



ESCOLA SUPERIOR NÁUTICA INFANTE

D. HENRIQUE

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MARÍTIMA

Manutenção condicionada de equipamentos industriais

Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia
de Máquinas Marítimas

Candidato: Joaquim Miranda de Faria

Orientador: Luís Manuel Fernandes Mendonça

Novembro/2014



ESCOLA SUPERIOR NÁUTICA INFANTE D.HENRIQUE

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MARÍTIMA

Manutenção condicionada de equipamentos industriais

Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em
Engenharia de Máquinas Marítimas

Candidato: Joaquim Miranda de Faria

Orientador: Luís Manuel Fernandes Mendonça

Novembro/2014

Resumo

Esta tese vai incidir na implementação de manutenção condicionada em alguns equipamentos novos e noutros já implantados na linha de produção de gelados de uma unidade industrial.

A unidade fabril é composta por várias linhas de produção que fazem diferentes tipos de gelados. Cada uma das linhas tem várias máquinas que executam as diferentes tarefas de produção de gelados, começando pelo enchimento e passando sucessivamente pelo fecho, congelamento, embalamento e seguindo depois para a paletização onde os produtos são colocados em paletes para serem transportados para as câmaras frigoríficas de armazenagem.

A tese começa por fazer uma breve introdução da história da manutenção, dos vários tipos existentes e das várias formas de implementação e execução.

Considerando que a unidade fabril onde será implementada a manutenção condicionada é a Fábrica Olá foca a evolução da manutenção nesta unidade fabril e finalmente debruça-se na linha dos cornetos na qual estão a ser montados uma série de equipamentos para automatização da linha de embalagem. Esta montagem é feita em duas etapas e terá a duração total de 4 meses. Durante a sua execução vai ser feita a identificação e codificação de todos os equipamentos a instalar. Para cada um deles será feito um estudo para definir qual o tipo de manutenção mais adequado. Em função deste estudo serão criadas as tarefas de manutenção, endereçadas às pessoas responsáveis pela sua execução.

Palavras chave:

Manutenção condicionada, Fiabilidade, Frequência, Vibrações, Valor global, Espectro de frequência, Lubrificação, Termografia.

Abstract

This master thesis will focus on the predictive maintenance of some corneto line equipments. The plant on which it is focused consists of several production lines making different kinds of ice cream, starting with the filling and passing successively through closing, freezing, packaging and palletizing where products are put on pallets to be transported to the refrigeration storage chambers.

The thesis starts with a maintenance history introduction and a brief description of all the maintenance types and implementation ways.

After that, the focus turns to the maintenance evolution at Olá, and finally to the cornetto line where currently we are assembling new equipments in order to automatize the packing area. This assembly is made on two stages, with the total duration of four months. During its execution, all equipments to be installed will be identified and coded. For each equipment, a study was carried, taking into account the machine supplier's advice, in order to ensure the best maintenance practices. According to this study, we built the maintenance tasks, addressed to those responsible for its implementation.

Key words:

Predictive maintenance, Reliability, Frequency, Vibration, global value, Spectrum frequency, Lubrication, Thermography.

Agradecimentos

Ao meu Pai, por toda a força que me deu, à Gabriela e às minhas filhas Joana e Marta que, cada uma à sua maneira, me ajudaram a manter a rota para a conclusão desta tese (A Marta de uma forma mais ativa, criticando o que estava mal).

Ao Professor Luís Mendonça, pela sua prestimosa orientação na execução da tese.

Ao Eng. Vitor Duarte por me ter ajudado na pesquisa de dados.

Nomenclatura: lista de abreviaturas e simbologia

F_L – Frequência eléctrica (50 a 60 Hz).

F_p – Frequência dos polos.

F_s – Frequência de escorregamento.

BD – Diâmetro da pista.

Bd- Diâmetro das esferas/rolos.

BPFI- Frequência das esferas/rolos pista interior.

BPFO- Frequência das esferas/rolos pista exterior.

BSF- Frequência da rotação das esferas/rolos.

BVQI- *Bureaux Veritas Quality International*.

CEO- *Chief executive officer*.

FFT- *Fast Fourier Transform*.

fr – Rotação relativa entre as pistas internas e externas.

FTF- Frequência da gaiola do rolamento.

GMF - *Gear mesh frequency*.

IH- *In home*.

ISO- *International Standard Organization*.

JIPM- *Japan Institute Plant Maintenance*.

L- Dimensão das partículas em suspensão no óleo lubrificante (Partículas grandes).

MCF- *Reliability Centered Maintenance*.

n- N° de elementos rolantes.

Nb- N° de esferas/rolos.

OHSAS- *Occupational Health and Safety Advisory Services*.

OOH- *Out of home*.

P- N° de polos.

PD- Diâmetro primitivo.

Pd- Diâmetro do rolamento.

PIA- Eixo de inercia principal.

PLP- Modo de desgaste.

RCM- Manutenção centrada na fiabilidade.

RMS- *Root mean square*.

RPM- Rotações por minuto.

S- Dimensão das partículas em suspensão no óleo lubrificante (Partículas pequenas).

SAP-PM- Programa de gestão de manutenção.

ST- Serviços técnicos.

T- Temperatura [°K].

TPM- *Total Productive Maintenance*.

W- Radiação total emitida [W / m²] .

E- Emissividade.

σ - Constante de Boltzman [5.8 x 10⁻⁸ W m⁻² K⁻⁴].

θ - Angulo de contacto.

ρ - Reflexão.

τ - Opacidade.

Índice de conteúdos	
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Descrição da Empresa	1
1.3. Resenha Histórica.....	2
1.4. Descrição Geral do Processo Produtivo	4
1.4. Objetivo e estrutura da tese	6
2. Enquadramento teórico	7
2.1. Introdução.....	7
2.2 Técnicas de Manutenção Condicionada	8
3. Análise de vibração	11
3.1 Introdução.....	11
3.2 Monitorização global do sinal	11
3.3 Monitorização de espectro	12
3.4 Equipamentos para monitorização de condição	13
3.4.1. Transdutores de vibrações	13
3.4.2 Medidor de vibração global.....	15
3.4.3. Medidor de vibração com análise de frequência	16
3.5. Critérios de severidade e avaliação dos níveis globais de vibração	18
4. Análise de avarias através da análise de vibrações	20
4.1 Introdução.....	20
4.2. Desequilíbrios.....	20
4.3. Veios empenados.....	21
4.4. Desalinhamentos	22
4.6. Ressonância	24
4.7. Rolamentos.....	25
4.8. Atrito de rotores	28
4.9. Turbilhão de óleo	29
4.10. Caixas de engrenagens	29
4.11. Correias	30
4.12. Motores elétricos	31
4.13 Resumo.....	34
5.1. Introdução.....	36
5.2. Medição da temperatura	36

5.3. Evolução da termografia	37
5.4. Fundamentos da termografia	37
5.5. Aplicação da termografia em equipamentos industriais	38
5.6. Métodos de medição.....	40
6. Análise de avarias através da análise do óleo de lubrificação.....	41
6.1. Introdução.....	41
6.2. Análise de óleos lubrificantes	41
7. Descrição geral da linha de produção de cornetos	44
7.1 Zona de enchimento	45
7.2 Túnel de congelação.....	47
7.3. Zona de embalagem Automática.....	49
7.3.1. Enchedora de caixas/cartolinas CT Pack Vortex	50
7.3.2. MB-034 Máquina imball caixa/cartolinas cornetto.....	53
8.1 Implementação da manutenção	55
8.2 Implementação da manutenção condicionada.....	55
8.3. Análise de vibrações dos equipamentos.....	56
8.3.1 Frequências características	56
8.3.2. Identificação dos pontos de medição	57
8.3.3 Análise dos resultados	59
Ventilador nº1.....	60
Ventilador nº2.....	63
Moto-redutor torre subida	67
Moto-redutor torre descida.....	71
8.4 Análise do óleo dos moto-redutores do Frigo 2	75
8.4.1. Primeiras análises de óleo	75
8.4.2. Segundas análises de óleo	76
8.5. Análise termográfica	77
8.5.1 Quadros elétricos.....	77
8.5.2 Ensaio para análise termográfica máquinas embalamento automático	83
9.Conclusões	85
10. Bibliografia.....	86
Anexos.....	87
Anexo I Análise de vibrações empresa DMC	88
Anexo II Análise de vibrações Olá em 08-10-2013.....	119

Anexo III Aparelho de recolha de vibrações.....	150
Anexo IV Análises do óleo de lubrificação.....	151
Anexo IV Esquema elétrico do QE da embalagem.....	163

Índice de Tabelas

Tabela 1 Tabela ISO 10816-3.....	18
Tabela 2 Frequências caraterísticas	35
Tabela 3 Classificação das partículas de acordo com o tipo	42
Tabela 4 Caraterísticas dos moto-redutores e dos ventiladores do túnel de congelação	56
Tabela 5 Tabela de cálculo das GMF para carretos Moto-Redutor torre de subida	56
Tabela 6 Tabela de cálculo das GMF para carretos Moto-Redutor torre de descida.....	57
Tabela 7 Frequências caraterísticas dos moto-redutores	57
Tabela 8 Frequências caraterísticas dos ventiladores.....	57
Tabela 9 Critério de avaliação da Norma ISO 10816-1	59
Tabela 10 Valores recolhidos no ventilador nº1 em 08-01-2014	60
Tabela 11 Valores recolhidos no ventilador nº2 em 08-01-2014	63
Tabela 12 Valores recolhidos no moto-redutor torre de subida em 08-01-2014.....	67
Tabela 13 Valores recolhidos no moto-redutor da torre de descida em 08-01-2014.....	71
Tabela 14 Resultados das análises do óleo dos 4 moto-redutores	76

Índice de Figuras

Figura 1 Vista da Fábrica de Gelados Olá.....	2
Figura 2 Fluxograma do processo de fabrico	5
Figura 3 Tipos de Manutenção.....	7
Figura 4 Vibração sinusoidal.....	10
Figura 5 Espectro de frequência de medição efetuada em velocidade.....	12
Figura 6 Gráfico em cascata	13
Figura 7 Transdutor sísmico	14
Figura 8 Zonas de medição dos transdutores em função da frequência das vibrações.....	14
Figura 9 Fator de crista.....	16
Figura 10 Gráfico de tendências.....	17
Figura 11 Espectro de frequência de caixa de engrenagens	17
Figura 12 Tipos de desequilíbrios	21
Figura 13 Espectro tipo do desequilíbrio de um equipamento	21
Figura 14 Veio empenado	22
Figura 15 Desalinhamento angular.....	22
Figura 16 Desalinhamento paralelo.....	23
Figura 17 Folgas internas	23
Figura 18 Folgas de fixação	24
Figura 19 Espectro de frequência de um bump test	25
Figura 20 Rolamento de esferas	25
Figura 21 1º estágio de deteção de desgaste.....	27
Figura 22 2º estágio de desgaste de rolamentos	27
Figura 23 3º estágio de desgaste de rolamentos	28
Figura 24 4º estágio de desgaste severo	28
Figura 25 Frequências dominantes na fricção de rotores	29
Figura 26 Frequências caixas de engrenagem	30
Figura 27 Sub-harmónicas da frequência da correia	31
Figura 28 Desalinhamento de polis	31
Figura 29 Rotor com barras partidas	32
Figura 30 Rotor com barras partidas apresentando também bandas laterais nas harmónicas	32
Figura 31 Rotor com excentricidade em relação ao estator.....	33
Figura 32 Deficiências do estator.....	33
Figura 33 Espectro eletromagnético dividido em bandas	36
Figura 34 Imagem termográfica de uma linha trifásica com tensão.....	38
Figura 35 Válvula de macho esférico.....	39
Figura 36 Imagem termográfica de purgador de vapor	39
Figura 37 Imagem termográfica acoplamento motor / bomba	40
Figura 38 Identificação das partículas de desgaste.....	42
Figura 39 Linha de produção de cornetos	44
Figura 40 Lay-out da linha antes do túnel de congelação.....	45
Figura 41 Vista geral da <i>big-drum</i>	45
Figura 42 Robot entrada túnel de congelação.....	46
Figura 43 Exterior tunel frigo 2 na zona de produção.....	47
Figura 44 Parte do túnel acima do teto da produção	47
Figura 45 Vistas dos copos nos 3 pisos	48
Figura 46 Moto-redutores da torre de subida e da torre de descida.....	49
Figura 47 Robot de saída tunel de congelação	50

Figura 48 Lay out da zona de embalamento automático	50
Figura 49 Braço giratório de posicionamento dos cornetos	51
Figura 50 Braço do robot kuka de transferencia para as caixas	51
Figura 51 Formadora de cartolinas.....	52
Figura 52 Maquina de formar caixas impulse	52
Figura 53 Tapetes buffer antes da máquina de fechar caixas	53
Figura 54 Máquina imball de fechar caixas e cartolinas	53
Figura 55 Identificação dos pontos de medição e numeração dos carretos	58
Figura 56 Pontos de medição ventiladores 1 e 2	58
Figura 57 Espetro no ponto 1V-Motor PT1 Vertical.....	61
Figura 58 espectro do ponto 1H-Motor PT1 Horizontal	61
Figura 59 espectro do ponto 2V-Motor PT2 Vertical	62
Figura 60 espectro do ponto 2H-Motor PT2 Horizontal	62
Figura 61 espectro do ponto 2A-Motor PT2 Axial	63
Figura 62 Espetro do ponto 1V-Motor PT1 Vertical.....	64
Figura 63 Espetro do ponto 1H-Motor PT1 Horizontal	65
Figura 64 Espetro do ponto 2V -Motor PT2 Vertical.....	65
Figura 65 Espetro do ponto 2H-Motor PT2 Horizontal	66
Figura 66 Espetro em frequência do ponto 2A-Motor PT2 Axial	66
Figura d67 Espetro o ponto 1V-Motor PT1 Vertical.....	68
Figura 68 Espetro do ponto 1H-Motor PT1 Horizontal	68
Figura 69 Espetro do ponto 2V-Motor PT2 Vertical.....	69
Figura 70 Espetro do ponto 2H-Motor PT2 Horizontal	70
Figura 71 Espetro do ponto 3H-Redutor PT3 Radial	70
Figura 72 Espetro do ponto 4H-Redutor PT4 Radial	71
Figura 73 Espetro em frequência do ponto 1V-Motor PT1 Vertical	72
Figura 74 Espetro do ponto 1H-Motor PT1 Horizontal	73
Figura 75 Espetro do ponto 2V-Motor PT2 Vertical.....	73
Figura 76 Espetro do ponto 2H-Motor PT2 Horizontal	74
Figura 77 Espetro do ponto 3H-Redutor PT3 Radial	74
Figura 78 Espetro do ponto 4H-Redutor PT4 Radial	75
Figura 79 Quadro elétrico de alimentação das máquinas de embalagem.....	78
Figura 80 Relatório termográfico contatores d14 e D23.....	79
Figura 81 Relatório termográfico D8 e D13.....	80
Figura 82 Relatório termográfico alimentações 440 e 220 Volts.....	81
Figura 83 Alimentação 440 e 220 volts.....	82
Figura 84 Motor do 2ºtapete	83
Figura 85 Correia e motor de saída	83
Figura 86 Servo correia da entrada.....	84

1. Introdução

1.1. Motivação

Nesta tese vai apresentar-se a implementação da manutenção condicionada na linha de produção de cornetos que é um dos produtos de topo da empresa *Olá Produção de Gelados e Outros Produtos Alimentares*. A ocupação desta linha é muito elevada, sendo necessária a produção em 3 turnos durante todos os dias úteis. Assim, é fundamental que a disponibilidade da linha seja total pelo menos durante 5 dias na semana. Dado que nem todos os equipamentos funcionam em simultâneo é importante conseguir gerir as intervenções de manutenção para que estas sejam feitas durante os tempos de paragem. Para isso, é fundamental que não hajam avarias durante o tempo em que está planeado o funcionamento da máquina e que a manutibilidade dos equipamentos o permita. A alteração da principal linha de produção de gelados desta unidade fabril tem o objetivo de aumentar a produção em 50%. Contudo o aumento da produtividade implicou a instalação de várias máquinas, a modificação das máquinas existentes e a automatização de processos.

Com estas alterações, há necessidade de criar um plano de manutenção para as várias máquinas desta linha.

Atualmente na Olá está implementada a manutenção autónoma nas várias linhas de produção, existindo planos de manutenção periódicos executados pelos operadores na quase totalidade das tarefas de manutenção. A identificação de um problema de manutenção de difícil resolução é enviada para o departamento de manutenção. Contudo, considerando a elevada importância da nova linha e da produção por ela efetuada optou-se pela implementação da manutenção condicionada nos equipamentos mais críticos desta linha de produção.

Nesta tese aborda-se a implementação da manutenção condicionada na nova linha de produção e apresenta-se a implementação da manutenção condicionada nos equipamentos mais críticos.

1.2. Descrição da Empresa

A Olá Produção de Gelados e Outros Produtos Alimentares (Fig.1) é uma fábrica que produz gelados, quer para o mercado interno, quer para exportação. Está localizada num complexo industrial, situado nas Marinhas de D. Pedro em Santa Iria da Azoia, que engloba duas outras fábricas do grupo, uma das fábricas de margarinas e a outra de caldos.

,



FIGURA 1 VISTA DA FÁBRICA DE GELADOS OLÁ

O grupo a que a Olá pertence é o grupo Unilever/ Jerónimo Martins e atua em duas áreas de negócio: “*In Home*” (IH) direcionado para o consumo dentro de casa, sendo comercializados nos operadores da grande distribuição e “*Out of Home*” (OOH) para a comercialização de produtos de grande consumo e produtos da gama profissional nos canais fragmentados para consumo fora de casa. Atualmente produz cerca de 26000 litons (1liton=1000lts) por ano de diferentes gelados. A produção de gelados é gerida de uma forma global com as outras fábricas do grupo, havendo produções definidas para as várias empresas da Europa.

1.3. Resenha Histórica

A existência da Olá remonta a 1912 com a denominação Ferreira & Trancoso, mais tarde transformada em sociedade por quotas. A sede era no Arco Cego em Lisboa, onde até ao fim da década de 60, se concentraram também as instalações fabris. Em 1959, com a aquisição daquela sociedade por Estabelecimentos Jerónimo Martins & Filhos, Lda. e a cedência de 74% do seu capital à Unilever, inicia-se a história recente da empresa, que a partir de 1960 passou a adotar a designação social de Fábrica de Gelados "Olá". Em 1969 as instalações fabris foram transferidas para Santa Iria de Azóia, onde se acabara de construir a fábrica mais moderna do

país. Com a finalidade de acelerar o seu crescimento a empresa adquiriu em 1970 a firma Chocolates Rajá, Lda., tornando-se assim líder de mercado. Em 1970 a companhia passou a adotar a designação de Iglo - Indústrias de Gelados, Lda., dedicando-se à produção e comercialização de gelados e de outros produtos alimentares congelados. A Companhia começou a produzir produtos ultracongelados em 1984 em instalações alugadas, tendo em 1985 transferido a sua produção para uma nova sala de produção de ultracongelados em Stª Iria de Azoia. Em 1993 a produção de ultracongelados foi descontinuada, e a sala de produção remodelada para produzir gelados de acordo com os mais elevados padrões de higiene. Em 1996 foi construído um novo armazém para matérias-primas e materiais de embalagem. Em 1997, procedeu-se à cisão da empresa em duas: a Iglo - Indústrias de Gelados, S.A. (dedicada principalmente à atividade de produção de gelados) e a IgloOlá - Distribuição de Gelados e Ultracongelados, Lda., (dedicada à atividade de distribuição e comercialização de gelados). Em 1998 a Sala de Mixes foi automatizada e a Iglo foi certificada pelo BVQI, de acordo com os requisitos da Norma NP EN ISO 9001. Em 1999 nasceu o TPM na Fábrica Iglo, tendo em 2002 sido obtido o prémio Excelência (nível 1) numa auditoria efetuada pelo JIPM (“Japan Institute of Plant Maintenance”). Ainda em 2002, a Iglo obteve a Certificação Ambiental, de acordo com os requisitos da Norma NP EN ISO 14001. O ano de 2004 foi o “ano da Segurança”, ou seja, foi implementado um sistema de Gestão da Segurança, de acordo com a especificação OHSAS 18001. Nasceu então o Sistema Integrado da Qualidade, Ambiente e Segurança da Fábrica Iglo. Em 2004, no âmbito do TPM, a empresa obteve o Prémio Consistência (nível II). Em 2005 e 2006 foram dois anos durante os quais o TPM amadureceu e ganhou a consistência necessária, para em Dezembro de 2006 obter o Prémio de Excelência do TPM (nível III) [13].

Ainda em 2006, a Unilever vendeu o negócio dos Ultracongelados (Iglo) a nível internacional, pelo que a partir de 1 de Março de 2007 a companhia passou a adotar a designação de Olá - Produção de Gelados e Outros Produtos Alimentares S.A..

Em Dezembro de 2006, decorreu um reajuste dos capitais entre os sócios Unilever e Jerónimo Martins. Com esta operação, a razão de capitais entre os sócios ficou 45% (Jerónimo Martins) e 55% (Unilever), passando a Companhia a denominar-se Unilever Jerónimo Martins. As fábricas, onde se inclui a Olá S.A., passaram a depender diretamente do diretor de *Supply Chain*. Em 2007 a Unilever emitiu uma política da Qualidade comum a todas as organizações. Esta política demonstra o comprometimento da Unilever com a Qualidade, que deve ser igual em

todos os países, organizações e categorias. Neste Pressuposto, e de acordo com as regras definidas pelo *QA Director Europe*, o grupo de companhias em Portugal adotou a referida política, que foi traduzida para português e assinada pelo CEO. Como consequência desta alteração, foi também emitida uma política conjunta de Ambiente, Segurança e Saúde Ocupacional [13].

A principal atividade da *Olá*, a produção de gelados, é uma atividade claramente sazonal, com uma forte concentração das vendas nos meses de verão. A *Olá* possui uma rica gama de produtos, onde o fator inovação varia desde a introdução de produtos conceptualmente novos até à introdução de novas variedades e sabores de modo a corresponder aos anseios, gostos e expectativas dos consumidores.

De entre os gelados produzidos na Fábrica *Olá*, são de salientar as prestigiadas marcas: *Cornetto*, *Calippo*, *Carte d'Or*, *Epá*, *Viennetta*, *Perna de Pau*, *Super Maxi*.

1.4. Descrição Geral do Processo Produtivo

O processo de produção de gelados tem várias fases desde a execução da *mix* de gelado até ao embalamento e expedição para o mercado de consumo. No fluxograma do processo de fabrico da fig.2 estão representadas as várias fases. A execução das mixes é feita na sala de mixes, através da adição e mistura das várias matérias-primas que a compõem. Conforme o tipo de ingredientes variam as formas da respetiva adição e depois de feita a receita o produto resultante é pasteurizado e enviado para os depósitos de armazenagem e conservação situados numa sala refrigerada, a sala de maturadores. Da sala de maturadores as várias mixes são enviadas para as *freezers* que se encontram na sala de produção. As *freezers* são máquinas que arrefecem a *mixe* para temperaturas negativas com um valor tal que permitem a extrusão da *mixe* de modo a se conseguir moldar a forma do gelado. Simultaneamente é incorporado ar na *mixe* de forma a torna-la mais macia. Com esta transformação a *mixe* passa a ser considerada *Ice Cream*. Conforme o gelado a produzir assim o *Ice Cream* é enviado para as máquinas de enchimento e colocado dentro da embalagem que lhe corresponde.

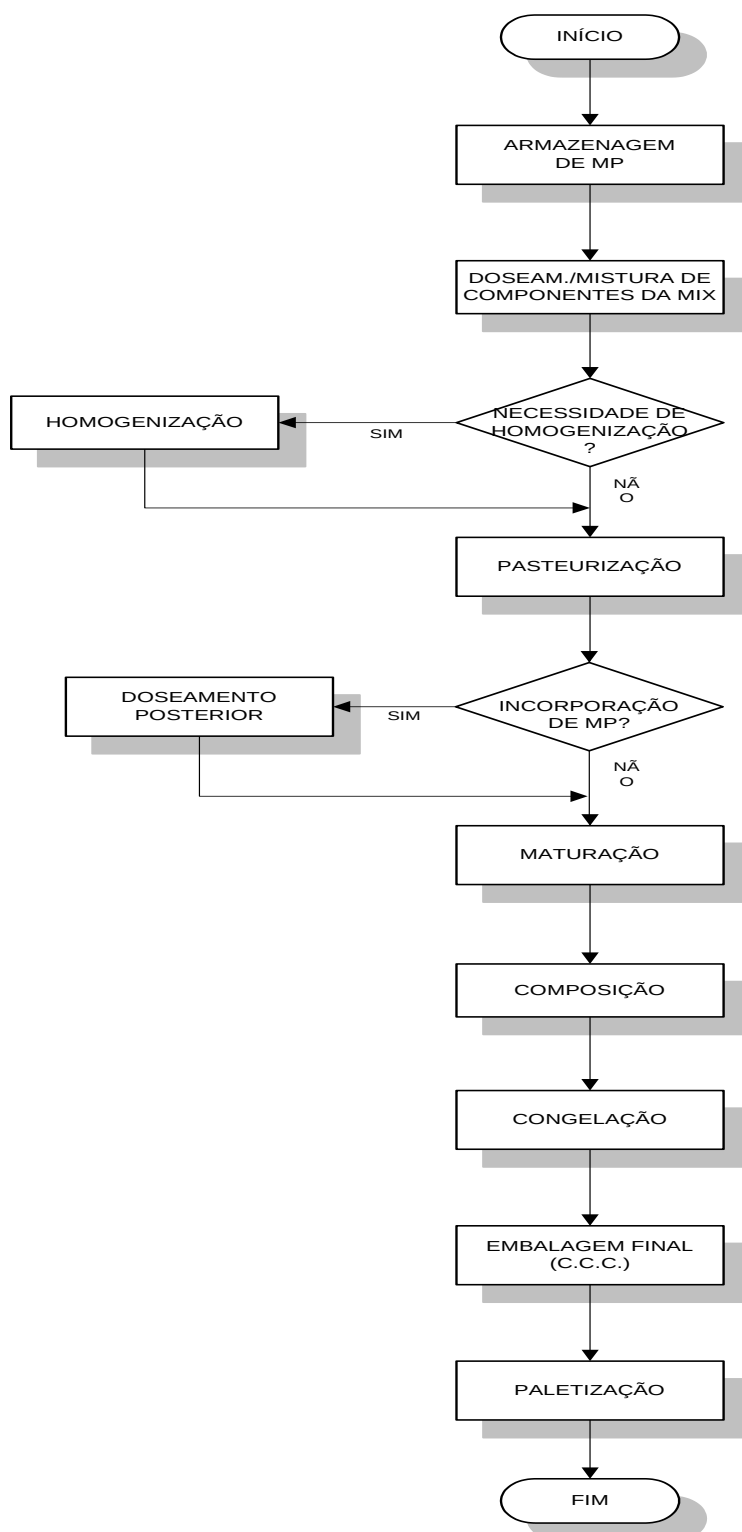


Figura 2 Fluxograma do processo de fabrico

Nas máquinas de enchimento são ainda adicionadas outras matérias-primas que compõem o gelado. Depois desta fase os produtos são enviados para tuneis de congelação onde permanecem durante vários minutos a baixas temperaturas para que quando saírem atinjam temperaturas

suficientes para a sua conservação e que garantam a rigidez da sua forma final. Seguidamente os produtos são embalados de diferentes formas conforme o destino para que foram fabricados e de acordo com as embalagens que estão definidas. Finalmente os produtos são colocados em paletes e enviados para a camara frigorifica onde ficam arrumados até serem enviados para o armazém central e daí para os postos de comercialização.

Os equipamentos sobre os quais este estudo vai incidir são relativos às fases de composição, congelação e embalagem final (Fig.2).

1.4. Objetivo e estrutura da tese

O objetivo desta tese é apresentar as diferentes técnicas de manutenção condicionada propostas para a nova linha de produção de cornetos. Esta implementação resultou da necessidade de dar resposta de manutibilidade ao acréscimo de equipamentos usados para a automatização da linha de produção de cornetos. Esta tese vai começar com a introdução teórica das várias técnicas de manutenção e do seu enquadramento no plano de manutenção da Olá. Dentro das várias técnicas será feita uma análise mais exaustiva da manutenção condicionada, abordando as várias técnicas utilizadas e os diferentes métodos de análise. Depois desta introdução teórica irá ser descrita a linha de fabrico dos cornetos, o seu funcionamento e o *lay-out* antes e depois da automatização. Será abordada a codificação de todos os equipamentos e o plano de manutenção de toda a linha. Finalmente serão apresentadas as técnicas de manutenção condicionada usadas, os resultados obtidos e as conclusões.

2. Enquadramento teórico

2.1. Introdução

Podemos definir manutenção como a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um bem, destinadas, da forma mais económica possível, a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa cumprir a função requerida [8].

O objetivo da manutenção dos equipamentos de uma unidade industrial é mante-los em condições ideais de funcionamento de forma a que seja possível cumprir os desígnios para que foram adquiridos. Para o cumprimento deste objetivo cabe ao gestor de manutenção escolher o tipo de manutenção mais adequado aos vários tipos de equipamento, tendo em atenção todas as condições que o rodeiam.

De uma forma simplificada pode-se dividir a manutenção em dois grandes grupos, manutenção corretiva e manutenção preventiva (Fig.3).

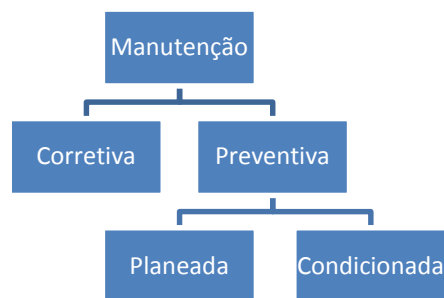


FIGURA 3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção corretiva é feita quando um equipamento deixa de funcionar ou está em vias disso. Este tipo de manutenção deve ser evitado pois para além das paragens de produção tem custos associados à necessidade de ter peças de reserva ou implica tempos de paragem para a aquisição das peças danificadas [11].

A manutenção preventiva pode ser planeada ou condicionada. Se a manutenção for planeada esta pode ser implementada em função do tempo de funcionamento. Se a manutenção for condicionada pode ser implementada em função da condição de funcionamento. A manutenção planeada por tempo de funcionamento é feita tendo em atenção as recomendações do fabricante e o histórico do funcionamento dos equipamentos [6]. Parte da manutenção preventiva é feita pelos operadores. Isto aconteceu devido à implementação do TPM (*Total productive Maintenance*). No entanto a abordagem do TPM sai fora do objetivo desta tese que é a aplicação

da manutenção condicionada na nova linha de produção dos cornetos. Esta implementação foi feita, nesta 1ª fase, pelo departamento de manutenção mas o objetivo será que os operadores façam a interação com esta técnica e com a Manutenção Centrada na Fiabilidade, RCM [6].

A manutenção condicionada implica a medição dos parâmetros de funcionamento dos equipamentos de modo a acompanhar o seu estado e evitar a sua paragem devido à ocorrência de falhas. Há várias técnicas de medição dos parâmetros de funcionamento das quais destacamos a análise de vibrações, a termografia, a análise de óleos e a medição de ultra-sons [8].

2.2 Técnicas de Manutenção Condicionada

Um programa de manutenção condicionada não pode ser considerado isoladamente. A avaliação de estado de uma máquina não se pode basear só na implementação das técnicas de controlo de condição, nomeadamente análises de vibrações, de óleo lubrificante, ferrografia e termografia. A monitorização efetiva da condição depende não só da viabilidade, seleção e uso de técnicas apropriadas, mas também da subsequente eficiência da gestão dos elementos selecionados e guardados relativos aos parâmetros indicativos da condição [2].

Podemos considerar três níveis de monitorização da condição: inspeção, identificação de valores e monitorização de tendência [1].

Na inspeção são efetuadas verificações usando os sentidos humanos (tato, visão, cheiro e audição) diretamente ou através do uso de ferramentas simples (manómetros, visores de nível, etc.). Simples procedimentos de inspeção podem ser responsáveis por cerca de 70% de um programa global de monitorização de condição. Estas inspeções não têm custos relevantes mas são muitas vezes responsáveis pela deteção de pequenas falhas e problemas inesperados evitando o seu desenvolvimento. No entanto, estas inspeções, quando aplicadas em instalações complexas, mostram-se limitadas porque é difícil conseguir valores fiáveis de comparação pois a experiência acumulada é muito variável. Os sentidos humanos são adaptáveis mas não conseguem quantificar e dar graus de sensibilidade. A visão é usada para inspeções de nível de óleos, identificação de fugas, estado de filtros, desgaste de materiais, etc. A inspeção através do tato permite identificar temperaturas, rugosidade, folgas e desapertos, etc. O olfato é usado para identificar sobreaquecimento, podendo este ter múltiplas formas, fugas de compostos

aromáticos e outras substâncias identificáveis. A audição é usada para detetar inícios de falhas de funcionamento, mudanças de regime de operação, folgas, componentes fraturados, etc.

Na verificação de valores as medições quantitativas são feitas e comparadas com limites de controlo pré definidos (carga de motor nominal, folgas admissíveis de chumaceiras, embraiagens, etc.).

Na monitorização de tendência as medições feitas e registadas são utilizadas para verificar o desvio das normas e definir graus de deterioração e necessidades de intervenção. A monitorização de tendência é importante na implementação da manutenção condicionada porque as rotinas de medição dos vários parâmetros criam uma base de dados para cada equipamento e estes valores podem ser comparados com os valores de alarme pré definidos e ajustados posteriormente em função da experiência acumulada. As técnicas óticas são usadas para aumentar a capacidade da visão humana. As mais vulgares são a ampliação e a gravação de imagens para posterior visão a velocidades que permitam uma melhor identificação dos problemas. A técnica de gravação de imagens também é usada para visualizar locais de difícil acesso. Para diminuir a velocidade ou para parar imagens há três tipos de técnicas: lâmpada estroboscópica, camara fotográfica e camara de vídeo [1]. A lâmpada estroboscópica utiliza uma lâmpada de *flash* múltiplo que ilumina o objeto em movimento. Esta lâmpada tem frequência variável e o aparelho permite variar a frequência da lâmpada até que o objeto em movimento nos pareça estar parado conseguindo assim, saber a velocidade da máquina que estamos a analisar. Permite-nos também observar a máquina em movimento lento variando a frequência da lâmpada. Esta máquina é aplicada para equilibragens no local, verificação de desalinhamentos, desequilíbrios, empenos em engrenagens e de determinação de modos de vibração.

As camaras fotográficas e de vídeo permitem diminuir a velocidade real de funcionamento e gravarem de diferentes formas escolhendo-se a melhor forma de observação das imagens para se conseguir tirar o máximo proveito, nomeadamente com o auxílio de técnicas computadorizadas em que a resolução de imagem permite detetar mais facilmente desvios da condição padrão de funcionamento. Para complementar a observação anterior a medição e o controlo de temperaturas de funcionamento são fundamentais. Assim a monitorização das temperaturas permite verificar se o equipamento está a funcionar dentro dos valores ou se há componentes

deteriorados. Para esta monitorização precisamos de localizar o melhor ponto para medição e o equipamento para o fazer.

A monitorização das vibrações tornou-se sinónimo de manutenção condicionada porque é a forma mais usada e mais fiável, podendo-se dizer que hoje em dia cerca de 80% da manutenção condicionada usa a análise de vibrações [8]. Os vários componentes de uma máquina emitem frequências características. A ocorrência de falhas origina o aumento de amplitude de algumas frequências características dos equipamentos. As falhas mais comuns que podem ser detetadas através da análise de vibrações são: desequilíbrios, desalinhamentos, folgas, desapertos, fluxo de lubrificantes, etc. Qualquer vibração pode ser representada graficamente, pela amplitude em função do tempo (fig.4). Conforme a frequência e a amplitude de uma determinada vibração assim o funcionamento de uma máquina pode ser normal, ou apresentar mau funcionamento.

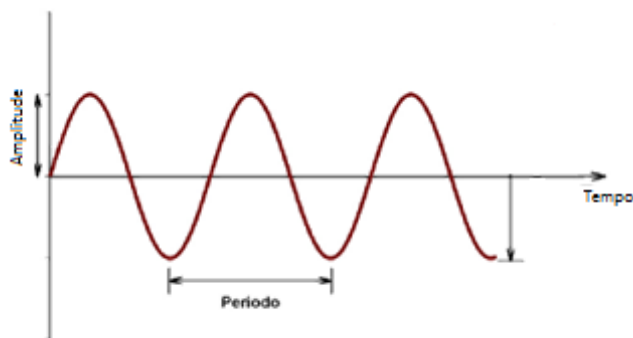


FIGURA 4 SINAL SINUSOIDAL

No próximo capítulo serão apresentadas as técnicas que irão ser utilizadas na linha de fabrico onde se irá aplicar a manutenção condicionada.

3. Análise de vibração

3.1 Introdução

Esta técnica baseia-se no facto de que qualquer objeto em funcionamento emite sinal vibratório característico. Este sinal varia em função da velocidade de funcionamento do equipamento, depende das características do objeto, da frequência e amplitude. Estas variações são medidas permitindo que pela análise dos resultados obtidos se consiga saber o estado dos vários componentes do equipamento criando valores de alarme a partir dos quais se tem de reparar/substituir os elementos em questão.

Há várias técnicas para a análise de vibrações que nos permitem obter resultados sobre o estado das máquinas, das quais destacamos: monitorização global do sinal, e monitorização do espectro [1].

As recolhas de vibrações podem ser efetuadas em deslocamento, velocidade ou aceleração. As medições em deslocamento (mm) são mais usadas para as baixas frequências (<25 Hz) e permitem detetar desalinhamentos. As medições em velocidade (mm/s) são as mais usadas porque permitem uma deteção de uma série de problemas como sejam desequilíbrios, folgas, desalinhamentos e desapertos. As medições em aceleração (m/s^2) realçam as altas frequências (>50Hz) e são normalmente utilizadas para detetar falhas de rolamentos, engrenagens e problemas de cavitação.

3.2 Monitorização global do sinal

A monitorização global de sinal é a mais simples, é feita pela integração ao longo do tempo medindo o valor eficaz ou valor *root mean square* (Equação (1)).

$$X_{RMS} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2\right)} \quad (1)$$

N- número de valores desde i=1 até N

A monitorização global de sinal apenas indica a condição global do equipamento, não discriminando qual é o componente deteriorado e deve ser usada em máquinas tais como bombas e ventiladores que têm poucos modos de falha.

No subcapítulo 3.5 serão referidos os critérios de severidade, nomeadamente a norma ISO 10816, que nos permitem classificar o estado de funcionamento dos equipamentos medidos.

3.3 Monitorização de espectro

A análise espectral analisa o sinal de vibração a partir do espectro de frequência utilizando a *Fast Fourier Transformer* (FFT), para fazer esta análise ao longo do tempo. Assim consegue-se através da análise das amplitudes das frequências características de componentes e das harmónicas da velocidade nominal das máquinas identificar os locais onde há problemas (Fig.5).

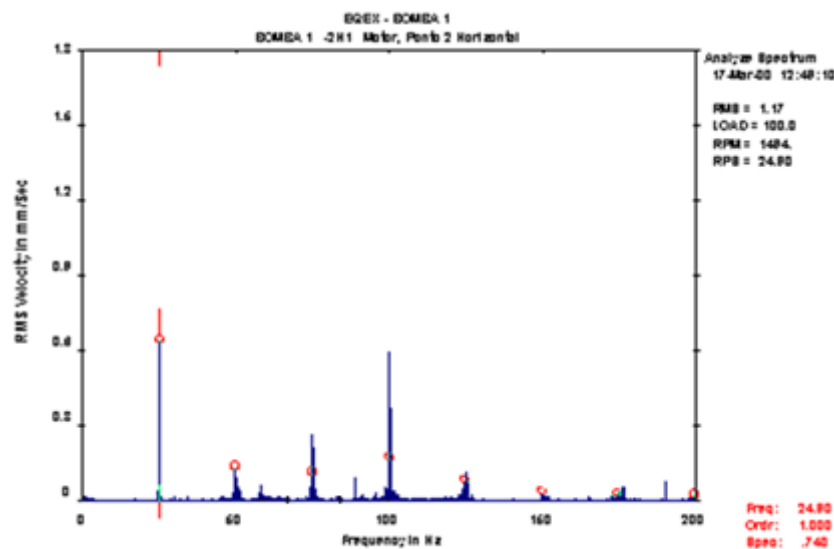


FIGURA 5 ESPETRO DE FREQUÊNCIA DE MEDIÇÃO EFETUADA EM VELOCIDADE

Normalmente obtém-se o espectro das frequências determinantes para as falhas a detetar e estabelecem-se limites de alarme. Este espectro de frequências resultante da aplicação da transformada de *Fourier* que decompõe o sinal periódico ou transitório numa série infinita de componentes de frequência denomina-se assinatura da máquina ou *baseline*. Estas recolhas de espectros devem ser comparadas ao longo do tempo através de gráficos em cascata (Fig.6). Desta forma é possível acompanhar a degradação do componente ao longo do tempo por comparação dos espectros retirados com os de referência.

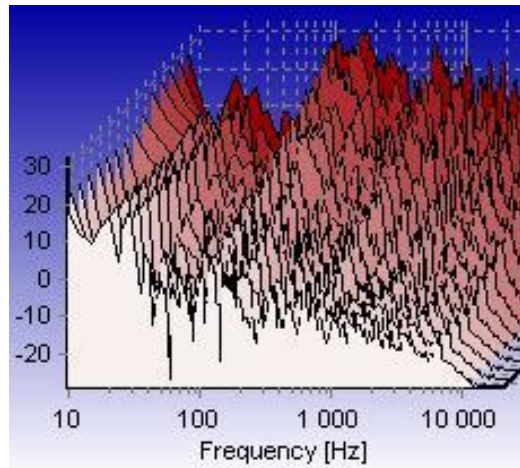


FIGURA 6 GRÁFICO EM CASCATA

3.4 Equipamentos para monitorização de condição

Vamos referir os equipamentos que se usam para a monitorização de condição começando pelos transdutores que fazem a ponte entre os equipamentos a medir e os aparelhos de medida e depois descrevemos o medidor de vibração de nível global de sinal e o medidor de vibração com análise de frequência.

3.4.1. Transdutores de vibrações

Os transdutores de vibrações podem ser de três tipos: transdutores de deslocamento relativo ou de proximidade, transdutores sísmicos de velocidade e acelerómetros piezoelétricos. Os transdutores de deslocamento relativo são utilizados em baixa frequência pois as harmónicas mais elevadas apresentam amplitudes de deslocamento tão reduzidas que é difícil a sua deteção por estes sensores.

Os transdutores de deslocamento são muito usados na monitorização de vibrações de eixos. Os transdutores sísmicos de velocidade são usados na monitorização da condição de máquinas através da medição da vibração absoluta. A maioria dos transdutores de velocidade são baseados no princípio da indução eletromagnética, onde um condutor se move através dum campo magnético, ou um campo magnético se move em relação ao condutor.

Os acelerómetros piezoelétricos operam segundo o princípio de que um cristal piezoelétrico gera um sinal elétrico quando sujeito à compressão ou extensão. Este sinal pode ser amplificado para medições de aceleração ou ser integrado eletronicamente num sinal de velocidade ou

integrado duplamente num sinal de deslocamento. Esta capacidade de integração dos sinais, permitindo escolher o tipo de leitura torna, os acelerômetros no tipo de transdutor mais usado [9].



FIGURA 7 TRANSDUTOR SÍSMICO

Para escolhermos o tipo de sensor a usar podemos numa primeira aproximação olhar à amplitude e frequência das vibrações a analisar (Fig. 8).

