamento

Após o cálculo da aceleração resultante do processo de frenagem do ônibus, utilizou-se o software Solidworks Simulation para simular o comportamento do mangote, baseando-se em uma análise Dinâmica Linear (Histórico de Tempo Modal).

Os seguintes parâmetros foram adotados na geração da análise:

O mangote foi tratado como um corpo sólido, preso em suas extremidades (Conexões).

No interior do mangote foi aplicada a Pressão máxima de descarga do Gás R134A a 1034 KPa. Considerou-se a gravidade $9,81 \text{ m/s}^2$ e a sua massa distribuída de $0,930 \text{ kg/m}$.

No eixo X, foi colocada uma excitação de base, representada pela desaceleração do veículo e como condição inicial velocidade constante.

Para uma análise mais conservadora o Amortecimento Modal definido foi de $0,01 - 0,05$, a fim de obter uma resposta quanto à aceleração resultante no mangote. As propriedades mecânicas dos materiais foram baseadas no próprio software conforme mostra a Tabela 18.

A calha está representada por uma placa em contato com o mangote e sua região de contato foi medida através da medição de outros equipamentos desgastados.

O modelo de malha Mista com base em curvatura, com o mangote se comportando como um corpo sólido e a calha como uma Casca e toda a análise com elementos Tetraédricos, de tamanho $4,52 \text{ mm}$ podem ser observados na Figura 55.

Tabela 18: Propriedades da Borracha
(Catálogo de materiais SolidWorks).

Coeficiente de Poisson em XY	0.49	N/A
Módulo de cisalhamento em XY	2.9	N/mm ²
Massa específica	1000	kg/m ³
Resistência à tração em X	13.79	N/mm ²
Limite de escoamento	9.24	N/mm ²
Coeficiente de expansão térmica em X	0.00067	/K
Condutividade térmica em X	0.14	W/(m·K)

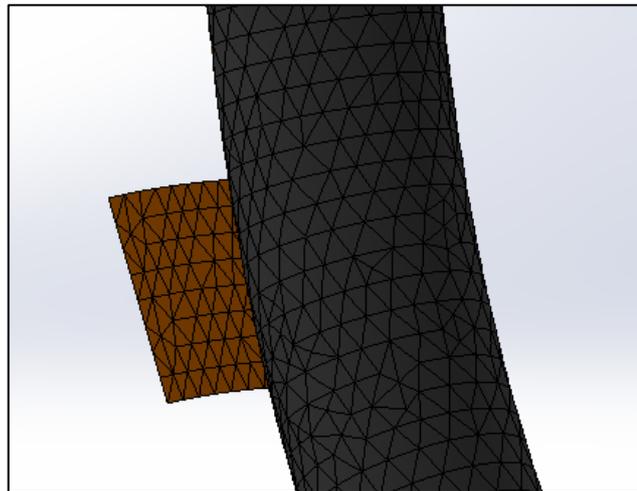


Figura 55: Malha Mista com Base em Curvatura. Elementos, Sólido e Casca.

- **Resultados Obtidos**

Depois de executada, a simulação mostra tensões na área de contato do mangote com a calha do ônibus e um deslocamento máximo de 26 mm na região onde se encontra a curvatura máxima da catenária, O balanço provocado por forças de inércia do ônibus é dissipado na forma de atrito com o contato na calha guia existente no veículo.

As Figuras 56 e 57 mostram os resultados do deslocamento sofrido pelo mangote em função do movimento dos ônibus e também a tensão de contato que irá provocar abrasão na superfície do equipamento.

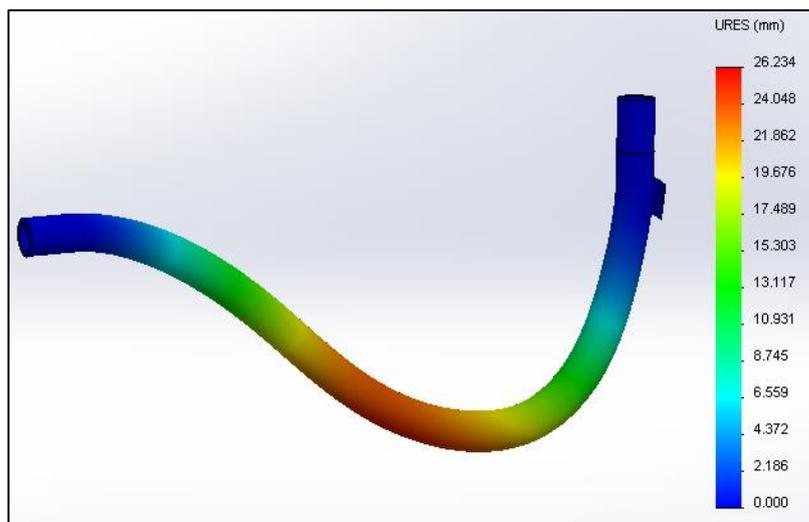


Figura 56: Deslocamento Máximo em Vermelho, provocado pelas Forças Inerciais.

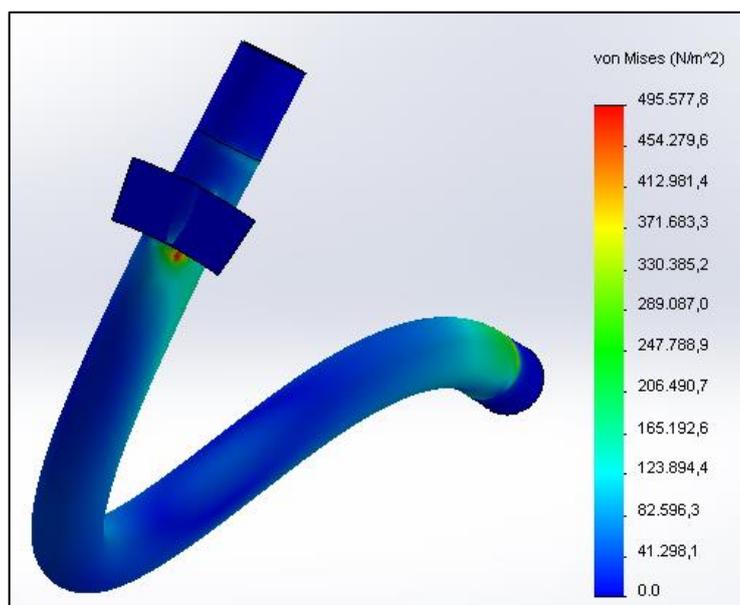


Figura 57: Ponto de Tensão Máxima, critério de Von Mises.

