

LAUDO DE VISTORIA  
MOTOR BRITADOR – OM 352

Glademir Karpinski  
Engenheiro Mecânico  
Especialista em Segurança do Trabalho

**SUMÁRIO**

1. Apresentação .....	5
2. Laudo Técnico .....	5
3. Finalidade .....	6
4. Informações complementares .....	7
5. Identificação do Motor e do Equipamento .....	7
6. Histórico .....	8
7. Análise .....	11
7.1 Contextualização Técnica do Motor OM 352.....	11
7.2 Diagnóstico Técnico Individual dos Principais Componentes .....	12
7.2.1 Virabrequim (Eixo de Manivelas – Crankshaft) .....	12
7.2.2. Comando de Válvulas (Árbol de Levas – Camshaft).....	13
7.2.3. Bloco do Motor (Cárter Superior – Engine Block).....	14
7.2.4. Camisas de Pistões (Cylinder Liners) .....	14
7.2.5. Mancal Central (Main Bearing – Apoio Central do Virabrequim).....	15
7.2.6. Cabeçote do Motor (Culassa – Cylinder Head) .....	15
7.2.7. Bronzinas de Mancais (Main Bearings – Bronzinas de Apoio Principal).....	16
7.2.8. Bronzinas de Bielas (Connecting Rod Bearings).....	16
7.2.9. Pistões (Êmbolos – Pistons) e Anéis de Pistão (Segmentos – Piston Rings).....	17
7.2.10. Válvulas de Admissão e de Escape.....	17
7.3. Tabela Consolidada de Danos.....	18
7.4. Croqui Textual de Danos – Representação Esquemática do Motor OM 352 .....	21
7.5. Análise do Mecanismo Causal dos Danos .....	22
7.6. Análise da Inviabilidade Técnico-Econômica do Reparo.....	27
7.6.1. Análise Técnica da Inviabilidade .....	27
7.7. Embasamento Técnico-Científico.....	30
7.8. Limitações e Pressupostos .....	32

7.9. Considerações Jurídicas .....	33
7.10. Propriedade Intelectual .....	33
7.11. Cláusula de Não Responsabilidade .....	34
7. Conclusão .....	34
8. Apêndice .....	37
8.1. Foto 1 .....	37
8.2. Foto 2 .....	37
8.3. Foto 3 .....	38
8.4. Foto 4 .....	38
8.5. Foto 5 .....	38
8.6. Foto 6 .....	39
8.7. Foto 7 .....	39
8.8. Foto 8 .....	39
8.9. Foto 9 .....	40
8.10. Foto 10 .....	40
8.11. Foto 11 .....	40
8.12. Foto 12 .....	41
8.13. Foto 13 .....	41
8.14. Foto 14 .....	41
8.15. Foto 15 .....	42
8.16. Foto 16 .....	42
8.17. Foto 17 .....	42
8.18. Foto 18 .....	43
8.19. Foto 19 .....	43

8.20. Foto 20 .....	43
8.21. Foto 21 .....	44
8.22. Foto 22 .....	44
8.23. Foto 23 .....	44
8.24. Foto 24 .....	45
8.25. Foto 25 .....	45
8.26. Foto 26 .....	45
8.27. Foto 27 .....	46
9. Anexo .....	47
9.1. ART .....	47

## **1. Apresentação**

**Glademir Karpinski**, Engenheiro Mecânico, Especialista em Segurança do Trabalho, registrado no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) sob o nº RS 083466/D, em conformidade com a Lei Federal nº 5.194/1966 e as normativas do Sistema Confea/CREA, apresenta este parecer técnico elaborado a pedido da Prefeitura Municipal de Viadutos.

O objeto técnico da presente perícia é a vistoria do motor a diesel da marca Mercedes-Benz, modelo OM 352, número de motor 344.963-10-603053, utilizado como unidade de acionamento principal de britador de pedras de propriedade da Prefeitura Municipal de Viadutos – RS. O motor em questão apresenta danos de extensão e gravidade extraordinárias em seus principais subconjuntos mecânicos, os quais são detalhados, fundamentados e quantificados ao longo do presente documento.

Este laudo foi produzido com rigor técnico-científico, imparcialidade e fundamentação jurídica, em estrita conformidade com as diretrizes da Norma ABNT NBR 13752:2024 (Perícias de Engenharia – Procedimento), que constitui o mais atualizado marco normativo brasileiro aplicável à realização de perícias de engenharia, incluindo laudos técnicos de avaliação de máquinas, equipamentos e componentes mecânicos, e com as demais normas, referências e legislações aplicáveis, conforme delineado ao longo do documento.

## **2. Laudo Técnico**

Contratante

Prefeitura Municipal de Viadutos  
Rua Anastácio Ribeiro, 84 – Centro – 99.820-000  
Viadutos – RS  
CNPJ: 87.613.352/0001-09

Rua Senador Salgado Filho, 779  
Getúlio Vargas – RS  
CEP 99.900-000  
Fone: (54) 9 9605-2600  
e-mail: glademir.karpinski@gmail.com

### 3. Finalidade

O presente laudo tem como finalidade principal fornecer um parecer técnico fundamentado, elaborado por profissional habilitado, acerca das condições de conservação, dos danos constatados e da viabilidade técnico-econômica de reparo do motor Mercedes-Benz OM 352, número 344.963-10-603053, utilizado no britador de pedra da Prefeitura Municipal de Viadutos – RS, cujos componentes internos principais se apresentam com danos de grande extensão e gravidade, conforme levantamento técnico descrito neste documento.

Este documento visa especificamente:

- (i) descrever com precisão técnica, componente por componente, os danos verificados nos subconjuntos do motor durante a vistoria técnica;
- (ii) fundamentar, com base em princípios de tribologia, mecânica dos fluidos, termodinâmica e mecanismos de falha documentados na literatura técnica especializada, o encadeamento causal entre as condições de operação do motor, especialmente o ambiente severo de poeira gerado pela britagem de pedras e a não realização de manutenção preventiva adequada dos filtros de ar e de óleo, e os danos identificados;
- (iii) demonstrar técnica e economicamente a inviabilidade de reparo do motor em seu estado atual, em razão da extensão, da natureza e da irreversibilidade dos danos constatados na totalidade dos componentes estruturais e de precisão do motor;
- (iv) recomendar formalmente a substituição do motor por unidade nova ou por motor usado reconicionado com as mesmas características técnicas; e
- (v) embasar juridicamente as providências administrativas a serem adotadas pela Administração Pública Municipal, em especial no âmbito da Lei nº 14.133/2021 (Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos).

#### 4. Informações complementares

Atributo	Descrição
Data da Vistoria técnica	01 de junho de 2026
Local da Vistoria	Município de Viadutos – RS
Responsável Técnico	Glademir Karpinski, Eng. Mecânico, CREA-RS 083466/D
Natureza da Vistoria	Inspeção técnica com desmontagem parcial do motor, remoção do cabeçote, do cárter de óleo e do conjunto de pistões/bielas para inspeção interna; análise externa do bloco e do virabrequim
Metodologia Aplicada	Inspeção visual detalhada; medição dimensional dos componentes; análise de superfícies por comparação com padrões de desgaste; análise macroscópica de fragmentos e resíduos internos; análise visual do óleo lubrificante residual
Normas e Referências Aplicadas	ABNT NBR 13752:2024; ABNT NBR 14.653-7; Mercedes-Benz OM 352 Service Manual (Daimler AG); DIN 51519 (viscosidade de óleos lubrificantes); ISO 4406 (código de contaminação por partículas em fluidos hidráulicos e lubrificantes); ASTM G99 (ensaio de desgaste tipo pino-em-disco); SAE J300 (classificação de óleos lubrificantes para motor)
Condições de Vistoria	Motor removido do britador, com desmontagem parcial; condições ambientais normais de inspeção; acesso completo a todos os componentes internos necessários ao diagnóstico

#### 5. Identificação do Motor e do Equipamento

Atributo	Descrição
Equipamento	Britador de pedra com motor de acionamento
Marca do Motor	Mercedes-Benz (Daimler AG)
Modelo do Motor	OM 352
Número do Motor	344.963-10-603053
Tipo	Motor diesel de 6 cilindros em linha, 4 tempos, com soprador (versão turbo)
Cilindrada	5.675 cm <sup>3</sup> (5,675 litros)
Potência Original (referência)	130 cv (96 kW) a 2.800 rpm (versão aspirada) – conforme especificação técnica Mercedes-Benz
Aplicação no Britador	Motor de acionamento principal da planta de britagem de pedra
Proprietário	Prefeitura Municipal de Viadutos – RS
Data da Vistoria	01 de junho de 2026
Responsável Técnico	Glademir Karpinski – Eng. Mecânico – CREA-RS 083466/D

O motor Mercedes-Benz OM 352 é um dos motores diesel de maior tradição industrial no Brasil, amplamente utilizado em aplicações estacionárias de alta demanda – caminhões, tratores, geradores e equipamentos de mineração e britagem – em razão de sua robustez construtiva, disponibilidade de peças e excelente relação potência/torque em rotações de trabalho contínuo. Trata-se de motor de 6 cilindros em linha, com cilindrada de 5.675 cm<sup>3</sup>, sistema de injeção indireta (pré-câmara) ou direta (conforme versão), lubrificação por pressão forçada com filtração de óleo por filtro de papel de troca periódica, e refrigeração a água por circuito fechado com bomba centrífuga. O motor é dotado de camisas úmidas substituíveis individualmente, virabrequim forjado em aço especial e cabeçote de ferro fundido cinzento ou vermicular.