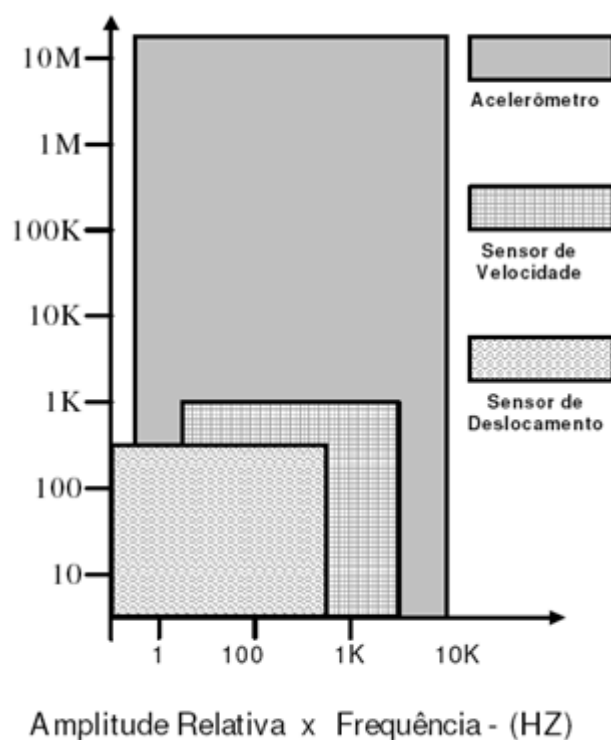


FIGURA 8 ZONAS DE MEDIÇÃO DOS TRANSDUTORES EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA DAS VIBRAÇÕES E DA AMPLITUDE RELATIVA

3.4.2 Medidor de vibração global

O medidor de vibração mede o valor global de vibração (rms), numa extensa faixa de frequência (5 a 5000 Hz). Pelo seu funcionamento, este instrumento mede a vibração total resultante de todas as frequências presentes no sinal de vibração, dentro da faixa considerada. A velocidade de pico é a velocidade máxima da massa vibrante e acontece quando a massa passa no ponto neutro (para a onda sinusoidal da Fig.4 é sempre que a massa passa o eixo dos xx). O valor global de medição de vibração em velocidade (RMS) é a velocidade convencionada pela ISO para unidade de medida *standard* e dá-nos o valor aceitável da variação de velocidade. A velocidade RMS tende a dar-nos a energia contida no sinal vibratório enquanto a velocidade de pico define melhor a intensidade da vibração. O valor da aceleração é dado pelo aumento da velocidade quando a vibração muda de sentido. Este instrumento mede, dentro da faixa considerada, a vibração total resultante da ação de todas as frequências presentes no sinal de vibração [5].

A variação do valor de pico e do valor RMS ao longo do tempo não são iguais. Esta relação entre o valor de pico (x_{pico}) e o valor RMS (x_{rms}) denomina-se fator de crista (FC) do sinal de vibração e a sua monitorização permite avaliar a evolução do estado das máquinas. O fator de crista é então dado pela equação (1):

$$FC = \frac{x_{pico}}{x_{rms}} \quad (2)$$

Na prática verificou-se que a variação destes valores ao longo do tempo faz-se de acordo com o gráfico da Fig.9. Há no gráfico 3 zonas a 1ª considerada normal em que não há variação de valores, depois temos uma 2ª zona em que o valor de pico aumenta em resultado do aparecimento de pequenos defeitos e finalmente uma 3ª zona em que começa a aumentar também o valor RMS em resultado do agravamento dos defeitos. Esta análise é utilizada para analisar o estado dos rolamentos e normalmente estes devem ser substituídos quando se passa do 2º para o 3º estágio.

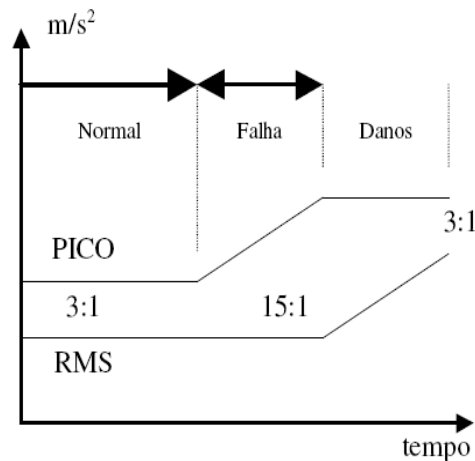


FIGURA 9 FATOR DE CRISTA

O aparelho de medição da vibração global consegue detetar o mau funcionamento das máquinas, mas quando é necessário identificar e diagnosticar a avaria tem de se usar um aparelho de análise de vibrações e frequências com decomposição através de transformada de Fourier.

3.4.3. Medidor de vibração com análise de frequência

A análise direta da vibração em função do tempo não nos dá possibilidade de detetar onde estão os problemas, para conseguirmos identificar as características do sinal e identificar os problemas temos que analisar a vibração em frequência. Assim temos de fazer a análise espectral que consiste em analisar o sinal de vibração a partir do espectro de frequência, convertendo o sinal do domínio de tempo para o domínio da frequência, através de um método matemático baseado na transformada de Fourier.

A monitorização destes registos dá origem a um gráfico de tendências, para as quais se criam limites que quando atingidos obrigam a programar intervenções para repor a condição inicial ou pelo menos uma condição de funcionamento eficaz. Na Fig.10 está representado um gráfico de tendências referente à evolução do valor de pico correspondente à medição efetuada num equipamento. Nesta figura são também apresentados os limites de aviso, alarme e de falta.

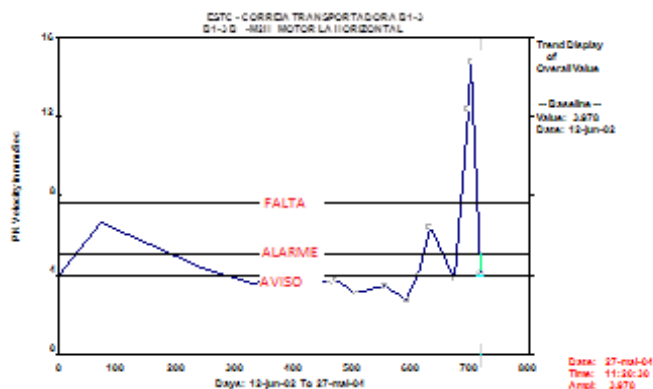


FIGURA 10 GRÁFICO DE TENDÊNCIAS

Estes analisadores permitem a análise de frequências com valores de filtragem muito estreitos ou resultantes de choques, pela transformação dos sinais periódicos ou transitórios em séries de Fourier. Estas séries de Fourier dão origem ao espectro de frequência e permitem uma análise muito mais eficaz das frequências de funcionamento dos componentes analisados (Fig.11).

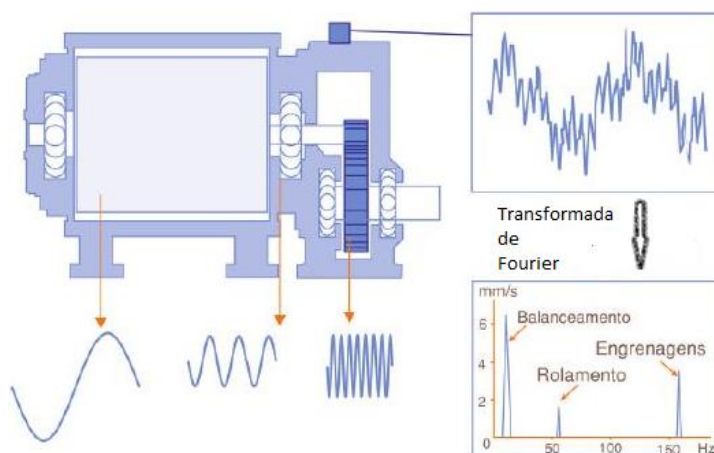
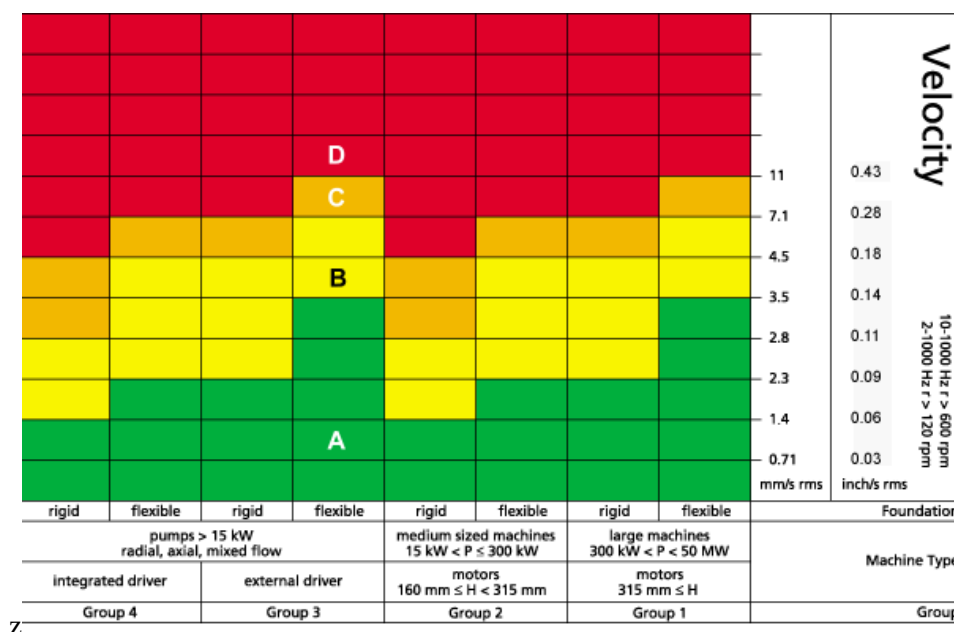


FIGURA 11 ESPETRO DE FREQUÊNCIA DE CAIXA DE ENGRENAGENS

Numa determinada máquina para cada ponto de medida podem-se registar as frequências de referência e criar a chamada assinatura da máquina. Este registo serve para posteriormente comparar com os valores de funcionamento e avaliar o estado dos vários componentes da máquina.

3.5. Critérios de severidade e avaliação dos níveis globais de vibração

A norma ISO 10816 [4] especifica limites de vibração que dependem da potência da máquina e do tipo de fundação. Esta norma substituiu a norma ISO 2372. A norma ISO 10816 divide-se em 6 partes para os diferentes tipos de máquinas. Na parte 1 temos as diretivas gerais e nas restantes 5 partes temos os critérios de avaliação e dimensão para os vários tipos de máquinas: na 2 para a categoria de turbo-alternadores de potência superior a 50 MW, na 3 para máquinas industriais com potências superiores a 15KW e de rotação entre 120 e 15000 rpm, na 4 turbinas a gás não aeronáuticas, na 5 grupos geradores de potência e sistemas hidráulicos e na 6 máquinas alternativas superiores a 100 KW. A condição da máquina é avaliada pela comparação das medições efetuadas com os valores de referência estabelecidos para cada uma delas. Na parte da norma ISO 10816-3 para máquinas industriais estas são divididas de acordo com a potência e a rigidez das fundações, Tabela 1.

**TAB. 1** TABELA ISO 10816-3

Nesta norma um aumento de 2,5 vezes no valor global de vibração pode-se considerar uma alteração significativa no estado de funcionamento da máquina, alteração que é grave se aumentar 5 vezes.

As medidas de vibração numa determinada máquina refletem as forças cíclicas que estão sendo transmitidas no ponto de medida. A medida da velocidade real de vibração é proporcional não apenas às forças envolvidas mas também à mobilidade da estrutura, naquele ponto. Mobilidade

é a medida da tendência que a estrutura tem para ser colocada em movimento (inverso da impedância mecânica). Não se devem analisar só os picos de nível mais elevado no espectro de vibração, pois valores reduzidos também contêm informações sobre alterações de forças. As características de mobilidade das máquinas normalmente não se alteram significativamente com o tempo, podendo-se assumir que se o nível de vibração num ponto numa determinada frequência duplicar, o nível de força também aumentará para o dobro naquele ponto e naquela frequência. A mobilidade pode diferir significativamente de uma máquina para outra, de maneira que uma indicação mais correta da condição da máquina é obtida por alterações relativas, isto é, especificando a “*BASELINE*” de referência ou nível de referência e permitindo um fator fixo de alteração para representar uma modificação do estado de funcionamento.

4. Análise de avarias através da análise de vibrações

4.1 Introdução

São inúmeras as avarias que se podem detetar recorrendo à medição de vibrações, nomeadamente desequilíbrios, veios empenados, desalinhamentos, folgas, falhas nas correias, rolamentos avariados, falhas elétricas, escorregamentos, cavitação, veios fissurados, prisão de rotores, ressonância e forças hidrodinâmicas ou hidráulicas, entre outras.

Cada uma destas avarias pode ser identificada e quantificada nas medições efetuadas nos pontos de medição previamente definidos e posterior análise dos dados obtidos. De seguida vão ser apresentadas algumas das interpretações das falhas mais comuns de serem identificadas através da medição e análise de vibrações [3].

4.2. Desequilíbrios

A ISO (International Standard Organization) define desequilíbrio como a condição que existe num rotor quando a vibração obtida nos seus rolamentos é devida a forças centrífugas [3]. Também pode ser definida como a distribuição desigual da massa em relação ao eixo de rotação. Se definirmos o eixo de rotação central ou eixo de inércia principal (PIA), como o eixo em volta do qual o rotor rodaria se não estivesse condicionado pelos rolamentos e o eixo geométrico central (GCL) como o eixo do centro físico do rotor. Só quando os dois eixos coincidem é que o rotor está equilibrado. Em função da posição relativa dos dois eixos definem-se três tipos de desequilíbrio:

Desequilíbrio estático, quando PIA e GCL estão paralelos, desequilíbrio de momento, quando PIA e GCL se intersectam no centro e desequilíbrio dinâmico, quando PIA e GCL se intercetam fora do centro (Fig.12)

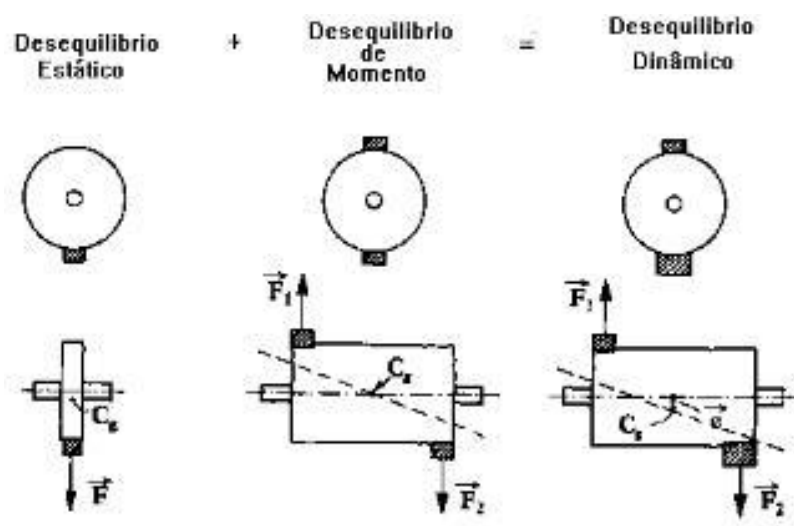


FIGURA 12 TIPOS DE DESEQUILÍBRIOS

Para todos os tipos de desequilíbrio o espectro de vibração mostra uma frequência predominante correspondente à velocidade de rotação nominal do equipamento (Fig.13). A amplitude da vibração à frequência correspondente à velocidade nominal de rotação do equipamento, varia proporcionalmente ao quadrado da velocidade de rotação

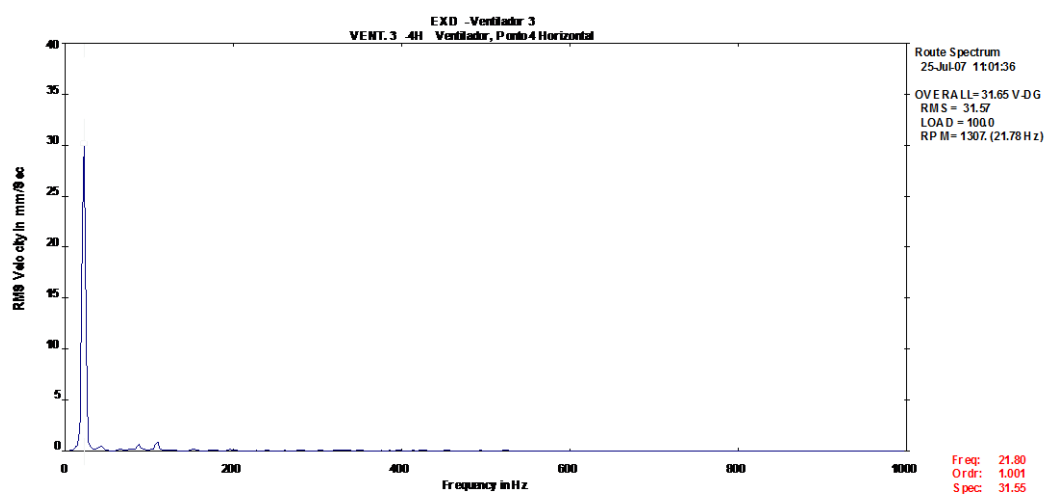


FIGURA 13 ESPETRO TIPO DO DESEQUILÍBRIO DE UM EQUIPAMENTO

4.3. Veios empenados

Neste caso tanto a componente axial da vibração como a radial apresentam um valor elevado, sendo, normalmente as componentes axiais maiores que as radiais e apresentam amplitudes mais elevadas nas frequências correspondentes à velocidade nominal do equipamento (1x) e à 2ª harmónica. Caso o valor da frequência correspondente da velocidade de rotação do

equipamento seja a predominante o empeno é perto do centro do veio, pelo contrário se a amplitude da 2ª harmónica é a maior então o empeno é junto aos extremos. Na Fig.14 é apresentado um espectro característico de um veio empenado. Nesta figura podemos observar que a amplitude à frequência 1x é maior que a 2x e portanto a falha é perto do meio.

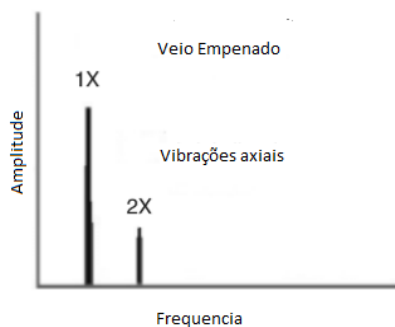


FIGURA 14 VEIO EMPENADO

4.4. Desalinhamentos

Os desalinhamentos são, a par dos desequilíbrios, os responsáveis pela maior parte das situações de falha identificadas pelas vibrações. Os desalinhamentos podem ser de dois tipos angular, que implica um angulo entre os eixos centrais de dois veios e paralelo em que há um desvio da posição original apesar dos eixos centrais se manterem paralelos.

A Fig.15 apresenta o espectro característico dos desalinhamentos angulares, com um valor axial mais elevado à frequência correspondente à velocidade nominal (1x), mas também a 2x e a 3x da velocidade nominal.

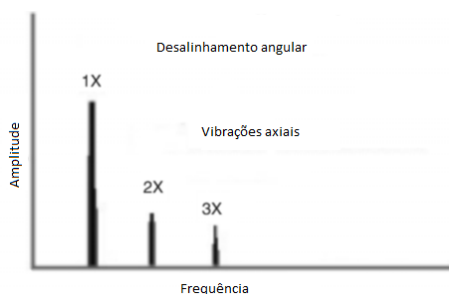


FIGURA 15 DESALINHAMENTO ANGULAR

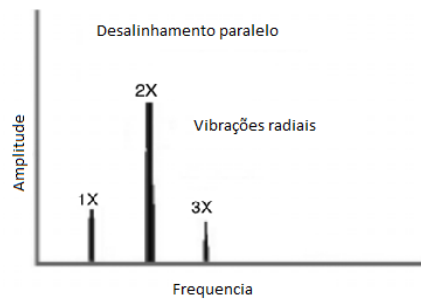


FIGURA 16 DESALINHAMENTO PARALELO

No desalinhamento paralelo como podemos ver na Fig.16 a amplitude maior é à frequência correspondente a 2x a velocidade nominal.

Se o desalinhamento for muito elevado, independentemente de ser paralelo ou angular, também aparecem amplitudes elevadas em valores de frequência entre 3x e 8x da frequência correspondente à velocidade nominal.

4.5. Folgas mecânicas

As folgas mecânicas podem ser dos seguintes tipos: folgas internas, folgas de fixação e folgas de estrutura.

As folgas internas são devidas a má fixação entre componentes internos como sejam chumaceiras, rolamentos ou parafusos de aperto. Estas falhas normalmente produzem múltiplas frequências com valores de amplitude superiores aos demais apresentados no espectro. O funcionamento do equipamento com folgas internas pode originar a ocorrência de situações de trabalho não periódico o que originará o aparecimento de frequências de vibração sub-harmónicas da velocidade de rotação do equipamento. Na Fig.17 é apresentado um espectro característico correspondente a um equipamento com folgas internas.

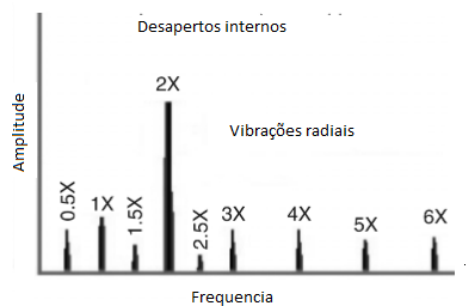


FIGURA 17 FOLGAS INTERNAS

Na Fig.18 é apresentado um espectro característico das folgas de fixação tiradas na direção radial. Pode observar-se que o espectro característico apenas apresenta uma sub-harmônica correspondente a metade da velocidade de rotação do equipamento.

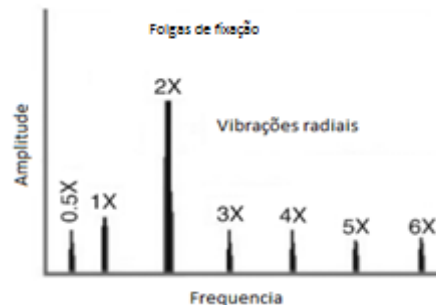


FIGURA 18 FOLGAS DE FIXAÇÃO

4.6. Ressonância

A frequência natural (f_n) de um determinado corpo é a frequência na qual esse corpo vibra quando é sujeito a uma excitação exterior não constante. Quando existir uma excitação exterior constante o equipamento apresentará frequência correspondente aos vários elementos que compõem o equipamento (f). Quando $f_n=f$ o equipamento entra em ressonância. A velocidade de um rotor crítica é a velocidade correspondente à frequência natural do equipamento em que está inserido.

A identificação da frequência natural pode ser feita através de um teste designado por *bump test*, que consiste na análise dos espectros de vibrações obtidas quando são exercidos impactos no equipamento, com martelos de impacto.

Na Fig.19 é apresentado o espectro obtido quando exercido um impacto no equipamento (*bump test*). Da análise da figura podemos observar a existência de uma frequência natural (f_n) do equipamento a 1046 ciclos por minuto (CPM). Assim para evitar a ressonância o funcionamento do equipamento não poderá ter frequências características coincidentes com a frequência natural.

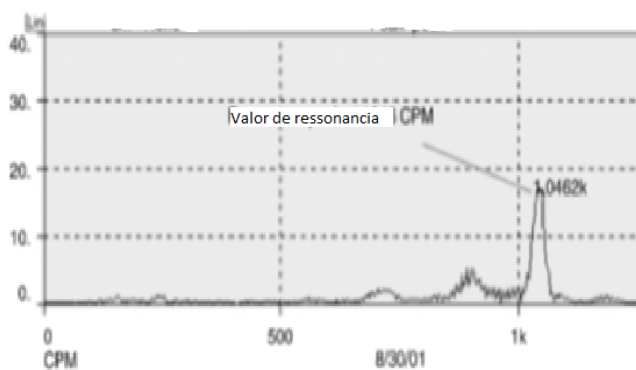


FIGURA 19 ESPETRO DE FREQUENCIA DE UM BUMP TEST

A frequência natural de um equipamento pode ser determinada tal como apresentado na equação:

$$W_n = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (2)$$

Em que: W_n - Frequência natural, K- Rigidez do equipamento, m- massa do equipamento

Conforme a velocidade real for menor ou maior que a velocidade critica o equipamento apresenta comportamentos diferentes: para velocidades menores a contribuição da massa é pequena enquanto para maiores velocidades a massa é muito mais contributiva para a rigidez (variação quadrática com a velocidade).

4.7. Rolamentos

Um rolamento é constituído por pistas interior e exterior, gaiola e esferas (Fig.20).



FIGURA 20 ROLAMENTO DE ESFERAS

Os defeitos de cada um dos componentes podem ser identificados pela vibração que emitem, pois para cada um deles existe uma frequência de vibração característica. No caso das pistas e

das esferas os defeitos são facilmente identificados ao contrário dos defeitos nas gaiolas que apresentam variações de frequência menos características. As frequências de defeito dos rolamentos não são totalmente harmônicas e a sua detecção é feita recorrendo ao auxílio das seguintes equações [3]:

$$BPFI = \frac{Nb}{2} \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \cos\theta \right) \times rpm \quad (3)$$

$$BPFO = \frac{Nb}{2} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos\theta \right) \times rpm \quad (4)$$

$$FTF = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos\theta \right) \times rpm \quad (5)$$

$$BSF = \frac{Pd}{2Bd} \left[1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \right)^2 (\cos\theta)^2 \right] \times rpm \quad (6)$$

Em que: Nb- N° de esferas/rolos, Bd- Diâmetro das esferas/rolos, Pd- Diâmetro do rolamento, θ - Ângulo de contacto, BPFI- Frequência das esferas/rolos pista interior, BPFO- Frequência das esferas/rolos pista exterior, FTF- Frequência da gaiola e BSF- Frequência da rotação das esferas/rolos.

O cálculo das frequências BPFI, BPFO, FTF e BSF são função da velocidade de rotação do equipamento em rpm.

Existem também tabelas nomeadamente da SKF [14], para todos os rolamentos que nos dão os valores padrão de defeito, mas que têm de ser ajustados às condições de funcionamento.

Num espectro em frequência do funcionamento de um rolamento são obtidas as frequências da vibração da pista interior e as frequências da vibração da pista exterior, assim como as FTF e BSF quando o rolamento evidencia falhar. Contudo as frequências relativas à degradação dos rolamentos ocorrem evolutivamente em vários estágios. O espectro de frequência para defeitos em rolamentos pode ser dividido em 4 zonas (Fig.21):

Zona A Rotação nominal da máquina e zona de harmônicas, zona B zona das frequências de defeito (5-30 Kcpm), Zona C onde são identificadas as frequências naturais dos componentes do rolamento (30-120 pm) e zona D onde são identificadas as altas frequências (HFD acima de 120 cpm).

Podemos considerar 4 estágios de deterioração de um rolamento: num 1º estágio, fig. 21, o rolamento apresenta uma imagem ligeiramente mais baça. Nas frequências correspondentes a este estágio só se deteta alguma alteração nas altas frequências 20-60 KHz (120-360 KCPM), recorrendo a técnicas de deteção de altas frequências (*HFD techniques*)

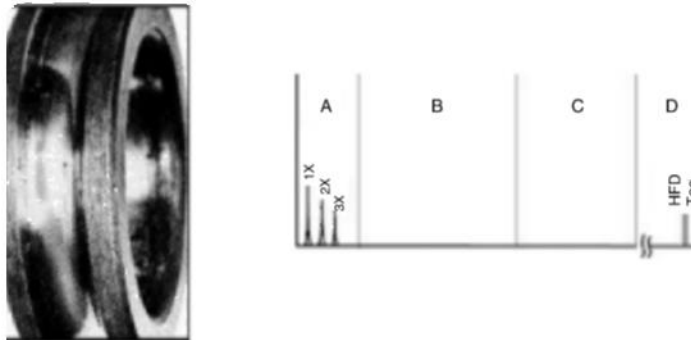


FIGURA 21 1º ESTÁGIO DE DETEÇÃO DE DESGASTE

Neste estágio as pistas já não possuem o brilho de novo e podem apresentar uma tonalidade cinzenta, tal como se pode observar na fotografia do rolamento.

Num 2º estágio (Fig.22) aparecem pequenos pontos de desgaste que provocam picos entre a frequência de 30 a 120 Kcpm (5 a 20 KHz)

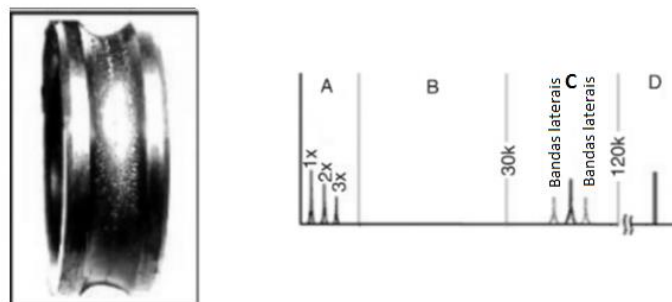


FIGURA 22 2º ESTÁGIO DE DESGASTE DE ROLAMENTOS

No 3ºestágio (Fig.23) aumenta o número e o tamanho dos pontos de desgaste e quando o rolamento atinge este estágio é aconselhável a sua substituição imediata. Aumenta a amplitude

das frequências do rolamento e respectivas harmônicas ficando estas claramente definidas no espectro em frequência.

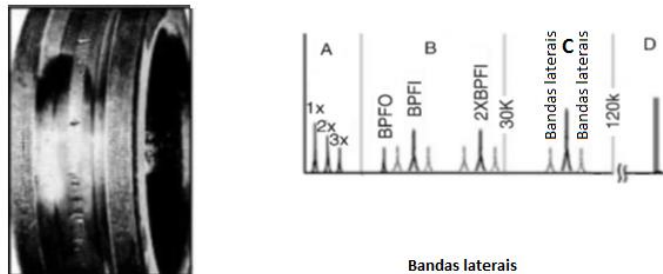


FIGURA 23 3º ESTÁGIO DE DESGASTE DE ROLAMENTOS

No 4ºestágio (Fig.24) os pontos de desgaste aumentam de tal forma que se juntam originando grandes superfícies de falha. Nesta fase o rolamento apresenta uma grande vibração/ruído e um aumento significativo do aquecimento, levando rapidamente à falha da máquina.

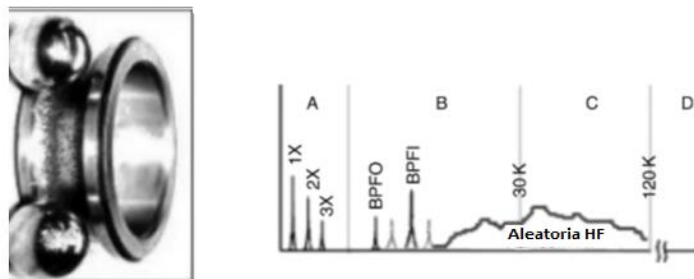


FIGURA 24 4º ESTÁGIO DESGASTE SEVERO

4.8. Atrito de rotores

A ocorrência de atrito nos equipamentos rotativos origina um espectro com as características apresentadas na Fig.25. O atrito pode ocorrer pontualmente ou ao longo de toda a superfície do rotor, podendo por vezes fazer ruídos elevados e produzindo amplitudes maiores a sub-harmônicas da frequência à velocidade de rotação nominal do rotor N . Se considerarmos N_c a velocidade de rotação crítica do rotor as frequências onde as amplitudes são maiores variam conforme a relação entre a velocidade do rotor e a sua velocidade crítica da seguinte forma:

se $N < N_c$ são à velocidade nominal do rotor,

se $N > 2N_c$ são à velocidade nominal e a metade da velocidade nominal

se $N > 3N_c$ são à velocidade nominal e a $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{3}$ da velocidade nominal

se $N > 4N_c$ são à velocidade nominal e a $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ e a $\frac{2}{4}$ da velocidade nominal

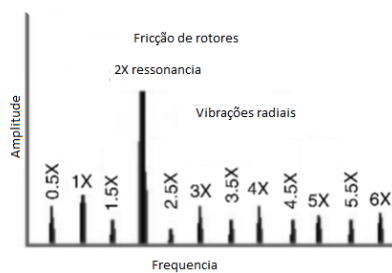


FIGURA 25 FREQUÊNCIAS DOMINANTES NA FRICÇÃO DE ROTORES

4.9. Turbilhão de óleo

Este fenómeno acontece em chumaceiras lubrificadas com óleo à pressão e que rodam a altas velocidades e pode ser evitada com o ajuste da pressão do óleo. Em condições normais a velocidade da película de óleo deve ser 50% da velocidade do veio, se esta a velocidade baixar para 0.42 e 0.48 da rpm nominal, pode provocar o turbilhão de óleo e quebra do filme de lubrificação e consequente desgaste das peças por falta de lubrificação ou por desalinhamentos resultantes da alteração da película de óleo [3].

4.10. Caixas de engrenagens

Nas caixas de engrenagens para além do aparecimento de baixas frequências ocorrem também a altas frequências resultantes do engrenamento dos dentes e dos componentes dos rolamentos.

O espectro de qualquer caixa de engrenagens mostra para além das frequências a 1x e a 2x a velocidade de rotação, harmónicas à frequência característica dos carretos ($GMF = n^\circ \text{ de dentes} \times \text{rpm do carreto}$).

A GMF (*gear mesh frequency*- frequência característica do engrenamento) de uma engrenagem apresenta quando existe degradação do equipamento bandas laterais de frequência relativas à velocidade do veio em que está inserida. Dentes desgastados ou com fissuras provocam alterações na frequência natural e na GMF.

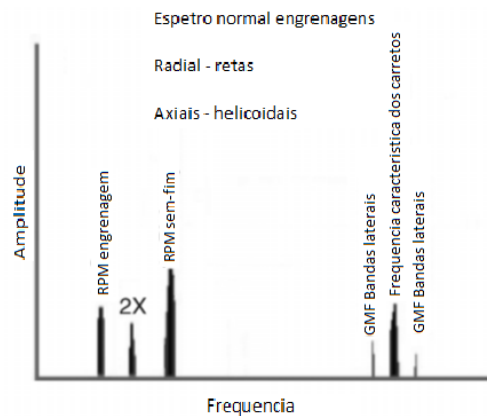


FIGURA 26 FREQUÊNCIAS CAIXAS DE ENGRENAGEM

Regra geral os desalinhamentos de engrenagens produzem bandas laterais de frequência junto à frequência característica de engrenamento, enquanto dentes danificados produzem bandas laterais mais espalhadas ao longo do espectro (Fig.26).

4.11. Correias

Os defeitos que podem acontecer nas correias são: desgaste, falta de tensão e desalinhamento. Estas falhas originam frequências harmônicas da frequência da correia (Fig.27). A frequência das correias é calculada através de:

$$\text{Frequencia correia} = \frac{\pi \times \text{rpm poli} \times \text{passo}}{\text{comp.correia}} \quad (7)$$

Em que: rpm poli- rotações por minuto do veio da poli, passo- distancia entre os dentes da poli e comp.correia- perímetro da correia.

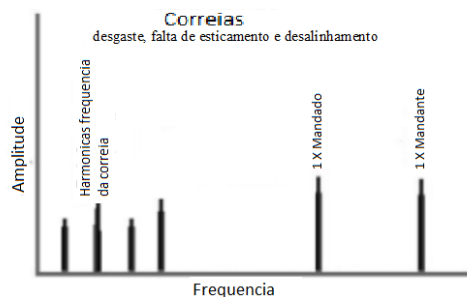


FIGURA 27 SUB-HARMÓNICAS DA FREQUÊNCIA DA CORREIA

As amplitudes das frequências de vibração são normalmente instáveis. As grandes amplitudes das frequências das correias indicam desgaste ou desalinhamento de polis (Fig.28).

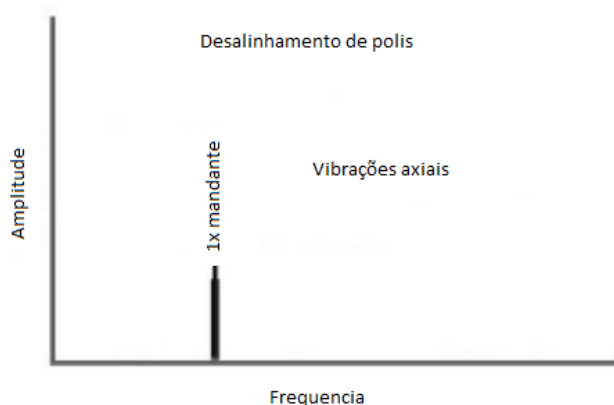


FIGURA 28 DESALINHAMENTO DE POLIS

4.12. Motores elétricos

Os problemas nos motores elétricos acontecem devido à alteração das forças magnéticas que atuam no rotor e no estator. Esta alteração pode ser devida a: aberturas ou curto circuitos na bobinagem, falhas no rotor, desequilíbrio de fases e a falhas de refrigeração. Quando acontece algum dos problemas referidos há uma variação do campo magnético entre o rotor e o estator provocando uma alteração da vibração radial. Estas alterações manifestam-se com a frequência correspondente à velocidade de rotação do equipamento e podem ser confundidas com desequilíbrios. Uma forma de se esclarecer é na altura em que se está a medir as vibrações desligar a corrente elétrica, se esta situação desaparecer é porque realmente o problema é elétrico [3].

Para perceber as vibrações devidas a problemas elétricos, temos de considerar as seguintes características:

$$F_S = \text{frequência de escorregamento} = \frac{2 \times F_L}{P} - \text{rpm} \quad (8)$$

$$F_P = \text{frequência dos polos} = F_S \times P \quad (9)$$

Em que F_L é a frequência, P é o número de polos e rpm é o número de rotações por minuto.

No caso de avaria do rotor os espectros obtidos podem ter o aspeto apresentado na Fig.29 e na Fig.30.

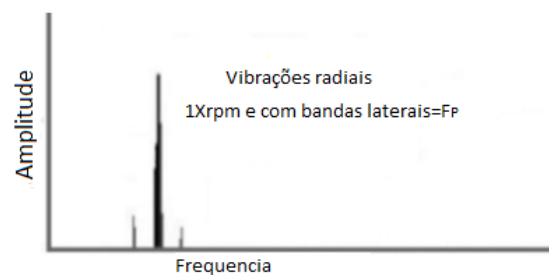


FIGURA 29 ROTOR COM BARRAS PARTIDAS

Nas duas figuras as falhas devem-se às barras do rotor estarem danificadas ou partidas o que origina vibrações acentuadas na direção radial, à frequência de rotação do veio e por vezes, como no caso da Fig.30 ao aparecimento de bandas laterais com um desvio de valor igual à frequência dos polos (9).

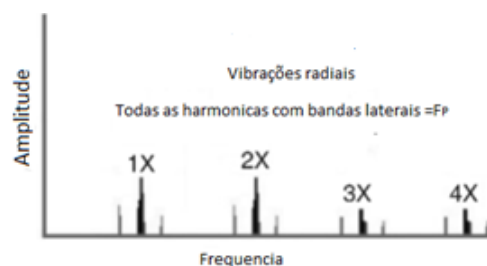


FIGURA 30 ROTOR COM BARRAS PARTIDAS

Sabemos que o rotor deve ser concêntrico com o estator, caso por algum motivo apareça alguma excentricidade, esta origina uma força F definida pela seguinte equação:

$$F = \frac{KI^2}{g^2} \left(\frac{4\theta}{(1-\theta)^2} \right) \quad (10)$$

Em que I = corrente do estator, g = distancia média entre o estator e o rotor, θ = excentricidade e K uma constante

Desta equação podemos ver que um aumento da corrente I e da excentricidade θ aumenta a força magnetica desequilibradora F. Na Fig.31 é apresentado o espectro representativo de excentrecidade do rotor relativamente ao estator.

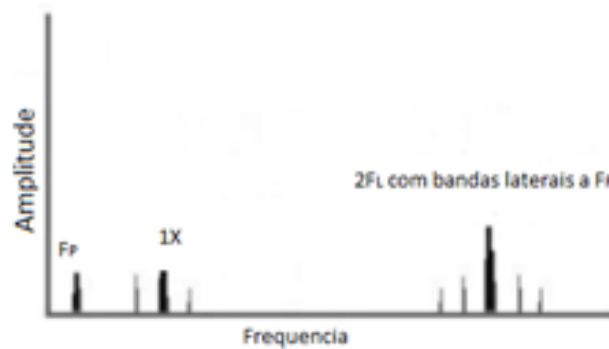


FIGURA 31 ROTOR COM EXCENTRICIDADE EM RELAÇÃO AO ESTATOR

No caso do estator se houver alguma deficiência esta manifesta-se por cada passagem pelos polos dos enrolamentos com uma frequência correspondente ao dobro da frequência elétrica F_L . A Fig.32 mostra o espectro característico correspondente a deficiências do estator nomeadamente com o aumento da amplitude no dobro da frequência eléctrica do motor F_L .

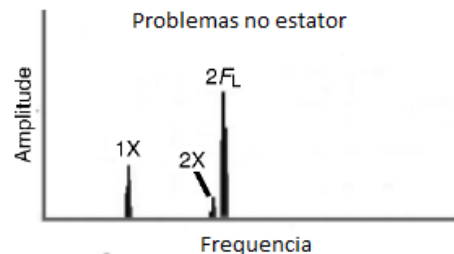


FIGURA 32 DEFICIÊNCIAS DO ESTATOR

4.13 Resumo

Na Tabela 2, identifica-se a grande maioria das frequências características que são detetadas utilizando a técnica de manutenção condicionada pela análise de vibrações.

<i>Tipo de avaria</i>	<i>Frequência característica</i>	<i>Observações</i>
Desequilíbrio	1×N N- Velocidade de rotação do equipamento	Predominante na direção radial. Causa mais comum de vibrações em máquinas.
Desalinhamento	1×N (sempre) 2×N (frequente) 35×N (raramente)	Direção radial e axial. 2ª causa de vibrações em máquinas
Defeitos em rolamentos de esferas, de rolos com n número de elementos rolantes	Frequência de impacto dos elementos constituintes Frequência de ressonância das pistas dos rolamentos (frequências altas: 2 a 60Khz)	Identificação da zona do defeito: Pista externa (BPFO): $f = \frac{n}{2} \times f_r \times \left[1 - \frac{BD}{PD} \times \cos\beta \right]$ Pista interna (BPFI): $f = \frac{n}{2} \times f_r \times \left[1 + \frac{BD}{PD} \times \cos\beta \right]$ Defeito nos elementos rolantes (BSF): $f = \frac{PD}{BD} \times f_r \times \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \times \cos\beta \right) \right]$ Gaiola (FTF): $f = \frac{1}{2} \times f_r \times \left[1 - \frac{BD}{PD} \times \cos\beta \right]$ Em que: n- nº de elementos rolantes, f_r - rotação relativa entre as pistas internas e externas, PD- diâmetro primitivo, BD- diâmetro da pista
Defeitos em engrenagens	Frequências de engrenamento dos dentes ($N_1 \times N$) e harmónicas N_1 - nº de dentes	Frequência de engrenamento (GMF): $f = N_1 \times f_c$ Em que: N_1 - nº de dentes do carreto e f_c - velocidade do veio do carreto
Folgas mecânicas	Múltiplos da velocidade de rotação do veio	Sub-harmónicas em alguns casos

Vibração devida a correias	Múltiplos da velocidade de rotação da correia e harmônicas	
Vibração em motores elétricos	$1 \times N_e$ $1 \times N_r$ 50 e 100 Hz	Batimento devido à proximidade entre a velocidade de rotação do veio e a velocidade de rotação do campo magnético

TABELA 2 FREQUÊNCIAS CARACTERÍSTICAS

5. Análise de avarias através da análise termográfica

5.1. Introdução

A medição da temperatura dos mais variados componentes e objetos permite-nos identificar problemas, verificar comportamentos, corrigir desvios e avaliar toda uma série de ações a executar. Existem duas técnicas de medição de temperatura, a termometria que se baseia na transmissão de calor por condução e a termografia que se baseia na transmissão de calor por radiação. Quando utilizada a termometria há necessidade de haver contacto com a superfície a medir decorrendo um tempo de resposta da ordem de segundos. Quando utilizada a termografia não há necessidade de contacto com o aparelho a medir e a resposta é na ordem dos microssegundos.