A Tabela 19 mostra as baixas de frequências de vibração do modelo em decorrência do movimento do ônibus, porém com amplitudes significantes para causar abrasão pelo balanço da mangueira, portanto será necessário atenuar essas amplitudes através de um suporte anti-balanço, apresentado a seguir.

Tabela 19: Frequências Ressonantes do Sistema.

Nº do Modo	Frequência (Rad/s)	Frequência (Hertz)
1	18,078	2,8772
2	32,973	5,2478
3	44,312	7,0525
4	75,215	11,971
5	87,801	13,974
6	136,29	21,692
7	142,34	22,654
8	166,65	26,524
9	169,39	26,96
10	211,66	33,686
11	216,55	34,464
12	270,15	42,996
13	271,09	43,146
14	286,26	45,56
15	297,79	47,395

- **Solução Sugerida**

Em decorrência do excesso de mudanças, reparos de manutenção e até mesmo necessidades de reprojeto que um ônibus exige para manter-se em plenas condições de trabalho, adotou-se uma solução simples e economicamente acessível para este problema, de forma que, possa ser executada pelos próprios técnicos da empresa.

A solução consiste em fixar uma chapa em formato de “L” na tampa superior de acesso ao compressor, que é utilizada para manutenção do mesmo. Na chapa em L haverá um Elastômero comercial (vide Anexo II) para amortecimento de vibrações em sistemas de ar condicionado, de forma a limitar o movimento e absorver a vibração proveniente de outras fontes caso venham a surgir (desbalanceamento do motor, amortecedores não eficazes ou até então o próprio compressor vibrando).

O elastômero possui uma deflexão de até 3,5 mm para 10 kgf de compressão, aproximadamente 98 N segundo fabricante a Figura 58 mostra o diagrama de corpo livre do elastômero (DCL).

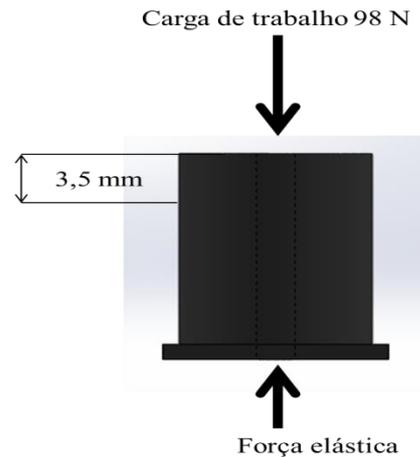


Figura 58: DCL no elastômero.

$$P = \text{Carga de trabalho máxima do elastômero} = 98 \text{ N}$$

$$P - F_e = 0 \Rightarrow P = F_e$$

$$98 \text{ N} = F_e \Rightarrow 98 \text{ N} = k \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

$$k = 28 \cdot 10^3 \text{ N/m}$$

Massa do mangote $\sim 0,9 \text{ kg}$, para esse cálculo foi considerada a massa do mangote como concentrada num ponto do eixo x , mesmo eixo onde o elastômero sofrerá a compressão e também ação da aceleração de frenagem. Para uma análise mais conservadora os apoios do mangote (fixação) e seu peso estão sendo desconsiderados. Portanto:

$$\text{Aceleração de Frenagem} \quad a_x = 4 \text{ m/s}^2$$

$$F_x = 0,9 \cdot 0,4 \text{ m/s}^2 = 3,6 \text{ N}$$

Força bem inferior a carga de trabalho do elastômero, logo o mesmo atende aos requisitos necessários para essa proposta.

O suporte foi desenvolvido para limitar o movimento de balanço, que gera abrasão na mangueira de saída de alta pressão do compressor, sua construção é simples e sua montagem ficará em conjunto com a tampa de acesso à manutenção do compressor. Todos os itens do projeto são comerciais. Os detalhes para fabricação do suporte podem ser vistos no Anexo II. A Figura 59 mostra o suporte atuando na limitação do movimento do mangote, logo em

seguida a Figura 60 apresenta o detalhe para a posição do elastômero e na sequencia a Figura 61, mostra o esquema de funcionamento do suporte e suas chapas de montagem.

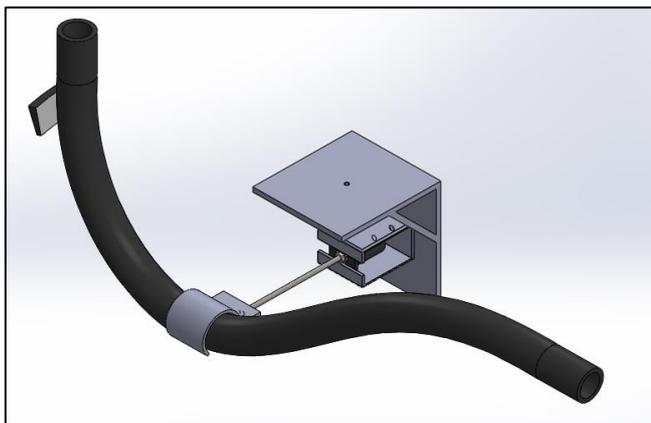


Figura 59: Vista isométrica: dispositivo anti-movimento.

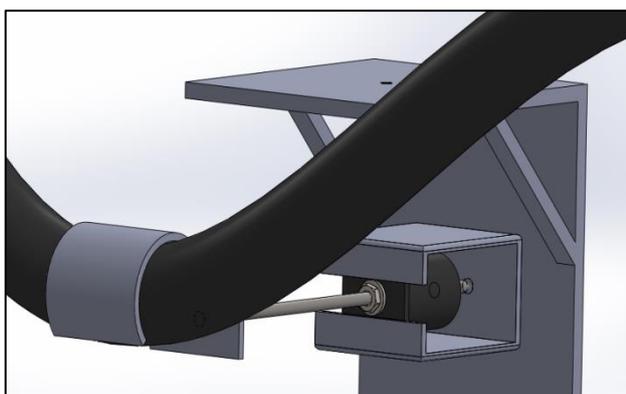


Figura 60: Detalhe para a posição do elastômero.