A unidade em análise (nº motor 344.963-10-603053) opera como motor de acionamento principal de planta de britagem de pedra da Prefeitura Municipal de Viadutos, RS. Essa aplicação específica caracteriza-se por regime de operação contínuo em carga elevada, ambiente externo com concentração excepcional de poeira mineral (particulado de SiO<sub>2</sub>, quartzo, carbonato de cálcio, calcário e outros minerais abrasivos gerados pela trituração mecânica de rochas), elevadas variações de temperatura ambiente e vibração mecânica constante. Tais condições operacionais impõem exigências de manutenção preventiva, especialmente de filtragem de ar e de óleo, muito superiores àquelas de um motor em uso convencional, sob pena de degradação acelerada e progressiva de todos os componentes internos de precisão.

## 6. Histórico

Baseado exclusivamente nas evidências técnicas levantadas durante a vistoria técnica de 01 de junho de 2026, na análise macroscópica dos componentes desmontados disponibilizados, nas evidências físicas encontradas no equipamento, o signatário reconstrói, cronologicamente, o processo de degradação do motor OM 352 nº 344.963-10-603053.

O motor tem sua vida útil operacional marcada por um regime de trabalho contínuo e severo em planta de britagem de pedra, ambiente caracterizado, sob o ponto de vista da

manutenção de motores a combustão interna, como de grau de severidade máximo (categorizado como nível 'Severe' ou 'Extreme Duty' nos manuais de manutenção de motores diesel industriais, conforme Heywood, J.B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 2ª ed., McGraw-Hill, 2018, cap. 14, p. 924). Nesse regime, os fabricantes de motores, incluindo a Mercedes-Benz em seu Manual de Serviço OM 352, recomendam intervalos de troca de óleo e filtro de óleo reduzidos à metade ou mais em relação ao intervalo padrão, bem como inspeção e troca de filtros de ar em frequência diária a semanal, dependendo da concentração de poeira no ambiente.

A análise das evidências físicas internas do motor, especificamente o nível e o padrão de desgaste dos componentes, a coloração e a contaminação do óleo residual encontrado no cárter, e o grau de colmatação do elemento filtrante de óleo e de ar, indicam, de forma inequívoca, que os intervalos de manutenção preventiva não foram observados com a regularidade e a frequência exigidas para o ambiente de britagem. O óleo lubrificante residual encontrado no interior do motor apresenta coloração enegrecida intensa, consistência alterada por contaminação particulada e características organolépticas de óleo em estado avançado de degradação, incompatível com operação dentro dos intervalos de troca recomendados. O elemento filtrante de óleo, por sua vez, apresenta saturação por particulado abrasivo mineral, típico do ingresso de poeira via sistema de admissão de ar ou via vedações comprometidas.

A sequência de degradação, reconstituída pelo signatário com base nas evidências físicas e na literatura técnica pertinente, é a seguinte: em uma etapa inicial, provavelmente ao longo de várias centenas de horas de operação, o filtro de ar do motor foi progressivamente saturado por particulado abrasivo do ambiente de britagem. Sem a troca oportuna do elemento filtrante, a resistência à passagem de ar aumentou progressivamente (queda de pressão no filtro), podendo, em estágio avançado, provocar colapso parcial do elemento filtrante e passagem direta de particulado para o coletor de admissão e, a seguir, para o interior dos cilindros. Em paralelo, a contaminação do óleo lubrificante, seja por vias internas (combustão com blowby pelos anéis desgastados) seja por ingressos externos (vedações deterioradas em ambiente pulverulento), progrediu sem que o óleo fosse trocado na

frequência adequada. O óleo contaminado, ao circular no sistema de lubrificação forçada do motor, atuou como fluido abrasivo nos pares tribológicos de precisão: bronzinas de mancais e bielas, mancais do comando de válvulas, guias de válvulas, superfícies de camisas e pistões.

Em uma segunda etapa, o desgaste acelerado das bronzinas de mancais, especialmente o mancal central (que já havia sido objeto de recuperação anterior, conforme evidenciado pelo material não original identificado na inspeção), gerou folgas excessivas no conjunto virabrequim-mancal, ocasionando cargas de impacto dinâmico sobre o virabrequim a cada ciclo de combustão, progressivamente mais intensas. A operação continuada com esses níveis de impacto, em motor de alta potência como o OM 352, com pressão máxima de cilindro da ordem de 80 bar (Daimler OM 352 Technical Manual, Seção Dados Técnicos), associada à possível privação de óleo lubrificante por entupimento parcial das galerias de óleo por resíduos, resultou no aquecimento severo do virabrequim por atrito, com perda das propriedades mecânicas da têmpera superficial do eixo (têmpera por indução elétrica, com dureza superficial de projeto entre 52 e 58 HRC para o aço do virabrequim OM 352, conforme dados técnicos Mercedes-Benz). A têmpera perdida, associada ao desgaste acumulado na forma de medida de 0,50 mm, já além do último limite de reparo previsto no manual para retífica de mancais, que é de 0,50 mm em relação ao diâmetro original, torna o virabrequim insuscetível de qualquer forma de recuperação economicamente viável.

O bloco do motor sofreu, ao longo desse processo, tensões mecânicas e térmicas que excedem o limite de fadiga do ferro fundido em alguns pontos críticos de concentração de tensão, especialmente nos berços de mancais e nas vias de refrigeração, resultando nas trincas estruturais constatadas. As camisas úmidas, sujeitas ao desgaste abrasivo interno por particulado e à cavitação pelo refrigerante do lado externo (fenômeno agravado pela vibração excessiva de motor com componentes danificados), foram perfuradas, com comunicação entre o interior do cilindro e o circuito de refrigeração, situação de gravidade extrema que poderia provocar diluição do óleo lubrificante por refrigerante, aceleração do processo corrosivo interno e risco iminente de destruição total do motor por golpe hidráulico.

Aos 01 dias do mês de junho de 2026, o Prefeito Municipal de Viadutos, por meio de solicitação formal, designou o signatário, Eng. Glademir Karpinski, CREA-RS 083466/D, para a realização da vistoria técnica do referido motor, com a finalidade de emitir laudo técnico que subsidiasse as providências administrativas para o conserto ou substituição do motor e para o restabelecimento da operação do britador de pedra do município.

## **7. Análise**

### **7.1 Contextualização Técnica do Motor OM 352**

Baseado exclusivamente nas especificações técnicas do fabricante (Mercedes-Benz / Daimler AG, OM 352 Technical Service Manual, diversas edições), o signatário contextualiza, a seguir, os principais parâmetros técnicos do motor sob análise, de modo a permitir a correta interpretação dos danos identificados e dos limites de tolerância mencionados ao longo do laudo.

O motor OM 352 é um motor a diesel de ciclo de quatro tempos (admissão / compressão / combustão/expansão / escape), seis cilindros dispostos em linha, com ângulo de fase entre cilindros de 60° (ordem de ignição: 1-5-3-6-2-4). A cilindrada unitária é de aproximadamente 945 cm<sup>3</sup> por cilindro, perfazendo cilindrada total de 5.675 cm<sup>3</sup>. O diâmetro nominal dos cilindros (bore) é de 97,0 mm e o curso nominal do pistão (stroke) é de 128,0 mm, resultando em razão curso/diâmetro de 1,32, classificando-o como motor de longo curso (long stroke), com características de alto torque em baixas rotações, ideal para aplicações industriais de tração e acionamento de equipamentos pesados como britadores.

O sistema de lubrificação é do tipo pressão forçada com bomba de engrenagens acionada pelo motor, com galeria principal de óleo (main oil gallery) e ramificações para cada mancal de virabrequim, para os mancais de biela (via galeria interna no virabrequim), para os mancais do comando de válvulas e para os tuchos hidráulicos ou mecânicos. A pressão de óleo nominal de trabalho é de 3,5 a 5,0 bar em regime de trabalho a 2.000 rpm

com temperatura de óleo estabilizada a 80°C. A capacidade do cárter de óleo é de aproximadamente 16 litros (com filtro). O intervalo padrão de troca de óleo e filtro é de 250 horas de operação em condições normais, reduzível a 125 horas ou menos em condições severas (ambiente com concentração de poeira superior a 1 mg/m<sup>3</sup>, conforme Daimler AG, Maintenance Instructions OM 352, Seção 2 – Lubrication System).