5.2. Medição da temperatura

A termografia funciona na zona da radiação dos infravermelhos. Na Fig.33 podemos ver o espectro eletromagnético dividido em bandas, delimitadas em função do comprimento de onda e está também representada a zona onde a termografia se encontra que se estende desde o fim da zona visível $1\mu\text{m}$, até ao fim das micro-ondas $1 \times 10^4 \mu\text{m}$ [7].

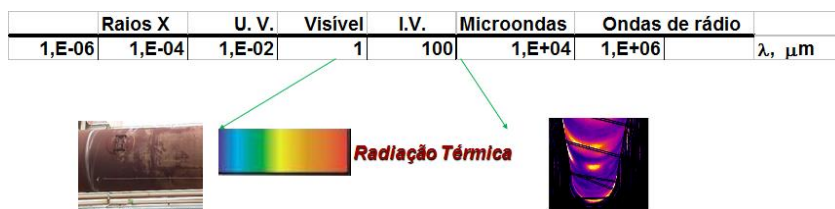


FIGURA 33 ESPETRO ELETROMAGNÉTICO DIVIDIDO EM BANDAS

Dadas as suas características a termografia permite medir temperaturas de objetos em movimento e a medição de fenómenos transitórios. Esta medição é feita com camaras termográficas que medem e registam as radiações infravermelhas emitidas que são resultantes da variação de temperatura. Estas imagens térmicas dão-nos a temperatura em tempo real de toda a área.

5.3. Evolução da termografia

A termografia é utilizada em muitos campos desde a medicina, passando pela construção e indo até à área industrial. O estudo das alterações de temperatura no corpo humano remontam a 480 AC, onde encontramos nos escritos de Hippocrates referências aos diagnósticos termo biológicos [12]. O estudo da radiação infravermelha começou no final do século XVI com os estudos óticos de Della Porta. Dois séculos mais tarde, Sir William Herschel descobriu que o sol emitia raios infravermelhos, mas foi o seu filho Sir John Herschel que em meados do século XIX produziu, em papel a 1ª imagem termográfica [10]. Em 1950 a termografia foi pela 1ª vez usada na área militar para registo de movimentos noturnos de tropas e em 1956 surgiu o 1º diagnóstico na área da medicina. Na área industrial a termografia começou a ser usada nos finais dos anos 60, mas só a partir dos anos 90, devido à evolução dos equipamentos, é que começou a ser usada de uma forma mais abrangente.

A termografia é utilizada para diagnóstico em todas as situações em que o funcionamento implica variação de temperatura, nomeadamente em quadros elétricos, outras instalações e componentes elétricos, máquinas rotativas, equipamentos estáticos, revestimentos e claro numa série de outras áreas fora da mecânica.

5.4. Fundamentos da termografia

A lei de Stefan-Boltzmann diz que a radiação total emitida por um corpo em condições ideais, é função única da temperatura e é traduzida pela equação seguinte:

$$W = \sigma \varepsilon T^4 \quad (11)$$

Em que: W é a radiação total emitida [W / m²], σ é a constante de Boltzman [5.8 x 10⁻⁸ W m⁻² K⁻⁴], ε é a emissividade e T é a temperatura em graus Kelvin [°K].

A emissividade representa a capacidade de emissão dos corpos reais, podendo variar de 0 a 1 em função dos materiais considerados. No caso de um corpo negro que é um objeto capaz de absorver toda a radiação que incide sobre ele $\varepsilon = 1$. Nos objetos reais a absorção não é total sendo a outra parte não absorvida dividida entre a reflexão ρ ($\rho = 1$ para espelho perfeito) e a passagem através do corpo τ ($\tau = 1$ para corpos transparentes). Assim para um determinado corpo a soma dos três fatores tem de ser igual a 1:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (12)$$

No campo da termografia os corpos são normalmente opacos e portanto $\tau=0$, sendo denominados de corpos cinzentos e são representados pela equação (13):

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad (13)$$

Na maior parte das aplicações da termografia a radiação atravessa a atmosfera antes de chegar ao sensor. Conforme o comprimento de onda assim temos características diferentes de transmissão, assim a onda curta (3 a 5 μ m) é usada para temperaturas mais altas, enquanto a onda larga (8 a 13 μ m) é usada para temperaturas mais baixas [9].

5.5. Aplicação da termografia em equipamentos industriais

É na área elétrica que a termografia é mais aplicada, pois é nesta área que a variação de temperatura é a principal variável responsável por detetar a avaria e por isso será a área onde irá intervir o estudo a efetuar e a apresentar nesta tese. Estes problemas são provocados pela variação da corrente e resistência resultante de maus apertos de ligações, corrosão ou falha do equipamento. Na Fig.34 podemos ver um registo termográfico dos contactos de uma linha trifásica.

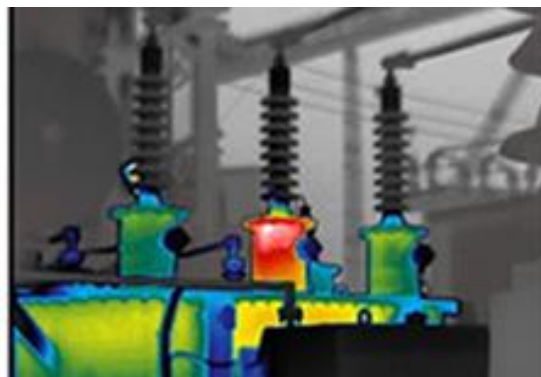


FIGURA 34 IMAGEM TERMOGRÁFICA DE UMA LINHA TRIFÁSICA COM TENSÃO

Nos equipamentos estáticos a utilização da termografia visa a deteção das falhas numa situação inicial em que os sensores dos equipamentos ainda não dão conta do início da degradação. De seguida vamos dar alguns exemplos de aplicação da termografia na deteção de falhas.

Na Fig.35 podemos ver uma análise termográfica de uma válvula de macho esférico que não dá passagem de fluido, pois verifica-se que a distribuição da temperatura não é homogénea,

havendo uma zona em que se nota que a temperatura baixa para valores muito abaixo da temperatura do fluido, indicando que há uma interrupção de fluxo e portanto que a válvula veda completamente.

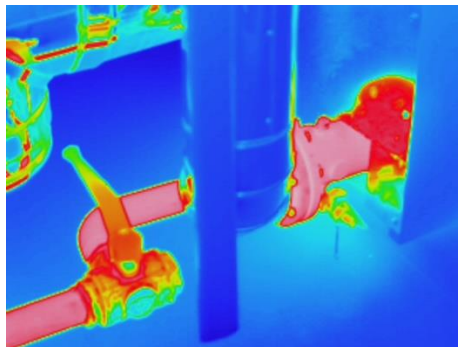


FIGURA 35 VÁLVULA DE MACHO ESFÉRICO

Na Fig.36 vemos a imagem de um purgador de vapor. Esta análise dos purgadores de vapor permite detetar fugas e corrigi-las. Estas fugas constituem uma importante perda de energia e podem ser quantificadas com precisão. Estima-se que numa rede de distribuição de vapor cerca de 30% dos purgadores de vapor estejam fora de serviço e com o auxílio da termografia pode-se confirmar esta estimativa detetando os purgadores danificados para posterior reparação.

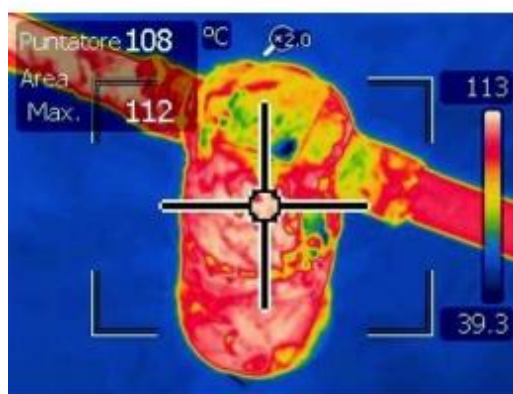


FIGURA 36 IMAGEM TERMOGRÁFICA DE PURGADOR DE VAPOR

Na Fig.37 podemos ver uma imagem termográfica do conjunto motor bomba. Nesta imagem verifica-se que a distribuição da temperatura no acoplamento é homogénea o que nos diz que o motor está alinhando com a bomba. Também podemos concluir, uma vez que para além da distribuição homogénea da temperatura no acoplamento, esta não tem valores muito elevados, que acoplamento está bem dimensionado e alinhado.

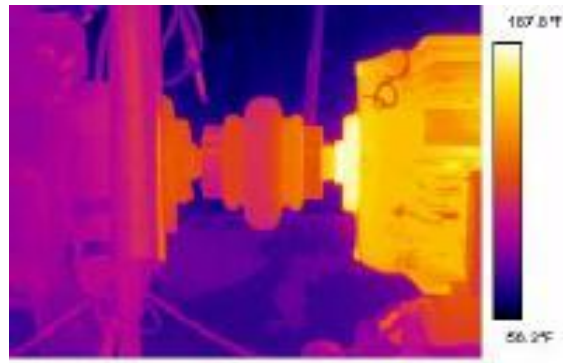


FIGURA 37 IMAGEM TERMOGRÁFICA ACOPLAMENTO MOTOR / BOMBA

5.6. Métodos de medição

Para medir a radiação térmica existem três tipos de medidores: pontuais ou pirômetros de Infravermelhos, *scanners* e câmaras termográficas que dão imagens térmicas com escalas de cor para as diferentes temperaturas.

Os pirômetros de infravermelhos medem o valor médio da temperatura de uma pequena área, funcionam na banda de onda larga (8-13 μm). São constituídos por uma ótica de entrada e um detetor de radiação térmica com condicionamento eletrónico do sinal.

Os *scanners* funcionam por varrimento ótico linear ao longo de uma linha, utilizando detetores MCT (mercúrio, cádmio e telúrio), podem trabalhar em onda curta (3-5 μm) ou em onda larga (8-13 μm) e são usados para monitorização e controlo de processo.

As câmaras termográficas dão-nos imagens térmicas em escalas de cores, permitindo a análise e medição dos valores obtidos. Há dois sistemas de formação de imagem: sistema de varrimento e sistema FPA (*Focal Plane Array*). O primeiro é constituído por um único sensor que faz o varrimento ótico, sendo a imagem formada linha a linha, o tempo de integração é bastante curto (5 μs) e tem uma grande complexidade mecânica; o segundo é constituído por uma matriz bidimensional de sensores que captam simultaneamente todos os pontos da imagem, o tempo de integração é elevado (15 μs) e os sistemas eletrónicos substituem os sistemas mecânicos.

6. Análise de avarias através da análise do óleo de lubrificação

6.1. Introdução

A utilização do óleo lubrificante visa diminuir ao máximo o atrito entre peças para diminuir as cargas e o desgaste. A lubrificação visa a criação de uma película que não deixa que as peças móveis se contactem. As análises do óleo lubrificante conseguem determinar se o lubrificante é o mais adequado e se está a ser eficaz. Para além disto pode-se também verificar se há contaminantes e donde é que eles provêm.

6.2. Análise de óleos lubrificantes

Caso se verifique numa 1ª análise que a qualidade do óleo está alterada deve-se mudar o lubrificante e mandar uma amostra para análises mais detalhadas. Estas vão identificar as causas da deterioração do óleo, para a partir desta identificação se diagnosticarem as correções para eliminar o problema.

Na 1ª análise verifica-se a viscosidade do óleo e identificam-se os contaminantes. Se se verificar que a viscosidade está muito alterada têm de se tentar identificar as possíveis causas de forma a decidir quais as novas análises a efetuar. Normalmente se a viscosidade baixar deve haver contaminação por água ou outro líquido menos viscoso. Caso haja um aumento de viscosidade é provável que haja contaminação por sólidos, nomeadamente partículas metálicas. Para verificar esta contaminação usa-se a ferrografia, que é uma técnica de avaliação das condições de desgaste dos componentes de uma máquina por meio da quantificação e observação das partículas em suspensão no lubrificante, através da identificação da morfologia, acabamento superficial, coloração, natureza e tamanho das partículas encontradas em amostras de óleos ou massas lubrificantes, de qualquer viscosidade, consistência e opacidade.

A ferrografia foi descoberta por Vernon C. Westcott em 1971 e desenvolvida nos anos subsequentes por várias entidades Norte Americanas.

Para conseguir o seu objetivo de quantificar o estado de desgaste de uma máquina vários pressupostos foram assumidos nomeadamente que as partículas resultantes do desgaste, na sua maioria de origem ferrosa, ficam durante algum tempo suspensas no óleo lubrificante.

O método usual de quantificação da concentração de partículas consiste na contagem das partículas depositadas em papel de filtro e observadas em microscópio. Para uma identificação mais rigorosa, Westcott inventou um aparelho para separar as partículas de acordo com o tamanho, chamando-lhe ferrografo. Os ferrografos foram evoluindo e atualmente já são digitais e por leitura direta obtemos a quantificação de partículas grandes e pequenas.

A ferrografia analítica classifica as partículas de desgaste, como podemos ver na Tabela 3, em 5 grupos:

CLASSIFICAÇÃO DAS PARTICULAS	CAUSAS
Ferrosas	Esfoliação; corte por abrasão; fadiga de rolamento; arrastamento; desgaste severo por deslizamento.
Não -ferrosas	Metais brancos; ligas de cobre; ligas de metal antifricção.
Óxidos de ferro	Óxidos vermelhos; óxidos escuros; metais oxidados escuros.
Produtos da degradação de lubrificantes	Corrosão; polímeros de fricção.
Contaminantes	Poeiras; pó de carvão; materiais de filtro, flocos de carbono.

TABELA 3 CLASSIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS DE ACORDO COM O TIPO

Cada tipo de desgaste pode ser identificado pela forma das partículas geradas, conforme podemos ver na Fig.38.



FIGURA 38 IDENTIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS DE DESGASTE

Tipos de exames ferrográficos:

Quantitativo:

Determina as concentrações e permite análise de tendências:

Partículas grandes L ($> 5\text{mm}$)

Partículas pequenas S ($< 5\text{mm}$)

Concentração total = L+S

$$\text{Modo de desgaste} = \text{PLP} = [(L-S)/(L+S)] \times 100 \quad (14)$$

Analítico:

Identifica os tipos e causas do desgaste: Esfoliação, Pitting, Abrasão, Corrosão, Contaminantes, Arrastamento, Falha do lubrificante, etc.

Outra técnica para a análise da concentração de partículas e identificação do material de desgaste é a espectrometria. A espectrometria baseia-se no princípio da física atômica que diz que as variações de energia no interior dos átomos origina a emissão ou a absorção de radiação, conforme o elemento químico corresponde um determinado comprimento de onda [6]. A espectrometria tem de ser usada com prudência porque tem tendência a considerar partículas pequenas até 10 microns, mas uma vez detetadas as partículas consegue-se determinar a sua origem. Assim é importante o uso das duas técnicas e o cruzamento de dados entre elas.

A execução de várias análises permite-nos fazer gráficos de tendência de forma a monitorizar o funcionamento das máquinas de forma a identificar as melhores acções a tomar e planeá-las correctamente.

7. Descrição geral da linha de produção de cornetos

Na fig.39 temos uma vista geral da linha de produção de cornetos que começa na máquina de enchimento *Big Drum* e vai até à zona de embalagem onde estão as várias máquinas de embalagem que agrupam e embalam os produtos de acordo com as embalagens requeridas. Entre estes dois pontos o produto é arrefecido num túnel de congelação.

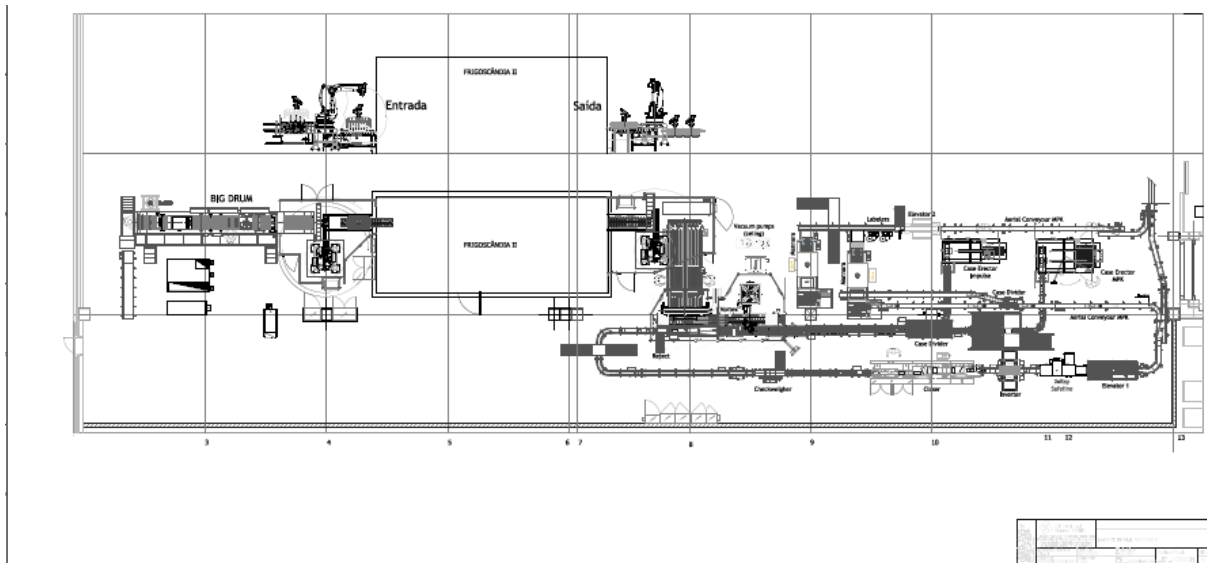


FIGURA 39 LINHA DE PRODUÇÃO DE CORNETOS

De seguida descreve-se cada uma destas máquinas e a forma como intervêm no processo produtivo.

7.1 Zona de enchimento

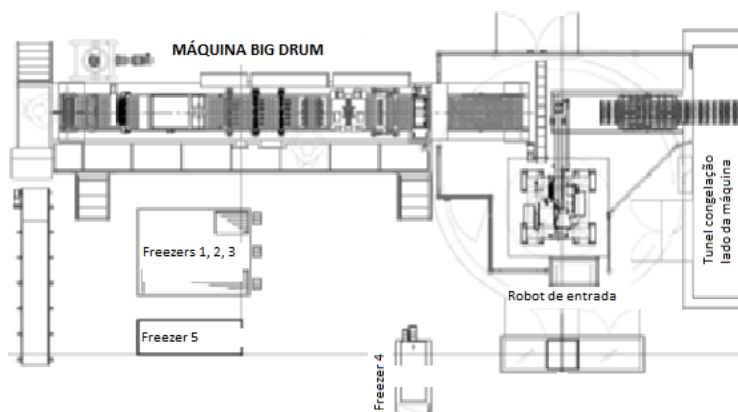


FIGURA 40 LAY-OUT DA LINHA ANTES DO TÚNEL DE CONGELAÇÃO

Na Fig.40 é apresentado o *lay-out* da 1ª parte da linha de produção dos cornetos.

Nesta linha existem 5 *freezers* estando divididas em 3 grupos, o primeiro grupo é composto pelas 3 *freezers* 1, 2, 3, o segundo grupo pela *freezer* 4 e o terceiro grupo pela *freezer* 5.

A *Freezer* 4 é utilizada na produção de xarope e tem uma capacidade de produção de 250l/h.

A *Freezer* 5 é utilizada na produção de ice cream e xarope e tem a capacidade de produção de 400l/h.

A *big drum* apresentada na Fig.41, é uma máquina de enchimento com capacidade de produção de 432 cornetos por minuto



FIGURA 41 VISTA GERAL DA BIG-DRUM

Esta máquina pode produzir 2 tamanhos diferentes de corneto cada um deles com a possibilidade de ser feito com vários sabores e formas. A máquina possui uma série de estações que vão alimentando as diversas partes que constituem o corneto de forma a chegar ao produto final. De seguida vamos descrever o processo de funcionamento da máquina de enchimento ao longo das várias estações, começando no alimentador de cones que coloca os alumínio com bolacha nos holders, os quais vão transportando os cones ao longo das outras estações. A 1ª estação por onde os cones vão passar é o sistema de pulverização de chocolate que cobre na totalidade o interior do cone de bolacha. Este *spray* é o responsável por garantir que a bolacha se mantenha estaladiça por vários meses. Para que este isolamento da bolacha seja mais eficiente de seguida temos um sistema para arrefecer rapidamente esta cobertura. Depois existem três enchimentos que permitem várias combinações de *ice cream*, duas tremonhas para doseamento de xaropes ou coberturas de chocolate e outras duas tremonhas para doseamento de frutos secos. É a combinação destes vários produtos que permitem fazer diferentes cornetos. Em seguida temos as estações para colocar as tampas e a codificação do produto: data de produção e prazo de validade.

Antes do sistema de elevação temos um sistema de visão artificial que deteta os produtos que não estejam devidamente codificados e fechados dando sinal para que não sejam elevados e assim ao contrário dos outros não são transferidos pelo Robot para o túnel de congelação.



FIGURA 42 ROBOT ENTRADA TÚNEL DE CONGELAÇÃO

Este Robot é um Kuka KR180-2 PA (Fig.42) e faz a transferência dos cornetos da máquina para os copos do túnel, agarrando, em cada movimento 48 cornetos. (9 movimentos por minuto).

7.2 Túnel de congelação

Na Fig. 43, podemos ver o exterior do TC-005 Túnel de congelação Frigoscandia GF 220-506.



FIGURA 43 EXTERIOR TUNEL FRIGO 2 NA ZONA DE PRODUÇÃO

Este túnel tem 9 metros de altura e parte dele, conforme podemos ver na Fig.44, está acima do teto da produção (altura do teto da produção 4 metros).



FIGURA 44 PARTE DO TÚNEL ACIMA DO TETO DA PRODUÇÃO

O túnel tem duas torres cada uma com cerca de 7 metros de altura e 3 metros de diâmetro e puxam um tapete de malha inox com 450 metros de comprimento. O túnel tem três pisos para permitir, se necessário o acesso a todos os pontos da malha. Neste tapete estão colocados uns copos para transportar os cornetos na posição vertical (cerca de 36000 copos) e assim garantir

que a forma do produto se mantém até que o gelado congele. O ar arrefecido nos evaporadores é forçado a circular nestas torres de cima para baixo arrefecendo os cornetos. Para isto, estas torres são fechadas por portas, forçando assim o ar a circular desde a entrada no topo até à saída inferior. Na Fig.45 podemos ver algumas dessas portas abertas nos 3 pisos e podemos ver a malha de transporte com os respectivos copos.



FIGURA 45 VISTAS DOS COPOS NOS 3 PISOS

O tempo médio de permanência de cada corneto no túnel é de 45 minutos, o que faz com que os cornetos saiam do túnel a temperaturas perto dos -20°C . Possui dois evaporadores de amoníaco (240KW cada) cada um equipado com um ventilador de 18.5 KW conseguindo manter a temperatura no interior do túnel a -45°C . As torres são movimentadas por dois motores de 7.5 KW (Fig.46) e a coordenação de movimentos é feita de forma a garantir o bom deslizamento da malha de transporte dos gelados.



FIGURA 46 MOTO-REDUTORES DA TORRE DE SUBIDA E DA TORRE DE DESCIDA

Esta coordenação é feita através do controle da velocidade dos dois moto-redutores das torres. Para manter a tensão da malha o carreto de entrada é móvel sendo a sua tensão controlada pelo equilíbrio de contra pesos com a velocidade de rotação imprimida neste carreto por um moto-reductor que também tem a sua velocidade controlada em função da posição do carreto. Para além dos sensores necessários ao controlo referido existem sensores ao longo de toda a malha para garantir que caso haja algum levantamento da malha, o túnel pare imediatamente.

Estão instalados dois *encoders*, um à entrada e outro à saída para sincronismo dos robots.

7.3. Zona de embalagem Automática

Na Fig. 47 podemos ver o Robot Kuka KR180-2 PA, que está montado à saída do túnel a tirar os cornetos, arrefecidos a -20°C , dos copos de transporte vertical e a transferi-los para 20 conjuntos de calhas de cordões onde são agrupados para posterior transferência. Este robot está sincronizado com a velocidade do túnel de forma a tirar 60 cornetos em cada movimento (cerca de 7 por minuto). As calhas para onde são transferidos os cornetos fazem parte da enchedora de caixas que é a primeira máquina da zona de embalamento automático.



FIGURA 47 ROBOT DE SAIDA TUNEL DE CONGELAÇÃO

Na Fig. 48 podemos ver o *Lay-out* da área de embalagem.

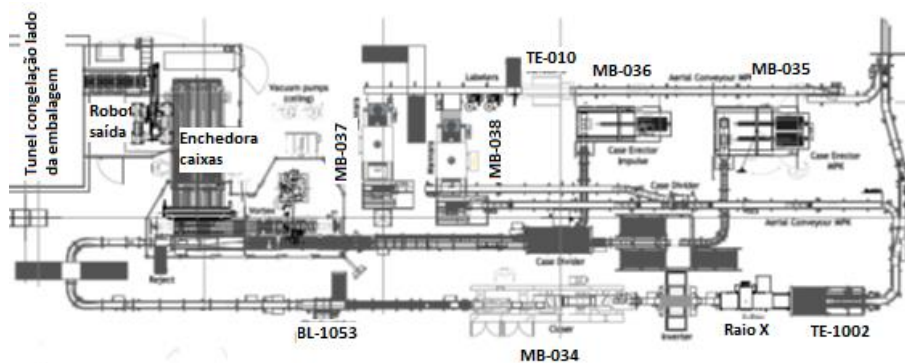


FIGURA 48 LAY-OUT DA ZONA DE EMBALAMENTO AUTOMÁTICO

7.3.1. Enchedora de caixas/cartolinas CT Pack Vortex

Esta máquina faz o embalamento dos gelados acumulados no tapete de cordões em caixas de cartão canelado ou em cartolinas. No fim do tapete de cordões há um braço móvel que permite transferir os gelados do tapete de cordões para umas calhas móveis (Fig.49).



FIGURA 49 BRAÇO GIRATÓRIO DE POSICIONAMENTO DOS CORNETOS

Esta transferência é feita em duas fiadas de 20 corneto, com movimentos intercalados de 180° de rotação. Depois as calhas transportam os cornetos para junto do braço do robot RO-1005 que os introduz nas caixas ou nas cartolinas (Fig.50).

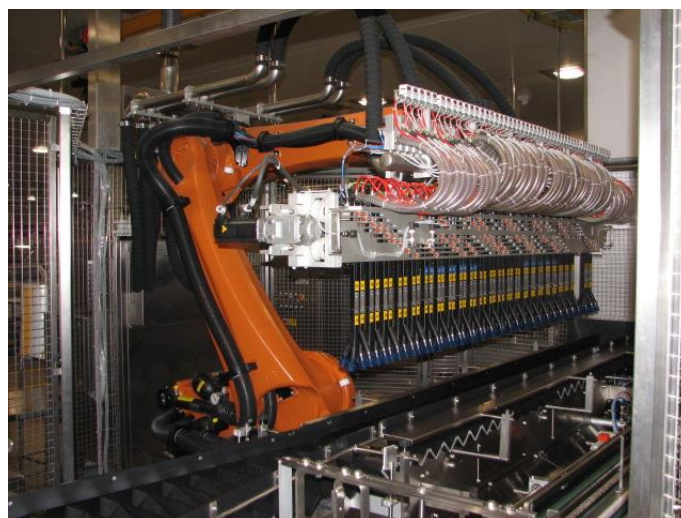


FIGURA 50 BRAÇO DO ROBOT KUKA DE TRANSFERENCIA PARA AS CAIXAS

Esta máquina é mudada em função dos formatos que se pretendem produzir. Permite embalar 24 ou 40 unidades em caixas de cartão canelado ou 4, 6 ou 12 unidades em cartolinas.

As cartolinas são formadas na MB-035, máquina formadora cartolinas (Fig.51) e chegam à zona de enchimento através de tapetes transportadores. Esta máquina possui duas cabeças formadoras e permite a formação de 120 cartolinas por minuto.



FIGURA 51 FORMADORA DE CARTOLINAS

As caixas de cartão canelado são formadas na MB-036, máquina de formar caixas *impulse* cornetto (Fig.52) e chegam também através dos tapetes transportadores. Esta máquina tem uma cabeça formadora que permite formar até 40 caixas por minuto.



FIGURA 52 MAQUINA DE FORMAR CAIXAS IMPULSE

Estas embalagens são depois transportadas em tapetes durante alguns minutos. Este conjunto de tapetes de ligação (Fig.53) servem de *buffer* para compensar possíveis paragens da máquina de fechar caixas/cartolinas. Antes de chegarem a esta máquina passam numa balança em linha e caso estejam dentro do peso exigido, não são rejeitadas.



FIGURA 53 TAPETES BUFFER ANTES DA MÁQUINA DE FECHAR CAIXAS

7.3.2. MB-034 Máquina imball caixa/cartolinas cornetto

Esta máquina (Fig.54) fecha com cola as caixas ou cartolinas que foram cheias na máquina anterior e codifica as caixas de acordo com as normas.



FIGURA 54 MÁQUINA IMBALL DE FECHAR CAIXAS E CARTOLINAS

As mudanças de formato nesta formadora são feitas através da abertura e fecho das várias correias transportadoras, com o auxílio de motores elétricos. O controlo destes movimentos é feito com a alteração dos parâmetros digitais no PLC da formadora. Desta máquina as caixas

seguem por um tapete, onde entretanto são codificadas, para um aparelho de raio X, onde são verificados os cornetos de forma a evitar a possível contaminação por corpos estranhos. Daqui as embalagens passam a um elevador que envia as caixas de cartão para a paletização e as cartolinas para as máquinas de envolver com filme retrátil.

8. Descrição da manutenção dos equipamentos novos

8.1 Implementação da manutenção

A manutenção da nova linha de produção é composta por duas fases.

Na 1ª fase, depois da codificação de todos os equipamentos da nova linha de produção de cornetos, é elaborado o plano de manutenção para as novas máquinas de acordo com o fornecedor. São criadas diversas rotinas que à semelhança das outras linhas são executadas pelos operadores da linha. Estes planos englobam operações de limpeza, de inspeção e de lubrificação. Os planos a desenvolver pelos operadores de linha são bastante extensos e com inúmeras operações porque os equipamentos têm muitos componentes de desgaste.

Na 2ª fase da manutenção é implementada a manutenção condicionada, começando pelos equipamentos que pela sua ocupação, custo e tempo de manutenção tenham mais importância para o funcionamento da linha. Desta forma pretende-se reduzir os custos de manutenção, aumentar a fiabilidade da linha e a eficiência operacional.

8.2 Implementação da manutenção condicionada

O sistema de manutenção condicionada deve ser implementado com a participação dos operadores das máquinas, pois são eles que ao operarem com elas melhor as conhecem, portanto estão mais aptos a notar qualquer irregularidade. Com a utilização dos elementos técnicos será possível identificar os primeiros sintomas de falha assim como identificar os pontos de medição das características de condição. Todas as máquinas devem ter um plano de inspeções com um registo de medições que permitirá a monitorização da tendência da falha e a identificação das necessidades de intervenção. O tempo médio normal de operação de uma máquina entre falhas indicará o número necessário de inspeções. Para uma boa previsão são necessárias seis medições.

Certos equipamentos mais críticos, justificam a monitorização contínua com monitores permanentemente instalados. O programa inicia-se com intervalos reduzidos sendo estes ajustados em função da análise de tendência da avaria. Simultaneamente com esta monitorização, devem-se registar alguns dos detalhes das características dinâmicas de cada máquina, tais como velocidade de rotação dos eixos, velocidades críticas dos eixos, frequências

de ressonância, número dos dentes das engrenagens. O sucesso da manutenção preditiva não depende só deste registo de dados mas também da forma como ele é tratado [1].

8.3. Análise de vibrações dos equipamentos

8.3.1 Frequências características

Numa 1ª fase escolhemos os equipamentos do túnel Frigoscandia para análise de vibrações, isto porque são equipamentos de tamanho médio sujeitos a condições de trabalho extremas e imprescindíveis para o funcionamento da linha. Na Tabela 4 temos a identificação dos equipamentos do túnel, com as respetivas características e com alguns parâmetros de funcionamento.

EQUIPAMENTO	CÓDIGO	COMPONENTE	REFERENCIA	CÓDIGO	VOLTAGEM	CORRENTE	POTENCIA	COS FI	RPM MÁX.	f (hz)
Moto-reductor torre de subida	RD-1598	Redutor superior	RF137 RF77 DRE132MC4/TH	RD-1598					124	2,07
		Redutor inferior		RD-1598					7,85	0,13
		Motor		ME-1636	400		7,5	0,82	1470	24,50
Moto-reductor torre de descida	RD-1621	Redutor superior	RF137 RF77 DRE132MC4/TH	RD-1621					124	2,07
		Redutor inferior	RF137 RF77 DRE132MC4/TH	RD-1621					7,85	0,13
		Motor		ME-1688	400		7,5	0,82	1470	24,50
Ventilador Nº1 entrada	VT-0024	Motor	AM180MV4	ME-1440	400	35	18,5	0,88	1460	24,33
Ventilador Nº2 saída	VT-0025	Motor	AM180MV4	ME-0347	400	35	18,5	0,84	1460	24,33

TABELA 4 CARACTERÍSTICAS DOS MOTO-REDUTORES E DOS VENTILADORES DO TÚNEL DE CONGELAÇÃO

No caso dos moto-redutores, calculamos as frequências características à rotação de funcionamento dos vários carretos de engrenamento. Sabendo o número de dentes dos carretos (Z) a frequência característica das engrenagens é determinada pela multiplicação deste numero pela rotação do veio (n), onde o carreto está montado (Tabela 5).

$$GMF = Z \times N \quad (15)$$

A velocidade de rotação dos moto-redutores é de 1150 rpm para o da subida e de 1000 rpm para o da descida. Nas (Tabelas 5 e 6) estão os cálculos da GMF para estas novas velocidades.

Moto-reductor torre de subida				
Nº do carreto	Nº de dentes	rpm	HZ	GMF (Hz)
Carreto1	21,00	1150,00	19,17	402,50
Carreto2	44,00	548,86	9,15	402,50
Carreto3	11,00	548,86	9,15	100,63
Carreto4	62,00	97,38	1,62	100,63
Carreto5	19,00	97,38	1,62	30,84
Carreto6	71,00	26,06	0,43	30,84
Carreto7	13,00	26,06	0,43	5,65
Carreto8	55,00	6,16	0,10	5,65

TABELA 5 TABELA DE CÁLCULO DAS GMF PARA CARRETOS MOTO-REDUTOR TORRE DE SUBIDA

Moto-reductor torre de descida				
Nº do carreto	Nº de dentes	rpm	HZ	GMF (Hz)
Carreto1	21,00	1000,00	16,67	350,00
Carreto2	44,00	477,27	7,95	350,00
Carreto3	11,00	477,27	7,95	87,50
Carreto4	62,00	84,68	1,41	87,50
Carreto5	19,00	84,68	1,41	26,81
Carreto6	71,00	22,66	0,38	26,81
Carreto7	13,00	22,66	0,38	4,91
Carreto8	55,00	5,36	0,09	4,91

TABELA 6 TABELA DE CÁLCULO DAS GMF PARA CARRETOS MOTO-REDUTOR TORRE DE DESCIDA

Com estes valores construímos a tabela 7, onde são apresentadas as frequências características determinadas para os moto-redutores das torres de subida e descida.

EQUIPAMENTO	CÓDIGO	COMPONENTE	Nº dentes carretos				Frequencias caracteristicas (GMF) Hz			
			Entrada 1	Entrada2	Saída1	Saída2	Carretos 1 e 2	carretos 3 e 4	Carretos 5 e 6	Carreto 7 e 8
Moto-reductor torre de subida	RD-1598	Redutor superior	21	44	11	62	402,50	100,63		
		Redutor inferior	19	71	13	55			30,84	5,65
		Motor				19.17				
Moto-reductor torre de descida	RD-1621	Redutor superior	21	44	11	62	350,00	87,50		
		Redutor inferior	19	71	13	55			26,81	4,91
		Motor				19.17				

TABELA 7 FREQUÊNCIAS CARATERÍSTICAS DOS MOTO-REDUTORES

Na tabela 8 são apresentadas as frequências características das pás dos ventiladores que é determinada pela equação seguinte:

$$GMF_{pás} = n_{pás} \times n \quad (16)$$

Onde n é a rotação do motor do ventilador e $n_{pás}$ o numero de pás do ventilador.

EQUIPAMENTO	CÓDIGO	COMPONENTE	REFERENCIA	CÓDIGO	Nº PÁS	GMF
Ventilador Nº1 entrada	VT-0024	Motor	AM180MV4	ME-1440	14	340,67
Ventilador Nº2 saída	VT-0025	Motor	AM180MV4	ME-0347	14	340,67

TABELA 8 FREQUÊNCIAS CARATERÍSTICAS DOS VENTILADORES

8.3.2. Identificação dos pontos de medição

Para cada um dos equipamentos escolheram-se os pontos de medição. No caso dos motores elétricos foram identificados dois pontos de medição, fazendo em cada ponto duas leituras radiais, uma horizontal e outra vertical. Adicionalmente fez-se uma medição num dos pontos no sentido axial. A medição efetuada nos redutores tem-se só um ponto de medição com uma leitura radial e outra axial. Na Fig.55 temos a identificação dos pontos de medição para cada

um dos equipamentos dos moto-redutores. No motor há dois pontos, PT1 e PT2, cada um deles na cota de um dos rolamentos de apoio do rotor. No ponto PT1 tiraram-se 2 medições radiais desfasadas de 90° (horizontal e vertical). As medições efetuadas em PT2 consideram 3 direções uma axial (A) e duas radiais (H e V). O ponto PT3 corresponde ao redutor superior e o ponto PT4 ao redutor inferior.

No caso do ventilador apresentado na Fig.56 tiraram-se 2 medições radiais em cada uma das cotas dos 2 rolamentos (pontos PT1 e PT2) e mais uma medição axial no ponto PT2.

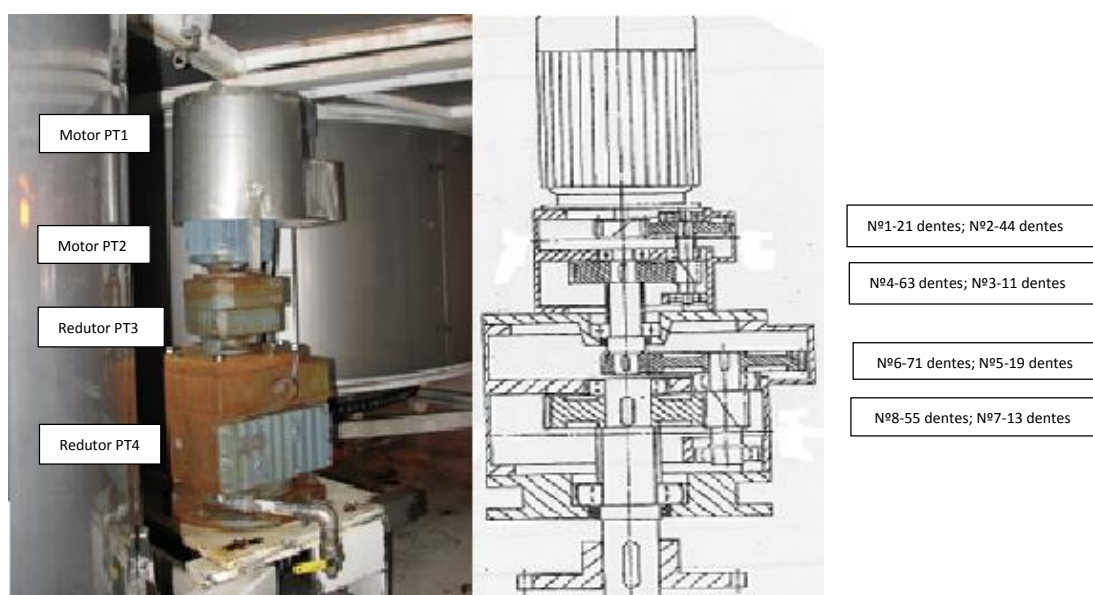


FIGURA 55 IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO E NUMERAÇÃO DOS CARRETOS

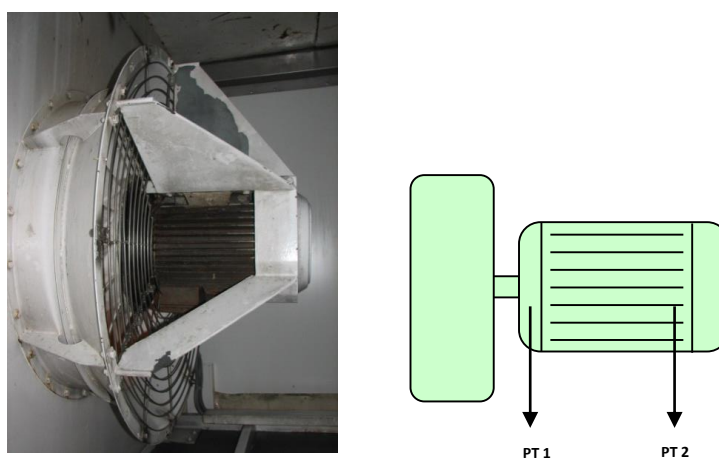


FIGURA 56 PONTOS DE MEDIÇÃO VENTILADORES 1 E 2

8.3.3 Análise dos resultados

A análise de resultados vai incidir nos valores RMS e na análise em frequência. Assim, para os equipamentos escolhidos, criaram-se rotas de recolha das vibrações em todos os pontos que foram previamente definidos. Ao longo do ano de 2013 e nos primeiros quatro meses deste ano, fizeram-se várias recolhas, começando por fazer uma com uma empresa exterior e depois foram efetuadas mais quatro medições com os recursos existentes na unidade fabril Olá. A análise destes resultados é efetuada tendo em consideração os valores de referência a norma ISO 10816 (Tabela 9). Os valores de referência foram os da classe I, porque, nesta classe estão todos os equipamentos com potência menor que 17.5 KW, como é o caso dos equipamentos analisados e medidos.

No Anexo 1 apresentam-se os valores obtidos pela empresa DMC para os equipamentos referidos e no Anexo 2 são apresentados os valores de uma (08-10-2013) das 4 recolhas feitas pelo nosso departamento técnico, usando o nosso aparelho de vibração (*freetrend pocket vibration*) e o respetivo *software* para tratamento dos resultados obtidos; no Anexo 3 encontra-se a descrição deste equipamento.

Critério de Avaliação da Severidade Vibratória

Nível Global de Vibrações				
mm.s ⁻¹ RMS	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV
0,28	BOM	BOM	BOM	BOM
0,45				
0,71				
1,12	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL
1,8				
2,8	SEVERO	SEVERO	SEVERO	SEVERO
4,5				
7,1	CRÍTICO	CRÍTICO	CRÍTICO	CRÍTICO
11,2				
18				
28				
45				

TABELA 9 CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DA NORMA ISO 10816

Após a análise do equipamento considerando o nível global de vibração é efetuada a análise em frequência. De seguida são apresentados os valores globais, assim como os espectros coletados e a análise em frequência.