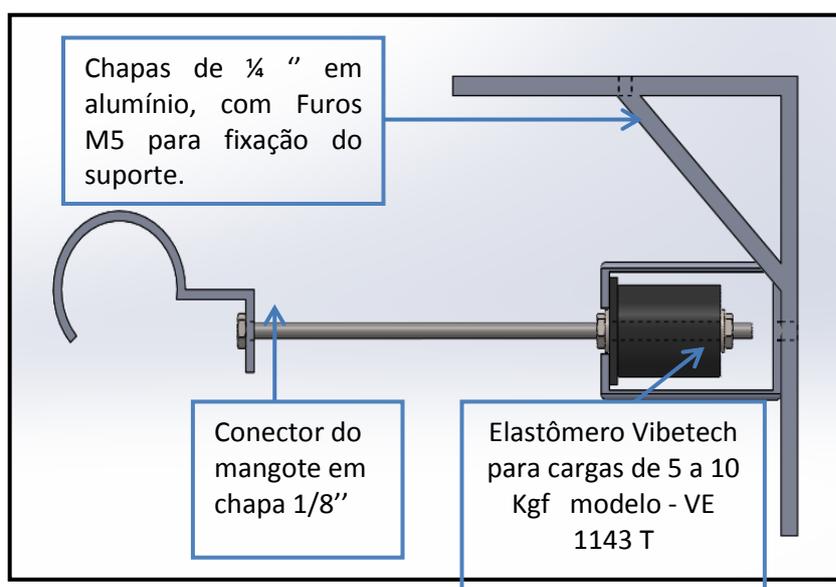
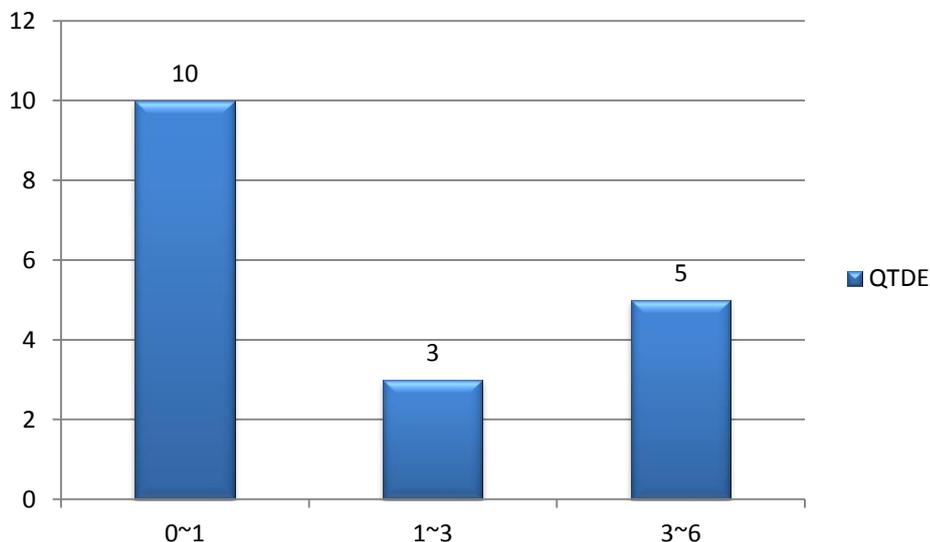


Figura 61: Esquema de funcionamento do Suporte anti-balanço.

4.6.3-Caso 3 - Polia e Seus Componentes

A polia é, senão o componente principal do Compressor nas verificações preventivas. Sua lubrificação é realizada periodicamente a cada 5.000 quilômetros, que são aproximadamente 20 dias de operação. O grupo achou curioso o fato de um componente que se faz necessária à revisão periódica ser captado a um ponto importante na Análise do FMEA.

Realizando uma análise de consumo de estoque do Rolamento da Polia na Garagem do Maruí, no qual o compressor x430 é contido nos equipamentos de Ar Condicionado desde 2008, foi visto que o volume de troca deste componente corresponde com veículos mais novos como se pode ver no gráfico da Figura 62.



Quantidade de Polias trocadas por intervalo de idade do equipamento

Figura 62: Análise de Consumo – Rolamento da Polia do Compressor.

Com a intensidade de trocas de um item que é trocado por vida útil de um modelo de compressor que é utilizado há sete anos (desde 2008), um dos integrantes do grupo se reuniu com o corpo de engenharia da Thermo King em São Paulo. Nesta reunião foi possível notar que o reflexo do rolamento estar estourando e possível empenamento da polia estava diretamente relacionado ao seu acoplamento eletromagnético.

O acoplamento eletromagnético da Polia do Compressor a partir de dois mil e quatorze foi trocado de fornecedor por uma empresa nacional. Os modelos anteriores ao LRT COMFORT, vinham importados da Inglaterra e por algum motivo, no qual não foi possível acesso as informações por ser um segredo de fábrica a embreagem eletromagnética que constava no LRT COMFORT não atendia aos pré-requisitos das solicitações da polia e seus componentes.

Na Figura 63 pode-se ver os componentes desmontados e a ocorrência do empenamento da polia que é reflexo do rolamento estourado que é consequência da embreagem eletromagnética.



Figura 63: Polia do Compressor Do Ar Condicionado.

A solução proposta para esta falha identificada no FMEA seria o retorno de instalação das embreagens eletromagnéticas usadas nas versões anteriores para as quais não existia o índice de problemas que contém no modelo LRT COMFORT da Thermo King. Apesar de o preço ser diferenciado, acredita-se que o problema da polia em operação é de vital importância pelo fato de gerar parada de funcionamento do equipamento gerando grande descontentamento do cliente.

4.6.4-Caso 4 - Central Elétrica

Nesta falha o grupo achou curioso o fato de a central elétrica estar presente na região de troca de ar entre o equipamento do Ar Condicionado e o ambiente confinado da cabine. Segundo os engenheiros de fábrica, a disposição do local da central elétrica foi escolhida na tentativa de não ter problemas com superaquecimento dos seus componentes como pode ser mostrada na Figura 64.



Figura 66: Filtro Desumidificador – Solução para Proteção da Central Elétrica

4.6.5-Caso 5 - Alternador

Através de uma análise minuciosa dos alternadores e de suas respectivas correias que saíram dos veículos da Garagem do Maruí, foi verificado que a principal falha seria o superaquecimento, que é reflexo das escovas gastas como a principal causa dos danos nestes componentes.

Ao contrário das versões anteriores, o LRT COMFORT não corta a alimentação do sistema, mas diminuía consideravelmente a vida útil da correia, ocasionando diversas vezes a interrupção de operação do veículo, devido a não alimentação elétrica dos componentes do ar condicionado, não havia refrigeração e pelo veículo constar de vidros colados, não existe a possibilidade de se continuar uma viagem.

A sugestão oferecida para esta falha seria a retirada por completo do alternador de 140 A que alimenta o ar condicionado, sendo assim necessária à instalação do próprio conjunto de alternadores do Chassi, tendo em vista que o modelo OF-1721 possui dois alternadores, cada um com 150A de capacidade e o funcionamento dos componentes consumidores de corrente elétrica do chassi ligados não chega a 30A.