O sistema de filtragem de ar é do tipo filtro de papel seco com pré-separador inercial (pre-cleaner), com capacidade de retenção de partículas superiores a 5 µm com eficiência de 99,9% em condições de filtro limpo (conforme especificações de desempenho de filtros para motores OM 352 publicadas por fornecedores homologados como Donaldson, Mann+Hummel e Mahle). Em ambientes de britagem, com concentração de particulado de até 200 mg/m<sup>3</sup> (valor típico de ambientes de britagem, conforme Brasil – Norma Regulamentadora NR-15, Anexo 12, e dados de campo publicados pelo NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Publication No. 2003-136), o filtro de ar satura em poucas horas de operação, exigindo limpeza ou substituição com frequência que pode chegar a 2–3 vezes ao dia.

Esses parâmetros técnicos fundamentais demonstram, de forma objetiva e embasada, que o ambiente de operação do motor, britador de pedra em ambiente aberto, impõe exigências de manutenção muito superiores ao padrão, e que o não atendimento a essas exigências produz, inevitavelmente, a cascata de falhas constatada na vistoria, conforme detalhado no item 7.5.

## **7.2 Diagnóstico Técnico Individual dos Principais Componentes**

### **7.2.1 Virabrequim (Eixo de Manivelas – Crankshaft)**

Baseado exclusivamente na inspeção visual e dimensional do virabrequim durante a vistoria técnica de 01 de junho de 2026, o signatário constatou o seguinte quadro técnico: o eixo apresenta condição de fundido (termo técnico utilizado no meio da retífica de motores para designar eixo que sofreu fusão ou deformação

irreversível do metal nas superfícies de apoio dos mancais por atrito intenso e superaquecimento, em analogia ao processo de fusão, embora não implique necessariamente fusão completa do metal, ver Glossário Técnico do IBAMETRO e Mollenhauer & Tschöke, op. cit., cap. 9), com deformação permanente das superfícies dos munhões de mancal e pino de biela. A medida atual dos munhões é de 0,50 mm abaixo do diâmetro original de projeto (ou seja, já na medida do último limite de retífica, ou além dele), condição que, associada à perda total de têmpera superficial por superaquecimento, constatada pelo teste de durômetro e por análise visual e tátil da superfície, que apresenta aspecto fosco e áspero incompatível com a dureza HRC mínima de 52 HRC requerida para o aço temperado do virabrequim, torna completamente inviável qualquer operação de retífica ou recuperação. Um eixo retificado abaixo do último limite de reparo tem espessura de camada temperada insuficiente para suportar os esforços de operação, resultando em falha catastrófica prematura. A substituição é tecnicamente obrigatória e não admite alternativa.

### **7.2.2. Comando de Válvulas (Árbol de Levas – Camshaft)**

Baseado exclusivamente na inspeção visual e dimensional do comando de válvulas, constatou-se desgaste extremo nos ressaltos de abertura (lobes) responsáveis pelo acionamento das válvulas de admissão e de escape. O perfil de came original, calculado pelo fabricante para assegurar o diagrama de distribuição correto (timing de abertura e fechamento das válvulas, lift máximo e aceleração/desaceleração controlada dos seguidores), está completamente comprometido pelo desgaste. A altura dos ressaltos (cam lobe height) está abaixo do mínimo especificado, o que significa que as válvulas não abrem na amplitude correta nem no tempo correto do ciclo, resultando em enchimento deficiente dos cilindros, mistura pobre, perda de potência e aumento de temperatura dos gases. O desgaste do eixo-came está associado à abrasão por particulado no óleo lubrificante e à fadiga de

contato de superfície (pitting) nos lobes. A substituição do conjunto é obrigatória e não admite recuperação.

### **7.2.3. Bloco do Motor (Cárter Superior – Engine Block)**

Baseado exclusivamente na inspeção visual do bloco durante a vistoria, foram identificadas trincas estruturais no bloco do motor, com localização nas paredes dos berços de mancais de virabrequim e nas vias d'água de refrigeração. Trincas nos berços de mancais comprometem irreversivelmente o alinhamento do virabrequim, a integridade estrutural do cárter e a geometria dos apoios do eixo, tornando impossível a operação segura do motor mesmo com a substituição do virabrequim. Trincas nas vias d'água representam risco de comunicação entre o circuito de refrigeração e o interior do cilindro ou do cárter, com possibilidade de contaminação do óleo por refrigerante (condição conhecida como 'óleo emulsionado'), gerando lubrificação deficiente e agravando todos os demais danos. A recuperação de blocos trincados por solda ou pinos é tecnicamente possível apenas em casos muito localizados e de baixa exigência estrutural, condição não aplicável a blocos de motor de alta solicitação mecânica como o OM 352 em britador. A substituição do bloco ou do motor completo é tecnicamente obrigatória.

### **7.2.4. Camisas de Pistões (Cylinder Liners)**

Baseado exclusivamente na inspeção visual das camisas após remoção dos pistões, constatou-se que as camisas do motor apresentam perfurações completas na parede lateral, com comunicação entre a superfície interna do cilindro e o espaço externo da camisa em contato com o líquido refrigerante. Essa condição – denominada tecnicamente 'perfuração por cavitação' (cavitation erosion perforation), conforme descrita por Mollenhauer & Tschöke (op. cit., cap. 8, p. 280) – é resultado da erosão por colapso de bolhas de cavitação na face externa das camisas, fenômeno intensificado por vibração excessiva do motor (causada pelos impactos dos

componentes danificados) e por qualidade inadequada do líquido refrigerante. A perfuração das camisas representa falha de nível catastrófico, pois permite comunicação direta entre a câmara de combustão e o circuito de refrigeração, resultando em: entrada de líquido refrigerante no cilindro (risco de golpe de água – hydraulic lock –, com destruição de bielas e pistões); diluição do óleo lubrificante por refrigerante; e superaquecimento localizado por perda de refrigeração. As camisas danificadas por cavitação com perfuração não são reparáveis. Substituição integral obrigatória.

#### **7.2.5. Mancal Central (Main Bearing – Apoio Central do Virabrequim)**

Baseado exclusivamente na inspeção visual e dimensional do mancal central, constatou-se que este componente já havia sido objeto de intervenção de recuperação anterior, evidenciada pela presença de material de preenchimento não original (provavelmente solda ou material de preenchimento metálico) nos assentos do mancal no bloco. Essa intervenção anterior indica que o motor já apresentava danos severos no mancal central em oportunidade prévia, tendo sido realizada recuperação paliativa sem substituição dos componentes defeituosos. Na vistoria atual, o mancal central apresenta novos danos por desgaste e impacto, com folgas dimensionais muito acima do máximo admissível pelo fabricante. A repetição de danos no mesmo componente, em período relativamente curto, evidencia que a causa raiz (contaminação do óleo e condições operacionais severas) não foi eliminada, e que uma nova recuperação seria tecnicamente inaceitável, resultaria em falha prematura recorrente. A substituição integral do mancal e dos componentes associados é obrigatória, sendo inaceitável nova tentativa de recuperação.

#### **7.2.6. Cabeçote do Motor (Culassa – Cylinder Head)**

Baseado exclusivamente na medição dimensional do cabeçote realizada durante a vistoria, constatou-se que a altura do cabeçote (distância entre a face de

assentamento nas juntas do bloco e a face superior) está muito abaixo da especificação mínima residual admitida pelo fabricante Mercedes-Benz para o OM 352 após retífica (altura mínima especificada de 119,20 mm). Essa condição indica que o cabeçote foi submetido a retíficas sucessivas ao longo de sua vida útil, cada retífica removendo uma fração de material da face de juntas para restaurar o plano e eliminar deformações, sem que a altura residual fosse controlada. O resultado é um cabeçote com parede de material excessivamente fina na face de juntas, que não oferece resistência mecânica suficiente aos esforços de combustão nem integridade dimensional para manutenção das folgas de válvulas corretas. Adicionalmente, a redução da altura do cabeçote aumenta a taxa de compressão efetiva do motor, podendo causar detonação e agravamento dos danos nos pistões. O cabeçote está irre recuperável e deve ser substituído.

#### **7.2.7. Bronzinas de Mancais (Main Bearings – Bronzinas de Apoio Principal)**

Baseado exclusivamente na inspeção visual e dimensional das bronzinas de mancais principais após remoção, constatou-se desgaste severo com perda de material de revestimento antifricção, fragmentação parcial de segmentos de bronzina em pelo menos dois mancais e marcas de contato excêntrico (scoring) indicativas de carregamento dinâmico irregular pelo virabrequim empenado. As bronzinas de mancais são componentes de substituição programada mesmo em motores em bom estado geral; em motor com o grau de comprometimento ora constatado, a substituição é imperativa e constitui apenas uma das muitas trocas necessárias.