Ventilador nº1

O ventilador nº1 é apresentado na Fig.56, assim como os pontos de medição das vibrações.

Ventilador nº1	Data/Hora	Estado	ISO (mm/s)
1V-Motor PT1 Vertical	08-01-2014 10:50:10	SEVERO	2.7
1H-Motor PT1 Horizontal	08-01-2014 10:50:10	CRÍTICO	4.6
2V-Motor PT2 Vertical	08-01-2014 10:50:10	CRÍTICO	5.6
2H-Motor PT2 Horizontal	08-01-2014 10:50:10	CRÍTICO	7.0
2A-Motor PT2 Axial	08-01-2014 10:50:10	SEVERO	3.5

TABELA 10 VALORES RECOLHIDOS NO VENTILADOR Nº1 EM 08-01-2014

Na tabela 10 temos os valores recolhidos no ventilador 1 nos pontos marcados para o efeito. Nota-se que os valores radiais tirados no ponto PT 2 apresentam valores, que de acordo com a tabela 10 são críticos, deverá ser acompanhada a evolução da situação de funcionamento do equipamento.

No espectro em frequência das medições efetuadas e apresentadas nas Fig.57 e Fig.58 referentes ao ponto PT1 realça-se à frequência de 25 Hz um pico bastante acentuado que indicia um possível desequilíbrio, acentuando a necessidade de acompanhar o evoluir da situação. Também é evidente a frequência característica das pás do ventilador (340Hz) indicando algum desgaste das pás do ventilador. Também no espectro em frequência da Fig.61, medição axial no ponto PT2 se nota que na frequência característica das pás do ventilador (340 Hz) há um valor elevado da amplitude que pode ser resultado da vibração da estrutura. Nas Figuras 59 e 60 verifica-se igualmente um grande contributo da frequência à velocidade de rotação para o valor global RMS. Daqui se conclui que há necessidade de acompanhar com mais medições o evoluir da condição do equipamento, para caso seja necessário, planear a equilibragem do ventilador.

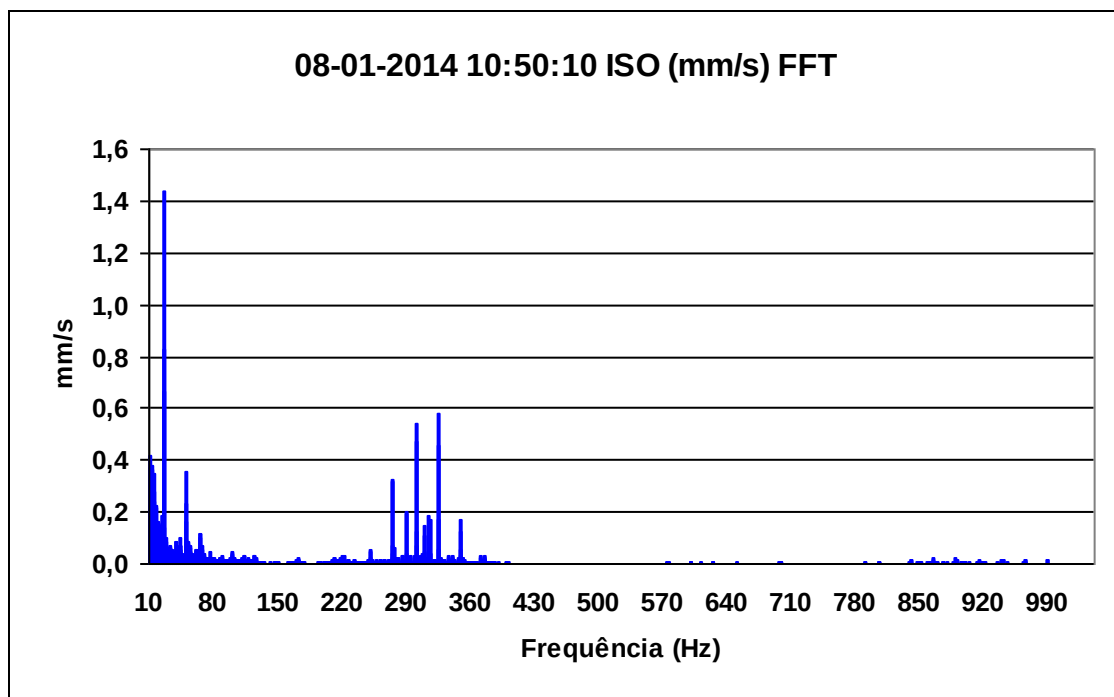


FIGURA 57 ESPETRO NO PONTO 1V-MOTOR PT1 VERTICAL

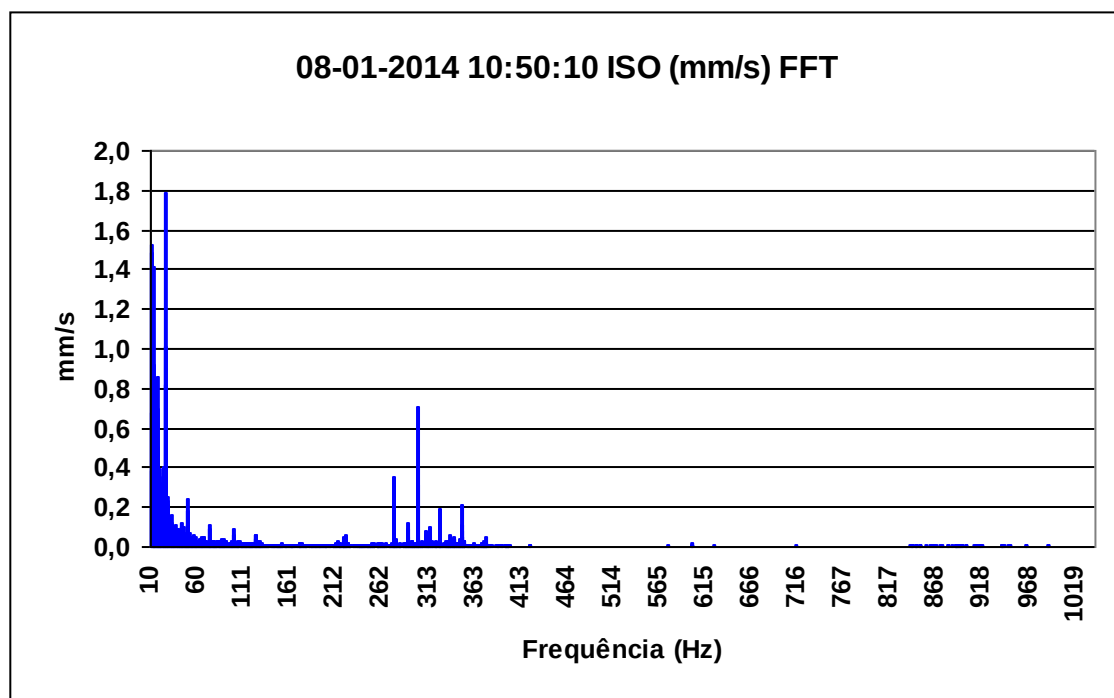


FIGURA 58 ESPETRO DO PONTO 1H-MOTOR PT1 HORIZONTAL

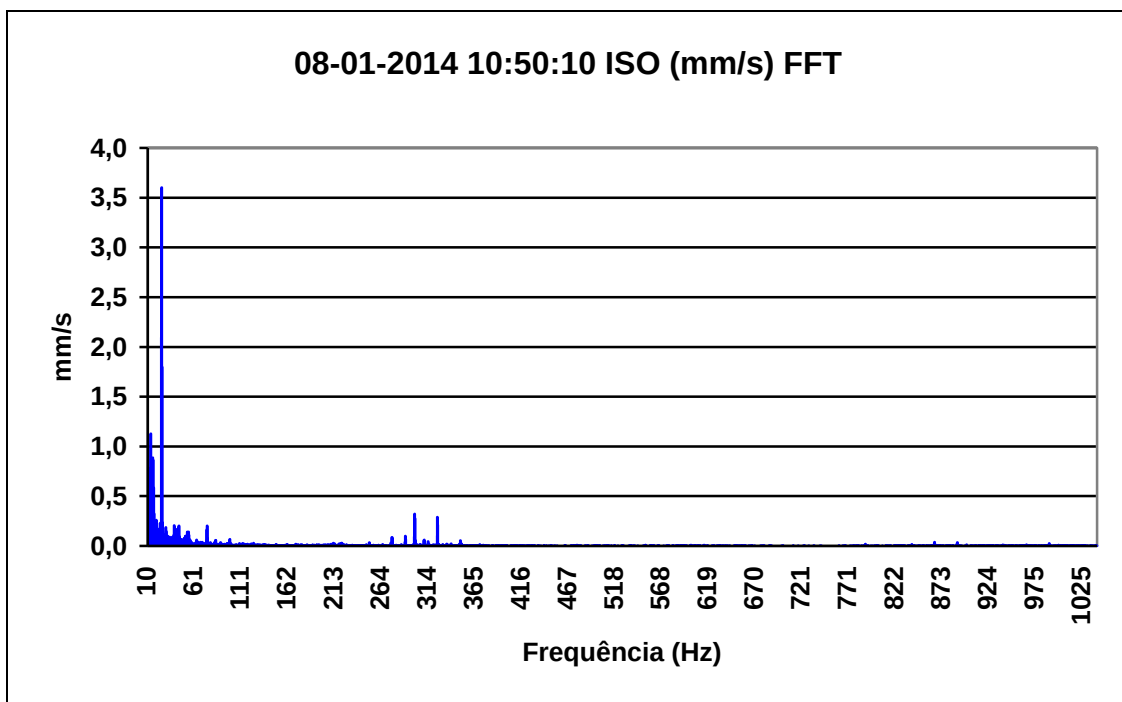


FIGURA 59 ESPETRO DO PONTO 2V-MOTOR PT2 VERTICAL

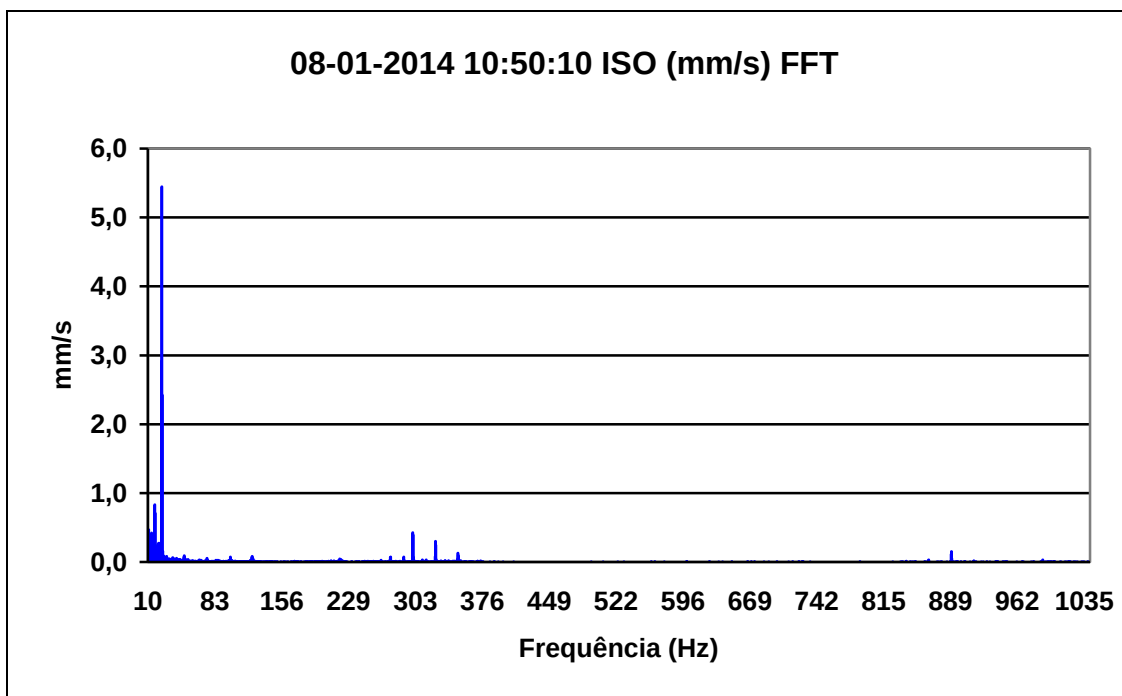


FIGURA 60 ESPETRO DO PONTO 2H-MOTOR PT2 HORIZONTAL

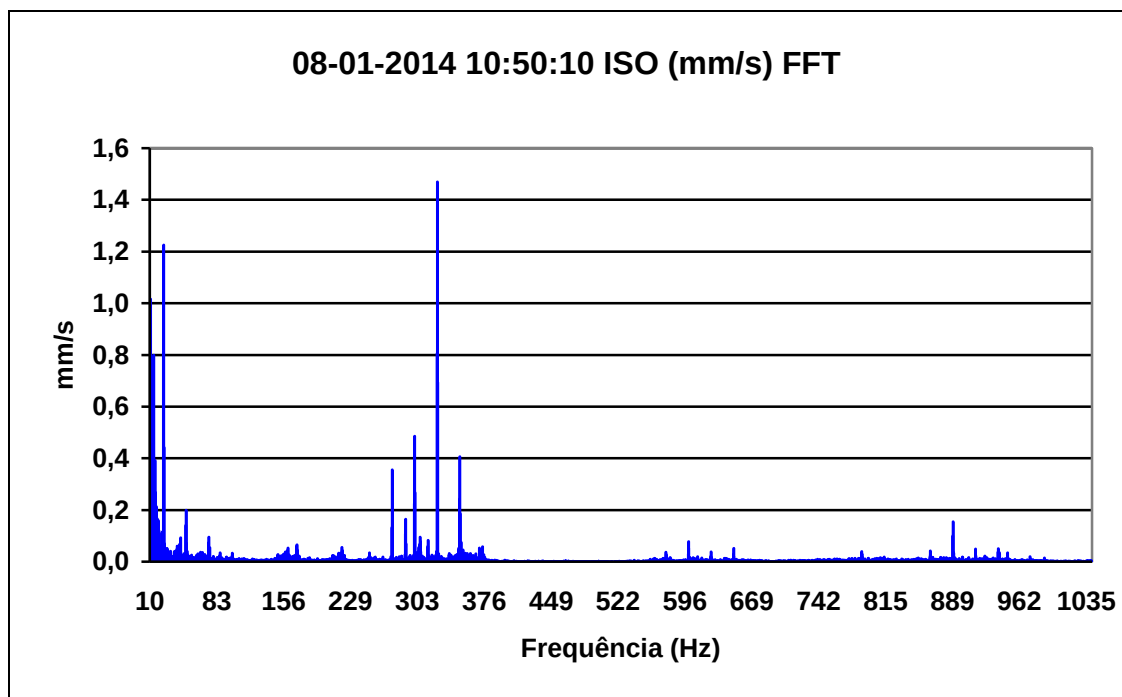


FIGURA 61 ESPETRO DO PONTO 2A-MOTOR PT2 AXIAL

Ventilador nº2

O ventilador nº2 tem características técnicas iguais ao ventilador nº1 e assim também podemos ver na Fig.56 a identificação dos pontos de medição das vibrações.

Ventilador nº2	Data/Hora	Estado	ISO (mm/s)
1V-Motor PT1 Vertical	08-01-2014 10:54:26	SEVERO	3.2
1H-Motor PT1 Horizontal	08-01-2014 10:54:26	CRÍTICO	4.8
2V-Motor PT2 Vertical	08-01-2014 10:54:26	ACEITÁVEL	1.7
2H-Motor PT2 Horizontal	08-01-2014 10:54:26	ACEITÁVEL	2.6
2A-Motor PT2 Axial	08-01-2014 10:54:26	CRÍTICO	13.3

TABELA 11 VALORES RECOLHIDOS NO VENTILADOR Nº2 EM 08-01-2014

Este ventilador requer acompanhamento ao longo do tempo dos valores de vibração pois apresenta elevados valores de vibração RMS, como se pode constatar na Tabela 11.

No espectro em frequência este ventilador apresenta valores que não indiciam desgaste tanto no rolamento do ponto PT1 (Fig.62 e Fig.63), como no rolamento do ponto PT2 (Fig.64 e Fig.65). O elevado valor no ponto PT2 axial à velocidade nominal apresentado na Fig.66 pode indicar algum desalinhamento, mas não é conclusivo, requerendo a continuação do acompanhamento da evolução do sinal vibratório. Em todos os espectros nota-se alguns valores à frequência característica das pás e a 2 vezes esta frequência o que pode ser resultado de desequilíbrio e desgaste das pás e é responsável por um aumento do ruído emitido pelos ventiladores.

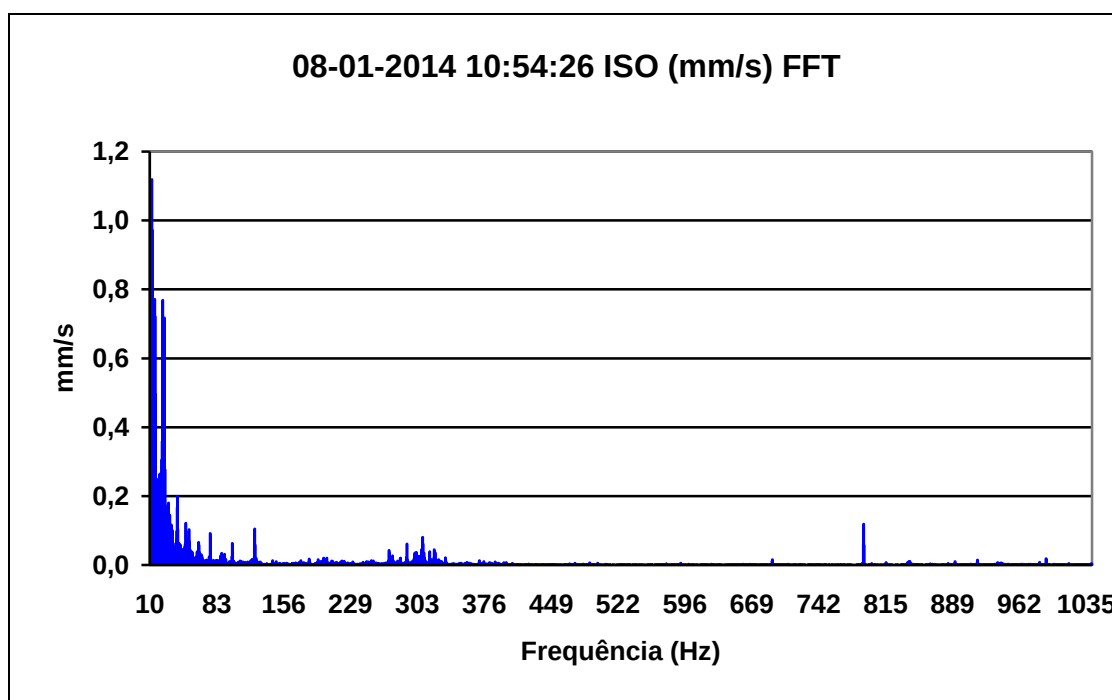


FIGURA 62 ESPETRO DO PONTO 1V-MOTOR PT1 VERTICAL

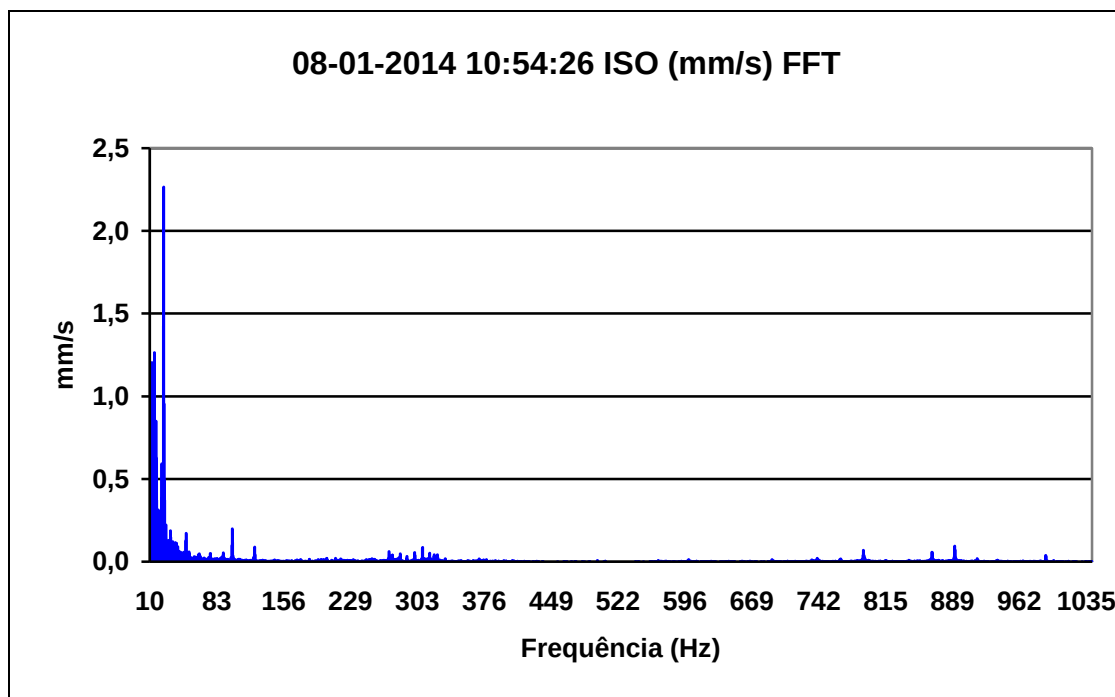


FIGURA 63 ESPETRO DO PONTO 1H-MOTOR PT1 HORIZONTAL

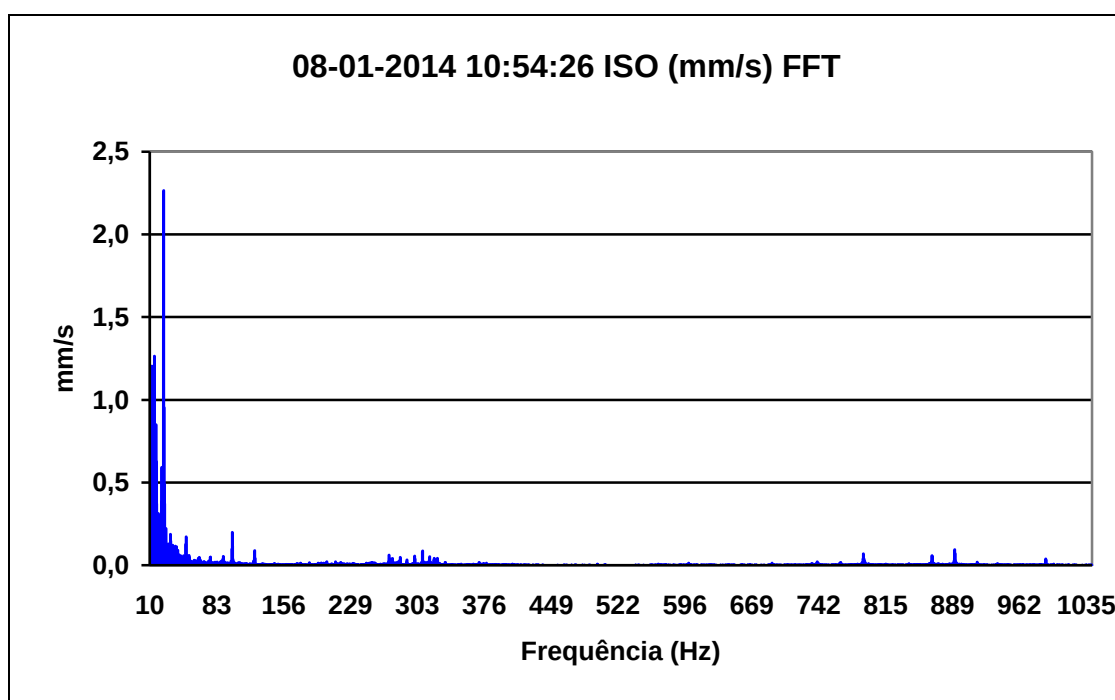


FIGURA 64 ESPETRO DO PONTO 2V -MOTOR PT2 VERTICAL

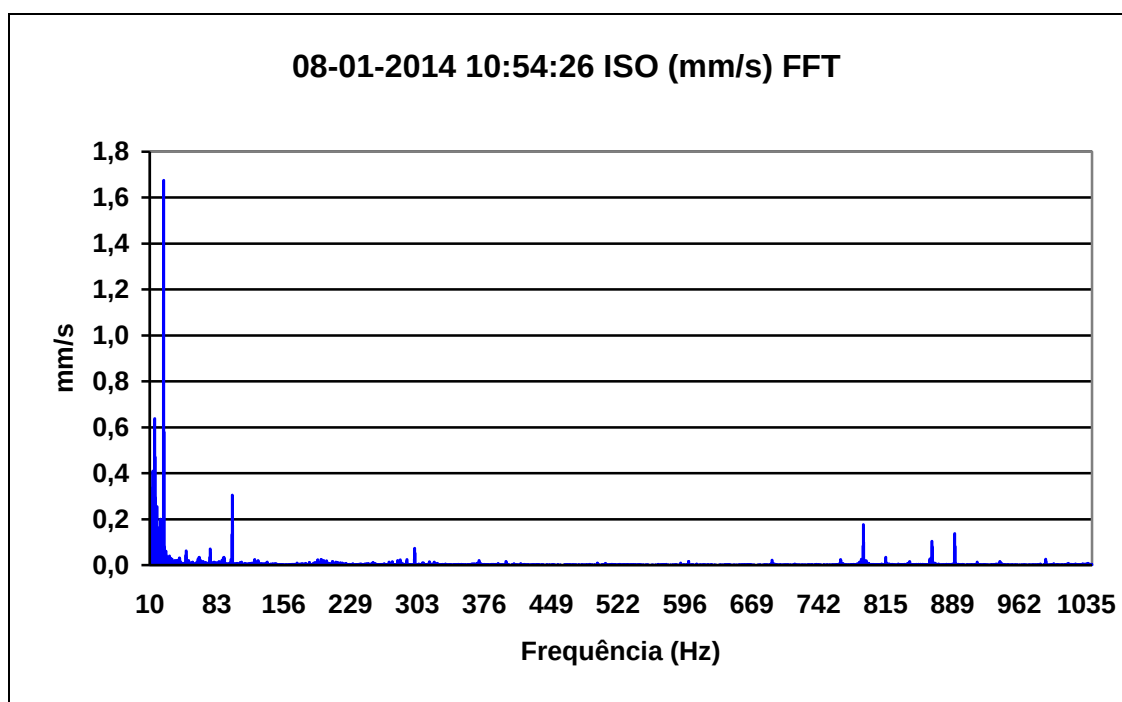


FIGURA 65 ESPETRO DO PONTO 2H-MOTOR PT2 HORIZONTAL

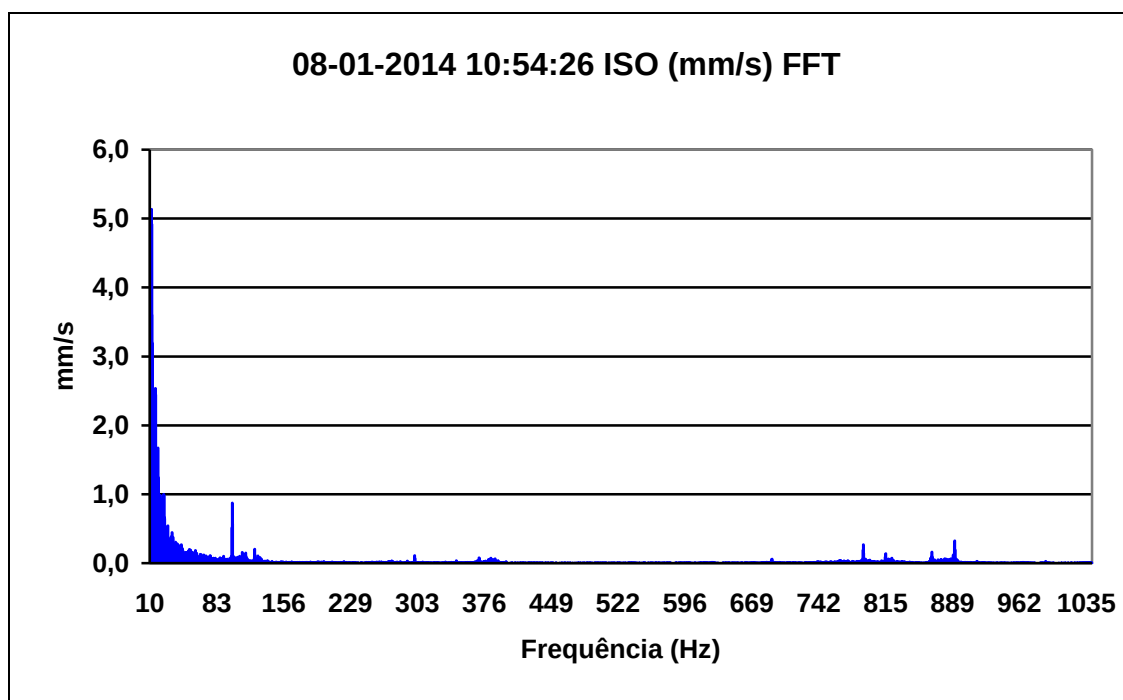


FIGURA 66 ESPETRO EM FREQUÊNCIA DO PONTO 2A-MOTOR PT2 AXIAL

Moto-redutor torre subida

MR torre subida	Data/Hora	Estado	ISO (mm/s)
1V-Motor PT1 Vertical	08-01-2014 10:58:40	ACEITÁVEL	1.1
1H-Motor PT1 Horizontal	08-01-2014 10:58:40	ACEITÁVEL	1.8
2V-Motor PT2 Vertical	08-01-2014 10:58:40	ACEITÁVEL	1.1
2H-Motor PT2 Horizontal	08-01-2014 10:58:40	ACEITÁVEL	1.4
3H-Redutor PT3 Radial	08-01-2014 10:58:40	BOM	0.4
4H-Redutor PT4 Radial	08-01-2014 10:58:40	BOM	0.3

TABELA 12 VALORES RECOLHIDOS NO MOTO-REDUTOR TORRE DE SUBIDA EM 08-01-2014

Os valores globais da tabela 12 estão dentro dos valores aceitáveis.

Na análise dos espectros de frequência do motor no ponto PT1 na direção vertical apresenta valores normais (Fig.67), mas na direção radial (Fig.68) apresenta alguns valores a frequências mais elevadas o que indicia algum desgaste no rolamento superior. No ponto PT2, tanto na direção vertical (Fig.69), como na direção radial (Fig.70) os valores não indiciam nada de anormal. Da análise do gráfico da fig.71 pode-se ver que na frequência de engrenamento dos carretos 1 e 2 há bandas laterais o que denota um desgaste dos carretos do redutor superior. Também o redutor inferior apresenta elevados valores RMS com bandas laterais junto à frequência característica (fig.72), o que nos leva a planear mais uma rotina de registo de dados para confirmar a necessidade de reparação deste moto-redutor.

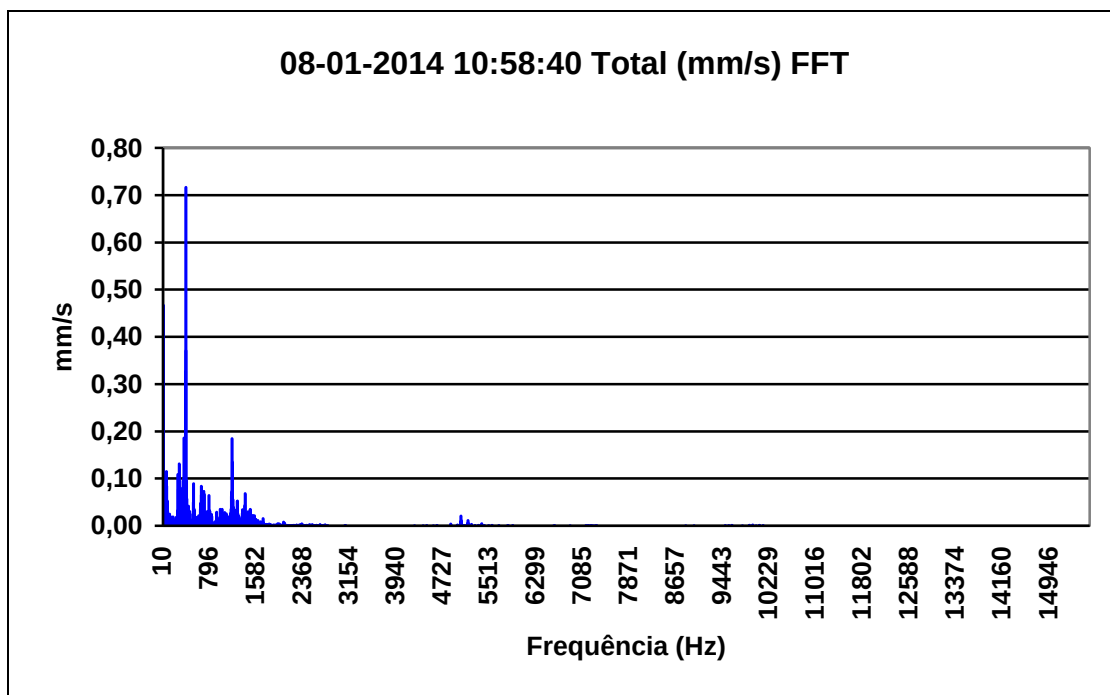


FIGURA 67 ESPETRO O PONTO 1V-MOTOR PT1 VERTICAL

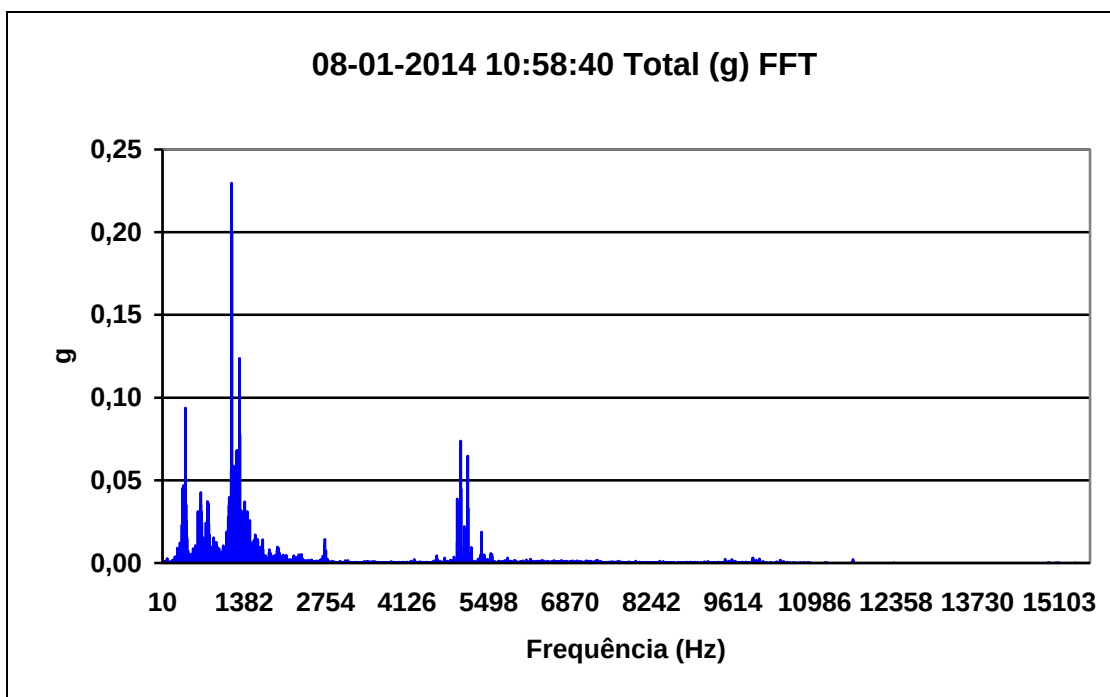


FIGURA 68 ESPETRO DO PONTO 1H-MOTOR PT1 HORIZONTAL

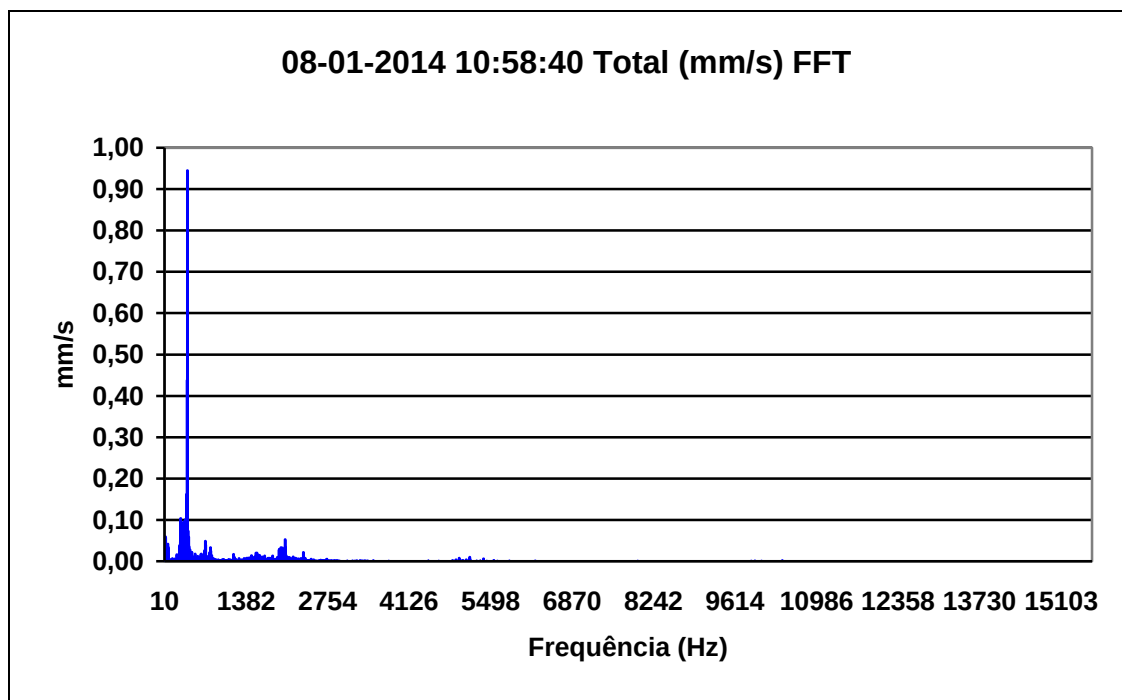


FIGURA 69 ESPETRO DO PONTO 2V-MOTOR PT2 VERTICAL

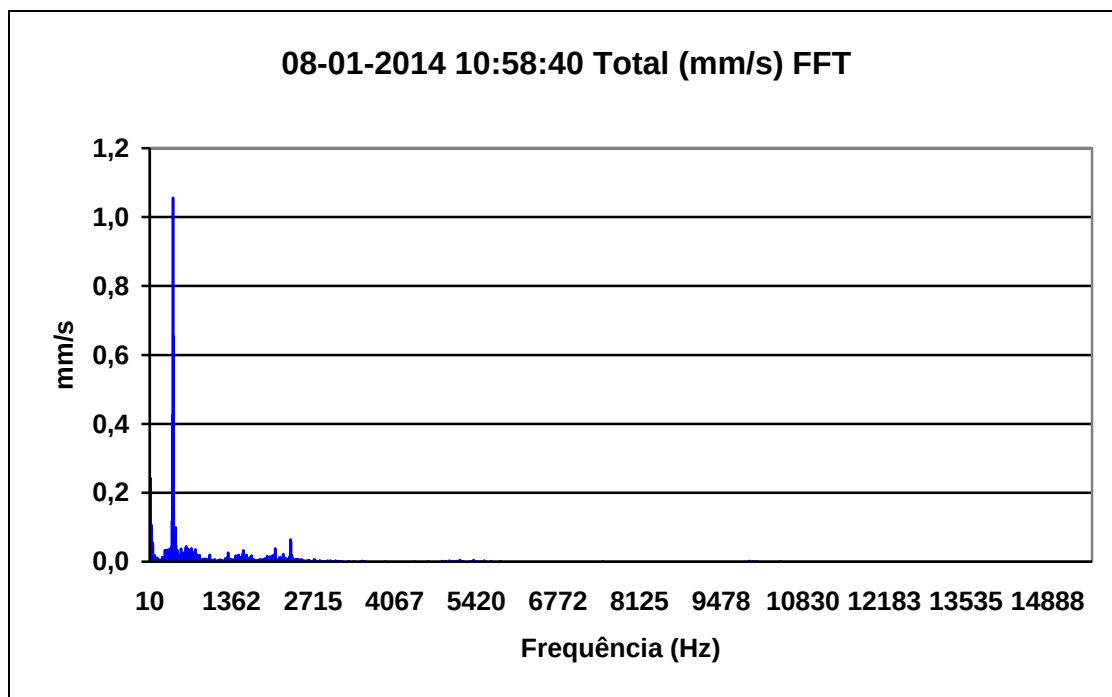


FIGURA 70 ESPETRO DO PONTO 2H-MOTOR PT2 HORIZONTAL

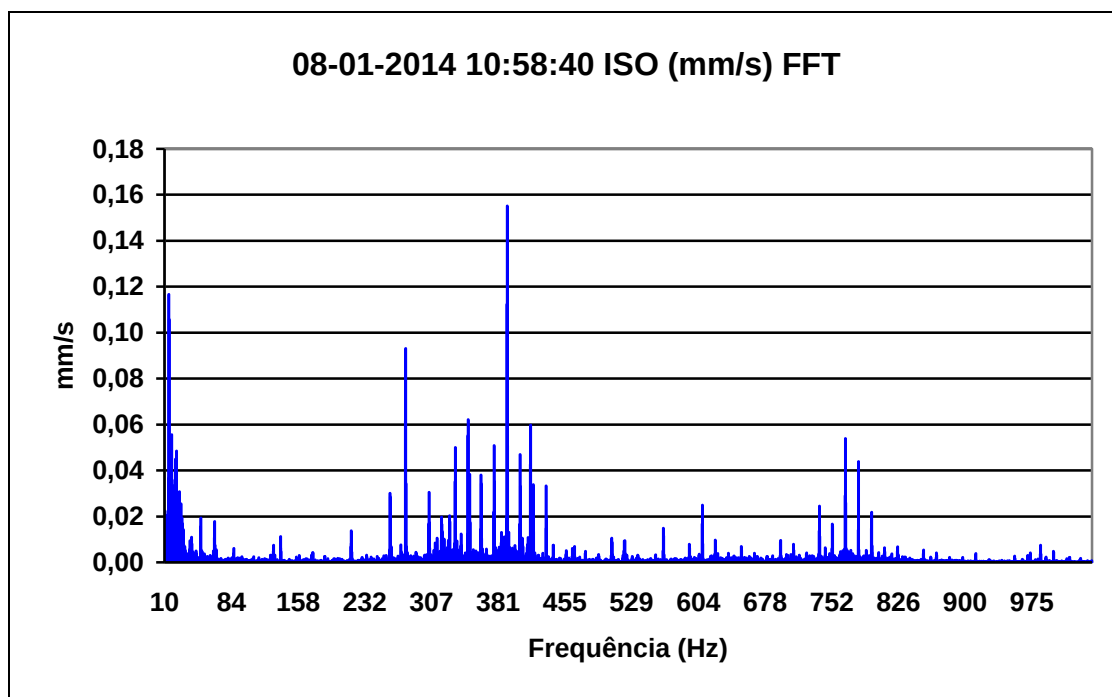


FIGURA 71 ESPETRO DO PONTO 3H-REDUTOR PT3 RADIAL

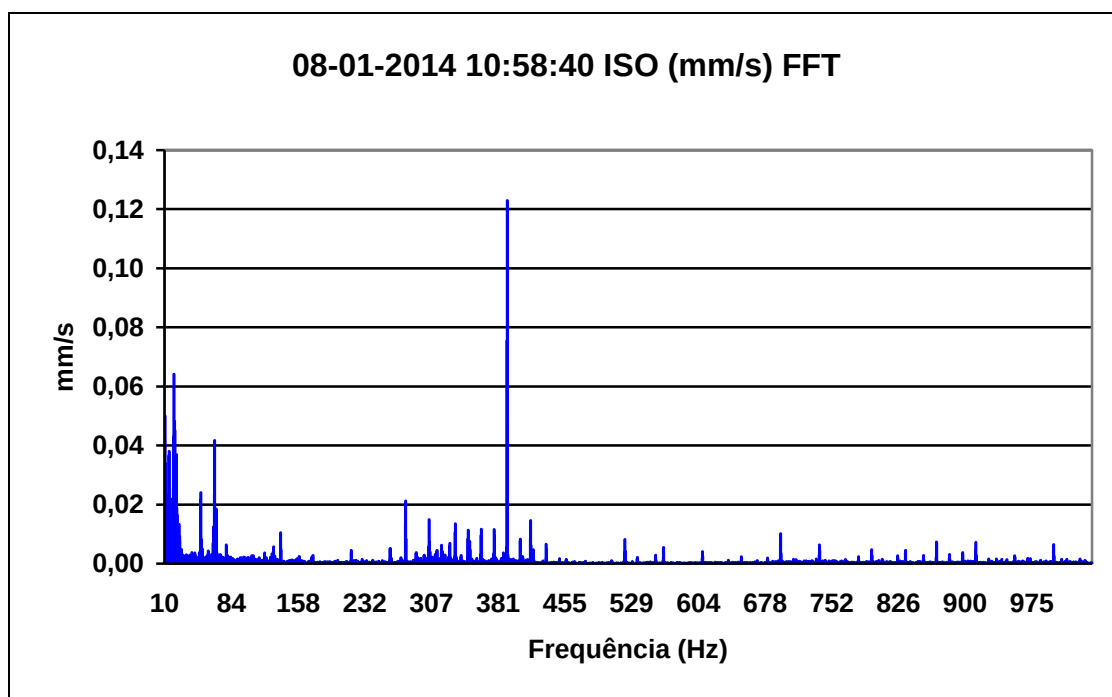


FIGURA 72 ESPETRO DO PONTO 4H-REDUTOR PT4 RADIAL

Moto-redutor torre descida

MR torre de descida	Data/Hora	Estado	ISO (mm/s)
1V-Motor PT1 Vertical	08-01-2014 11:06:38	ACEITÁVEL	1.5
1H-Motor PT1 Horizontal	08-01-2014 11:06:38	ACEITÁVEL	1.4
2V-Motor PT2 Vertical	08-01-2014 11:06:38	ACEITÁVEL	1.2
2H-Motor PT2 Horizontal	08-01-2014 11:06:38	BOM	0.6
3H-Redutor PT3 Radial	08-01-2014 11:06:38	BOM	0.5
4H-Redutor PT4 Radial	08-01-2014 11:06:38	BOM	0.4

TABELA 13 VALORES RECOLHIDOS NO MOTO-REDUTOR DA TORRE DE DESCIDA EM 08-01-2014

A análise dos valores globais de vibração RMS apresentados na Tabela 13 não indica que hajam estados de degradação elevados. A análise espectral do motor tanto no ponto PT1 direção vertical

(Fig.73) e horizontal (Fig 74) como no ponto PT2 direção vertical (Fig.75) e horizontal (Fig.76) apresenta valores normais. Em relação aos dois redutores, tanto o superior (Fig.77) como o inferior (Fig.78) apresentam valores que indiciam o seu bom estado de funcionamento. Considerando o estado de funcionamento os equipamentos, tanto neste conjunto da torre de descida como no da torre de subida dever-se-ão cruzar os dados das vibrações com os das análises dos óleos e fazer o acompanhamento dos equipamentos.