Para que isso fosse possível, foi realizado um teste no dia vinte e seis de maio de dois mil e quinze retirando o alternador do ar condicionado do veículo 108.124, conectando o cabo positivo ao B+ do alternador do chassi, sendo que somente esse procedimento seria falho pois, mesmo com o motor do veículo desligado não gerando alimentação aos alternadores, o ar condicionado continuaria ligado. Para solucionar este impasse, foi alterada a alimentação do painel do Ar Condicionado de onde foi retirada a fiação cinza 8300 que alimenta o PWR do

painel e conectada a fiação azul 6200 localizada na tomada XCB801-F- PINO 20 da alimentação do D+ Mostrada na Figura 67 e Figura 68.

Com essa modificação o Ar Condicionado só entra em funcionamento quando é dada a partida no motor.

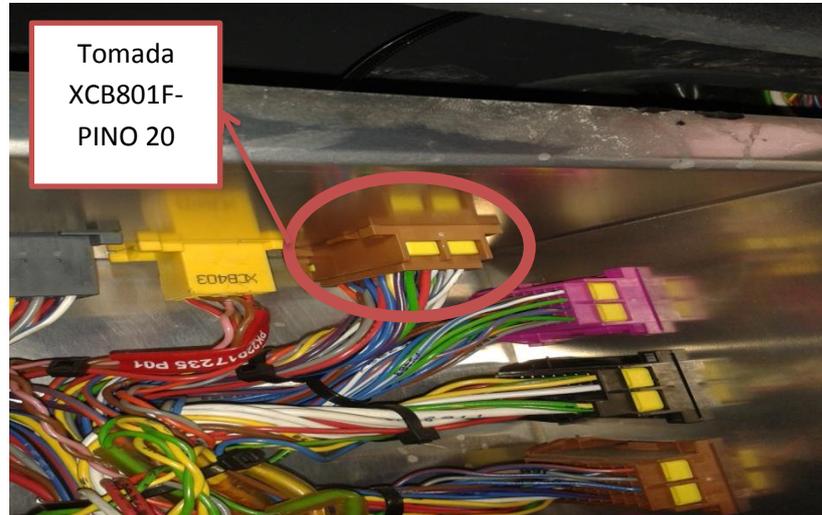


Figura 67: Alterações da Fiação de Alimentação do Alternador-Tomada



Figura 68: Alterações da Fiação de Alimentação do Alternador-Fiação

Após as modificações, foram realizados alguns testes para verificar o funcionamento normal do equipamento. Como motor do veículo em funcionamento e todos os outros componentes consumidores de corrente elétrica do sistema em pleno funcionamento a medição da corrente foi de 27 A.

Com a medição de outro veículo sem a modificação para efeitos de comparação, o alternador do Ar Condicionado registrou 69 A, uma tensão de 28,1 V e uma temperatura do

alternador de 65°C. Já com a modificação sugerida no veículo 108.124, registrou-se no alternador do chassi, 66 A com uma tensão de 28 V e a temperatura de 53°C atendendo as expectativas do grupo.

4.5.6-Caso 6 - Sensores de Temperatura e Pressostatos

Como dito no Caso 1 das Propostas de Melhorias, a Figura 39 mostra o principal problema localizado nos Sensores de Temperatura e Pressostatos. A fixação do chicote do compressor no pressostato de alta pressão acaba por comprometer a vida útil do pressostato devido às solicitações a que o pressostato é submetido pela fixação do chicote.

A solução proposta para esta falha é a do índice 1, pois com uma melhor acomodação da fiação do compressor, não haveria a necessidade de apoio no pressostato de alta, melhorando assim, consideravelmente a vida útil do mesmo.

4.5.7-Caso 7 - Eletroventiladores

Para este componente a equipe decidiu se aprofundar na teoria do funcionamento básico dos motores elétricos com escova nos quais é a concepção de funcionamento dos eletroventiladores. A configuração destes é baseada em um princípio muito conhecido dos estudantes da física e eletrônica mostrada na Figura 69.

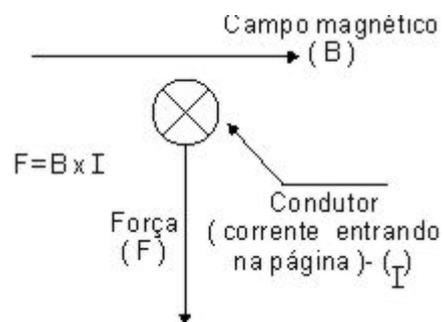


Figura 69: Força em um condutor imerso em um campo magnético.

(www.newtoncbraga.com.br)

Quando uma corrente elétrica percorre um fio imerso num campo magnético surge uma força perpendicular ao fio que tende a movê-lo. Se em um lugar de um simples condutor fosse

usado uma bobina com muitas espiras de fios, mesmo uma corrente relativamente fraca pode gerar forças bastante intensas quando tal configuração for montada.

Pensando nisso, uma bobina mostrada na Figura 70, quando percorrida por uma corrente e imersa em um campo uniforme, ficará sujeita a um binário que tende a girá-la. Evidentemente, nessas condições, se a bobina puder girar livremente ela só vai fazê-lo por certo percurso até que as forças não mais atuem no sentido de produzir este movimento.

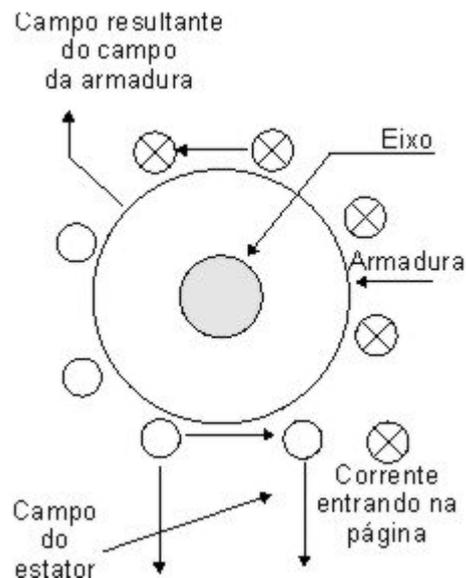


Figura 70:Princípio de funcionamento de um motor DC

(www.newtoncbraga.com.br)

Esta configuração é bastante interessante, pois pode produzir força mecânica em boa quantidade, mas existe o problema de se obter um movimento contínuo da bobina, ou seja, fazê-la girar sem parar. Isso pode ser conseguido por um processo denominado comutação, ou uso de escovas.