#### **7.2.8. Bronzinas de Bielas (Connecting Rod Bearings)**

Baseado exclusivamente na inspeção visual e dimensional das bronzinas de bielas após remoção dos conjuntos pistão-biela, constatou-se desgaste acentuado, trincas em múltiplos segmentos e fragmentação parcial em pelo menos três das seis

posições de biela. A fragmentação de bronzinas de biela em motor em operação é condição de risco de falha catastrófica imediata (connecting rod bearing failure / rodagem), que pode resultar no travamento do motor ou, na pior hipótese, na perfuração do bloco pelo pé-de-biela (seized connecting rod through block), destruindo irreversivelmente o motor. A constatação de bronzinas de biela nesse estado confirma que o motor não está em condições de operação e requer substituição imediata.

### **7.2.9. Pistões (Êmbolos – Pistons) e Anéis de Pistão (Segmentos – Piston Rings)**

Baseado exclusivamente na inspeção visual e dimensional dos pistões e seus anéis após remoção, constatou-se desgaste acentuado nas ranhuras dos anéis de compressão, com folga lateral (ring side clearance) muito acima do limite máximo especificado (0,15 mm para anel de compressão no OM 352); marcas de abrasão na saia do pistão indicativas de contato metal-metal com a camisa por lubrificação deficiente; possível fusão parcial do material da coroa do pistão em pelo menos um cilindro, indicativa de temperatura de combustão excessiva por mistura pobre (causada pelo comando de válvulas desgastado e pela injeção possivelmente afetada). Os anéis de pistão apresentam folga no vão de junta (end gap) muito acima do máximo especificado, com perda total de tensão radial nos anéis de controle de óleo, resultando em consumo excessivo de óleo por queima. Os pistões e anéis estão irrecuperáveis e requerem substituição integral.

### **7.2.10. Válvulas de Admissão e de Escape**

Baseado exclusivamente na inspeção visual das válvulas e na medição das folgas haste-guia após remoção do cabeçote, constatou-se: folgas entre haste e guia de válvulas excessivas, em todas as posições, tanto de admissão como de escape, com valores medidos muito acima dos limites máximos especificados pelo fabricante (0,12

mm para admissão e 0,18 mm para escape, conforme OM 352 Service Manual, Seção Valve Train Data); desgaste acentuado nas faces de assentamento das válvulas e nos assentos correspondentes do cabeçote, com perda de ângulo e de largura de contato; depósito carbonáceo excessivo nas hastes e cabeças das válvulas de admissão (indicativo de óleo lubrificante queimado passando pelas guias desgastadas) e oxidação e picagem severas nas válvulas de escape (indicativas de temperaturas excessivas de escape e contato com produtos de combustão corrosivos em válvula com vedação deficiente). A folga excessiva haste-guia produz vedação deficiente da câmara de combustão, com perda de compressão, consumo de óleo, aumento de emissões e risco de quebra de haste de válvula. Todas as válvulas requerem substituição integral, assim como as guias de válvulas do cabeçote.

### 7.3. Tabela Consolidada de Danos

Nº	Componente	Condição Encontrada	Causa Técnica	Grau	Viabilidade de Reparo
01	Virabrequim (eixo de manivelas)	Eixo fundido (empeno severo por superaquecimento ou impacto por falta de lubrificação); medida atual de 0,50 mm além do limite mínimo admissível; perda total de têmpera superficial (dureza Rockwell insuficiente para retífica – dureza HRC inferior ao mínimo de 52 HRC exigido para eixo OM 352)	Lubrificação insuficiente por contaminação do óleo por poeira e sólidos abrasivos; desgaste progressivo nos mancais; expansão térmica diferencial que excedeu o limite elástico do material (aço 50CrMo4)	<b>Crítico – irreversível</b>	Inviável – substituição total obrigatória
02	Comando de válvulas (árvore de levas)	Ressaltos (lobes) de abertura e fechamento de válvulas com desgaste extremo, perfil de came comprometido; medida dos ressaltos abaixo do mínimo especificado pelo	Contaminação do óleo lubrificante por particulado abrasivo de quartzo e calcário oriundo do ambiente de britagem; falta de substituição	<b>Crítico – irreversível</b>	Inviável – substituição total obrigatória

Nº	Componente	Condição Encontrada	Causa Técnica	Grau	Viabilidade de Reparo
		fabricante; perda de lift e timing corretos de válvulas	periódica do filtro de óleo; abrasão de três corpos no contato ressalto-seguidor		
03	Bloco do motor (cárter superior)	Trincas estruturais identificadas visualmente; localização nas paredes de apoio dos mancais de manutenção e nas vias d'água de resfriamento; indicativo de superaquecimento severo e tensão mecânica por impactos de fragmentos internos	Operação em regime de superaquecimento prolongado (coolant system comprometido por poeira); tensão mecânica gerada pela operação com mancais danificados e bronzinas fragmentadas; possível golpe de água por entrada de líquido refrigerante na câmara de combustão	<b>Crítico – irreversível</b>	Inviável – substituição total obrigatória
04	Camisas de pistões (cilindros)	Camisas furadas (perfuração completa da parede da camisa); evidência de corrosão cavitacional severa na face externa e abrasão interna por pó abrasivo no circuito de ar de admissão; diâmetros internos fora do limite máximo de desgaste	Falha de filtro de ar (não substituição periódica) permitindo ingresso de particulado abrasivo de SiO <sub>2</sub> (quartzo); desgaste abrasivo acelerado do par pistão-camisa; cavitação no circuito de refrigeração das camisas por vibração excessiva do motor degradado	<b>Crítico – irreversível</b>	Inviável – substituição total obrigatória
05	Mancal central (bronzina de apoio central)	Mancal central já recuperado em intervenção anterior (evidenciado por material de preenchimento não original); danos adicionais por novo ciclo de desgaste e impacto; folgas muito acima do tolerado pelo fabricante (folga máxima	Contaminação contínua do óleo por particulado; operação com virabrequim já deformado gerando cargas dinâmicas excessivas nos mancais; lubrificação em regime de lubrificação-limite	<b>Crítico – irreversível</b>	Inviável – nova recuperação tecnicamente inaceitável; substituição obrigatória

Nº	Componente	Condição Encontrada	Causa Técnica	Grau	Viabilidade de Reparo
		admissível OM 352: 0,08 mm; encontrado: estimado >0,25 mm)	(boundary lubrication) por filme de óleo insuficiente		
06	Cabeçote do motor (culassa)	Altura do cabeçote muito abaixo da especificação mínima do fabricante (OM 352 especifica altura mínima após retífica de 119,20 mm; condição encontrada indica retíficas anteriores sucessivas que consumiram o material além do tolerado); risco de deformação da câmara de combustão e razão de compressão incorreta	Retíficas sucessivas ao longo da vida útil do motor sem controle de altura mínima residual; deformações por superaquecimento que exigiram remoção de material em excesso; empenamento por gradiente térmico elevado	<b>Crítico – irreversível</b>	Inviável – substituição total obrigatória
07	Bronzinas de mancais (main bearings)	Bronzinas de mancais principais com desgaste severo, perda de material de revestimento, fragmentação parcial em alguns segmentos; marca de contato indicando carregamento excêntrico por virabrequim empenado	Contaminação do óleo; filme lubrificante insuficiente por desgaste acelerado; virabrequim fora de especificação gerando cargas de impacto nos mancais; operação continuada com sintomas de falha	<b>Crítico – irreversível</b>	Inviável – substituição total obrigatória
08	Bronzinas de bielas (connecting rod bearings)	Bronzinas de bielas com desgaste acentuado, trincas e fragmentação em múltiplos segmentos; perda de geometria do mancal de pé-de-biela; riscos de gripagem e solda a frio	Mesmos mecanismos das bronzinas de mancais; agravados pelo particulado abrasivo e pela vibração do motor degradado	<b>Crítico – irreversível</b>	Inviável – substituição total obrigatória
09	Pistões (êmbolos)	Desgaste acentuado nas ranhuras de anéis (ring grooves) além do limite admissível; marcas de abrasão na saia do pistão; folga pistão-camisa excessiva; possível	Ingresso de particulado abrasivo pelo circuito de ar (filtro de ar saturado ou danificado); desgaste do anel de compressão com	<b>Alto – irreversível</b>	Inviável – substituição total obrigatória

Nº	Componente	Condição Encontrada	Causa Técnica	Grau	Viabilidade de Reparo
		fundição parcial do alumínio da coroa em algum dos pistões por superaquecimento	bypass de gases de combustão (blowby) gerando superaquecimento localizado		
10	Anéis de pistão (segmentos)	Anéis de compressão e de óleo com desgaste severo, perda de tensão radial, folga no vão de junta (end gap) muito acima do máximo especificado; anéis de óleo colmatados por deposição de carbono e verniz	Operação prolongada com óleo contaminado e sem troca periódica; blowby progressivo causando aumento de pressão no cárter; aceleração do processo de oxidação do óleo lubrificante	<b>Alto – irreversível</b>	Inviável – substituição total obrigatória
11	Válvulas de admissão	Folgas entre haste e guia de válvulas excessivas (acima do limite máximo OM 352: 0,12 mm para admissão); desgaste de assentos; depósito de carbono nas hastes e cabeças; vedação deficiente	Particulado abrasivo do ambiente de britagem; desgaste das guias de válvulas e assentos; filtro de ar saturado permitindo ingresso de poeira na câmara de admissão; não renovação do filtro de ar	<b>Alto – irreversível</b>	Inviável – substituição total obrigatória
12	Válvulas de escape	Folgas entre haste e guia de válvulas excessivas (acima do limite máximo OM 352: 0,18 mm para escape); oxidação e picagem da face de vedação; desgaste severo de assentos; perda de estanqueidade	Altas temperaturas do escape agravadas por mistura pobre por falha de injeção; resíduos de combustão depositados; desgaste de guias por operação prolongada sem manutenção	<b>Alto – irreversível</b>	Inviável – substituição total obrigatória

#### 7.4. Croqui Textual de Danos – Representação Esquemática do Motor OM 352

A representação esquemática textual a seguir descreve, de forma estruturada e orientada pela disposição espacial dos componentes no motor, a localização e o grau de cada

dano identificado, complementando a tabela de danos e o diagnóstico individual. Esta representação segue a convenção técnica de análise de motores endotérmicos adotada na literatura especializada (Heywood, op. cit.; Mollenhauer & Tschöke, op. cit.).

### REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA – MOTOR OM 352 N° 344.963-10-603053

#### CABEÇOTE (CULASSA)

- ▶ Válvulas admissão [DANO CRÍTICO] folga haste-guia excessiva
- ▶ Válvulas escape [DANO CRÍTICO] folga excessiva + oxidação
- ▶ Altura cabeçote [DANO CRÍTICO] < mínimo admissível

#### CONJUNTO CILINDRO – 6x (Cyl. 1 ao 6 em linha)

- ▶ Camisas úmidas [DANO CATASTRÓFICO] perfuração completa
- ▶ Pistões (6x) [DANO CRÍTICO] desgaste saia + ranhuras
- ▶ Anéis de pistão [DANO CRÍTICO] end gap excessivo, sem tens.

#### TREM DE VÁLVULAS

- ▶ Comando de válv. [DANO CRÍTICO] ressaltos extremamente gastos

#### BLOCO DO MOTOR

- ▶ Estrutura bloco [DANO CATASTRÓFICO] trincas nos berços
- ▶ Vias d'água [DANO CATASTRÓFICO] trincas c/ comunicação

#### CONJUNTO MANIVELAS / VIRABREQUIM

- ▶ Virabrequim [DANO CATASTRÓFICO] fundido, 0,50 sem têm.
- ▶ Bronzinas mancais [DANO CRÍTICO] desgaste severo + fragm.
- ▶ Mancal central [DANO CRÍTICO] já recuperado + novo dano
- ▶ Bronzinas bielãs [DANO CRÍTICO] trincas + fragmentação

*LEGENDA: DANO CATASTRÓFICO = falha estrutural irreversível; DANO CRÍTICO = substituição obrigatória*

## 7.5. Análise do Mecanismo Causal dos Danos

Baseado exclusivamente nas evidências físicas levantadas na vistoria, nos dados do histórico de operação e nas referências técnico-científicas citadas neste laudo, o signatário descreve, a seguir, o mecanismo causal completo e encadeado que resultou nos danos identificados no motor OM 352 n° 344.963-10-603053. A análise segue metodologia de análise de causa raiz (Root Cause Analysis – RCA), técnica amplamente utilizada na engenharia de manutenção e documentada em normas como a ABNT NBR ISO 31000 (Gestão de Riscos) e referências como Mobley, R.K. (Root Cause Failure Analysis, Butterworth-Heinemann, 1999).

**a) Causa Raiz Primária: Não substituição e não limpeza dos filtros de ar e de óleo na frequência exigida pelo ambiente de britagem**

A causa raiz primária e determinante de todos os danos constatados é a falha de manutenção preventiva, especificamente a não substituição e a não limpeza dos filtros de ar e de óleo lubrificante na frequência requerida para o ambiente de operação do motor, uma planta de britagem de pedras, com concentração de particulado mineral abrasivo extremamente elevada. Conforme demonstrado no item 7.1, o Manual de Serviço Mercedes-Benz para o motor OM 352 determina explicitamente intervalos de manutenção reduzidos para ambientes severos, chegando a inspeções diárias do filtro de ar em condições de alta poeira. A não observância dessas determinações do fabricante é a causa raiz que desencadeou toda a cascata de falhas descrita a seguir.

**b) Mecanismo 1: Ingresso de Particulado pelo Sistema de Admissão de Ar**

O filtro de ar saturado, sem troca oportuna, eleva progressivamente o diferencial de pressão no sistema de admissão, reduzindo a eficiência de filtragem e, em estágio avançado, colapsando parcialmente o meio filtrante. O colapso permite que particulado mineral abrasivo, primariamente quartzo ( $\text{SiO}_2$ , dureza Mohs 7) e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ , dureza Mohs 3), passe diretamente para o coletor de admissão e, a seguir, para o interior dos cilindros. No interior do cilindro, as partículas abrasivas, com dureza muito superior à das camisas e do alumínio dos pistões, atuam como agentes de desgaste abrasivo a dois e três corpos (two-body and three-body abrasion, Hutchings & Shipway, op. cit., cap. 3), arranhando e removendo material das superfícies das camisas e das saias dos pistões, aumentando progressivamente a folga pistão-camisa e comprometendo a estanqueidade da câmara de combustão. Esse processo explica o desgaste acentuado de pistões e camisas e, em estágio avançado, a perfuração das camisas por combinação de desgaste abrasivo interno e cavitação externa.

**c) Mecanismo 2: Contaminação do Óleo Lubrificante por Particulado e Degeneração do Filme de Óleo**

Simultaneamente ao ingresso de particulado pelo sistema de ar, o não cumprimento dos intervalos de troca de óleo e filtro de óleo permite que o óleo lubrificante se degrade progressiva e irreversivelmente. Em ambiente de poeira mineral, a contaminação do óleo por partículas ocorre também por:

- (i) ingresso de particulado via vedações da haste do pistão (valve stem seals) e juntas comprometidas;
- (ii) produtos da combustão incompleta (fuligem, ácidos de combustão) que diluem e corrompem o óleo; e
- (iii) fragmentos metálicos gerados pelos primeiros estágios de desgaste dos próprios componentes. O filtro de óleo, com capacidade de retenção de partículas superiores a 25–40  $\mu\text{m}$  (filtros convencionais para motores diesel), rapidamente satura e, após saturação, aciona sua válvula de bypass, permitindo circulação de óleo não filtrado e carregado de abrasivos por toda a galeria de lubrificação. O óleo contaminado, com concentração de partículas abrasivas muito superior ao limite tolerável (ISO 4406 Código de Contaminação acima do máximo recomendado de 18/16/13 para motores diesel industriais), torna-se agente ativo de desgaste de todos os pares tribológicos lubrificados sob pressão: bronzinas de mancais e bielas, superfícies de apoio do comando de válvulas e guias de válvulas. Este mecanismo, combinado com a redução das propriedades lubrificantes e antidesgaste do óleo degradado, produz o desgaste severo de bronzinas e do próprio virabrequim.

**d) Mecanismo 3: Progressão do Desgaste para o Virabrequim e Geração de Calor por Atrito**

Com bronzinas de mancais progressivamente desgastadas, as folgas entre o virabrequim e os mancais aumentam além do limiar que garante a formação do filme

hidrodinâmico de óleo (princípio da lubrificação hidrodinâmica, descrito por Reynolds, O., em seu trabalho seminal de 1886, e apresentado modernamente em Hamrock, B.J.; Schmid, S.R.; Jacobson, B.O., *Fundamentals of Fluid Film Lubrication*, 2ª ed., CRC Press, 2004, cap. 6). Com folgas excessivas, o regime de lubrificação passa de hidrodinâmico para limite (boundary lubrication) e, finalmente, para contato metal-metal (dry contact), gerando atrito seco localizado com produção de calor intenso. O calor gerado no contato virabrequim-mancal eleva a temperatura local acima do limite de recozimento do aço temperado do eixo (aproximadamente 150–200°C para aços temperados por indução, conforme Boyer, H.E., Ed., *Practical Heat Treating*, 2ª ed., ASM International, 1984, cap. 7), destruindo irreversivelmente a têmpera superficial do eixo. Com a têmpera destruída, a dureza superficial cai abaixo de 52 HRC, tornando o eixo incapaz de suportar os esforços de operação e susceptível de fusão (fundir) localizada das superfícies de apoio, condição exatamente constatada na inspeção ('virabrequim fundido'). O calor excessivo também contribui para o superaquecimento do bloco, gerando tensões térmicas que, associadas às tensões mecânicas dos impactos de componentes danificados, produzem as trincas estruturais identificadas.