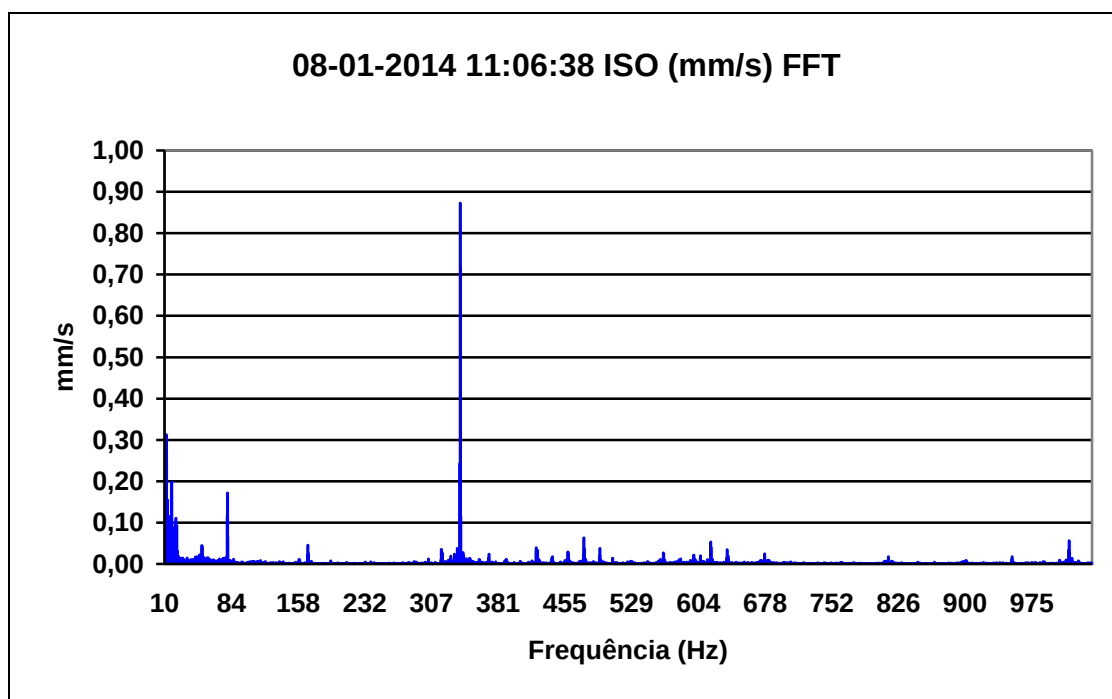


FIGURA 73 ESPETRO EM FREQUÊNCIA DO PONTO 1V-MOTOR PT1 VERTICAL

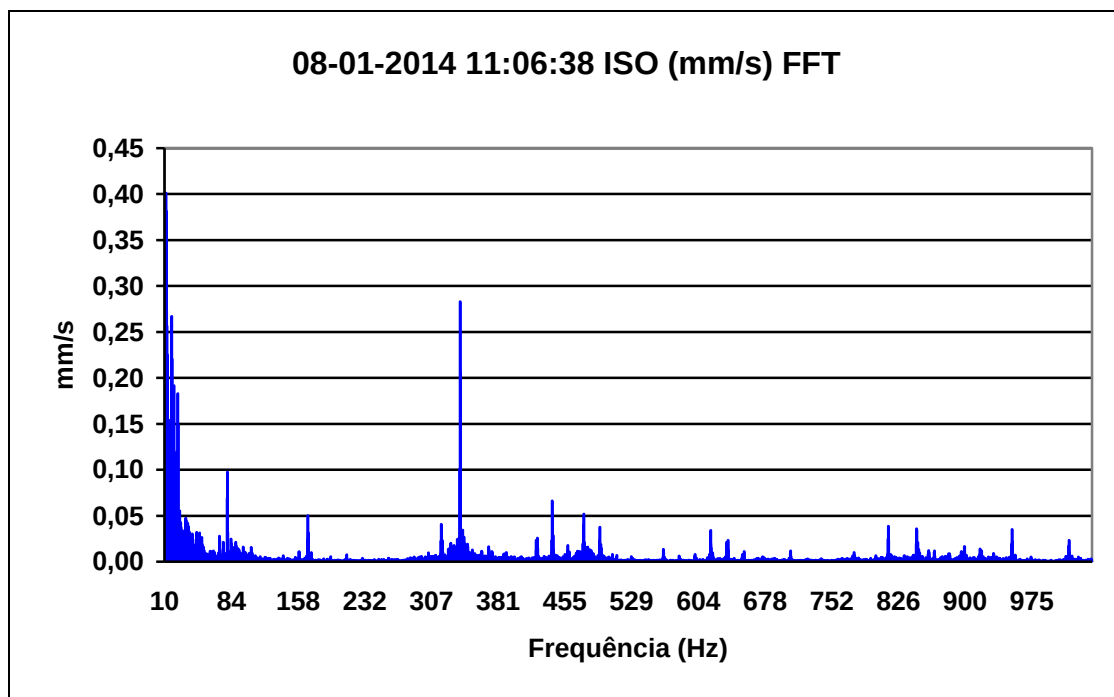


FIGURA 74 ESPETRO DO PONTO 1H-MOTOR PT1 HORIZONTAL

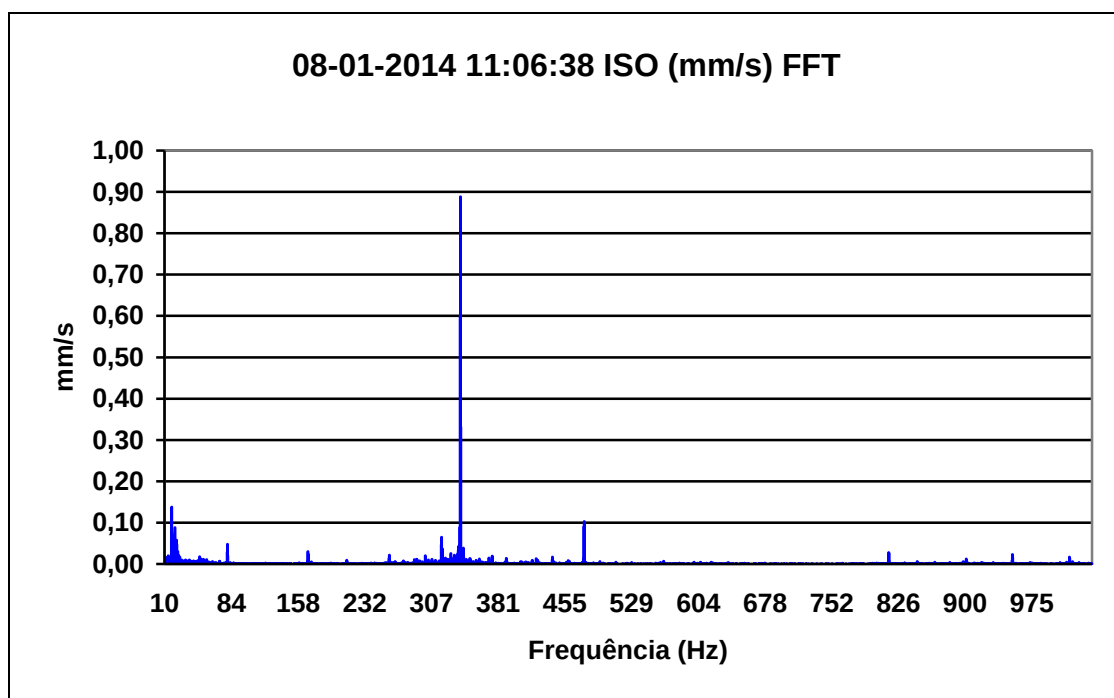


FIGURA 75 ESPETRO DO PONTO 2V-MOTOR PT2 VERTICAL

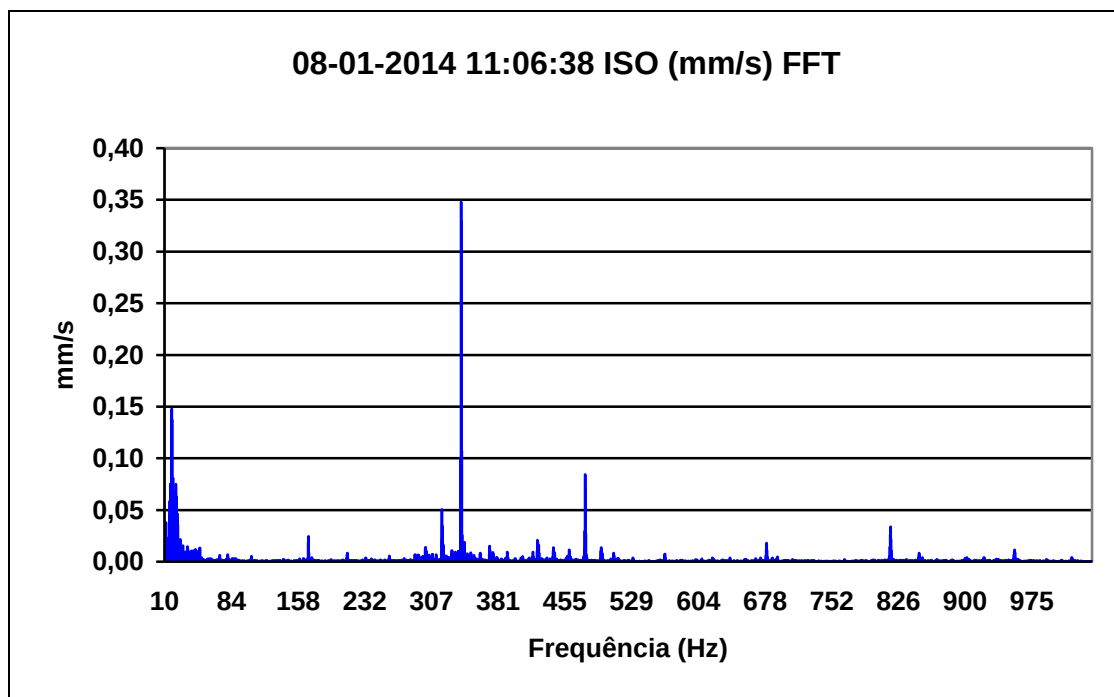


FIGURA 76 ESPETRO DO PONTO 2H-MOTOR PT2 HORIZONTAL

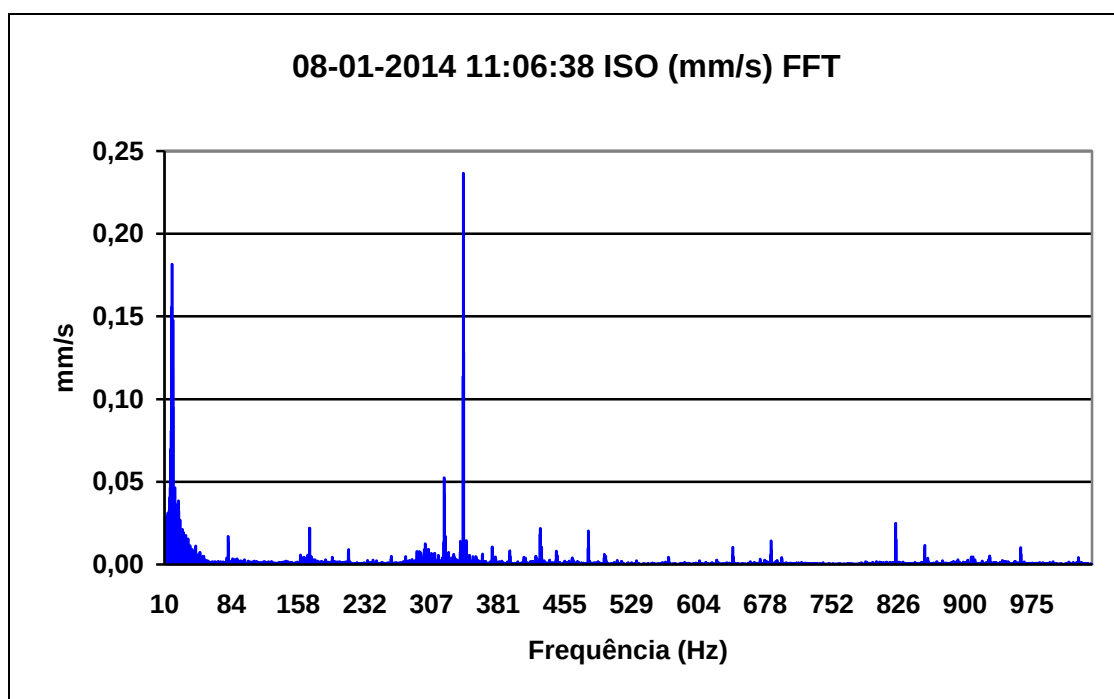


FIGURA 77 ESPETRO DO PONTO 3H-REDUTOR PT3 RADIAL

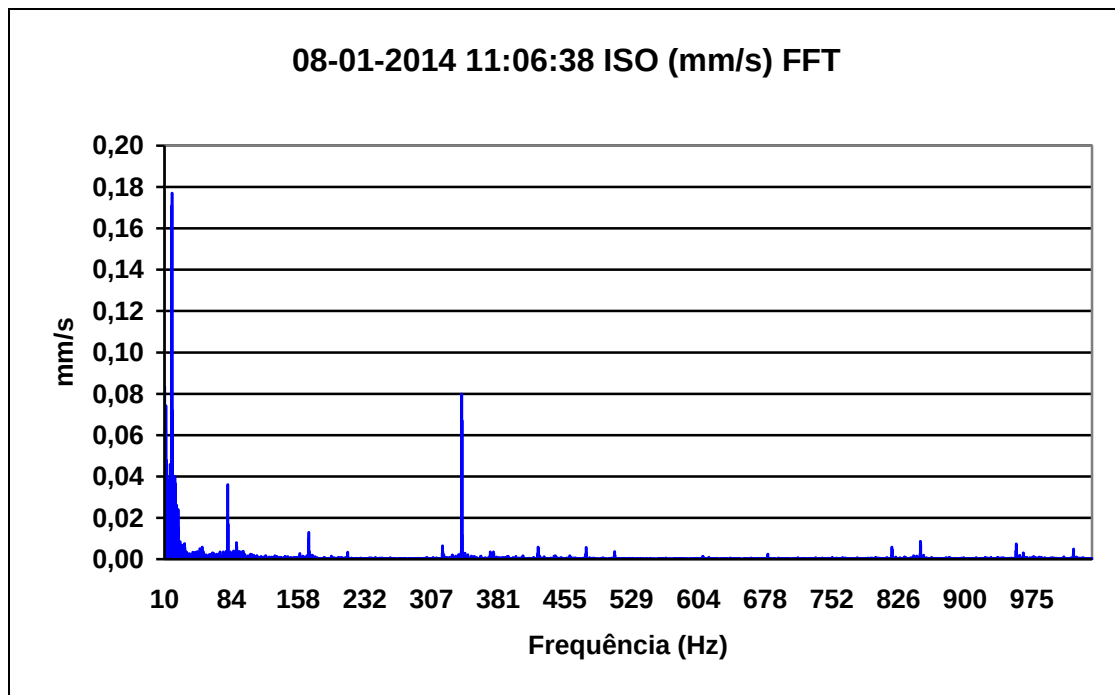


FIGURA 78 ESPETRO DO PONTO 4H-REDUTOR PT4 RADIAL

8.4 Análise do óleo dos moto-redutores do Frigo 2

Dado o ambiente severo (muita humidade, temperatura de funcionamento muito baixa -45°C e grandes variações de cargas aplicadas) e para completar a informação dada pelos espectros de vibrações, foram efetuadas análises do óleo de lubrificação dos redutores. Fez-se um 1º conjunto de análise mais simples e em função dos resultados obtidos verificou-se a necessidade de fazer umas análises mais detalhadas.

8.4.1. Primeiras análises de óleo

No moto-redutor duplo RD-1598 da torre de subida a análise efetuada detetou, tanto no superior como no inferior a presença de partículas de ferro de dimensão inferior a 5 micrones.

No 2º moto-redutor duplo RD-1621 da torre de descida a análise detetou um elevado teor de partículas de ferro.

No anexo IV apresenta-se as fichas das análises referidas.

Da análise destes resultados foi proposta a substituição do óleo de todos os redutores e deverá também ser feita a análise do óleo com maior detalhe.

8.4.2. Segundas análises de óleo

Em função dos resultados obtidos é necessário fazer umas análises mais pormenorizadas para detetar e corrigir falhas do equipamento. Nestas análises foram utilizadas as técnicas descritas no capítulo 6.2, nomeadamente o exame ferrográfico quantitativo, o analítico e a espectrometria.

Os resultados dessas análises estão no anexo IV, na tabela 14 são apresentados em resumo os resultados obtidos e as recomendações em função da respetiva análise.

	Concentração de partículas		Modo de desgaste		Condição do lubrificante	Recomendações
	L	S	L+S	PLP		
RD-1958-Carter superior	377	152	529	42,53	%agua inferior a 100ppm Viscosidade cinemática a 40°C, 17.44 mm²/s	Baseado nos resultados da análise microscópica (contaminantes e partículas não-magnéticas), a condição da máquina deve ser considerada "MARGINAL". Manter esta unidade sob vigilância. Recomendamos que futuras amostras sejam efectuadas com intervalos mais curtos para acompanhar a possível progressão do desgaste
RD-1958-Carter inferior	171	44	215	59,07	%agua inferior a 97ppm Viscosidade cinemática a 40°C, 15.23 mm²/s	A condição da máquina deve ser considerada marginal, devido à presença de partículas contaminantes mecânicas. Manter esta unidade sob vigilância. Recomendamos que futuras amostras sejam efectuadas com intervalos mais curtos para acompanhar a possível progressão do desgaste
RD-1621-Carter superior	488	164	652	49,69	%agua inferior a 101ppm Viscosidade cinemática a 40°C, 24.86 mm²/s	Baseado nos resultados da ferrografia analítica (análise microscópica) e da viscosidade, a condição da máquina deve ser considerada "MARGINAL". Informamos que nesta unidade se verificam condições de serviço extremas (temperaturas muito baixas) e que não são as ideais para manter as propriedades do lubrificante até ao fim do intervalo de mudança de óleo estipulado.
RD-1621-Carter inferior	319	94	413	54,48	%agua inferior a 133ppm Viscosidade cinemática a 40°C, 15.69 mm²/s	A condição da máquina deve ser considerada marginal, devido à presença de partículas contaminantes mecânicas. Manter esta unidade sob vigilância. Recomendamos que futuras amostras sejam efectuadas com intervalos mais curtos para acompanhar a possível progressão do desgaste

TABELA 14 RESULTADOS DAS ANÁLISES DO ÓLEO DOS 4 MOTO-REDUTORES

Conjugando os dados da análise de vibrações com os das análises dos óleos verifica-se a necessidade de programar para a paragem anual da linha uma revisão geral dos redutores com inspeção dos carretos, e verificação do estado dos vários componentes. A paragem anual está programada para Setembro e até lá irão ser feitas mais medições das vibrações e análises ao óleo, que nos ajudarão a verificar a condição do equipamento, assim como a evolução do estado de funcionamento.

8.5. Análise termográfica

No âmbito da manutenção condicionada a ser implementada na linha de produção de cornetos e tendo como base a zona nova de embalagem automático (Fig.48) resolvemos implementar a análise termográfica. A aplicação desta técnica na zona nova de embalagem automático é a mais indicada para efetuar a análise dos quadros elétricos e servirá também para complementar a informação resultante da análise de vibração. Numa 1ª fase começamos pela análise termográfica aos quadros elétricos, estando planeada a análise do estado de motores, correias e rolamentos dos vários equipamentos desta zona.

8.5.1 Quadros elétricos

Como exemplo são apresentados os resultados da medição do quadro elétrico de alimentação das máquinas da área de embalagem automático (Fig.64). Este quadro (Fig.79) possui 23 contadores para as várias máquinas e um disjuntor de entrada. No anexo 4 temos o esquema elétrico deste quadro. Das medições efetuadas apenas o contator D4 da máquina Vortex apresenta valores perto dos 60°C (Fig.82), não havendo mais valores fora do normal, ficando o registo para comparação com os valores das próximas medições. Em relação a este D4 verificaram-se os apertos dos contatos e tem de se estar atento para ver se o consumo não é superior aos valores para que o contator está dimensionado. Nas Fig.80, Fig.81, Fig.82 e Fig.83 temos os registos destas análises.

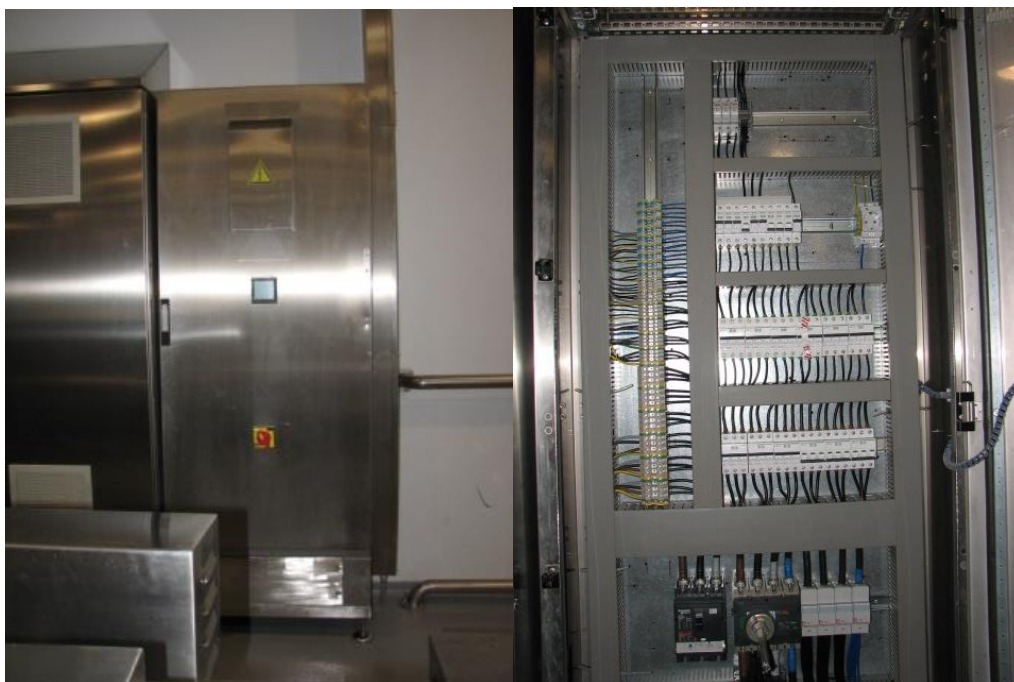


FIGURA 79 QUADRO ELÉTRICO DE ALIMENTAÇÃO DAS MÁQUINAS DE EMBALAGEM

RELATÓRIO TERMOGRÁFICO

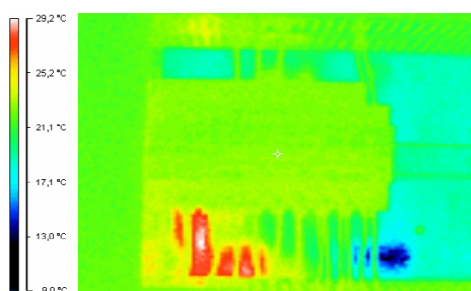
25/2/2014

Empresa

14:13:27

IDENTIFICAÇÃO

Núm. do problema	Nome do Local	Equipamento
	Contactor D14 a D23	

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA**TERMOGRAMA****MEDIÇÕES DE TEMPERATURA**

Data da imagem	25/2/2014 11:45:48
Temp. do Alvo	21,2 °C
Emissividade	0,92
Temp. Refletida	30 °C

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Temp. do ar	
Céu	
Veloc. do vento	
De	

Distância	Carga nominal	Med. Carga	Porcentagem de carga

AÇÃO DE MANUTENÇÃO

Descrição

PRIORIDADE DE CONSERTO

Classif. temp.	
Classif. temp.	

REINSPEÇÃO

Reinspecionado por	
Data	

Comentários

Ok

Inserir imagem

CONTATOR	Equipamento
D 14	Raio X
D 15	Balança Sartorius
D 16	Impressora M-O-Print
D 17	
D 18	Tomadas da imball
D 19	Insetocutor
D 20	
D 21	
D 22	
D 23	Tomada no quadro

FIGURA 80 RELATÓRIO TERMOGRÁFIO CONTADORES D14 E D23

RELATÓRIO TERMOGRÁFICO

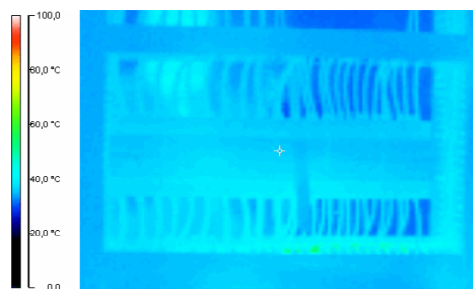
25/2/2014

Empresa

14:40:31

IDENTIFICAÇÃO

Núm. do problema	Nome do Local	Equipamento
	Contactores D8 a D13	

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA**TERMOGRAMA****MEDIÇÕES DE TEMPERATURA**

Data da imagem	25/2/2014 11:50:08
Temp. do Alvo	23,0 °C
Emissividade	0,92
Temp. Refletida	30 °C

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Temp. do ar	
Céu	
Veloc. do vento	
De	

Distância	Carga nominal	Med. Carga	Porcentagem de carga

AÇÃO DE MANUTENÇÃO

Descrição

PRIORIDADE DE CONSERTO

Classif. temp.	
Classif. temp.	

REINSPEÇÃO

Reinspecionado por	
Data	

Comentários

Ok

Inserir imagem

D8	Formadora pequena
D9	Imball
D10	Formadora grande
D11	Guincho elettrico
D12	Pimenteiro
D13	Elevador

FIGURA 81 RELATÓRIO TERMOGRÁFICO D8 E D13

RELATÓRIO TERMOGRÁFICO

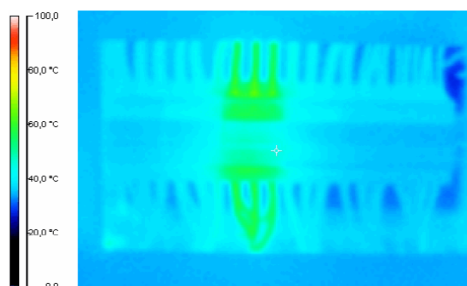
25/2/2014

Empresa

14:50:36

IDENTIFICAÇÃO

Núm. do problema	Nome do Local	Equipamento
	Contactores D2 a D7	

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA**TERMOGRAMA****MEDIÇÕES DE TEMPERATURA**

Data da imagem	25/2/2014 11:50:45
Temp. do Alvo	33,2 °C
Emissividade	0,92
Temp. Refletida	30 °C

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Temp. do ar	
Céu	
Veloc. do vento	
De	

Distância	Carga nominal	Med. Carga	Porcentagem de carga

AÇÃO DE MANUTENÇÃO

Descrição	
-----------	--

PRIORIDADE DE CONSERTO

Classif. temp.	
Classif. temp.	

REINSPEÇÃO

Reinspecionado por	
Data	

Comentários

Ok

Inserir imagem

D2	Manara 1
D3	Manara 2
D4	Vortex
D5	
D6	
D7	

FIGURA 82 RELATÓRIO TERMOGRÁFICO ALIMENTAÇÕES 440 E 220 VOLTS

RELATÓRIO TERMOGRÁFICO

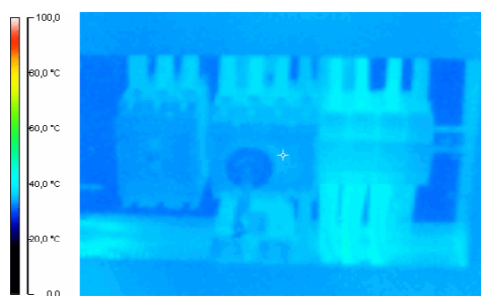
25/2/2014

Empresa

15:04:45

IDENTIFICAÇÃO

Núm. do problema	Nome do Local	Equipamento
	Alimentação 440 e 220	

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA**TERMOGRAMA****MEDIÇÕES DE TEMPERATURA**

Data da imagem	25/2/2014 11:54:49
Temp. do Alvo	21,0 °C
Emissividade	0,92
Temp. Refletida	30 °C

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Temp. do ar	
Céu	
Veloc. do vento	
De	

Distância	Carga nominal	Med. Carga	Porcentagem de carga

AÇÃO DE MANUTENÇÃO

Descrição

PRIORIDADE DE CONSERTO

Classif. temp.	
Classif. temp.	

REINSPEÇÃO

Reinspecionado por	
Data	

Inserir imagem

Comentários

Ok

FIGURA 83 ALIMENTAÇÃO 440 E 220 VOLTS

8.5.2 Ensaio para análise termográfica máquinas embalagem automático

Nesta zona de embalagem há varias máquinas que requerem acompanhamento do estado dos componentes. Começamos por fazer medições termográficas na máquina de fechar caixas e cartolinas da Imball. Esta máquina tem muitas correias, rolamentos e servo redutores dos quais podemos fazer a medição termográfica e ir verificando a degradação dos vários componentes. Os resultados obtidos indicam que podemos continuar a fazer medições para ir acompanhando a degradação do material. No entanto, para conseguirmos fazer este acompanhamento é necessário criar condições para o conseguir. Vamos fazer o levantamento dos pontos de medição para depois criarmos um registo para análise de resultados. Entretanto ensaiamos algumas medições que se podem ver na Fig.84 e na Fig.85:

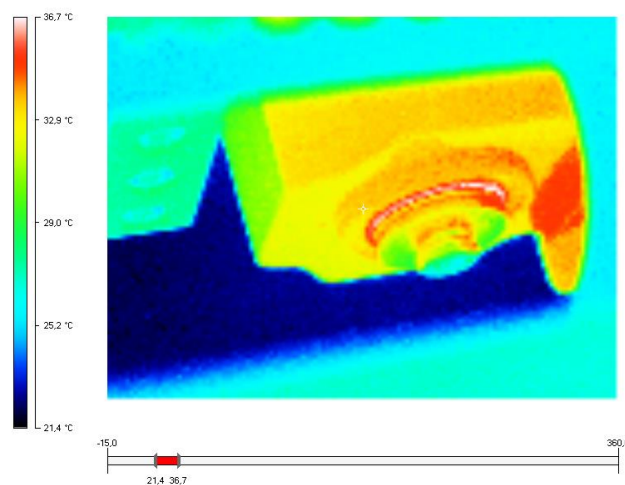


FIGURA 84 MOTOR DO 2ºTAPETE

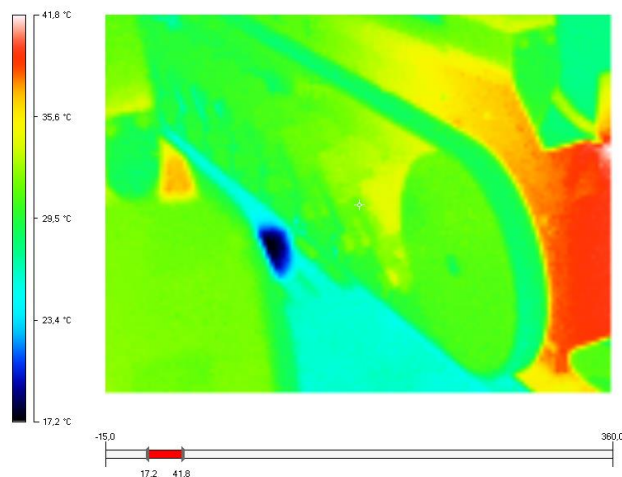


FIGURA 85 CORREIA E MOTOR DE SAÍDA

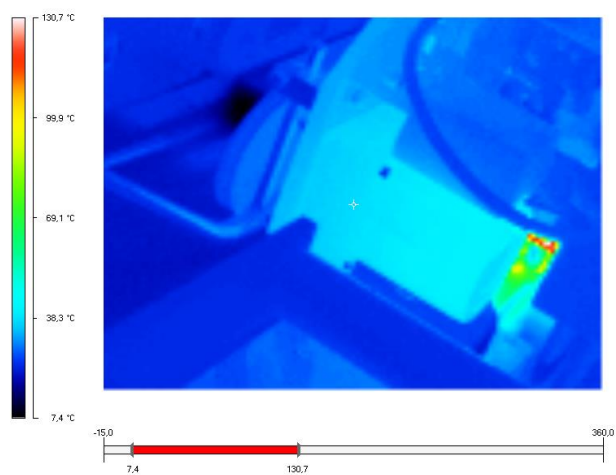


FIGURA 86 SERVO CORREIA DA ENTRADA

9. Conclusões

A automatização das transferências e da embalagem da linha de produção dos cornetos foi terminada em Março de 2013. Paralelamente fez-se o registo de todos os equipamentos no SAP PM e o levantamento de todas as rotinas de inspeção e manutenção necessárias para garantir o funcionamento sem paragens não planeadas de todas as máquinas. Estas rotinas juntaram-se às existentes e decidiu-se começar a aplicar a manutenção condicionada nos equipamentos que o pudessem justificar considerando a sua importância no processo produtivo. Esta aplicação foi feita nos equipamentos referidos nesta tese e usaram-se várias técnicas da manutenção condicionada: análise de vibrações, análise de óleos lubrificantes e termografia. Neste momento pode-se dizer que o estado dos equipamentos do túnel de congelação através da medição de vibrações e das análises do óleo de lubrificação está controlado e que se podem planear as intervenções de manutenção de forma a minimizar o tempo de paragem. A outra técnica que se aplicou no quadro elétrico de alimentação das máquinas de embalagem foi a termografia. Esta técnica também foi ensaiada nas máquinas de embalar, pois estas máquinas têm componentes que estão sujeitos a elevado desgaste e está--se a equacionar o uso da termografia para acompanhamento do seu estado de deterioração. Os resultados obtidos até agora indicam que se consegue controlar de uma forma eficaz o estado dos equipamentos desde que se escolham as técnicas mais corretas para cada caso. Assim pretende-se continuar a aplicar as técnicas de manutenção condicionada e de uma forma controlada procurar mais locais onde ela possa ser aplicada. Desta forma conseguem-se reduzir os tempos de paragem, maximizando a eficiência das máquinas e garantindo um menor custo de manutenção.

10. Bibliografia

- [1] Alan Wilson, Asset Maintenance Management, Editora Conference Communication, 1999.
- [2] Chedas Sampaio, Apontamentos de Controlo de Condição, 2009.
- [3] Cornelius Scheffer and Paresh Girdhar, Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance, Editora IDC Technologies, 2004.
- [4] Donald E Bently e Charles T. Hatch, Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics, Editora Bently Pressurized Bearing Press, 2002.
- [5] J Michael Robichaud, Artigo sobre, Reference Standards for Vibration Monitoring and Analysis, 2003.
- [6] José Paulo Saraiva Cabral, Organização e Gestão da Manutenção, Editora Lidel, 2004.
- [7] Luis Mendonça, Apontamentos de Termografia ENIDH, 2012.
- [8] Luís Mendonça, Apontamentos sobre manutenção condicionada, 2012.
- [9] Mark Serridge e Torben R. Licht, Piezoelectric Accelerometer and Vibration Preamplifier Handbook, Bruel and Kjaer, 1988.
- [10] A História da Termografia
<http://www.lla.if.sc.usp.br/art/ahistoriadatermografia.pdf>.
- [11] EN 13306 NP Terminologia de Manutenção, versão Portuguesa.
- [12] History of Thermography <http://www.breastthermographytn.com>.
- [13] Manual sig da Olá Produção de Gelados e Outros Produtos Alimentares SA.
- [14] Site da SKF <http://www.skf.com/group/index.html>.
- [15] Tecnologia e Qualidade n°68, n°69
<http://www.isq.pt/ResourcesUser/documentos/revista/tq68.pdf>.