A bobina é enrolada em um cilindro que é montado em um eixo capaz de girar sobre mancais. Neste eixo são denominadas duas regiões isolantes em que são colocadas “meia calhas” de contatos comutadores que são ligados aos fios da própria bobina.

Dois contatos fixos ou “escovas”, vistas na Figura 71 fazem contato elétrico com estas meias calhas de modo a transferir energia para as bobinas. A ligação destes comutadores é tal que em meia volta do percurso, os comutadores A e B são ligados à bobina e com isso a corrente contínua circula em um sentido. Na outra meia volta os comutadores C e D é que são ligados à bobina e a corrente circula no sentido oposto.

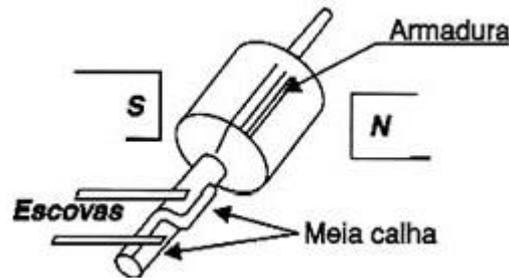


Figura 71: O sistema de escovas

(www.newtoncbraga.com.br)

Tudo isso, leva ao seguinte comportamento mecânico do dispositivo assim formado:

- Quando se aplica a corrente aos contatos, que alimentam a bobina circula uma corrente num sentido tal que tende a movimentar a bobina de meia volta num sentido que depende justamente do sentido de circulação desta corrente;
- Quando a bobina alcança a posição que seria de repouso, meia volta depois, as escovas comutadores mudam os contatos e com isso a corrente inverte seu sentido de circulação;
- O resultado disso, é que a posição em que a bobina alcançou não é mais a posição de repouso, já que surge uma nova força que tende a fazê-la continuar girando. A nova posição de repouso estará agora meia volta adiante;
- A bobina gira mais meia volta para alcançar a nova posição de repouso, mas ao chegar próxima dela, novamente entram em ação os comutadores e a corrente é invertida. Uma nova posição de repouso aparece;
- A nova posição de repouso estará novamente meia volta à frente e a bobina continua girando.

Os motores com escovas, observados na Figura 72, são especificados para operar dentro de uma faixa de tensões. Acima desta tensão o problema maior é a dissipação de calor pelo enrolamento, quando os fios aquecidos demasiadamente, podem ter sua isolação esmaltada queimada e a velocidade de rotação deste tipo de motor depende da tensão aplicada e também da carga, ou seja, da força que necessita fazer.



Figura 72: Motor do Evaporador – Modelo SPALL B40

O principal problema observado nos motores do evaporador com escovas é o fato das escovas estarem gastas ou suas conexões frouxas, sendo a sua vida útil menor que a vida útil do motor, como pode ser vista na análise gráfica realizada apresentada na Figura 73, focada na saída dos motores danificados dos veículos.

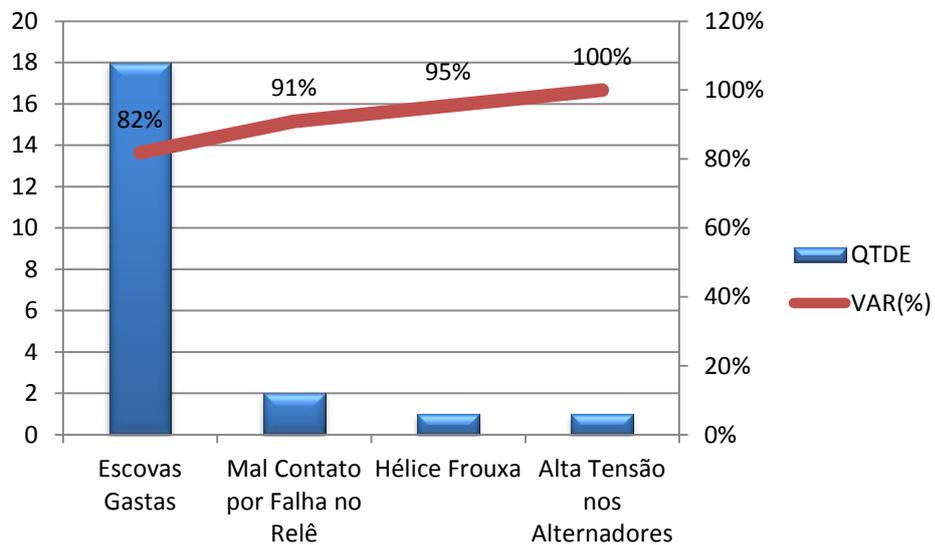


Figura 73: Análise de Pareto – Falha nos Eletroventiladores

A proposta de melhoria para esta falha detectada no FMEA é o uso de motores sem escovas, pois como visto anteriormente, a maior limitação dos motores de corrente contínua está na necessidade de se adotar um sistema comutador mecânico que inverta alternadamente a corrente durante o movimento e assim ser obtida uma rotação contínua. Estas escovas

gastam, geram ruídos e, além disso, estão sujeitas a problemas de contatos que se agravam à medida que as rotações aumentam.

Um motor convencional com escovas, conforme a Figura 74 consiste em um rotor com uma bobina que gira em um campo magnético produzido. As conexões da bobina são feitas através de anéis deslizantes, este motor se comporta como um motor de passo (invertendo a corrente o rotor gira 180 graus).

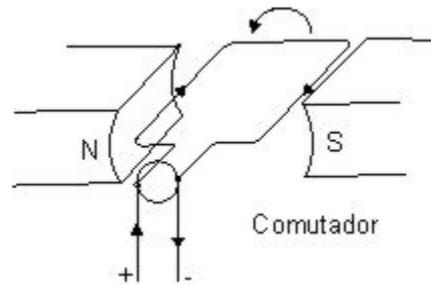


Figura 74: Motor convencional com escovas

(www.newtoncbraga.com.br)

Para transformar este motor em um motor sem escovas deve-se partir da eliminação dos enrolamentos do rotor, isso é possível colocando-se um ímã permanente como parte rotativa do motor e as bobinas se encontrarão nos polos do estator. Para tal demanda, é necessário um mecanismo para inverter a corrente automaticamente como um sensor óptico ou um sensor de efeito Hall, ilustrado conforme a Figura 75:

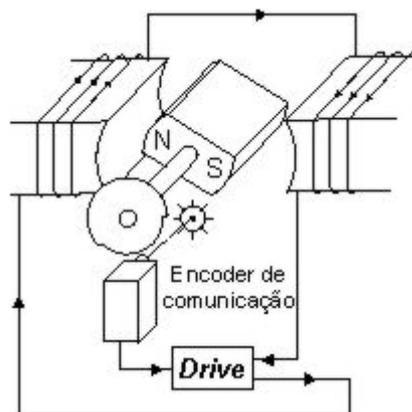


Figura 75: Princípio de Funcionamento – Chave Encoder

(www.newtoncbraga.com.br)

Com a concepção desse componente, elimina-se a possibilidade do defeito das escovas gastas que representou 81% das falhas do equipamento, influenciando assim, diretamente na

vida útil do equipamento. Em consulta de preço com a SPAL, (revendedora do equipamento com escovas) o preço se demonstrou 90% mais caro, fazendo assim viável a sugestão de compras deste equipamento para testes em questão de durabilidade e comparação com o modelo atual usado.