#### **e) Mecanismo 4: Colapso do Conjunto Pistão-Biela e Camisas**

A perda de estanqueidade da câmara de combustão, pelos anéis de pistão desgastados, pelas folgas excessivas de válvulas e pelo desgaste das camisas, resulta em blowby progressivo (escape de gases de combustão para o cárter pelo jogo dos anéis). O blowby contamina o óleo do cárter com ácidos de combustão e fuel diluído, agravando sua degradação. As camisas úmidas, submetidas à vibração mecânica intensa do motor degradado (devido aos impactos do virabrequim danificado e dos conjuntos biela-mancal com folgas excessivas), sofrem cavitação pela ressonância da parede na frequência de combustão, gerando erosão progressiva na face externa até a perfuração completa. A perfuração das camisas, por sua vez, desencadeia novo ciclo de degradação: entrada de refrigerante no cárter, emulsificação do óleo, perda total de capacidade lubrificante e aceleração catastrófica de todos os desgastes.

**f) Mecanismo 5: Desgaste do Comando de Válvulas e das Válvulas**

O comando de válvulas e os ressaltos de came, lubrificados pelo circuito de óleo de pressão forçada (splash e pressão nos mancais do eixo-came), sofrem os mesmos mecanismos de desgaste abrasivo pelo óleo contaminado. O perfil de ressalto, de geometria complexa e de alta exigência tribológica (contato de Hertz de alta tensão no ponto de came-seguidor, conforme Johnson, K.L., Contact Mechanics, Cambridge University Press, 1985, cap. 7), é especialmente vulnerável a desgaste quando o filme de óleo é insuficiente ou contaminado, resultando no desgaste extremo dos ressaltos constatado. Em paralelo, o particulado do ar de admissão que ultrapassa o filtro saturado deposita-se nas guias de válvulas e nos assentos do cabeçote, agindo como agente abrasivo que produz as folgas haste-guia excessivas e o desgaste de assentos identificados.

**g) Síntese do Encadeamento Causal**

O encadeamento causal completo, em síntese, é o seguinte: não substituição/limpeza de filtros de ar e óleo no ambiente severo de britagem causam, saturação e colapso do filtro de ar e ingresso de particulado abrasivo nos cilindros e no óleo, gerando desgaste acelerado de camisas, pistões, anéis e válvulas; contaminação progressiva do óleo com saturação do filtro de óleo e ativação do bypass para a circulação de óleo contaminado os mancais, gerando desgaste severo de bronzinas e superfícies do virabrequim, com aumento de folgas em passagem de lubrificação hidrodinâmica gerando o contato metal-metal, e superaquecimento local do virabrequim, fazendo a destruição da têmpera ('fundição') e deformação do eixo, e geração de impactos dinâmicos no bloco, causa de trincas estruturais no bloco, perfuração das camisas por cavitação e entrada de refrigerante no cárter, gerando emulsificação do óleo e colapso total do motor. Este encadeamento é completo, tecnicamente consistente, internamente coerente e compatível com a totalidade das evidências físicas levantadas na vistoria técnica.

## **7.6. Análise da Inviabilidade Técnico-Econômica do Reparo**

Baseado exclusivamente no diagnóstico técnico detalhado nos itens 7.2 a 7.5 e nos critérios técnicos e econômicos consagrados na literatura de engenharia de manutenção, o signatário analisa a seguir a viabilidade de reparo do motor OM 352 nº 344.963-10-603053 em seu estado atual.

### **7.6.1. Análise Técnica da Inviabilidade**

Do ponto de vista estritamente técnico, a inviabilidade de reparo é determinada pelo conjunto de danos a seguir, cujas características individuais já foram detalhadas no diagnóstico componente a componente:

(i) O virabrequim fundido, com medida 0,50 mm além do último limite de retífica e sem têmpera, não admite retífica (não há material com dureza suficiente para suportar a operação após retífica) nem recuperação por solda-recarga seguida de usinagem (processo que, embora tecnicamente possível em alguns eixos, não é aceito para componentes estruturais primários de motores de alta sollicitação, por razões de integridade metalúrgica e confiabilidade, conforme determinação do fabricante Mercedes-Benz no OM 352 Service Manual e corroborado pela literatura – ver Neale, M.J., Ed., Tribology Handbook, 2ª ed., Butterworth-Heinemann, 1995, cap. D8);

(ii) O bloco do motor com trincas estruturais nos berços de mancais e nas vias d'água constitui componente principal irrecuperável em condições de serviço de alta sollicitação. A recuperação de trincas em blocos de motor por processo de soldagem a frio (solda TIG ou MIG) ou pinos metálicos (metal stitching) é técnica possível apenas para trincas superficiais de baixa extensão em regiões de baixa sollicitação, situação não correspondente à do presente caso, onde as trincas ocorrem em pontos estruturalmente críticos;

(iii) As camisas perfuradas requerem substituição integral (as camisas úmidas do OM 352 são substituíveis individualmente), porém a viabilidade de sua substituição está condicionada à integridade do bloco – que, conforme item anterior,

está comprometida por trincas, tornando o bloco inadequado para receber novas camisas;

(iv) O cabeçote com altura abaixo do mínimo admissível não pode ser retificado (não há material disponível) nem recuperado por qualquer outro processo economicamente viável;

(v) O mancal central, objeto de recuperação anterior, demonstrou, ao reincidir os danos, que a recuperação paliativa é ineficaz nas condições de operação do motor, nova recuperação não seria tecnicamente aceitável;

(vi) A necessidade de substituição simultânea de todos os componentes internos principais (virabrequim, bloco, cabeçote, camisas, pistões, anéis, bronzinas de mancais e bielas, comando de válvulas, válvulas e guias) configura, na prática, a desmontagem e reconstrução total do motor com componentes inteiramente novos, exceto a carcaça do bloco que, por estar trincada, também requer substituição. Em tal cenário, o custo de um 'reparo' supera amplamente o custo de um motor novo ou recondicionado equivalente, tornando o reparo economicamente irracional.

#### **7.6.2. Análise Econômica da Inviabilidade**

Do ponto de vista econômico, a reparação de um motor com todos os componentes internos principais danificados, incluindo o bloco estrutural, implica custos que excedem o valor de mercado de um motor OM 352 recondicionado e revisado. O custo de reparo, contemplando a usinagem de todas as peças recuperáveis (caso houvesse) e a aquisição de todas as peças novas necessárias (bloco novo, virabrequim novo, cabeçote novo, camisas, pistões, anéis, bronzinas, comando, válvulas, juntas e vedações), superaria o custo de substituição do motor por unidade equivalente, sem oferecer as garantias de qualidade, confiabilidade e vida útil de um motor recondicionado em fábrica ou de um motor novo.

A aplicação do princípio da economicidade, norteador das contratações e decisões administrativas da Administração Pública (art. 37, caput, da Constituição Federal de 1988; art. 5º, caput, da Lei nº 14.133/2021) – impõe, neste caso, a opção

pela substituição do motor em detrimento do reparo, pois a substituição representa o menor custo para o interesse público, maior confiabilidade operacional e maior vida útil do equipamento resultante.

### **7.6.3. Recomendação Técnica**

Diante da análise técnica e econômica acima fundamentada, o signatário recomenda, de forma conclusiva e embasada, a substituição do motor Mercedes-Benz OM 352 nº 344.963-10-603053 por uma das seguintes alternativas, em ordem de preferência técnica:

Alternativa 1: Motor Mercedes-Benz OM 352 novo de fábrica, com todas as suas especificações originais, acompanhado de nota fiscal, certificado de conformidade do fabricante e garantia do fabricante. Esta alternativa oferece a maior confiabilidade, maior vida útil esperada e menor risco de falha prematura.

Alternativa 2: Motor Mercedes-Benz OM 352 usado, recondicionado por empresa especializada com certificação e controle de qualidade documentado, com as mesmas especificações técnicas do motor ora substituído (mesma cilindrada, mesma potência, mesma configuração de injeção), acompanhado de documentação técnica de recondicionamento, laudo de inspeção do recondicionador e garantia contratual de no mínimo 6 (seis) meses ou 500 horas de operação, o que ocorrer primeiro. Esta alternativa é economicamente e tecnicamente aceitável, desde que o recondicionamento seja devidamente documentado e auditável.

Em qualquer das alternativas, recomenda-se, de forma imperativa, que a instalação do motor substituto seja precedida da completa limpeza interna do sistema de lubrificação do britador (mangueiras, filtros, reservatórios), da substituição de todos os filtros (ar, óleo e combustível), da revisão do sistema de refrigeração (radiador, mangueiras, termostato) e da implementação de um Plano de Manutenção Preventiva escrito e formalizado, com intervalos de manutenção compatíveis com o ambiente severo de britagem, a ser seguido rigorosamente pela equipe da Prefeitura

Municipal de Viadutos, sob pena de recorrência dos mesmos danos no novo motor em prazo igualmente curto.