Anexos

Anexo I Análise de vibrações empresa DMC

Measurement Exception Analysis Report

Database: Iglo\Iglo.rbm

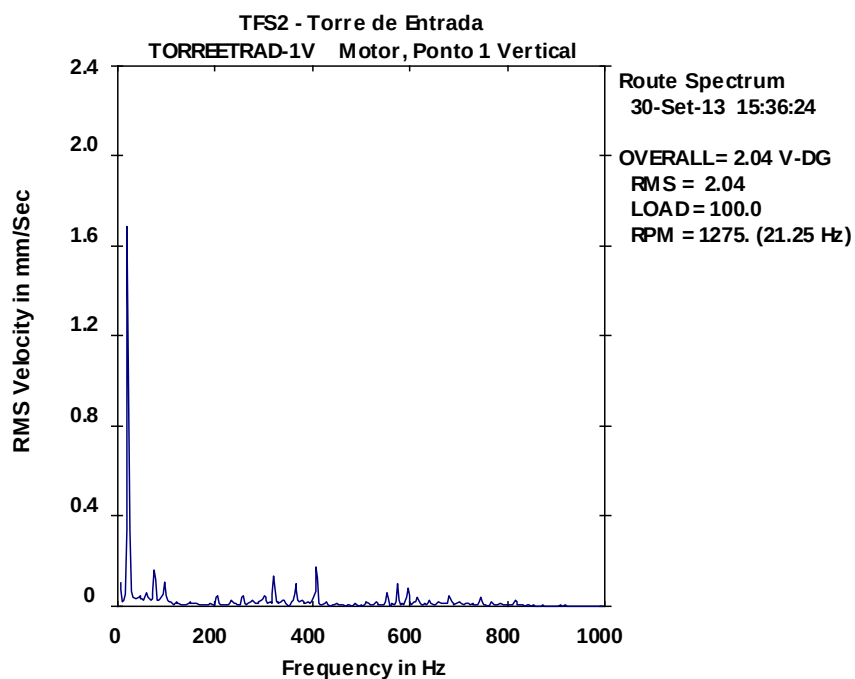
Area: TUNEL FRIGOSCANDIA 2

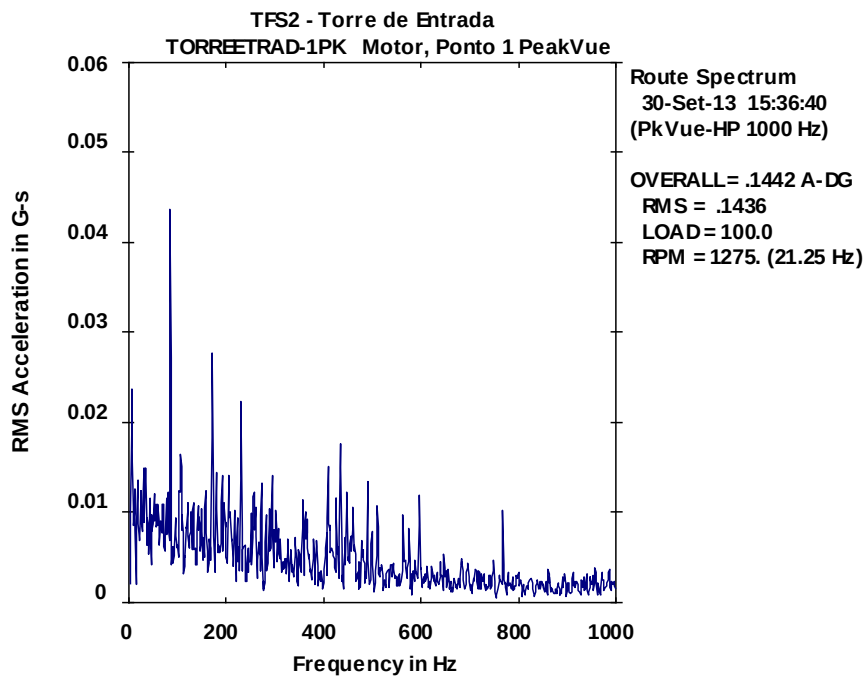
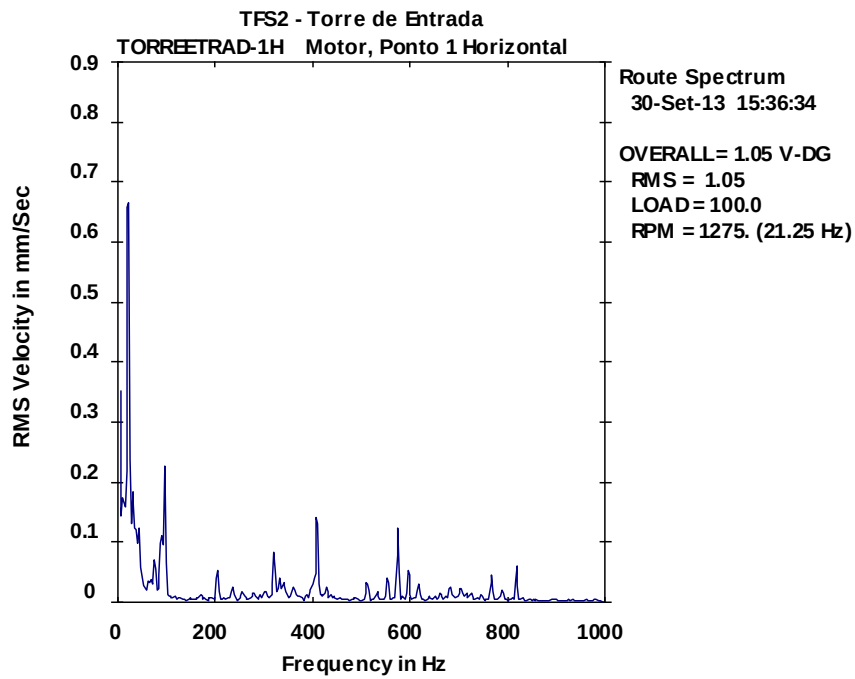
Report Date: 06-Dez-13 08:44

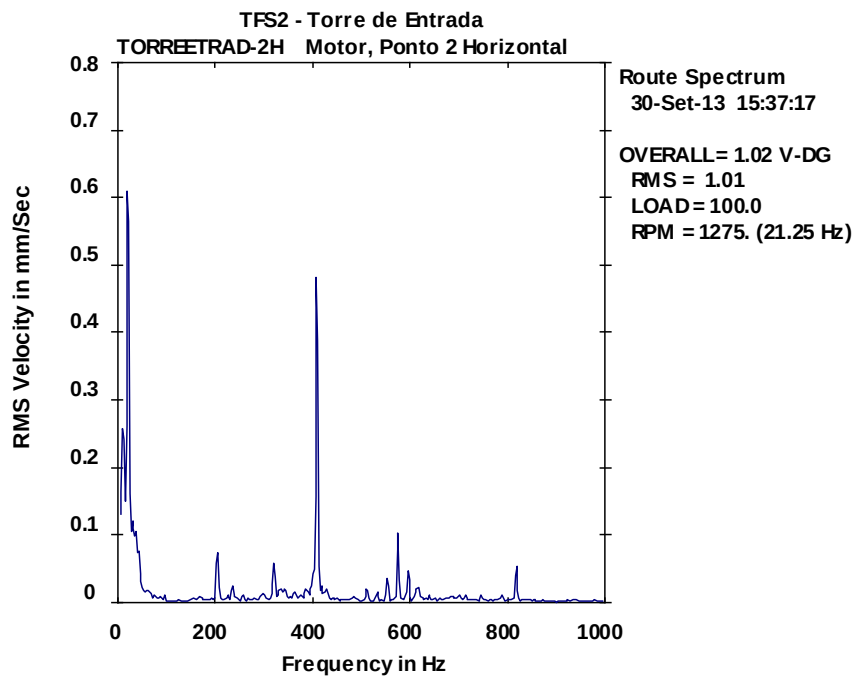
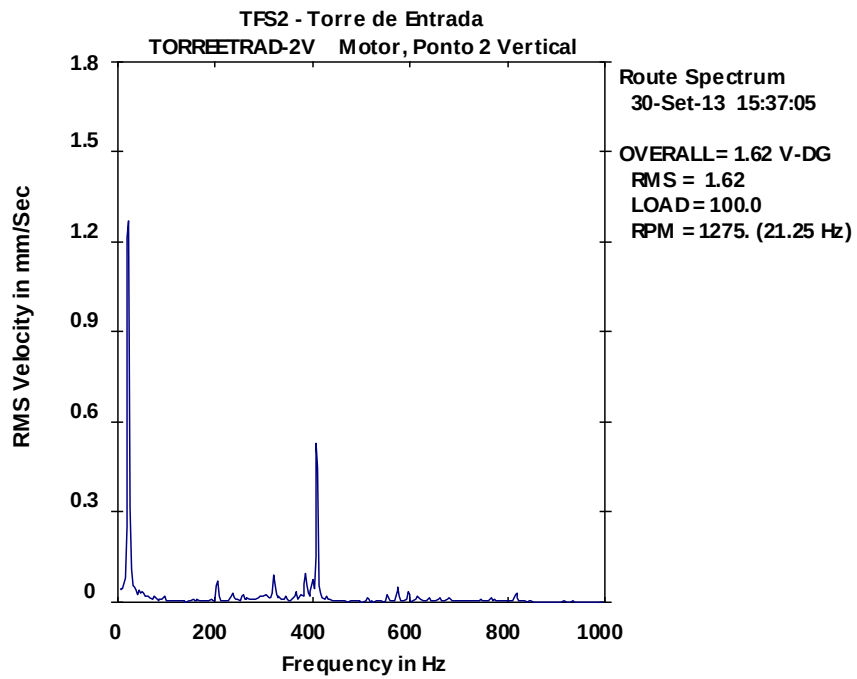
MEASUREMENT POINT	ANALYSIS PARAMETER	PARAMETER VALUE	ALARM/FAULT LEVELS	ALARM CODE-SEV	DAYS TO ALARM
-----	-----	-----	-----	-----	-----

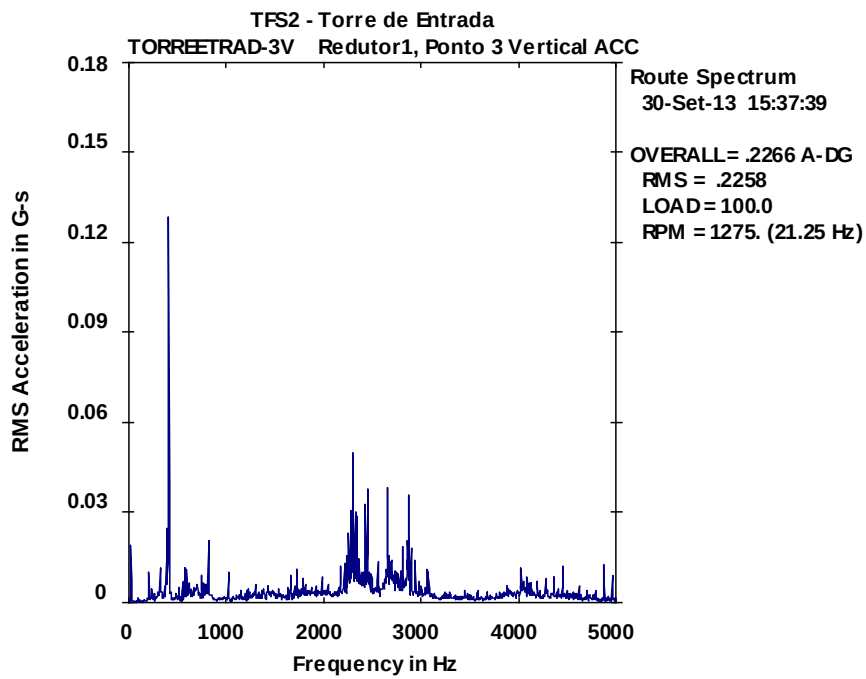
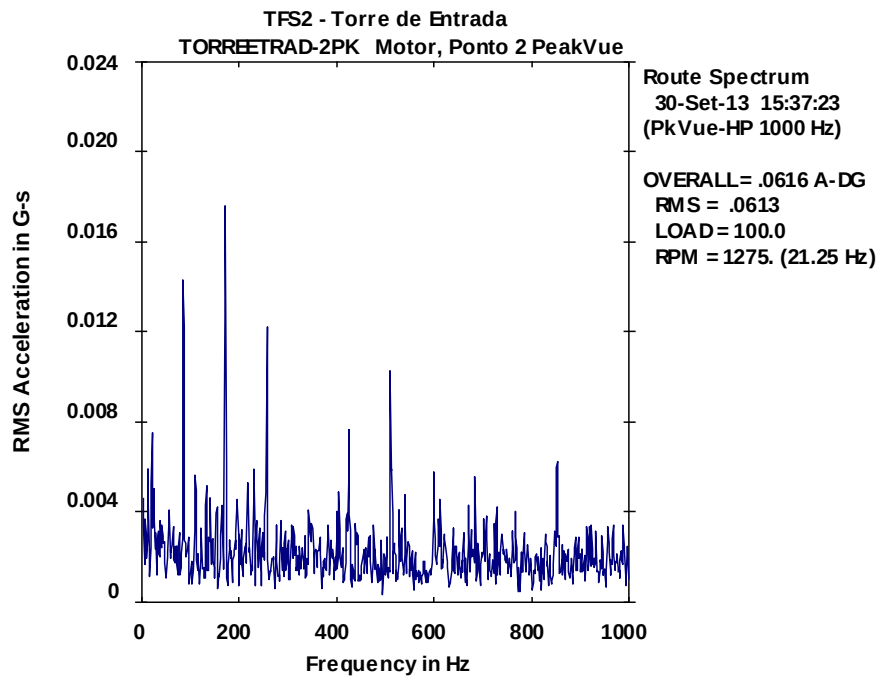
Torre de Entrada (30-Set-13)

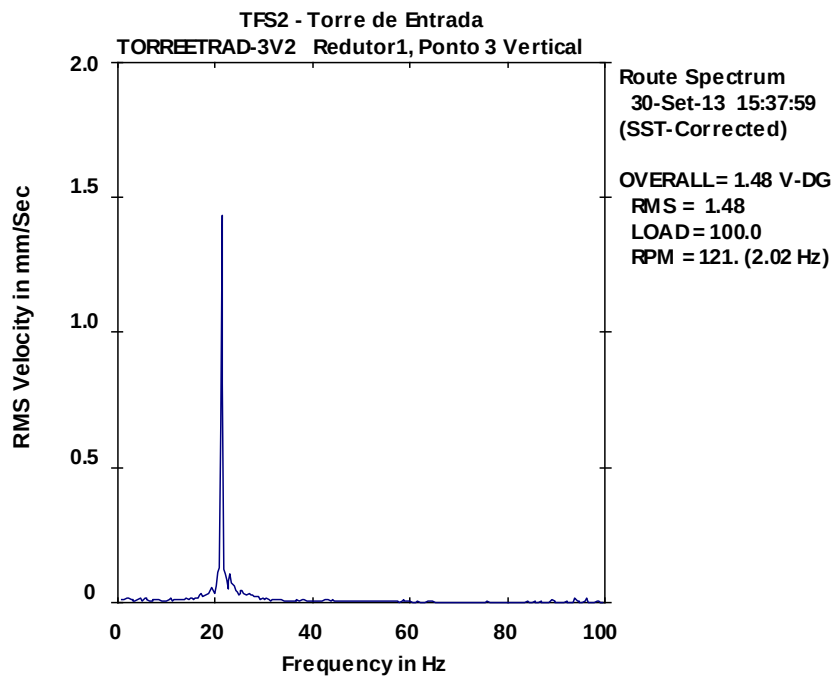
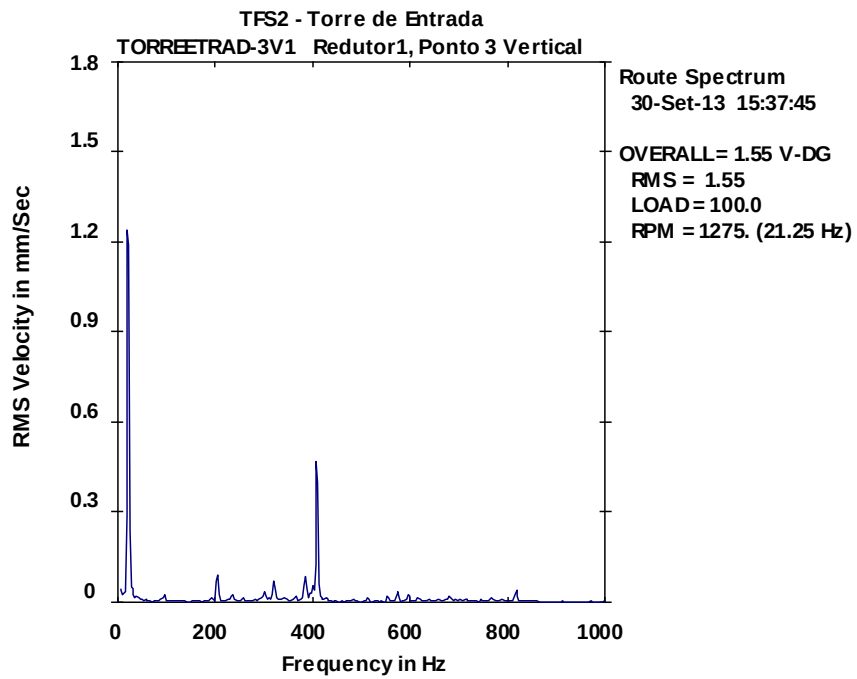
TORREETRAD- (RPM = 1275.) (LOAD = 100.0)

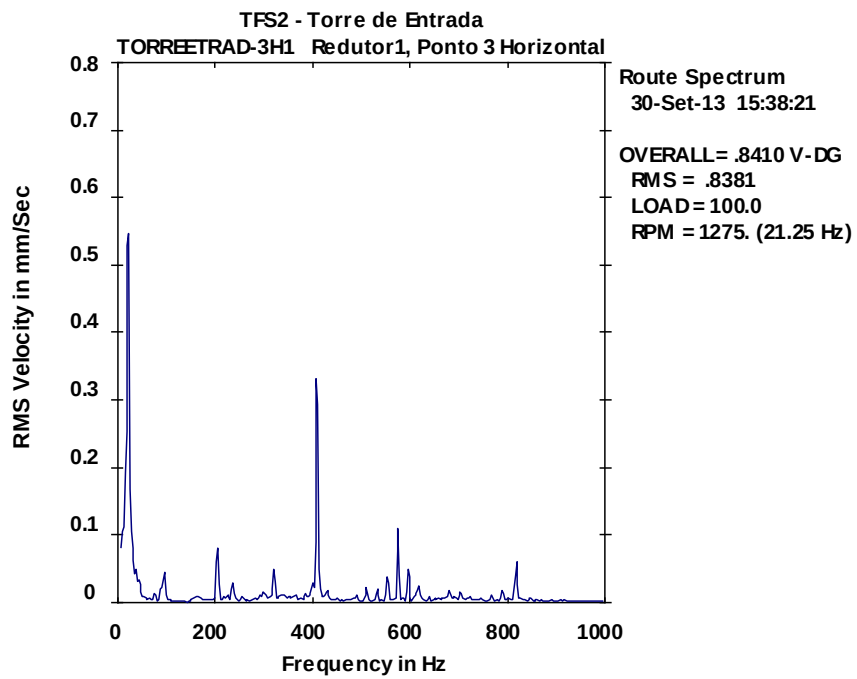
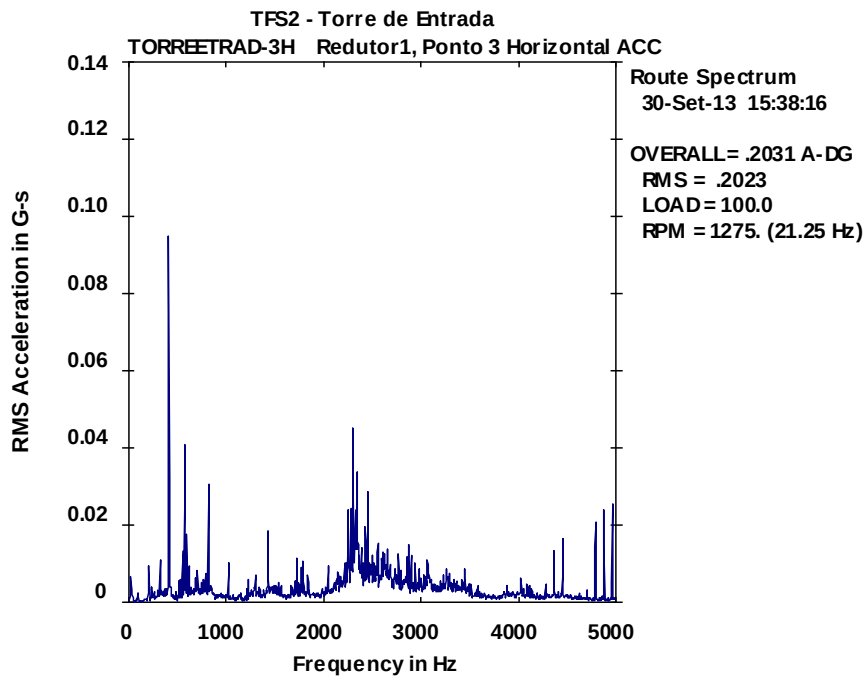


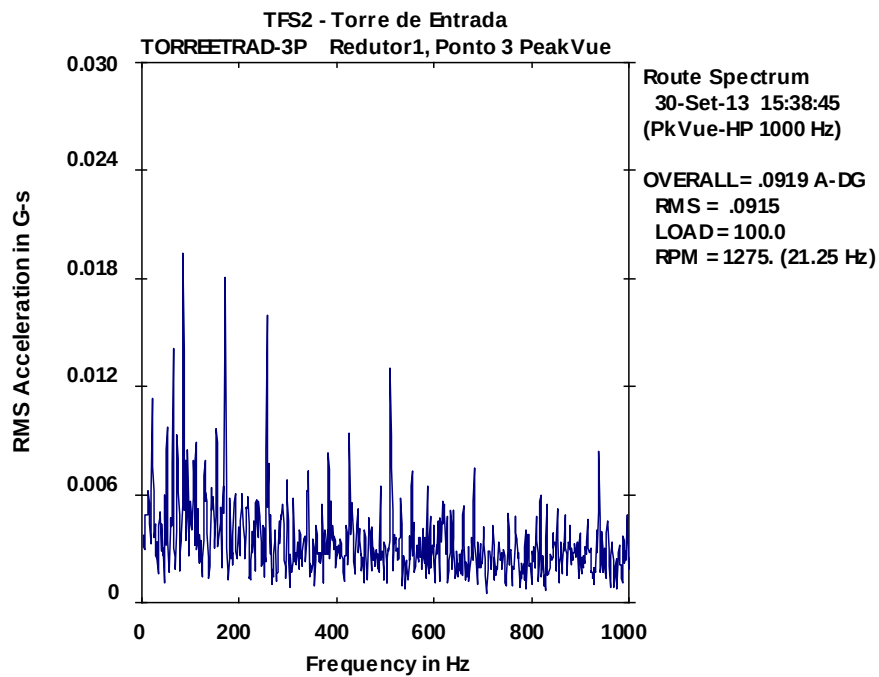
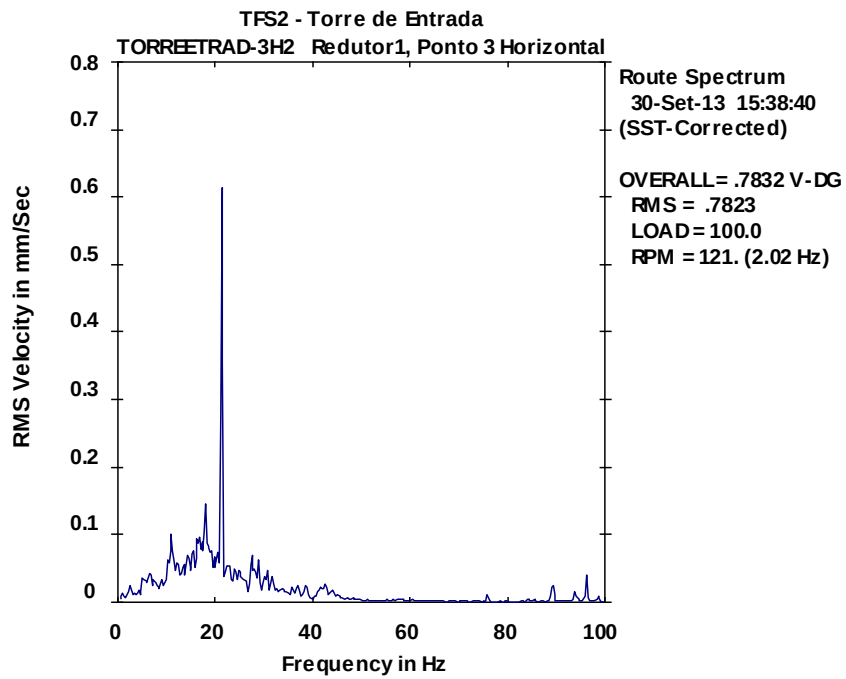


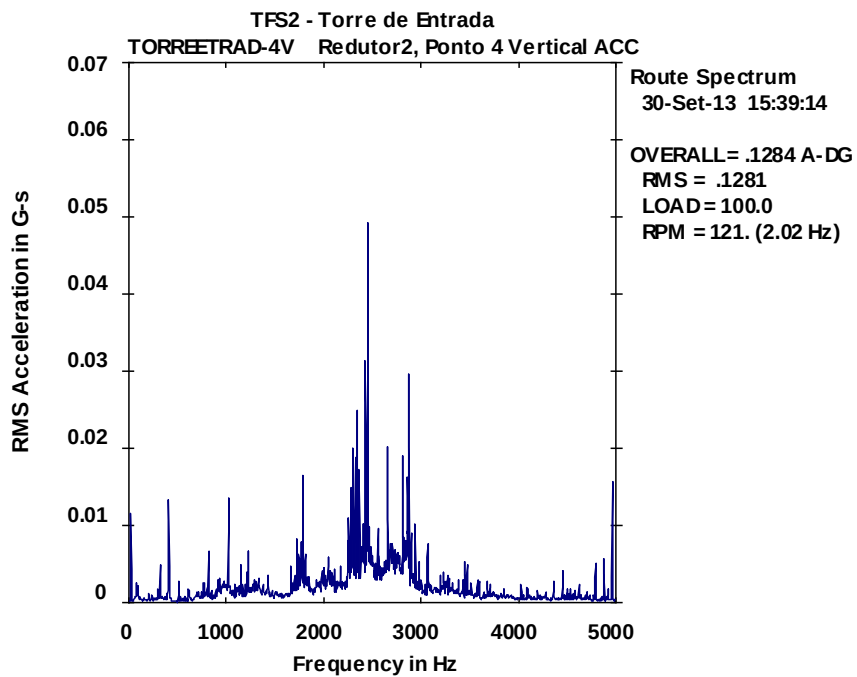
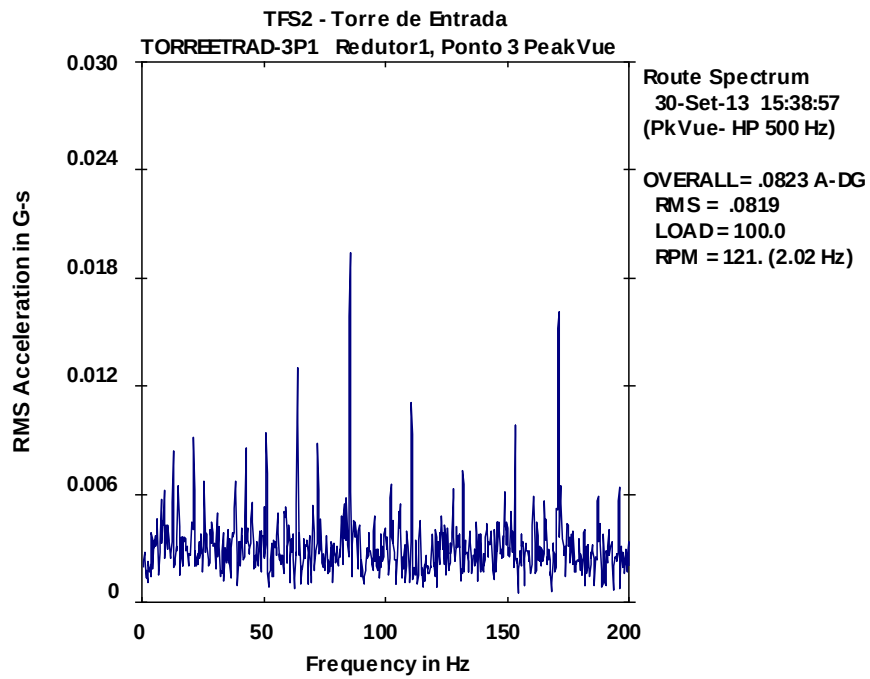


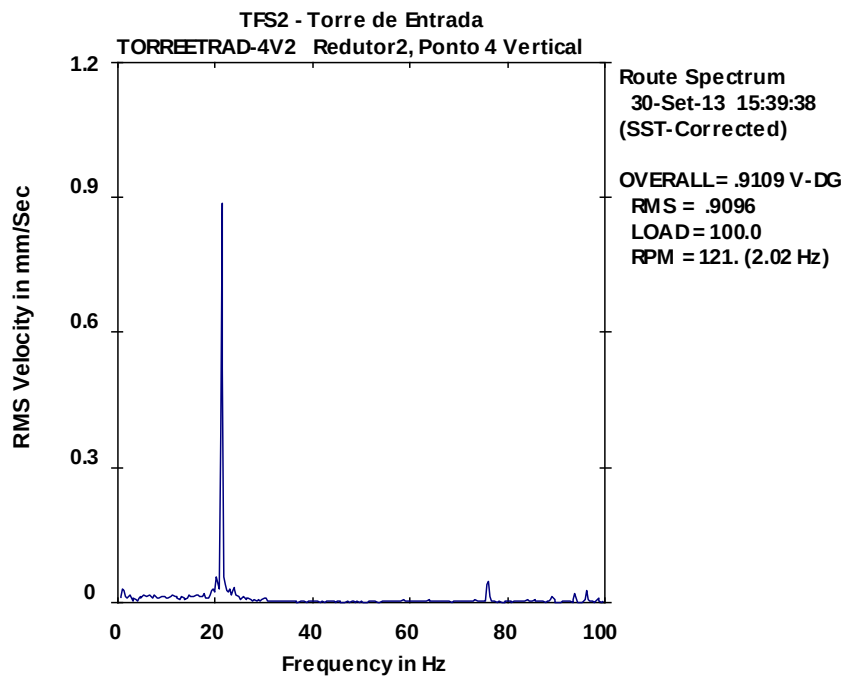
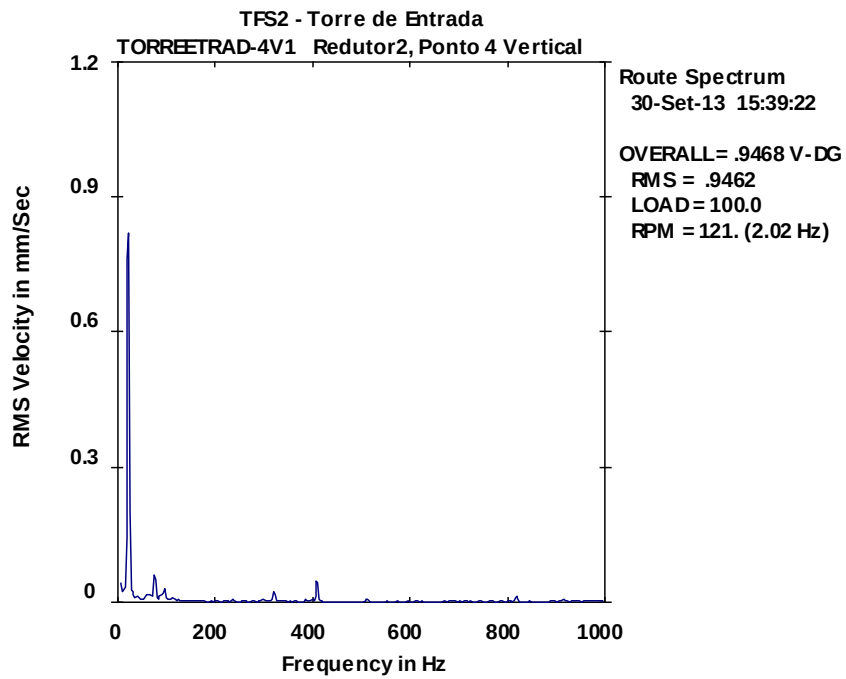


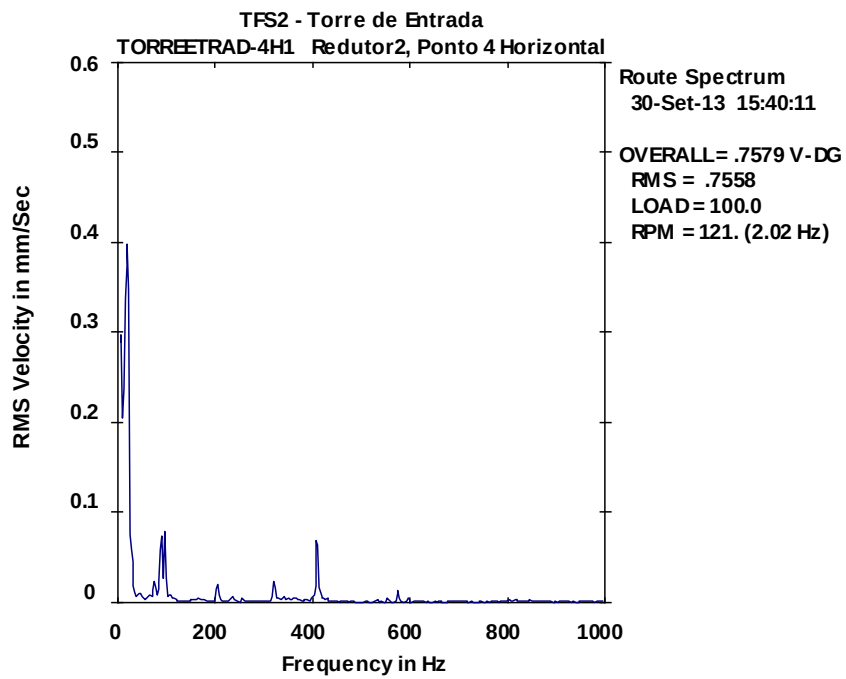
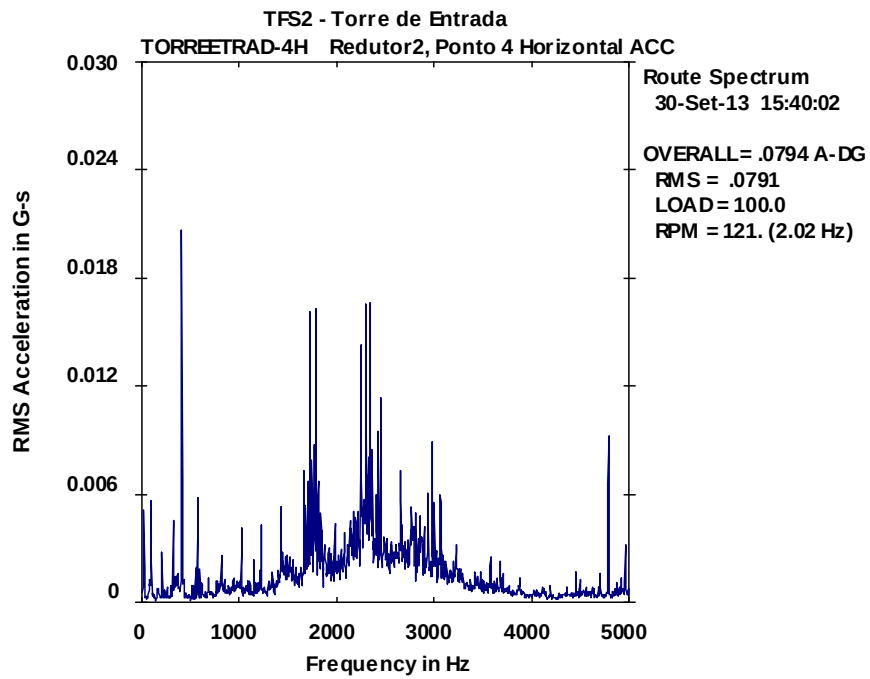


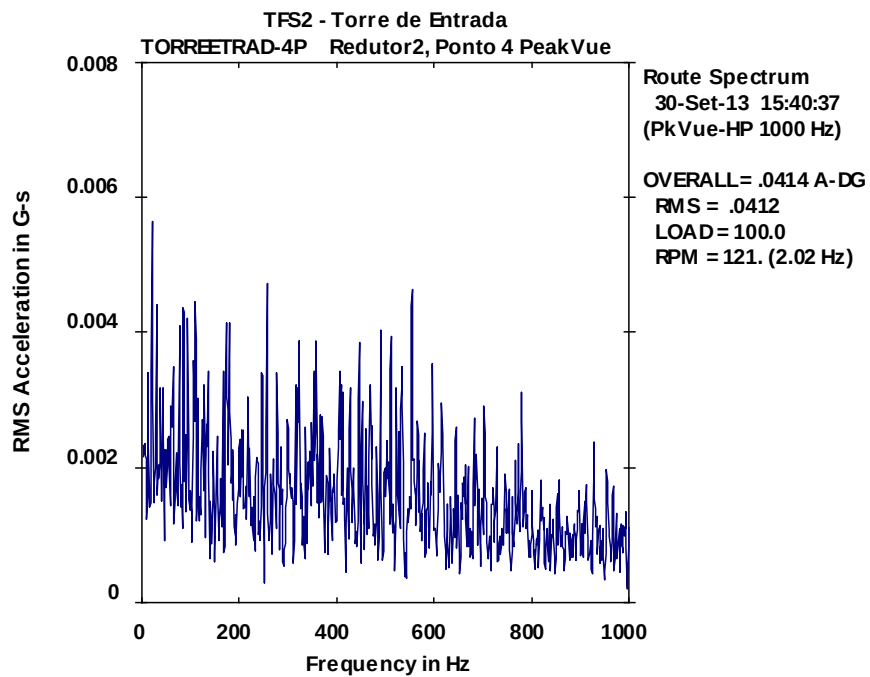
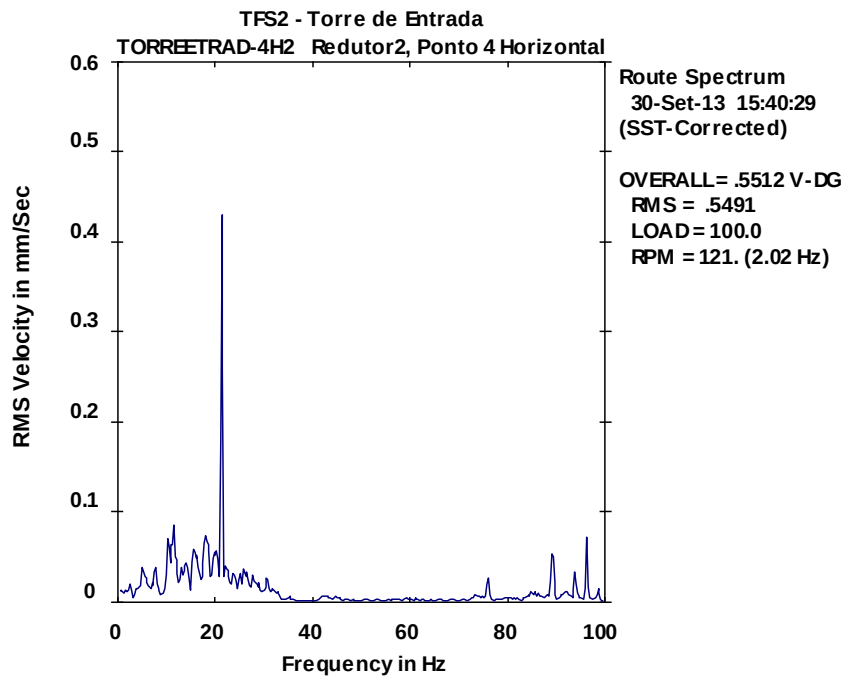


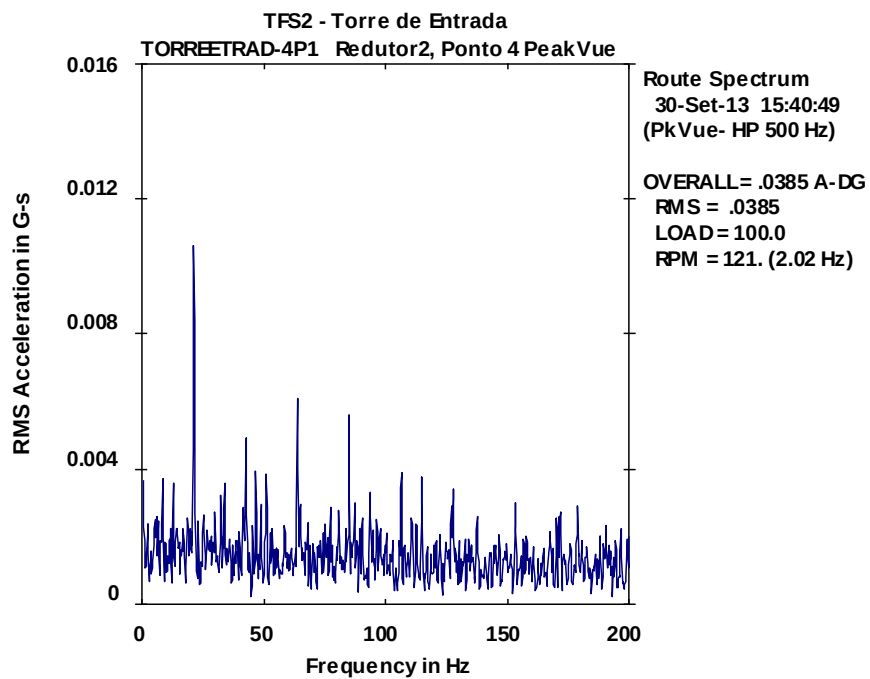












Measurement Exception Analysis Report

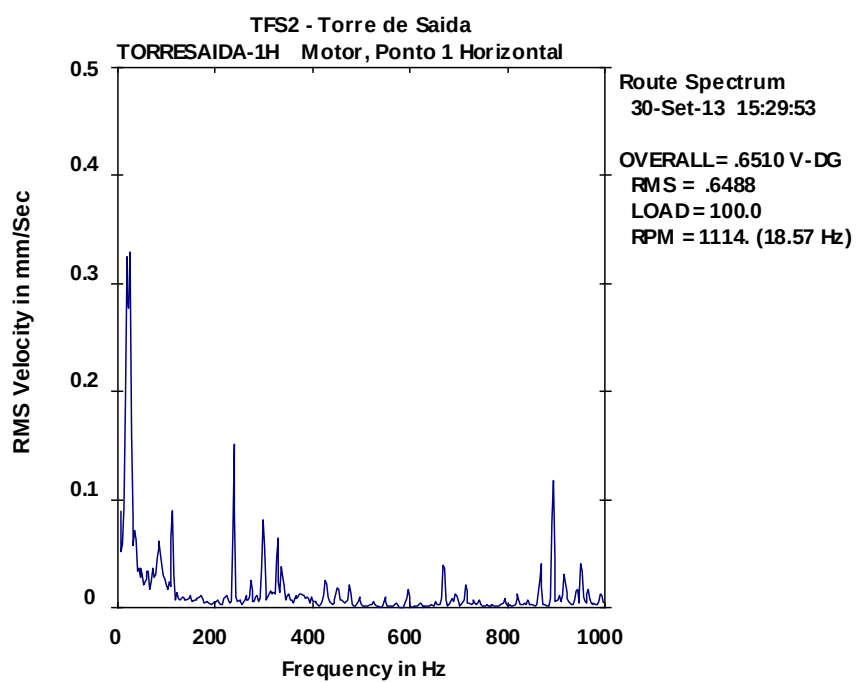
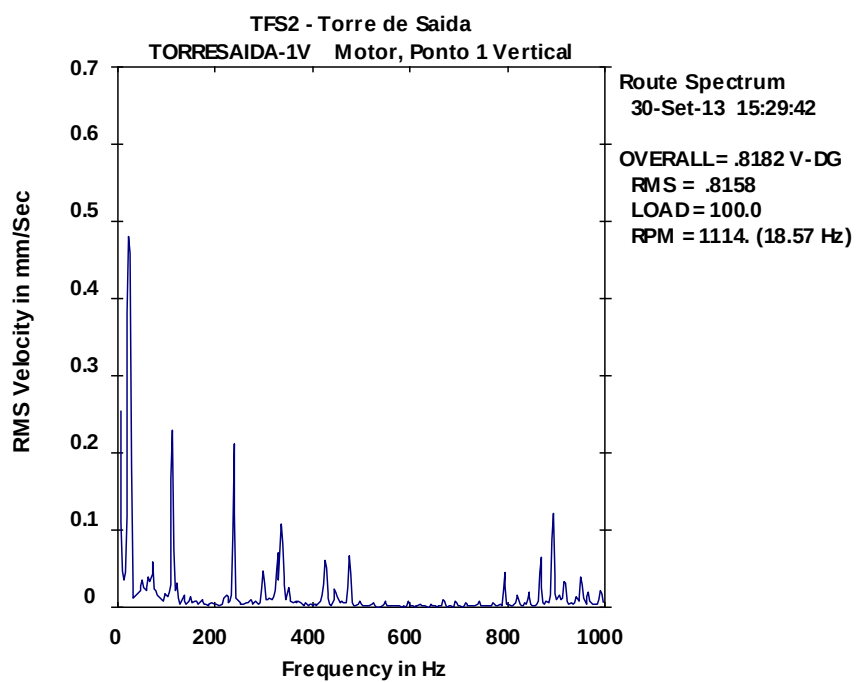
Database: Iglo\Iglo.rbm