5-Conclusão

A aplicabilidade do RCM acompanhada da ferramenta do FMEA para o Ar Condicionado de um Ônibus foi um sucesso. A diretoria de Manutenção da empresa aprovou a iniciativa do estudo e anseia que o trabalho descrito neste projeto seja amplificado para todo o restante do ônibus.

Os funcionários da Refrigeração se sentiram lisonjeados de estarem participando deste projeto, onde ao notarem o desenvolver do trabalho não tinham ciência do quanto eles tinham de domínio da informação em questão da manutenção do Ar Condicionado dos Ônibus.

Algumas das Propostas de Melhorias, já estão sendo implementadas na Garagem do Maruí, com o intuito de reduzir a parada dos veículos por falha no equipamento do Ar Condicionado, mostrando que o projeto em si, teve seu valor e total aplicação prática para a rotina da Garagem.

5.1-Propostas para Trabalhos Futuros

Os objetivos do projeto foram alcançados na medida em que as falhas foram identificadas, analisadas quanto aos seus modos de falhas e efeitos, servindo como um documento base para tomada de decisão quanto ao tipo de intervenção que deve ser executado ao equipamento.

A ferramenta utilizada (FMEA) foi válida uma vez que houve a participação de todos os envolvidos na manutenção do equipamento, todos tiveram a chance de expressar suas ideias e analisar cada modo e efeito de falha quanto a sua severidade, frequência e detectabilidade, etapa de suma importância para o mapeamento dos modos de falha mais críticos.

Todas as cargas calculadas nas análises, aplicadas nos modelos, foram baseadas no peso próprio dos componentes e dados do fabricante, porém por questões de segredos de projetos nem todas as informações necessárias foram adquiridas. A simulação através do programa Simulation, reforçou um fato sobre a dinâmica de movimento do ônibus em relação ao componente, fica como sugestão o estudo mais aprofundado do componente (Mangote).

A metodologia utilizada está totalmente interligada com a fase em que a empresa se encontra, implantação da manutenção produtiva total (TPM), sendo assim é favorável o uso desta não só para gestão da manutenção como para os diversos processos produtivos da empresa.

Como efeito informativo, o fabricante já realiza o FMEA de projeto com o objetivo de analisar o equipamento antes mesmo da etapa de fabricação. Porém, não conseguiu identificar os diversos modos de falhas listados nesse trabalho.

A FMEA é uma análise dinâmica e que, possivelmente, ao implementar essas providências ocorrerão outras falhas no conjunto de componentes do sistema do Ar Condicionado, determinando continuidade do processo, que deve ser sempre revisto de acordo com o contexto demonstrando. Assim a proposta de trabalhos futuros se insere em um ciclo de processos para melhoria da qualidade.

A interação com o fabricante permitiu explorar o melhor desempenho do equipamento e contribuirá para que as novas versões incorporem as experiências atuais e os resultados do processo, como sugerem as novas concepções de gestão de manutenção.

6-Referências Bibliográficas

- [1] Catálogo Thermo King LRT COMFORT.
- [2] Catálogo Mercedes Benz Chassis OF – 1721.
- [3] Catálogo Compressor X430.
- [4] MOUBRAY, JOHN; Manutenção Centrada em confiabilidade, 2ª ed.: Lutterworth, Inglaterra: Bookman, 2005.
- [5] PALADY, PAUL; FEMA – Análise de Modos de Falha e Efeito: Editora Imam.
- [6] GORDON, J VAN WYLEN – Fundamentos da Termodinâmica, 6ª ed.:
- [7] INCROPERA – Fundamentos da Transferência de Calor e Massa, 6ª ed.:
- [8] HIBBELER, R.C; Resistencia dos Materiais, 8ª ed.: Pearson,2005.
- [9] NBR-5462
- [10] HELMAN, H., ANDERY, P.R.P. (1995) Ferramenta da Qualidade – Análise de Falhas (Aplicação dos métodos FMEA – FTA), Fundação Cristiane Ottoni, Escola de Engenharia – UFMG, Belo Horizonte.
- [11] PINTO, A.K.; XAVIER, J.N. (1999) Manutenção – Função Estratégica. Qualitymark, Rio de Janeiro.
- [12] KRONER, W. (1999) Produtividade e Qualidade na Manutenção, Apostila apresentada no curso para Gerenciamento da Manutenção – WeilandKroner, São Paulo, 1999.
- [13] LAFRAIA, J. R. B. (2001) Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Qualitymark: Petrobras, Rio de Janeiro.
- [14] MIRSHAWKA, V., OLMEDO, N.L. (1993) Manutenção – Combate aos Custos da Não Eficácia – A vez do Brasil. Ed. Makron Books, São Paulo.
- [15] NASCIF, J. (2000) Manutenção de Classe Mundial, Revista Manutenção e Qualidade, n.29 p. 8.
- [16] Apostila FMEA GEPEQ – Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade – DEP UFSCAR José Carlos Toledo e Daniel Capaldo Amaral.
- [16] RAUSAND, M. (1998) Reliability Centered Maintenance, Paper of Department of Production and Quality Engineering, Norwegian University of Science and Technology, n-7034 Trondheim, Norway.

[17] “ANÁLISE TEÓRICA DA EFICIÊNCIA DE FRENAGEM DE ALGUMAS CONFIGURAÇÕES DE VEÍCULOS UNITÁRIOS E COMBINAÇÕES DE VEÍCULOS RODOVIÁRIOS DE CARGA BRASILEIROS” - João Alexandre Widmer Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos.

[18] Código de Trânsito Brasileiro.