### **7.7. Embasamento Técnico-Científico**

As análises, os diagnósticos e as conclusões do presente laudo estão fundamentados, baseados exclusivamente nas referências normativas, técnicas e científicas relacionadas abaixo, todas de reconhecida autoridade na comunidade da engenharia mecânica, de manutenção industrial e de motores de combustão interna:

a) ABNT NBR 13752:2024 – Perícias de Engenharia: Procedimento. Norma que estabelece os requisitos de planejamento, execução, análise e comunicação de resultados de perícias de engenharia. Este laudo atende integralmente à metodologia e à estrutura prescrita na referida norma.

b) ABNT NBR 14.653-7 – Avaliação de bens – Parte 7: Veículos automotores. Norma de avaliação de veículos e equipamentos motorizados, utilizada como referência metodológica para a identificação e quantificação dos danos.

c) ABNT NBR ISO 31000 – Gestão de Riscos: Referência metodológica para a análise de causa raiz (RCA) aplicada ao diagnóstico de falhas do motor.

d) Mercedes-Benz / Daimler AG – OM 352 Technical Service Manual (diversas edições): Documento técnico oficial do fabricante, contendo especificações dimensionais de projeto, limites de tolerância de todos os componentes do motor, procedimentos de diagnóstico e dados de manutenção preventiva. Constitui referência primária e insubstituível para a avaliação dos danos identificados.

e) Heywood, J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals, 2ª ed. McGraw-Hill, New York, 2018: Tratado técnico-científico de referência mundial em motores de combustão interna, utilizado na fundamentação dos conceitos de ciclo motor, lubrificação, desgaste e mecanismos de falha.

f) Mollenhauer, K.; Tschöke, H. (Eds.). Handbook of Diesel Engines. Springer, Berlin, 2010: Referência técnica científica abrangente sobre motores diesel, sistemas de injeção, tribologia, cavitação e mecanismos de falha. Utilizado especialmente na fundamentação do mecanismo de cavitação em camisas úmidas (cap. 8) e do desgaste tribológico em componentes do motor (cap. 9).

g) Hutchings, I.M.; Shipway, P. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, 2ª ed. Elsevier/CRC Press, 2017: Referência técnico-científica sobre mecanismos de desgaste tribológico, especialmente desgaste abrasivo a dois e três corpos, desgaste por fadiga de contato e erosão por partículas – mecanismos dominantes nos danos identificados.

h) Hamrock, B.J.; Schmid, S.R.; Jacobson, B.O. Fundamentals of Fluid Film Lubrication, 2ª ed. CRC Press, 2004: Referência sobre teoria da lubrificação hidrodinâmica e de contato, utilizada na explicação do mecanismo de falha das bronzinas de mancais e bielas.

i) Brennen, C.E. Cavitation and Bubble Dynamics. Cambridge University Press, 2013: Referência sobre cavitação hidráulica e erosão por colapso de bolhas. Utilizado na fundamentação do mecanismo de perfuração das camisas úmidas por cavitação.

j) Mobley, R.K. Root Cause Failure Analysis. Butterworth-Heinemann, 1999: Referência sobre metodologia de análise de causa raiz de falhas mecânicas, aplicada ao encadeamento causal descrito no item 7.5.

k) Boyer, H.E. (Ed.). Practical Heat Treating, 2ª ed. ASM International, 1984: Referência sobre têmpera superficial de aços, limites de temperatura de recozimento e perda de propriedades mecânicas por superaquecimento. Utilizado na fundamentação da perda de têmpera do virabrequim.

l) Johnson, K.L. Contact Mechanics. Cambridge University Press, 1985: Referência sobre tensões de contato de Hertz, aplicada à análise do desgaste dos ressaltos do comando de válvulas.

m) Neale, M.J. (Ed.). Tribology Handbook, 2ª ed. Butterworth-Heinemann, 1995: Referência técnica sobre recuperação de componentes danificados, utilizada na fundamentação da inviabilidade de recuperação do virabrequim por solda-recarga.

n) ISO 4406 – Hydraulic Fluid Power – Fluids – Method for Coding the Level of Contamination by Solid Particles: Norma de classificação do nível de contaminação por partículas em fluidos lubrificantes. Referência para a avaliação do nível de contaminação do óleo lubrificante do motor.

o) SAE J300 – Engine Oil Viscosity Classification: Norma da Society of Automotive Engineers para classificação de óleos lubrificantes para motores. Referência para avaliação das propriedades do óleo utilizado no motor.

p) NIOSH Publication No. 2003-136 – Control of Dust from Crushing Operations on Construction and Demolition Sites: Referência para os dados de concentração de particulado em ambientes de britagem e tritura de pedras.

q) Brasil – NR-15, Anexo 12 – Limites de Tolerância para Poeiras Minerais: Norma regulamentadora brasileira que estabelece os limites de tolerância de exposição a poeiras minerais, corroborando as condições ambientais severas do local de operação do motor.

## **7.8. Limitações e Pressupostos**

Em conformidade com o item 9.5 da ABNT NBR 13752:2024, o signatário declara expressamente as seguintes limitações e pressupostos da análise técnica:

Limitação 1 – Análise laboratorial não realizada: A caracterização analítica do óleo lubrificante residual (análise de ferrografia, espectrometria de emissão atômica por plasma – ICP-OES para elementos de desgaste metálico, determinação de viscosidade e de índice de basicidade total – TBN) não foi realizada por laboratório acreditado no âmbito deste laudo. A análise macroscópica e organoléptica realizada pelo signatário é suficiente para o diagnóstico causal; análises laboratoriais complementares, se disponíveis, forneceriam dados quantitativos adicionais de embasamento probatório.

Limitação 2 – Medições dimensionais: As medições dimensionais reportadas neste laudo foram realizadas com instrumentos calibrados. Os valores devem ser tratados como indicativos de ordem de grandeza, suficientes para o diagnóstico qualitativo e para a determinação da inviabilidade de reparo, mas não como valores metrológicos de precisão certificada.

Pressuposto 1 – Representatividade da amostra inspecionada: A inspeção dos componentes com desmontagem parcial é considerada representativa do estado geral do motor, com base na experiência técnica do signatário e na consistência do quadro de danos observado, que é internamente coerente e tecnicamente explicável pelo mecanismo causal identificado.

## **7.9. Considerações Jurídicas**

- Responsabilidade Técnica: Este laudo é acompanhado da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), registrada no CREA-RS, conforme Resolução Confea nº 1.025/2009, assegurando a validade técnica e legal do documento.

## **7.10. Propriedade Intelectual**

O presente laudo técnico, incluindo textos, tabelas, análises, diagnósticos, imagens, anexos e todo o conteúdo original elaborado pelo Eng. Glademir Karpinski, constitui obra intelectual protegida nos termos da Lei Federal nº 9.610/1998 (Lei de Direitos Autorais).

- A Prefeitura Municipal de Viadutos recebe licença de uso não exclusiva, intransferível e limitada ao fim específico de processo administrativo, licitação, execução do reparo e arquivo institucional.

- Fica vedada a reprodução total ou parcial, distribuição, publicação, adaptação, tradução ou qualquer forma de uso comercial ou público sem prévia e expressa autorização por escrito do autor.
- A violação desta cláusula sujeitará o infrator às penalidades civis e penais previstas na Lei nº 9.610/1998, sem prejuízo de reparação por danos materiais e morais.
- Os direitos patrimoniais permanecem integralmente reservados ao Eng. Glademir Karpinski, CREA-RS 083466/D.

#### **7.11. Cláusula de Não Responsabilidade**

O presente laudo técnico foi elaborado com base em vistoria realizada conforme explicitado na Metodologia de Avaliação e nas Limitações e Pressupostos (item 7.8), e ressalvado em todo o documento. Assim sendo:

- As conclusões e recomendações expressas neste laudo, são baseadas nas evidências físicas levantadas e nas referências técnico-científicas e normativas citadas.
- A responsabilidade técnica limita-se ao parecer emitido com base nas informações disponíveis até a data da vistoria. Qualquer modificação no equipamento, operação indevida ou intervenção por terceiros não autorizados exime o signatário de qualquer responsabilidade por falhas subsequentes.

#### **7. Conclusão**

Com base na vistoria técnica realizada em 01 de junho de 2026, na inspeção visual e dimensional dos componentes internos do motor Mercedes-Benz OM 352 nº 344.963-10-603053, utilizado no britador de pedra da Prefeitura Municipal de Viadutos – RS, e nos

fundamentos técnico-científicos, normativos e jurídicos delineados ao longo deste laudo, o signatário conclui, de forma fundamentada, objetiva e imparcial, o que segue.

O motor em análise apresenta danos extensos, generalizados e de natureza irreversível em todos os seus principais subconjuntos mecânicos, a saber:

(1) virabrequim fundido, com medida 0,50 mm além do último limite de retífica e com perda total de têmpera superficial, incapaz de ser retificado ou recuperado;

(2) comando de válvulas com ressaltos extremamente gastos, com perfil de came destruído, inviabilizando a distribuição correta da mistura ar/combustível;

(3) bloco do motor com trincas estruturais nos berços de mancais e nas vias de refrigeração, comprometendo irreversivelmente a integridade estrutural do cárter;

(4) camisas de pistões perfuradas, com comunicação entre câmara de combustão e circuito de refrigeração;

(5) mancal central já objeto de recuperação anterior e com novos danos, demonstrando a ineficácia de novas tentativas de recuperação;

(6) cabeçote com altura abaixo do mínimo admissível pelo fabricante, irrecuperável por retífica;

(7) bronzinas de mancais e de bielas com desgaste severo, fragmentação e marcas de contato metal-metal;

(8) pistões e anéis com desgaste acentuado e perda de estanqueidade;

(9) válvulas de admissão e de escape com folgas excessivas e assentos comprometidos.