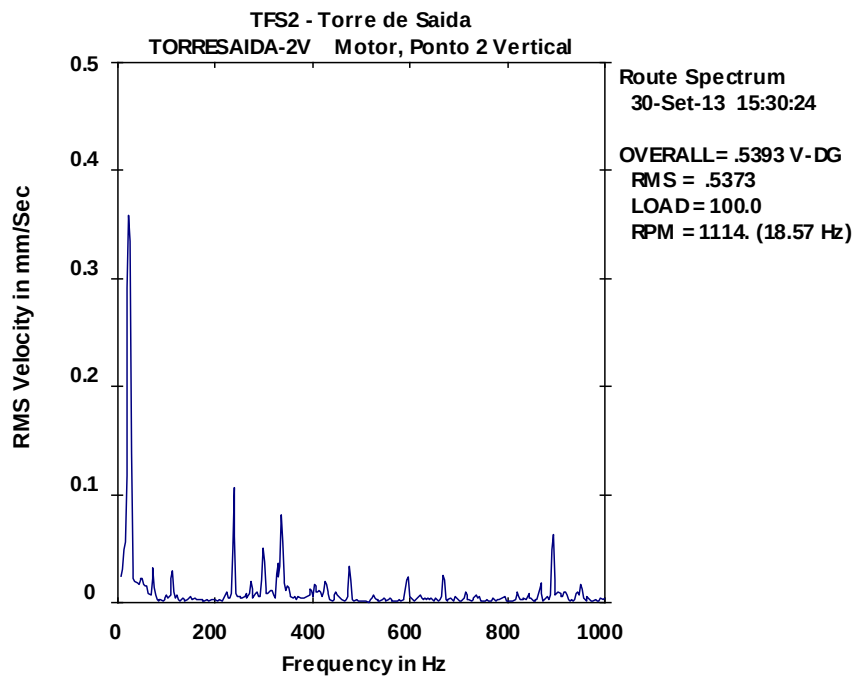
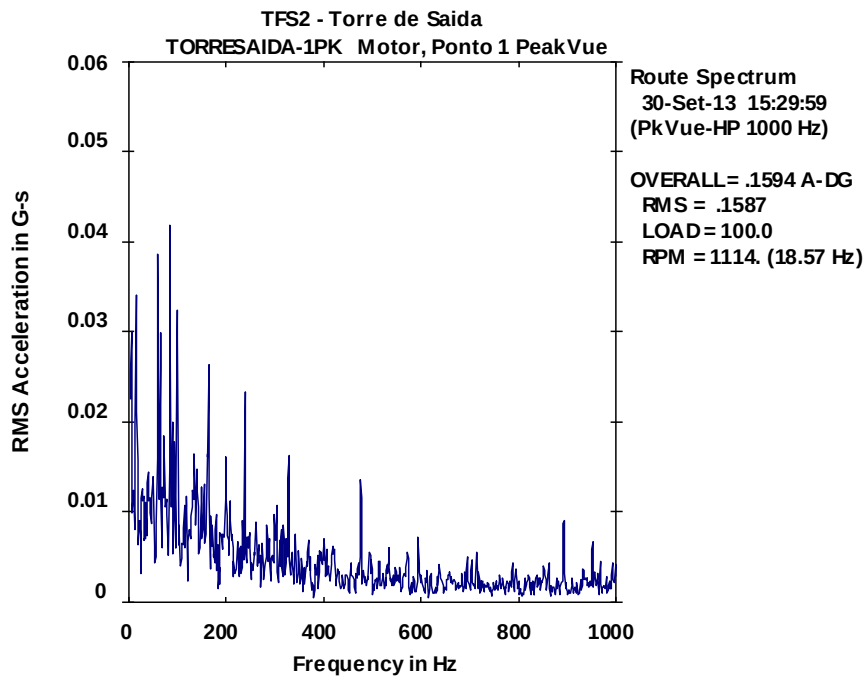
Area: TUNEL FRIGOSCANDIA 2

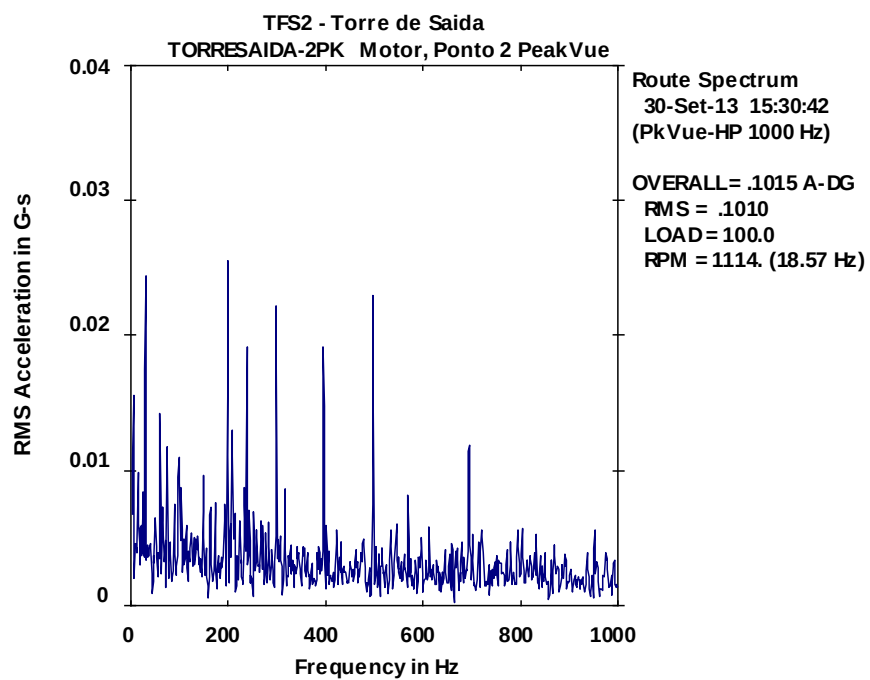
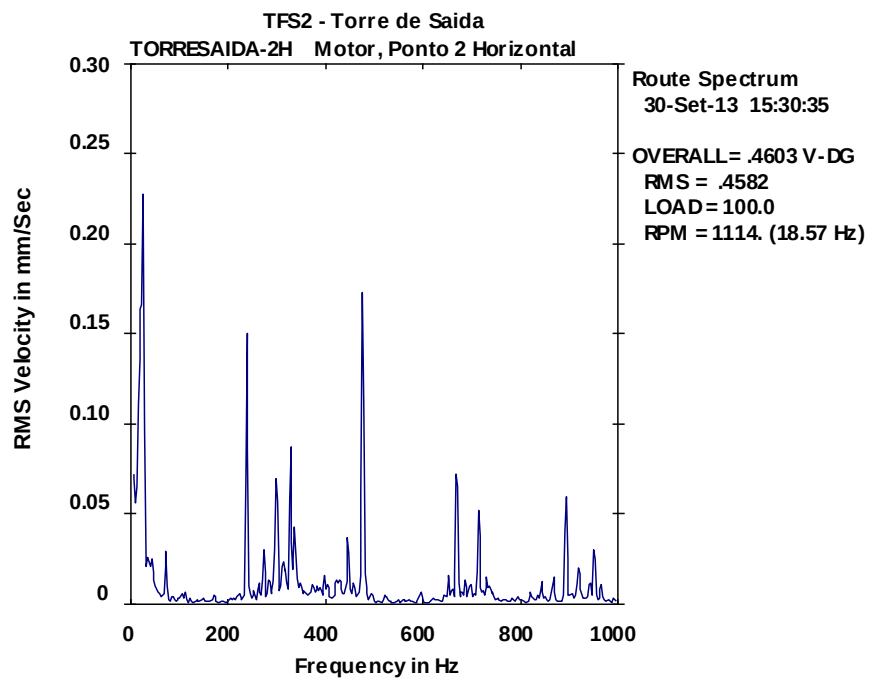
Report Date: 06-Dez-13 08:45

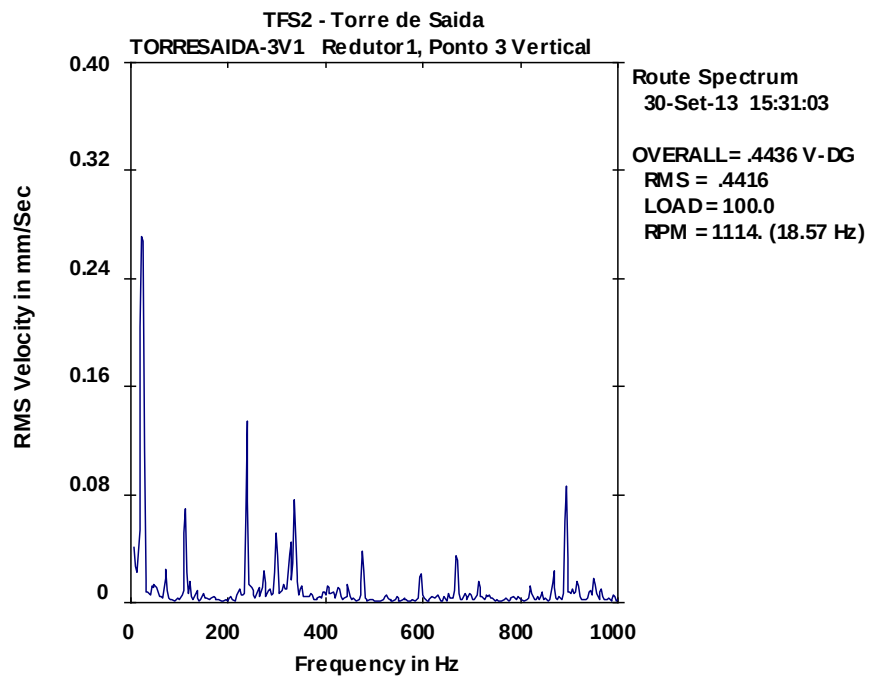
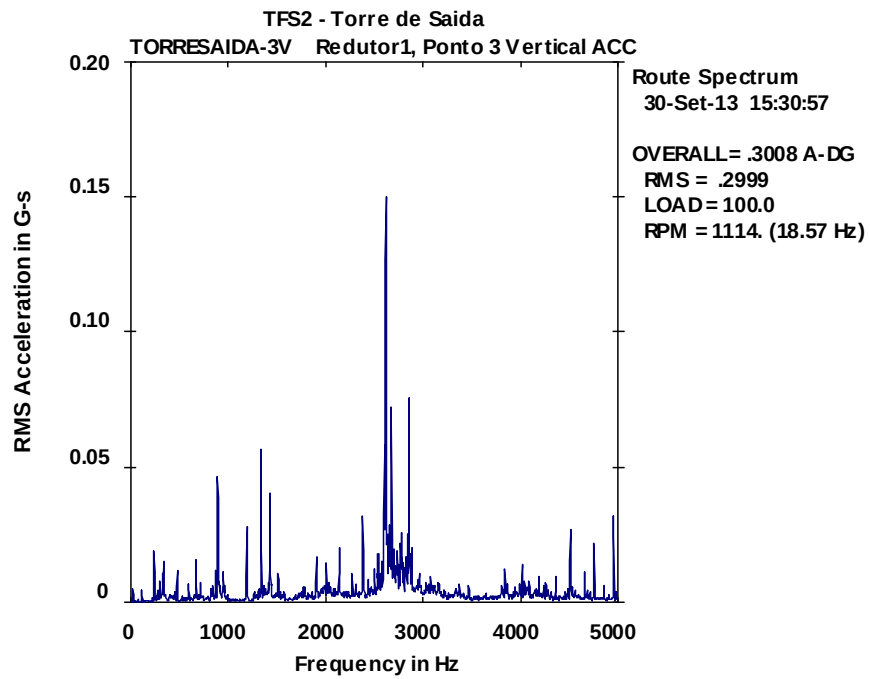
MEASUREMENT POINT	ANALYSIS PARAMETER	PARAMETER VALUE	ALARM/FAULT LEVELS	ALARM CODE-SEV	FAULT DAYS TO ALARM

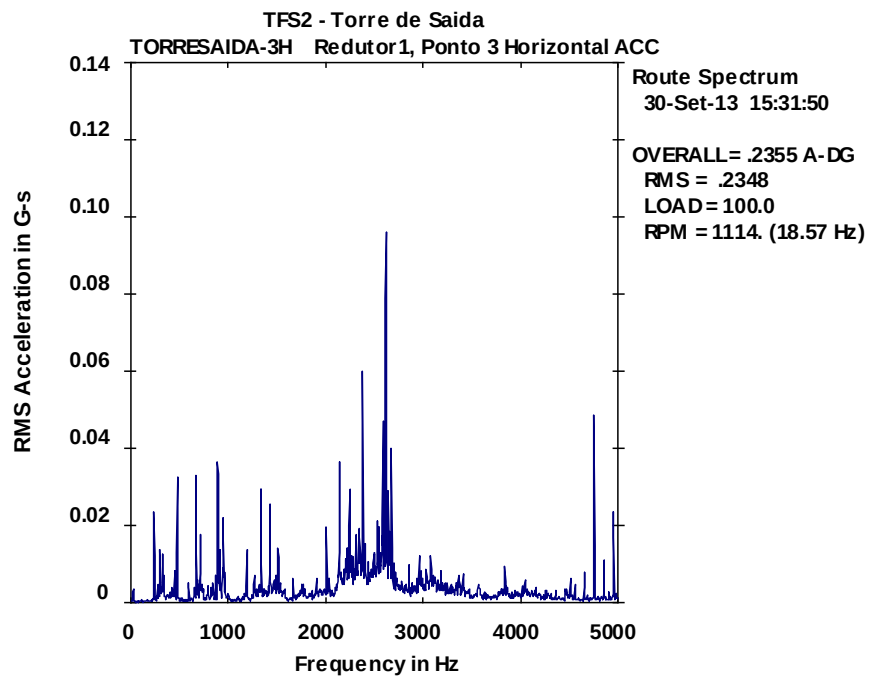
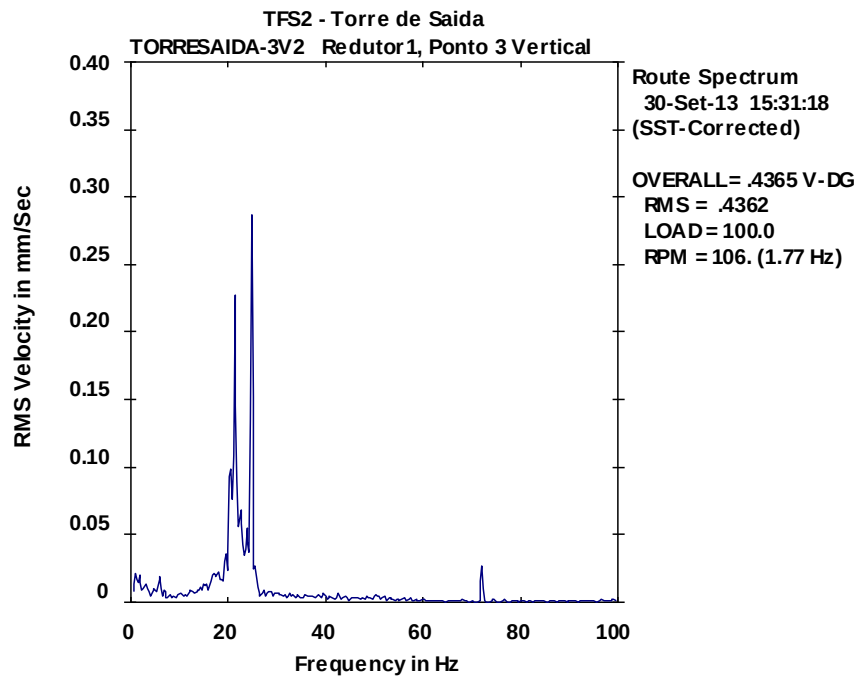
Torre de Saida (30-Sep-13)
TORRESAIDA- (RPM = 1114.) (LOAD = 100.0)

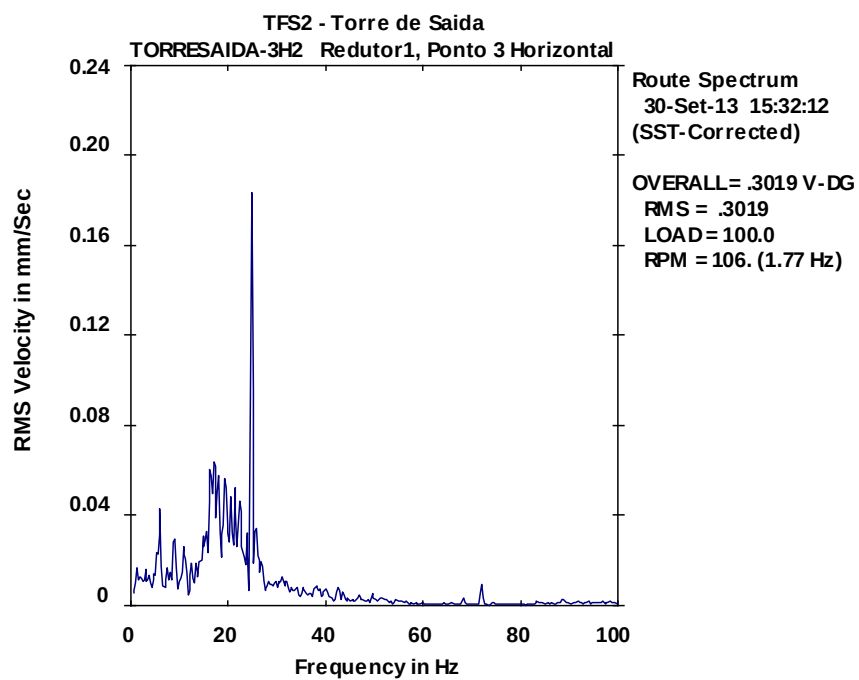
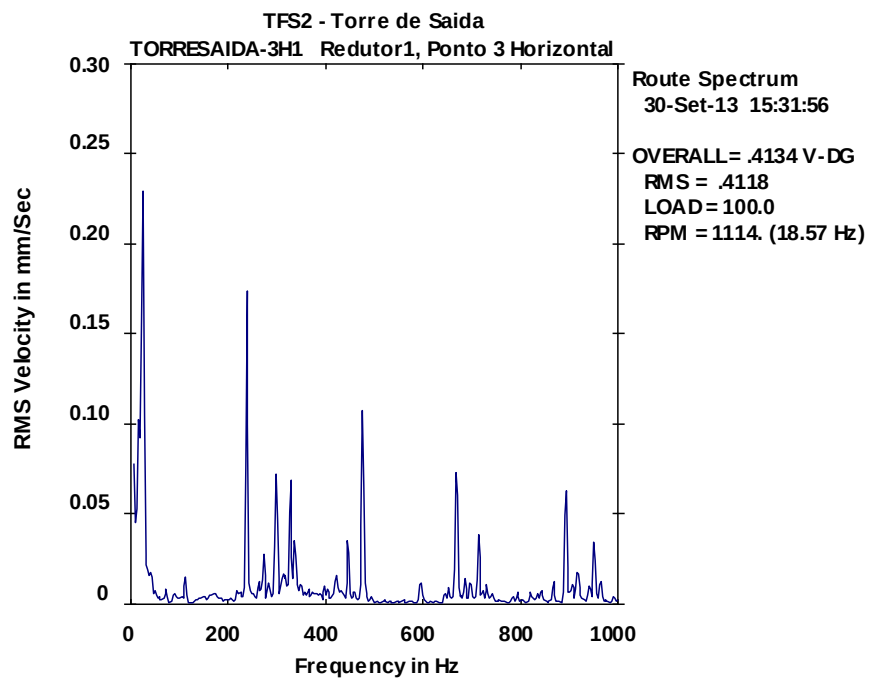


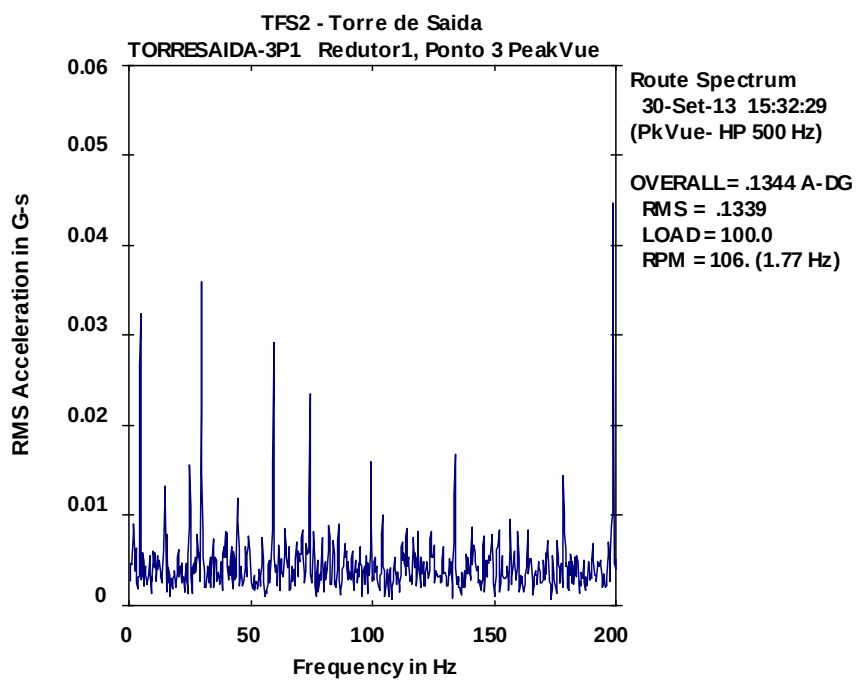
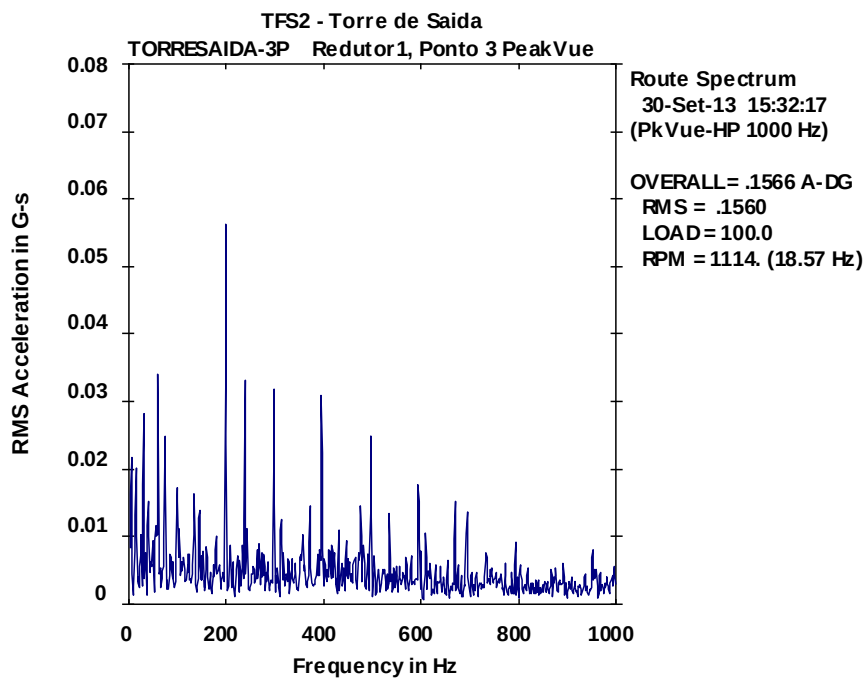


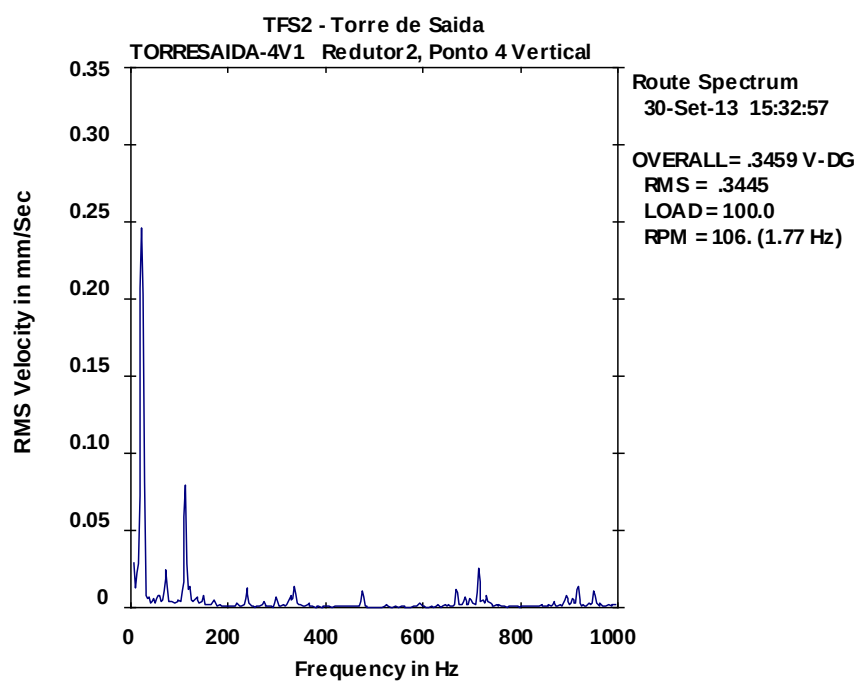
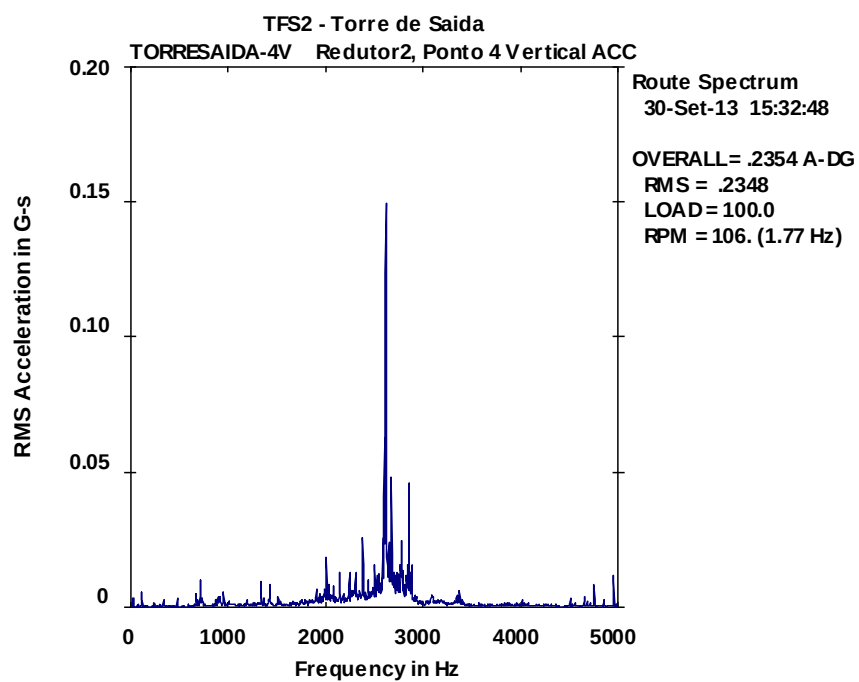


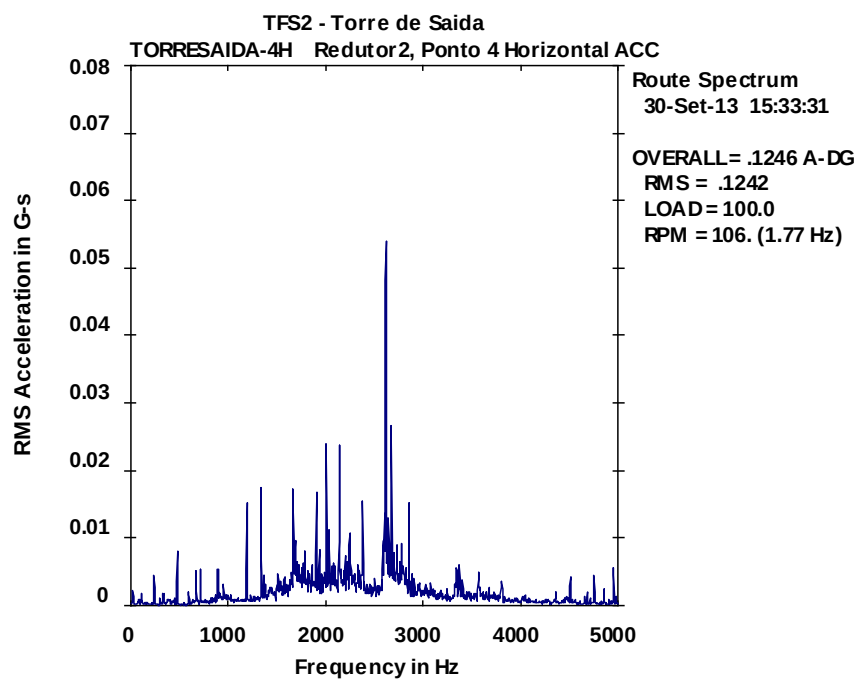
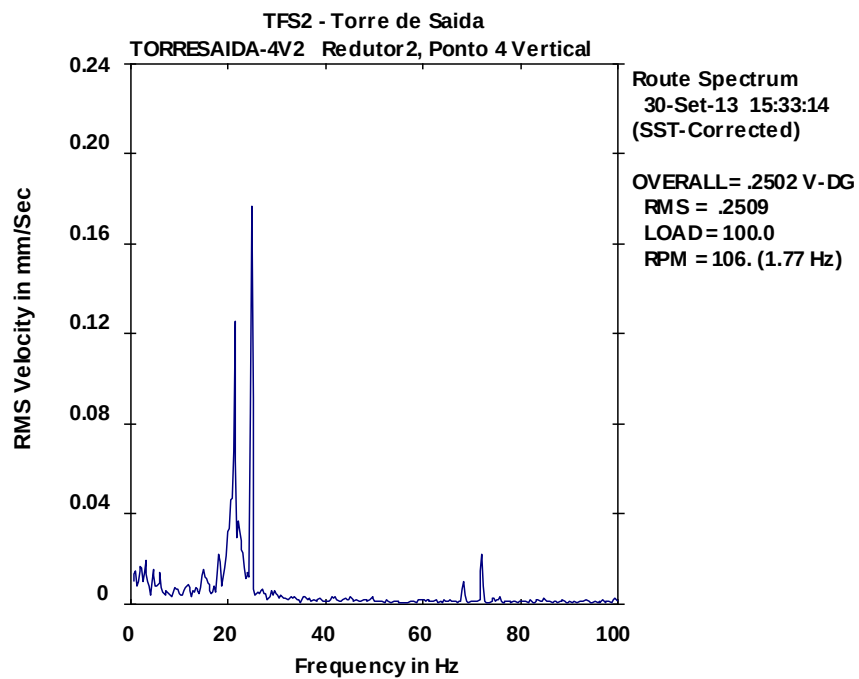


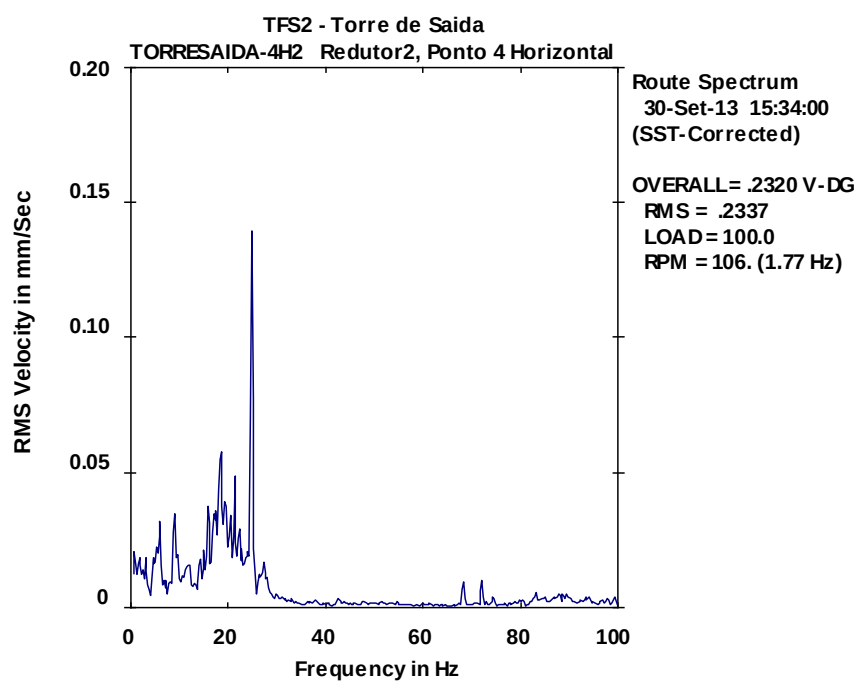
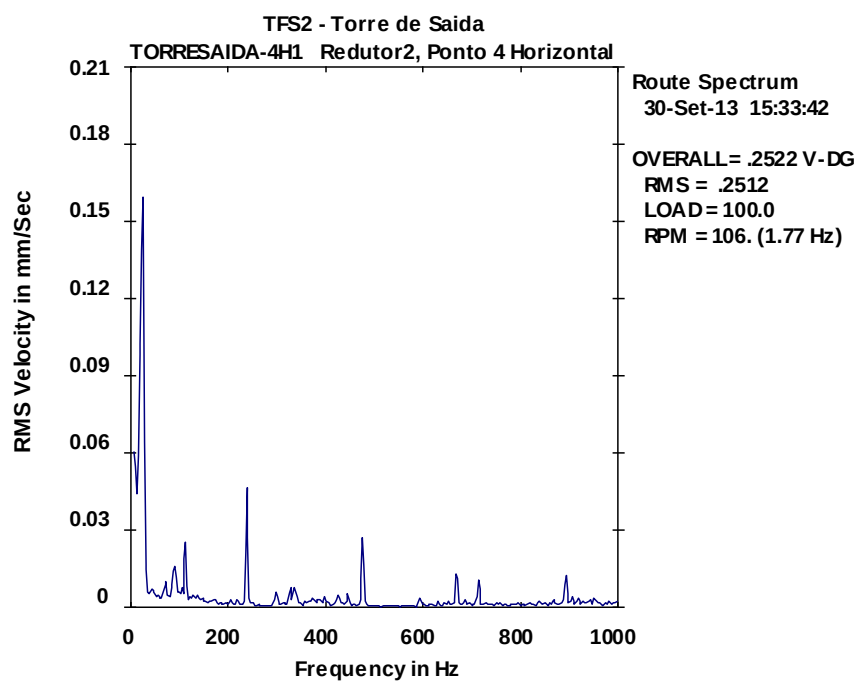


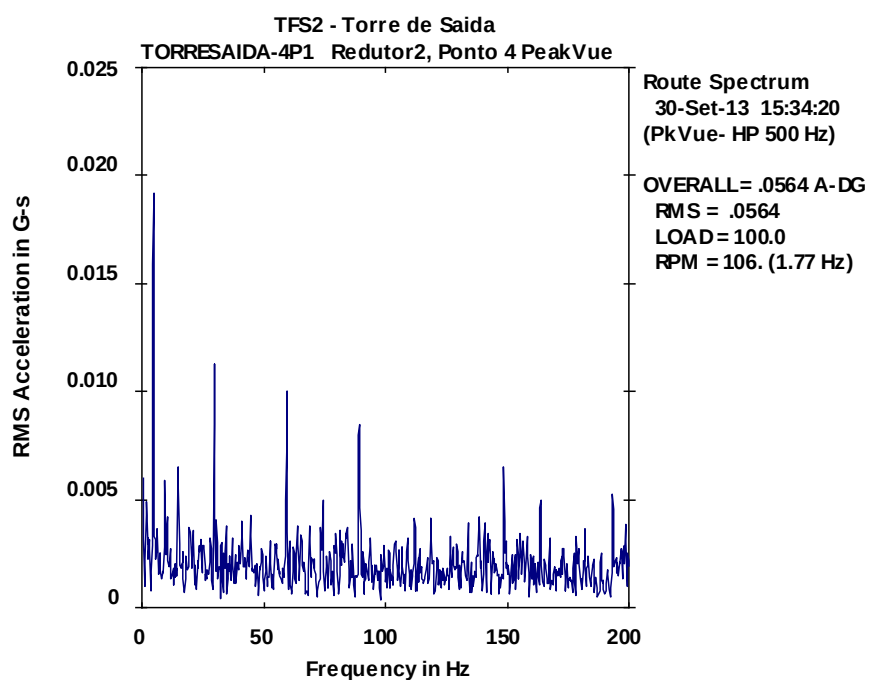
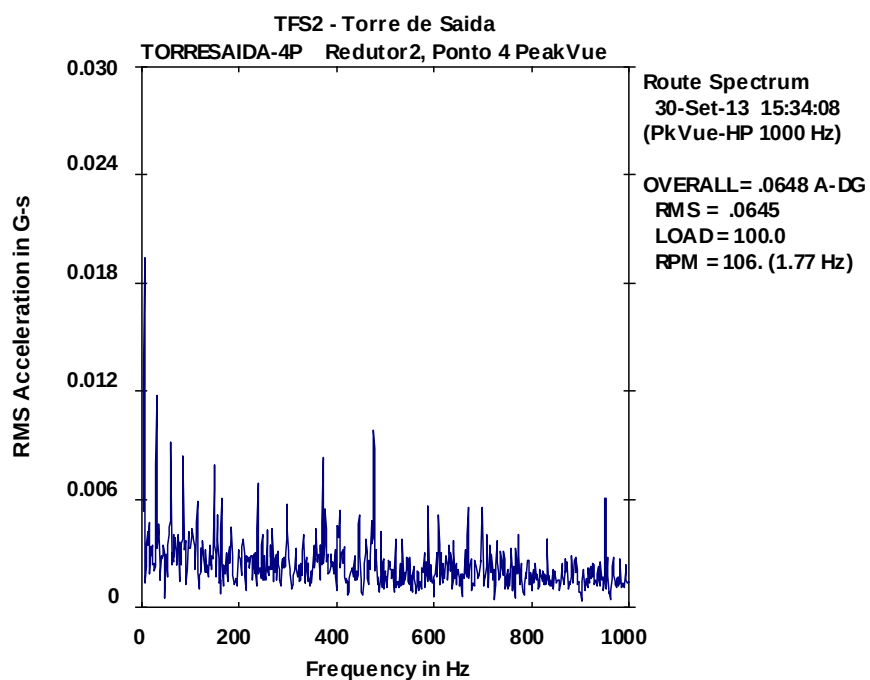












Measurement Exception Analysis Report

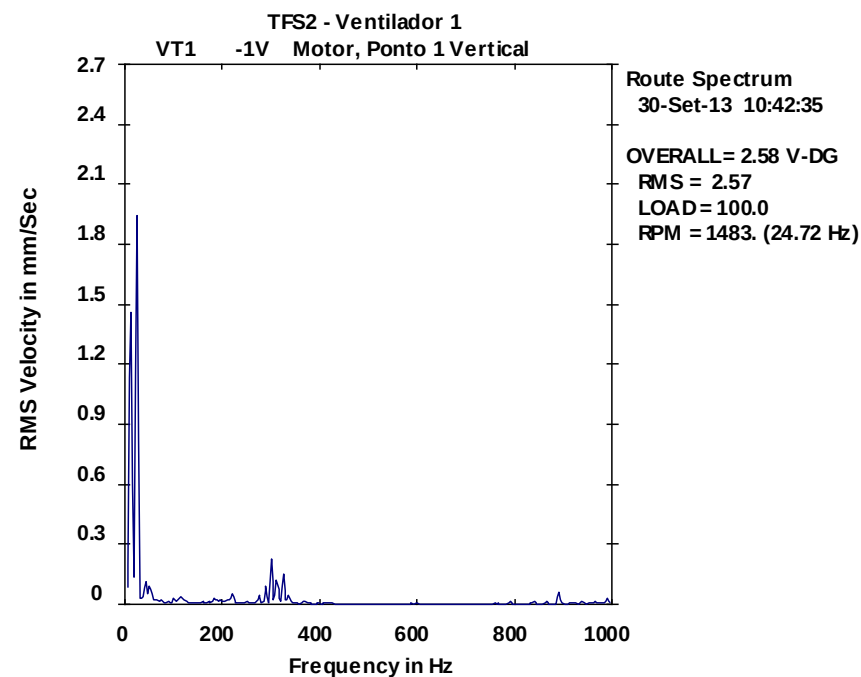
Database: Iglo\Iglo.rbm

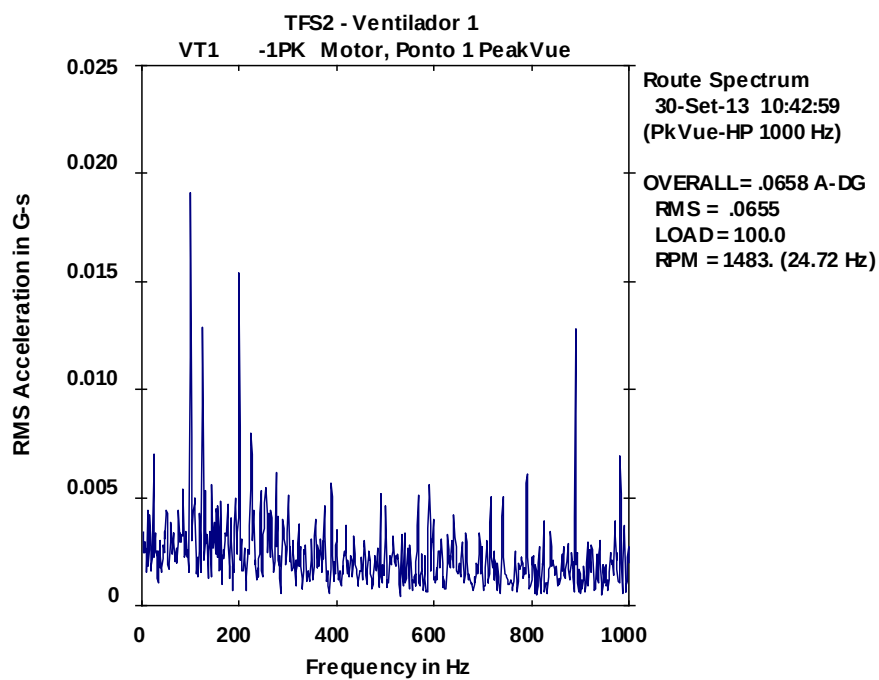
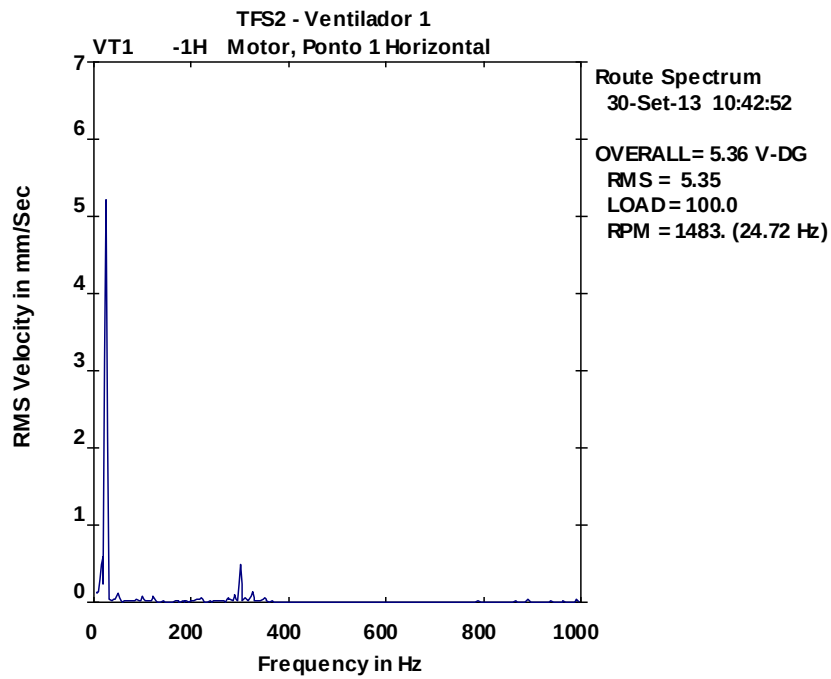
Area: TUNEL FRIGOSCANDIA 2