[19] REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO - Prof. Humberto A. Machado - Departamento de Mecânica e Energia – DME Faculdade de Tecnologia – FAT UERJ – Resende Março de 2009 (3a Edição revisada)

[20] “Análise de Frequências Naturais e Modos de Vibração de um Navio Graneleiro Operando em Águas Rasas” - Prof. Orientador - Ulisses Admar Barbosa Vicente Monteiro Rio de Janeiro, RJ – Brasil Abril de 2013

[21] “METODOLOGIA DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE APLICADA EM UMA MÁQUINA DE MONTAR PNEUS” (Daniel Mocelin Tasth, Dezembro, 2010).

[22] SISTEMA DE AR CONDICIONADO POR ABSORÇÃO PARA ÔNIBUS. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp064542.pdf>>

[23] CONDICIONAMENTO DE AR E SUA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA – Lucilene Pavanello Gonçalves – São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://engenharia.anhembis.br/tcc-05/civil-36.pdf>>. Acesso em: Novembro 2014

[24] Diagrama de Pareto. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Pareto> Acesso em: Novembro 2014

[25] Auto Viação 1001. Disponível em: <<http://www.autoviacao1001.com.br/shared/midia2011.pdf>> Acesso em: Novembro 2014

[26] Histórico Institucional. Disponível em: <http://www.jcaholding.com.br/templates/jca/livro_full.pdf> Acesso em: Novembro 2014

[27] THERMOKING. Disponível em: <<http://www.thermoking.com.br/>> Acesso em: Novembro 2014

[28] A História de Ar Condicionado Sistemas Automotivos. Disponível em: <<http://www.carro-carros.com/carros/auto-repair/general-auto-repair/75781.html>>

[29] FMEA. Disponível em: <<http://www.portaldeconhecimentos.org.br>> Acesso em: Novembro 2014

[30] Ciência e Tecnologia da Borracha. Disponível em: <<http://ctborracha.com>> Acesso em: Novembro 2014

[31] Catálogo de elastômero Vibtech Disponível em: <<http://www.vibtech.com.br/upload/catalogo/15.pdf>> Acesso em: Junho 2015

[32] Comportamento dos fluidos refrigerantes em um sistema de refrigeração. Disponível em: <<http://www.ambientegegado.com.br>> Acesso em: Novembro 2014

[33] Filtro Secador. Disponível em: <http://www.refrigeracao.net/Topicos/filtro_seca.htm> Acesso em: Novembro 2014

Anexo I



Foto – Vista frontal do modelo de ônibus utilizado no projeto.

Foto captada na segunda visita do grupo a 1001, conhecendo a Garagem do Maruí. Este ônibus faz referência ao Chassi/Carroceria do modelo analisado pelo grupo.



Foto – Código referente ao ônibus base de informações.

Figura mostrando o número de ordem do ônibus. Essa numeração é a Identidade do ônibus. Foto captada na segunda visita do grupo a 1001, conhecendo a Garagem do Maruí. Este ônibus faz referência ao Chassi/Carroceria do modelo analisado pelo grupo.



Foto – Interior da carroceria Apache Vip III local onde ar refrigerado é distribuído.

Parte interna do salão evidenciada nesta foto, mostrando o volume que o Ar Condicionado deve refrigerar, este veículo tem capacidade para 50 passageiros sentados.



Foto – Dispositivo de saída do ar refrigerado indicado.

Foto evidenciando os difusores de ar individuais que tem a missão de soprar ar gelado dentro da cabine, com aletas para direcionamento do vento gelado para os passageiros.

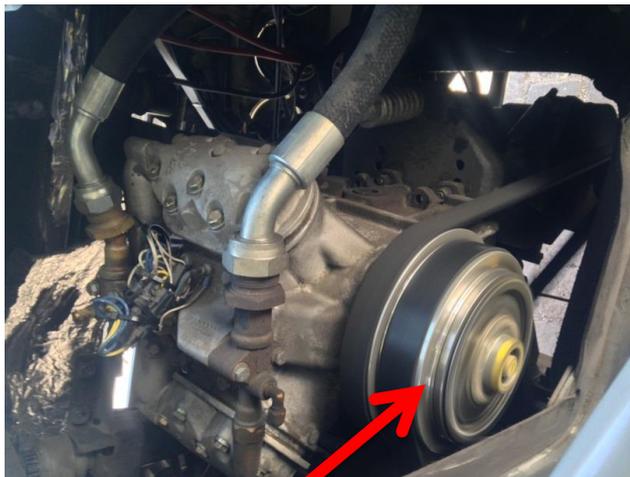


Foto – Imagem retirada da interna do ônibus polia tracionada por correias do motor e alternador.

Figura mostrando o Compressor do Ar Condicionado em seu funcionamento, sua tração vem do torque do motor do chassi transmitida por uma correia aliada a polia do compressor.

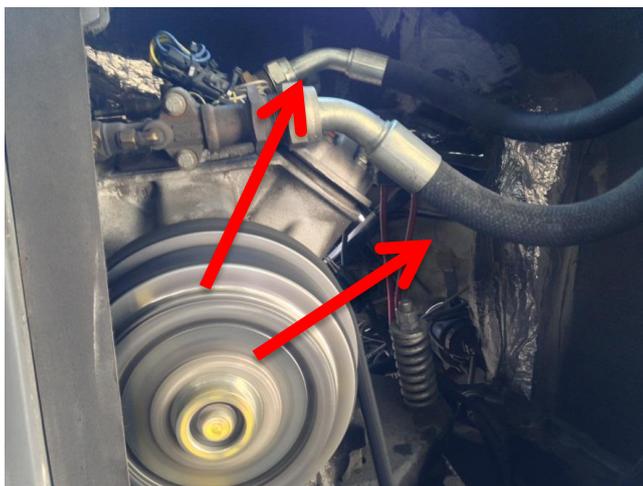


Foto – válvulas e mangueiras de saída e entrada do compressor.

Fotografia ilustrando os mangotes flexíveis, responsáveis pelo transporte do R134A pelo sistema, sua localização é na quinta dianteira direita do veículo.



Foto – Imagem retirada debaixo do ônibus e mostra o alternador e sua correia.

Imagem evidenciando o Alternador do Ar Condicionado, impulsionado por sua correia que é acoplada a polia do Compressor do Ar Condicionado.



Foto – Motor com a tampa de proteção aberta e direita a porta de entrada do passageiro.

Foto ilustrando a proximidade do motor do ônibus com o Compressor do Ar Condicionado. Ambos os baús de acabamento retirados.



Foto – Vista superior do motor.