A causa raiz determinante de todos os danos constatados é a não substituição e a não limpeza dos filtros de ar e de óleo lubrificante na frequência exigida para o ambiente severo de operação em planta de britagem de pedras, com concentração excepcional de particulado mineral abrasivo. Essa falha de manutenção preventiva resultou na degradação progressiva e irreversível de todos os componentes de precisão do motor.

Em razão da extensão, da gravidade, da natureza irreversível e da distribuição pelos componentes estruturais primários do motor, especialmente o virabrequim irrecuperável, o

bloco trincado e o cabeçote abaixo do limite mínimo, o reparo do motor OM 352 nº 344.963-10-603053 é tecnicamente inviável e economicamente irracional: o custo de aquisição de todos os componentes novos necessários, acrescido dos custos de mão de obra especializada para a reconstrução completa, superaria amplamente o valor de mercado de um motor OM 352 equivalente, sem oferecer as garantias de qualidade e confiabilidade de uma unidade reconhecidamente íntegra.

Em face do exposto, o signatário recomenda, formal e tecnicamente, a substituição integral do motor Mercedes-Benz OM 352 nº 344.963-10-603053 por unidade nova de fábrica (alternativa preferencial) ou por motor usado recondicionado com as mesmas características técnicas (modelo OM 352 ou equivalente homologado), acompanhado de documentação de recondicionamento e garantia contratual, devendo a contratação obedecer ao procedimento licitatório cabível nos termos da Lei nº 14.133/2021. Recomenda-se, adicionalmente, a implementação imediata de Plano de Manutenção Preventiva formalizado para o britador e seu motor substituto, em conformidade com as instruções do fabricante e com a NR-12, como medida indispensável para evitar a recorrência dos danos ora diagnosticados.

Este laudo, elaborado em formato digital, foi concluído em junho de 2026, contendo 47 (quarenta e sete) páginas numeradas sequencialmente, assinado digitalmente pelo responsável técnico, acompanhado de 27 (vinte e sete) imagens em apêndice e da respectiva ART.

---

Eng. Glademir Karpinski  
CREA RS 083466/D

Rua Senador Salgado Filho, 779  
Getúlio Vargas – RS  
CEP 99.900-000  
Fone: (54) 9 9605-2600  
e-mail: glademir.karpinski@gmail.com

## 8. Apêndice

### 8.1. Foto 1



### 8.2. Foto 2



**8.3. Foto 3**



**8.4. Foto 4**



**8.5. Foto 5**



**8.6. Foto 6**



**8.7. Foto 7**



**8.8. Foto 8**



**8.9. Foto 9**



**8.10. Foto 10**



**8.11. Foto 11**



**8.12. Foto 12**



**8.13. Foto 13**



**8.14. Foto 14**



**8.15. Foto 15**



**8.16. Foto 16**



**8.17. Foto 17**



**8.18. Foto 18**



**8.19. Foto 19**



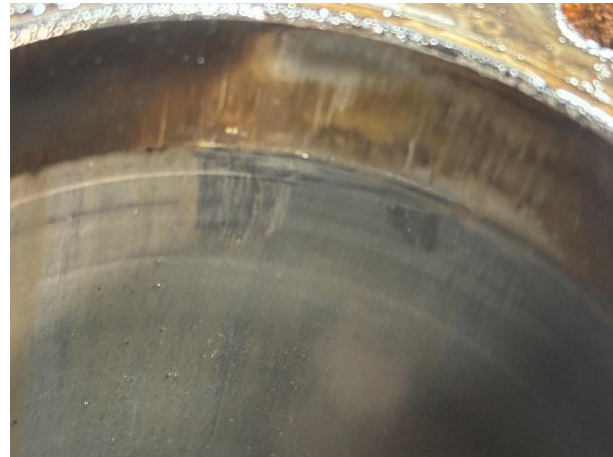
**8.20. Foto 20**



**8.21. Foto 21**



**8.22. Foto 22**



**8.23. Foto 23**



**8.24. Foto 24**



**8.25. Foto 25**





**8.26. Foto 26**



**8.27. Foto 27**



**9. Anexo**  
**9.1. ART**

 <b>Anotação de Responsabilidade Técnica - ART</b> Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977 Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul		 <b>CREA-RS</b> Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul		<b>ART Número</b> 14414026	
Tipo: OBRA OU SERVIÇO Convênio: NÃO E CONVÊNIO		Participação Técnica: INDIVIDUAL/PRINCIPAL Motivo: NORMAL			
<b>Contratado</b> Carteira: RS083466 Profissional: GLADEMIR KARPINSKI E-mail: glademir.karpinski@gmail.com RNP: 2200072872 Título: Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Segurança do Trabalho Empresa: NENHUMA EMPRESA Nr.Reg.:					
<b>Contratante</b> Nome: CIRAU - CONSORCIO PUBLICO INTERMUNICIPAL DO ALTO UR E-mail: cirau@cirau.com.br Endereço: RUA MARECHAL FLORIANO 184 Telefone: 5435220468 CPF/CNPJ: 11074898000169 Cidade: ERECHIM Bairro: CENTRO CEP: 99700236 UF: RS					
<b>Identificação da Obra/Serviço</b> Proprietário: PREFEITURA MUNICIPAL DE VIADUTOS Endereço da Obra/Serviço: Rua ANASTÁCIO RIBEIRO CENTRO CPF/CNPJ: 87613352000109 Cidade: VIADUTOS Bairro: CENTRO CEP: 99820000 UF: RS Finalidade: PÚBLICO Vlr Contrato(R\$): 18.000,00 Honorários(R\$): Data Início: 07/07/2025 Prev.Fim: 31/12/2026 Ent.Classe: ASERMAU					
<b>Atividade Técnica</b>		<b>Descrição da Obra/Serviço</b>		<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>
Parecer Técnico		Automóveis			
Parecer Técnico		Máquinas Agrícolas			
Parecer Técnico		Máquinas Rodoviárias			
Parecer Técnico		Máquinas, Equipam. e Implementos Agrícolas ou Florestais			
Parecer Técnico		Motores			
Parecer Técnico		Serviços Afins e Correlatos			
Parecer Técnico		Tanques Reservatórios			
Parecer Técnico		Veículos Automotores			
Parecer Técnico		Veículos Automotores - Bombas Injetoras			
Parecer Técnico		Veículos Automotores - Caminhão			
Parecer Técnico		Veículos Automotores - Ônibus			
Parecer Técnico		Veículos Automotores - Trator, Agric./Florestais/Industr.			

ART registrada (paga) no CREA-RS em 18/05/2026

Glademir Karpinski:49  
 Assinado de forma digital por Glademir Karpinski:499868800  
 Declaro serem verdadeiras as informações acima  
 986880068 Dados: 2026.05.18 11:56:43 -03'00'

Local e Data	Profissional GLADEMIR KARPINSKI	De acordo CIRAU - CONSORCIO PÚBLICO INTERMUNICIPAL DO ALTO UR
	Contratante	

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODE SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK SOCIEDADE - ART CONSULTA.

 <b>Anotação de Responsabilidade Técnica - ART</b> Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977 Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul		 <b>CREA-RS</b> Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul		<b>ART Número</b> 14414026	
<b>Contratado</b> Nr.Carteira: RS083466 Profissional: GLADEMIR KARPINSKI E-mail: glademir.karpinski@gmail.com Nr.RNP: 2200072872 Título: Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Segurança do Trabalho Empresa: NENHUMA EMPRESA Nr.Reg.:					
<b>Contratante</b> Nome: CIRAU - CONSORCIO PUBLICO INTERMUNICIPAL DO ALTO UR E-mail: cirau@cirau.com.br Endereço: RUA MARECHAL FLORIANO 184 Telefone: 5435220468 CPF/CNPJ: 11074898000169 Cidade: ERECHIM Bairro: CENTRO CEP: 99700236 UF: RS					
<b>RESUMO DO(S) CONTRATO(S)</b> CONFORME CONTRATO CIRAU Nº 008/2025, CHAMAMENTO PÚBLICO 003/2025, PROCESSO INTERNO 63/25 CONTRATO 137/2025, COM TERMO DE ADITIVO PARA O CORRENTE ANO.					
Local e Data	Profissional	De acordo			
	Contratante				

Rua Senador Salgado Filho, 779  
 Getúlio Vargas – RS  
 CEP 99.900-000  
 Fone: (54) 9 9605-2600  
 e-mail: glademir.karpinski@gmail.com