Fotografia mostrando a vista superior do Motor do Ônibus OF-1721 caracterizado por ser na parte dianteira do veículo como a grande maioria dos veículos urbanos hoje em operação no Brasil.



Foto – Sistema de refrigeração com a grade proteção de abeta e fechada.

Imagem mostrando onde é localizada a válvula de expansão, visualizada no meio do veículo protegida por uma grade de acabamento.



Foto – Condensador.

Ilustração destinada a exibir a localização do Condensador mostrada na parte superior do veículo do lado de fora. Em preto são visualizados os 4 eletroventiladores do condensador, responsáveis por expusar o ar quente proveniente da troca de calor do gás R-134 A com o ambiente, rejeitando calor.



Foto – Motor (eletroventilador) do evaporador.

Foto destinada a exibição do Eletroventilador do Evaporador responsável por além de soprar ar frio para dentro das galerias onde sairá para cabine, também tem a responsabilidade de captar o ar mais quente que será resfriado com a troca térmica do gás R-134 A.

Anexo II

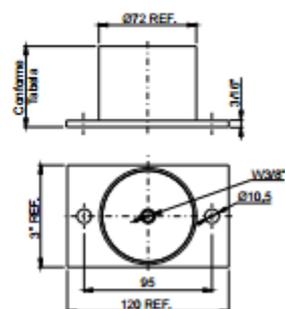


Linha Elastômero



VE 1142

CÓD/ÍNDICE	Carga kgf	Altura Livre mm	Deflexão mm
VE 1142-01	450	45	3,5±2
VE 1142-02	400	65	7±2,5



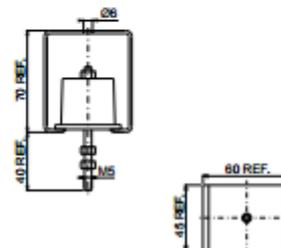
PLACA VT

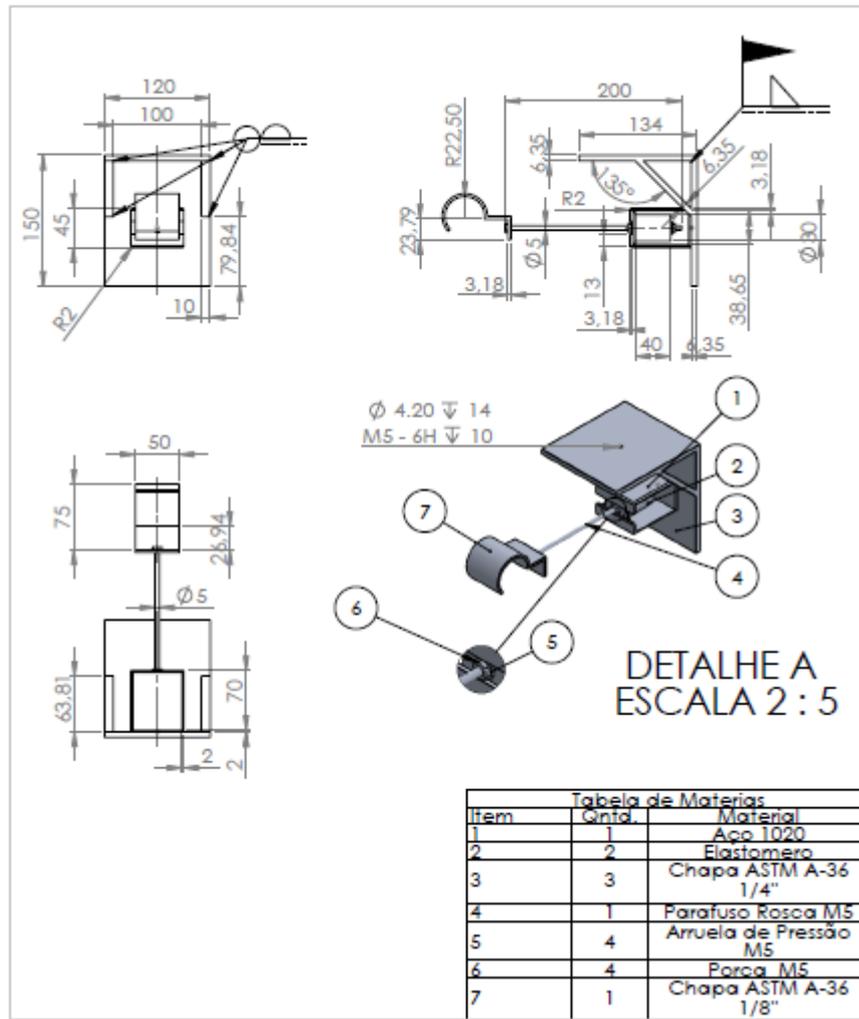
CÓD/ÍNDICE	Carga kgf	Altura Livre mm	Deflexão mm
PLACA VT - 01	1Kg/cm ²	9	1±0,5
PLACA VT - 02	2Kg/cm ²	9	1±0,5



VE 1143 T

CÓD/ÍNDICE	Carga kgf	Deflexão mm
VE 1143T-01	5 à 10	3,5±1
VE 1143T-02	10 à 25	3,5±1





Modelo X430	
Deslocamento	30 cid (492 cc)
Número de Cilindros	4
Faixa Operacional Recomendada	800 a 3000 RPM
Carga de Óleo	4,2 litros (8,9 pints) (seco)
Tipo de Óleo:	R-22 (Viscosidade de 150 SUS) TK No. 67-404 (sintético)
Tipo de Óleo:	R-134a/R-407C (35 Único) TK No. 203-513 (sintético)
Faixa da Pressão Operacional da Bomba de Óleo	15 psig min a 45 psigmáx (103 min a 310 kPamáx)
Bomba de Óleo	Tipo do Gerotor
Inclinação	10 graus em qualquer direção
Método de Acionamento do Compressor	Acionamento direto ou por correia
Carregamento lateral da correia	181 kg (400 lbs)
Peso (incluindo óleo, válvulas de serviço e embreagem)	52 kg (115 lb)
Embreagem do Compressor	
Tipo	Elétrico
Tensão	27 Vdc
Resistência*	12 ohms @ 38°C (100°F) 11,6 ohms @ 24°C (75°F) 11,2 ohms @ 10°C (50°F)
Folga de Ar	1,43 ± 1,27 mm (0,45 ± 0,05 pol.)
Velocidade de engate	0 a 3000 rpm (qualquer velocidade)
Torque máximo do compressor e da embreagem	108,5 N•m (80 pés-lb)
Valor do torque de fuga da embreagem	165,9 N•m (125 pés-lb)