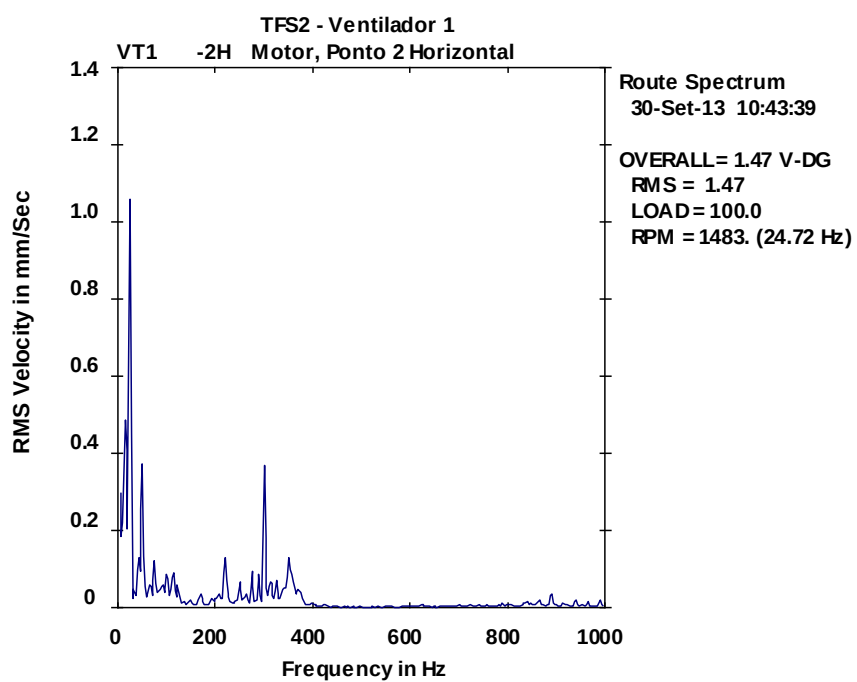
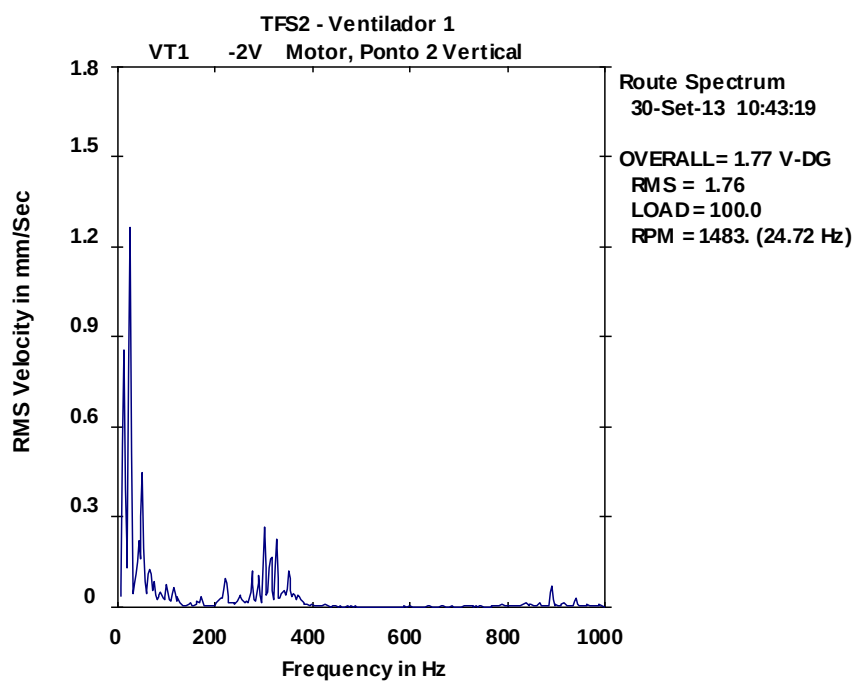
Report Date: 06-Dez-13 08:40

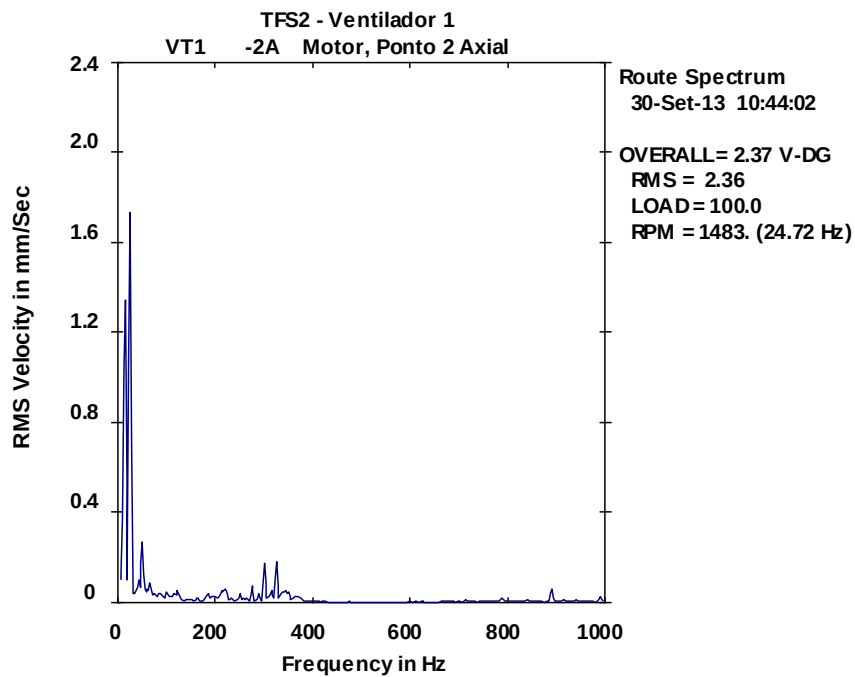
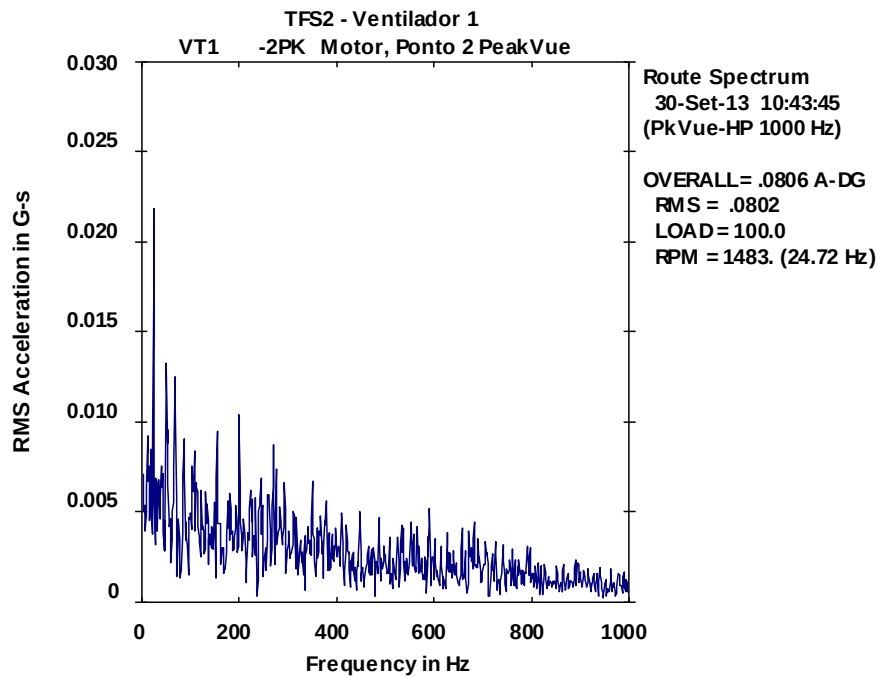
MEASUREMENT POINT	ANALYSIS PARAMETER	PARAMETER VALUE	ALARM/FAULT LEVELS	ALARM CODE-SEV	DAYS TO
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Ventilador 1 (30-Set-13)
VT1 - (RPM = 1483.) (LOAD = 100.0)









Measurement Exception Analysis Report

Database: Iglo\Iglo.rbm

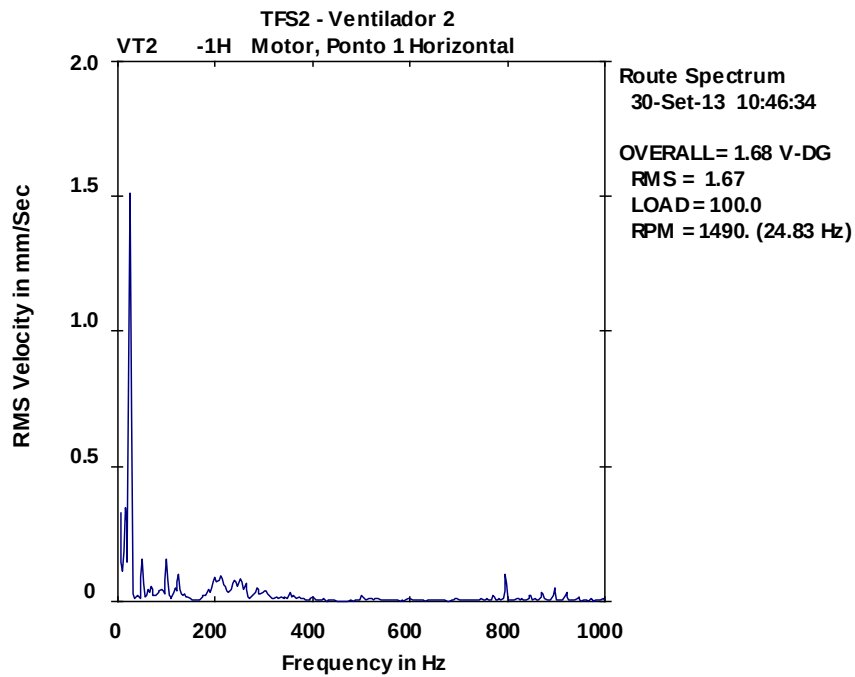
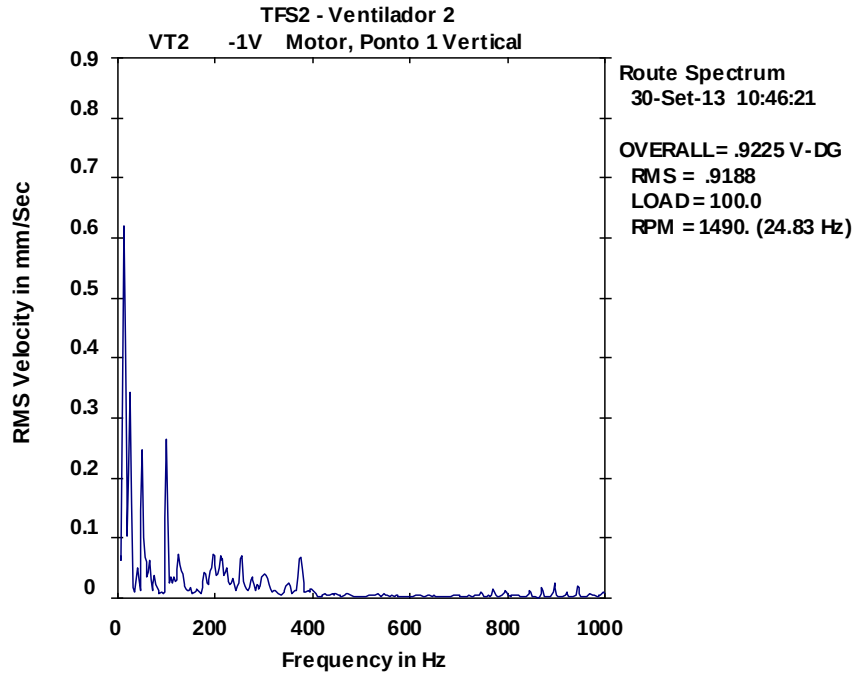
Area: TUNEL FRIGOSCANDIA 2

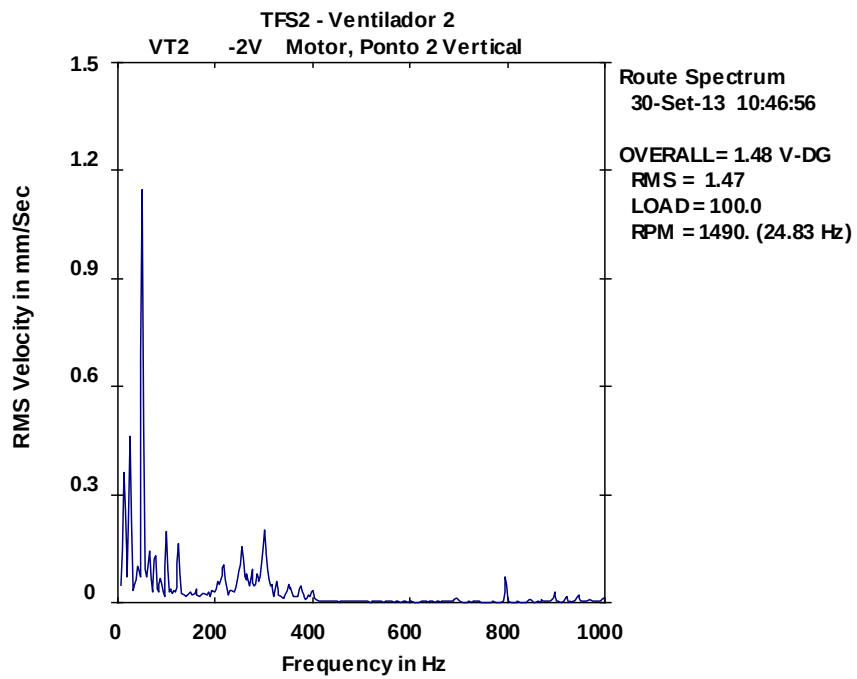
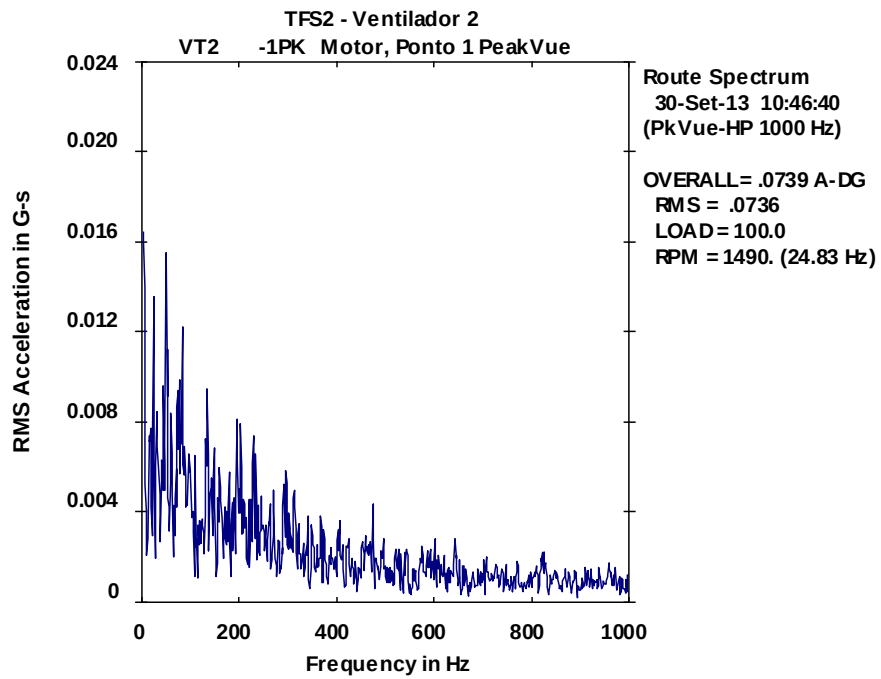
Report Date: 06-Dez-13 08:43

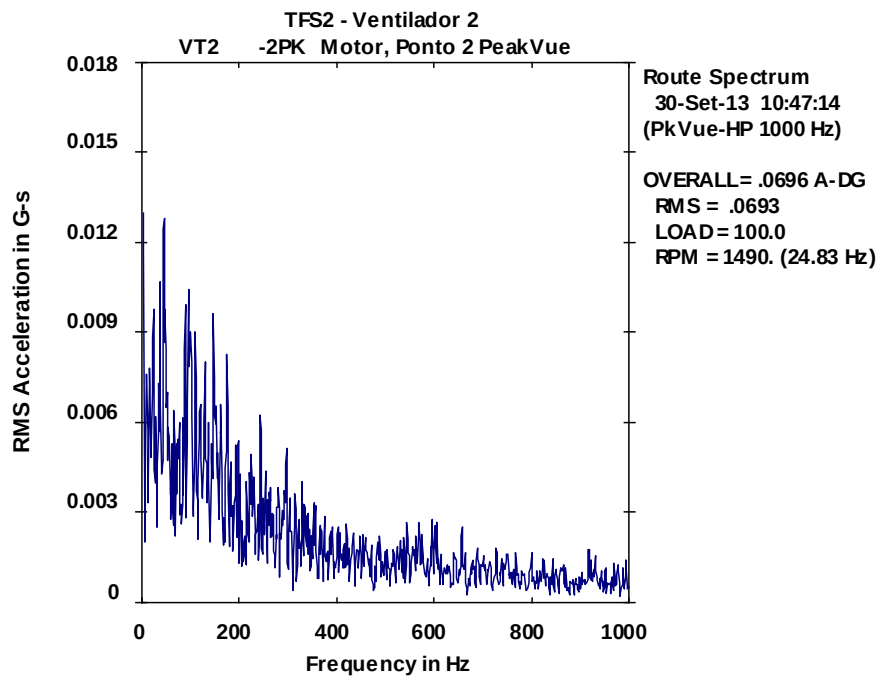
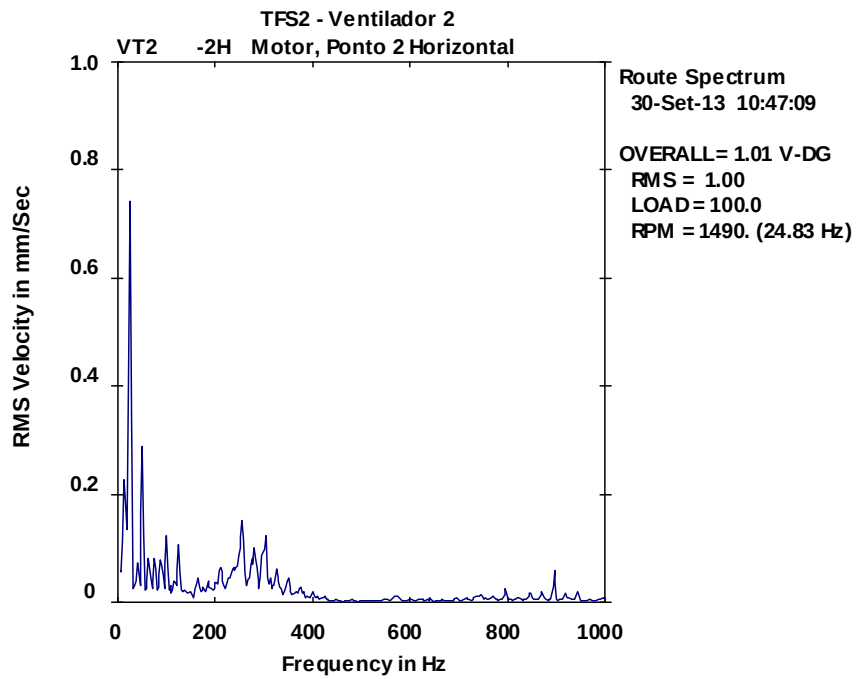
MEASUREMENT	ANALYSIS	PARAMETER	ALARM/FAULT	ALARM	DAYS TO
POINT	PARAMETER	VALUE	LEVELS	CODE-SEV	ALARM
-----	-----	-----	-----	-----	-----

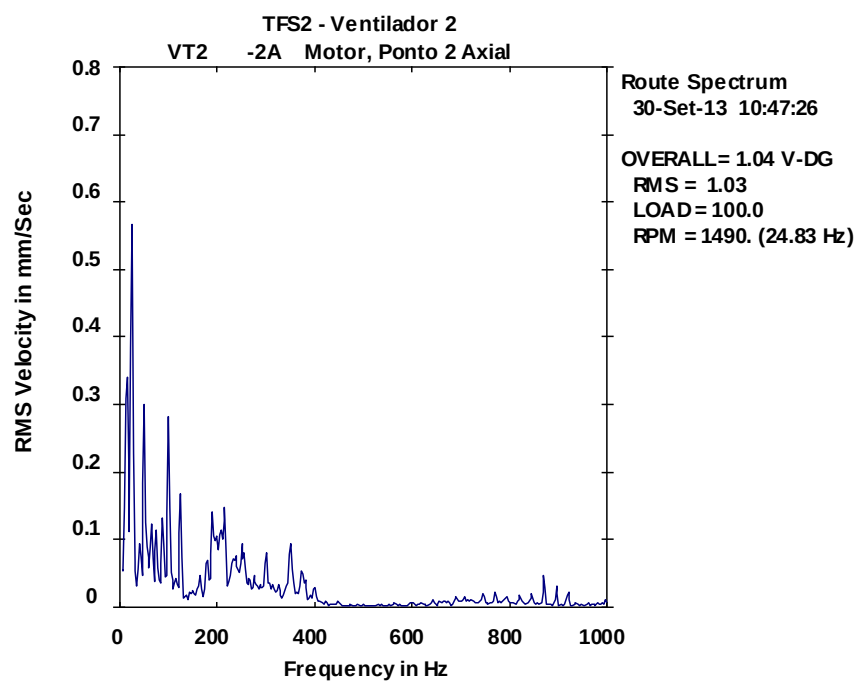
Ventilador 2 (30-Set-13)

VT2 - (RPM = 1490.) (LOAD = 100.0)









FreeTrendÔ

Relatório de Análise de Vibrações

Nome do local:	Tunel Frigo 2
Data do relatório:	quarta-feira, 11 de Dezembro de 2013
Consultor:	

Último estado do local

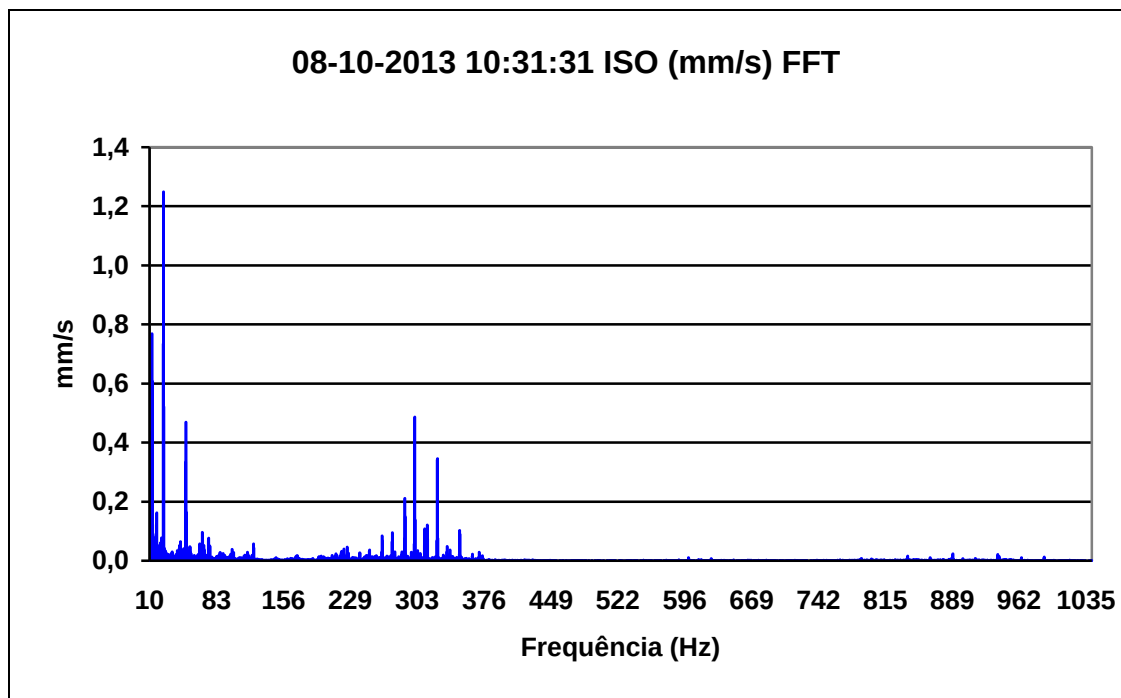
Tunel Frigo 2

ID de bem	Data/Hora	Estado
Ventilador 1	08-10-2013 10:31:31	AVISO
Ventilador 2	08-10-2013 10:35:59	OK
Moto redutor torre subida	08-10-2013 10:42:21	OK
Moto redutor torre descid	08-10-2013 10:47:17	AVISO

Último estado do bem

Ventilador 1

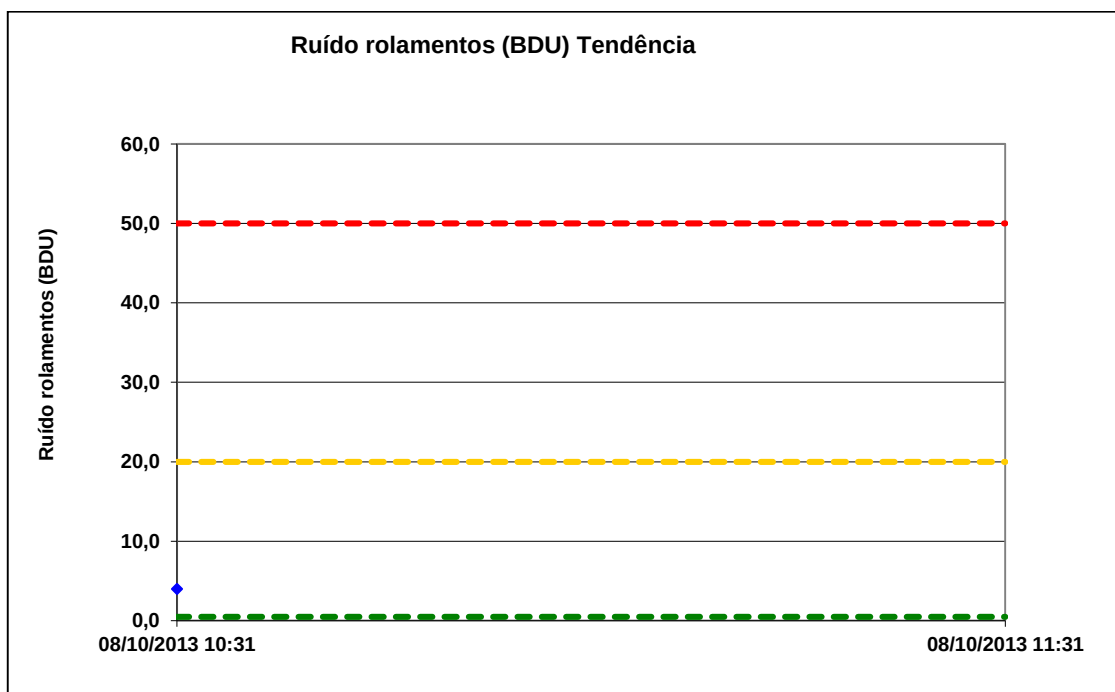
Nome PM	Data/Hora	Estado	ISO (mm/s)	Ruído rolamentos (BDU)	Total (g)
1V-Motor PT1 Vertical	08-10-2013 10:31:31	OK	2.3	4.0	0.2
1H-Motor PT1 Horizontal	08-10-2013 10:31:31	AVISO	2.9	5.9	0.3
2V-Motor PT2 Vertical	08-10-2013 10:31:31	AVISO	6.6	10.0	0.2
2H-Motor PT2 Horizontal	08-10-2013 10:31:31	AVISO	5.7	3.3	0.3
2A-Motor PT2 Axial	08-10-2013 10:31:31	OK	2.2	1.1	0.3

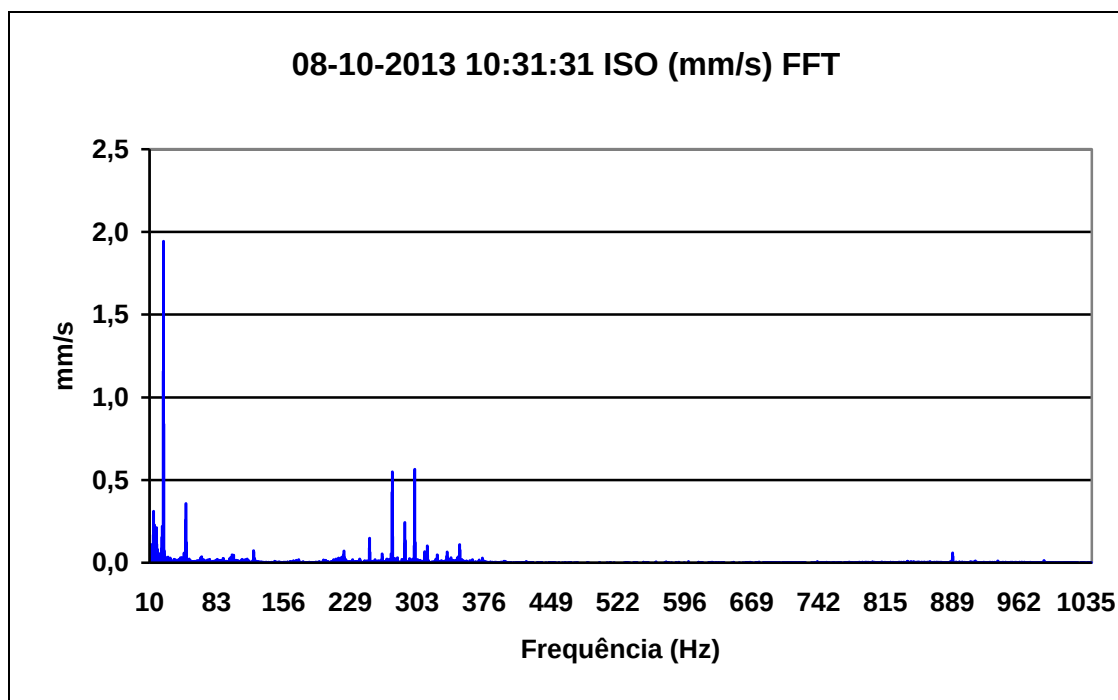


Ventilador 1

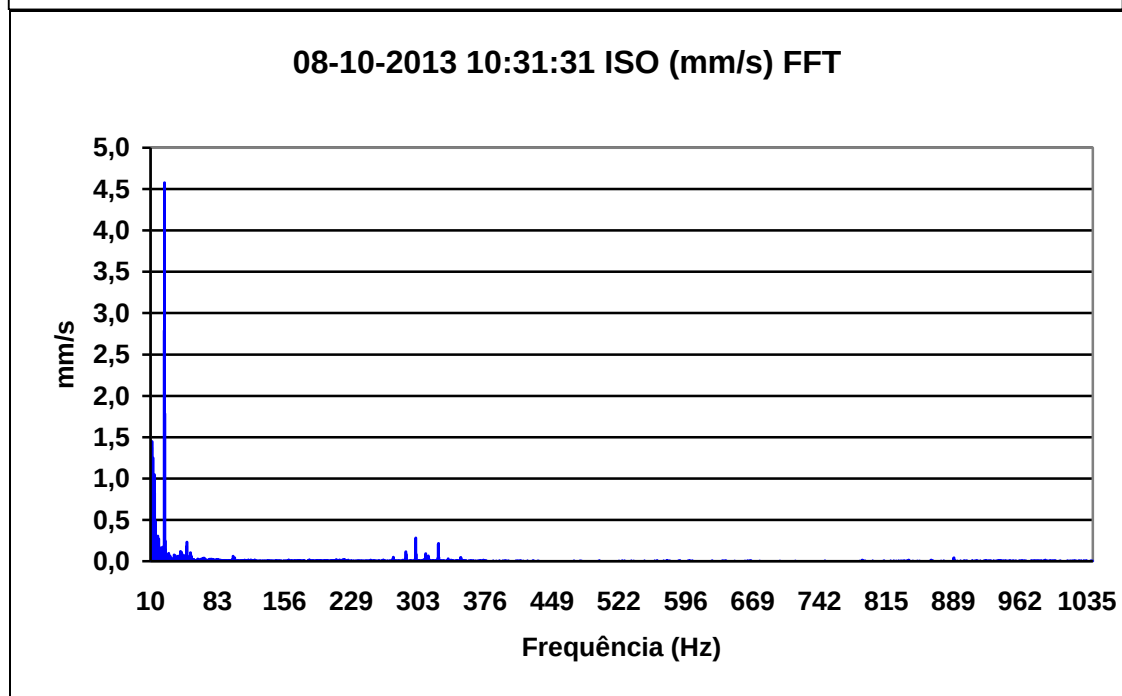
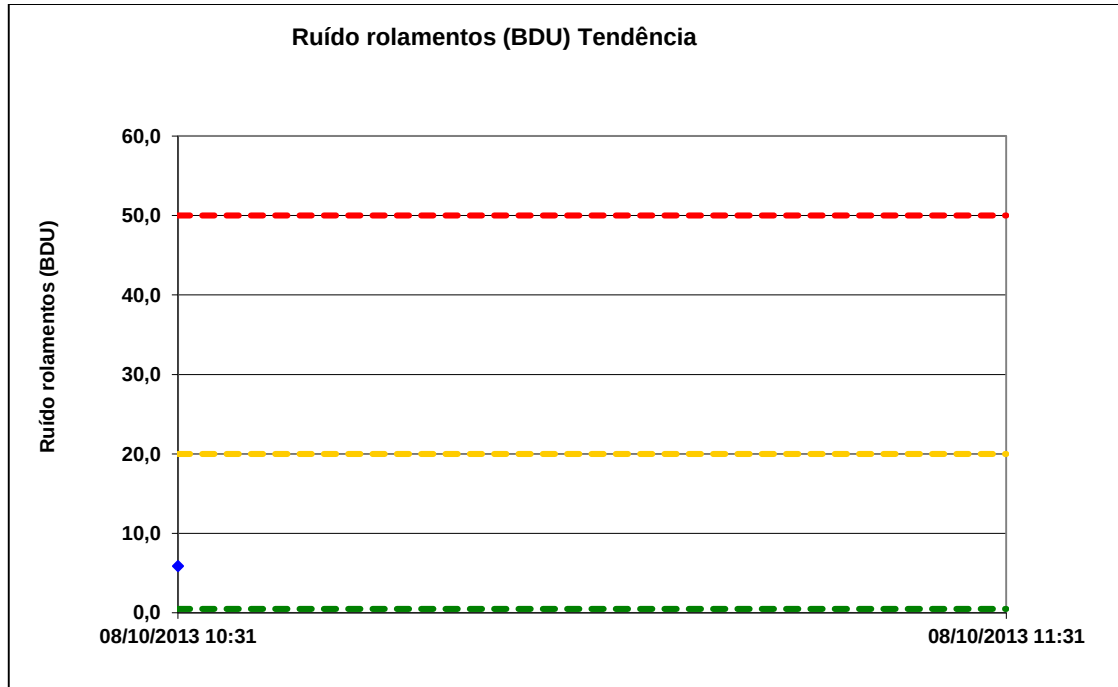
Ruído rolamentos (BDU)

1V-Motor PT1 Vertical

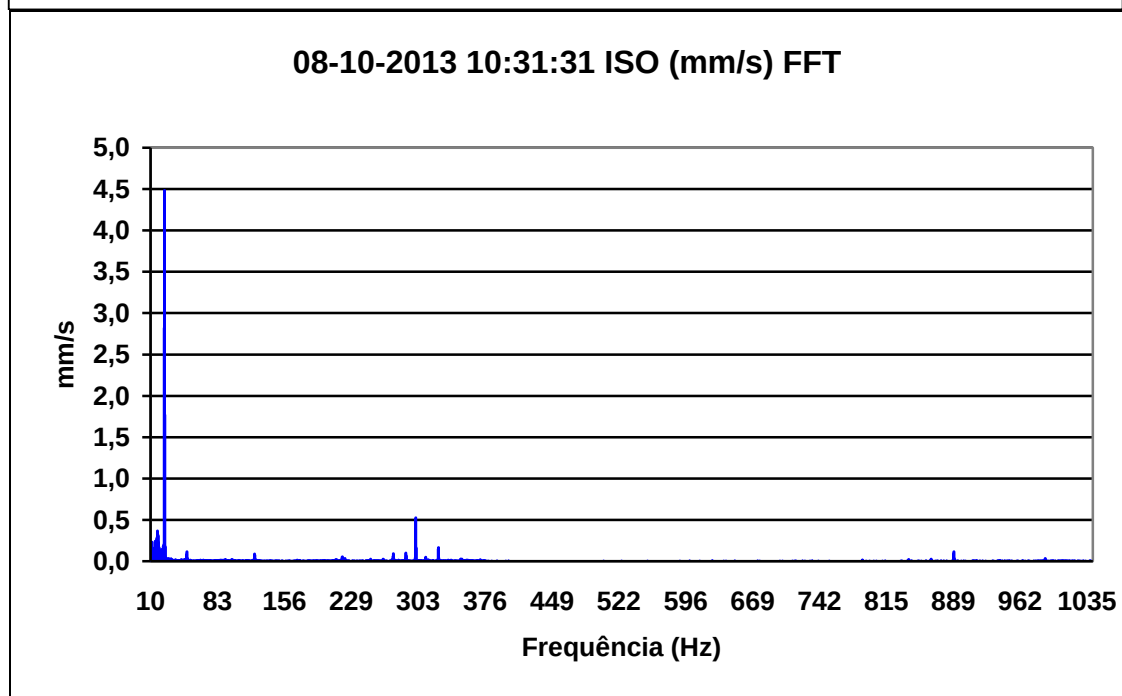
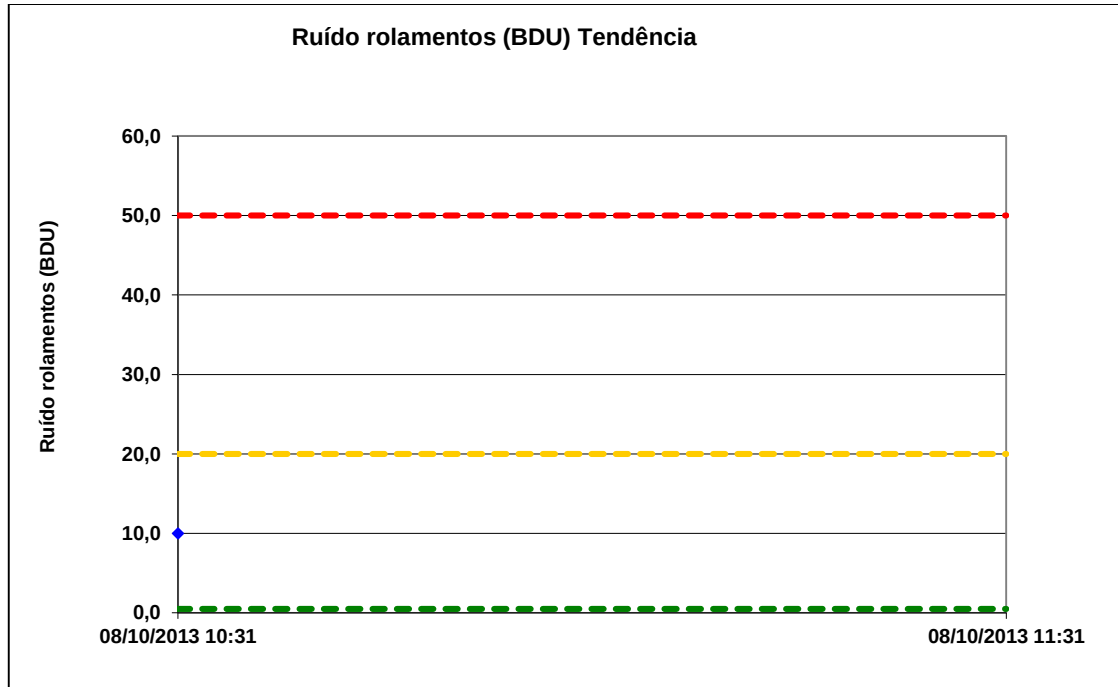




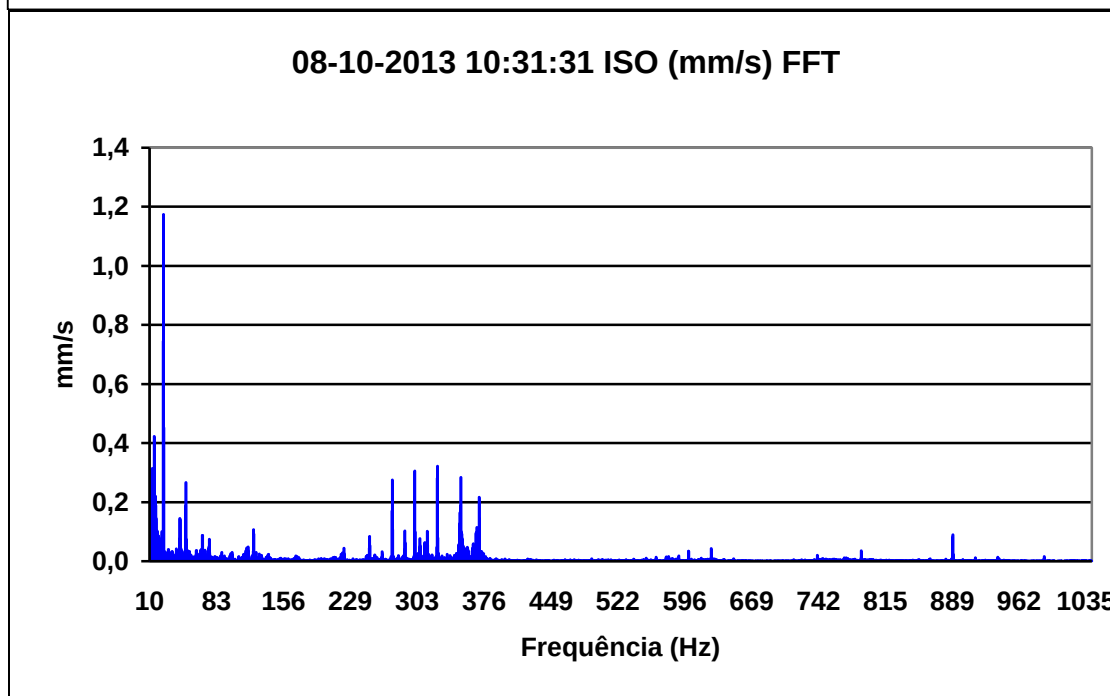
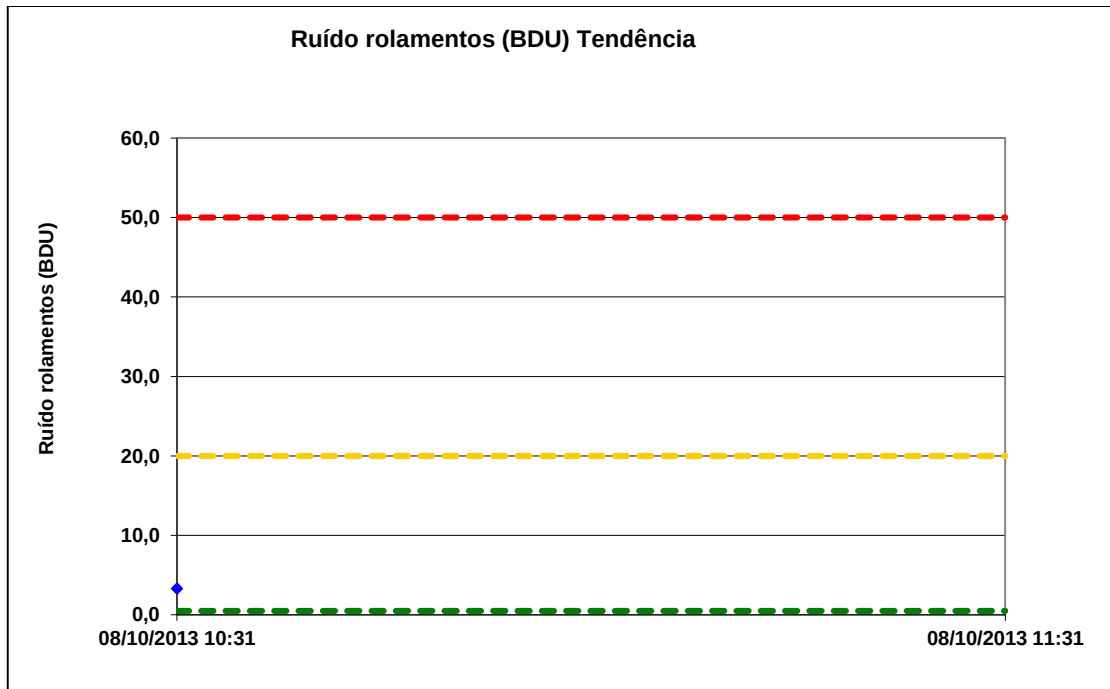
1H-Motor PT1 Horizontal



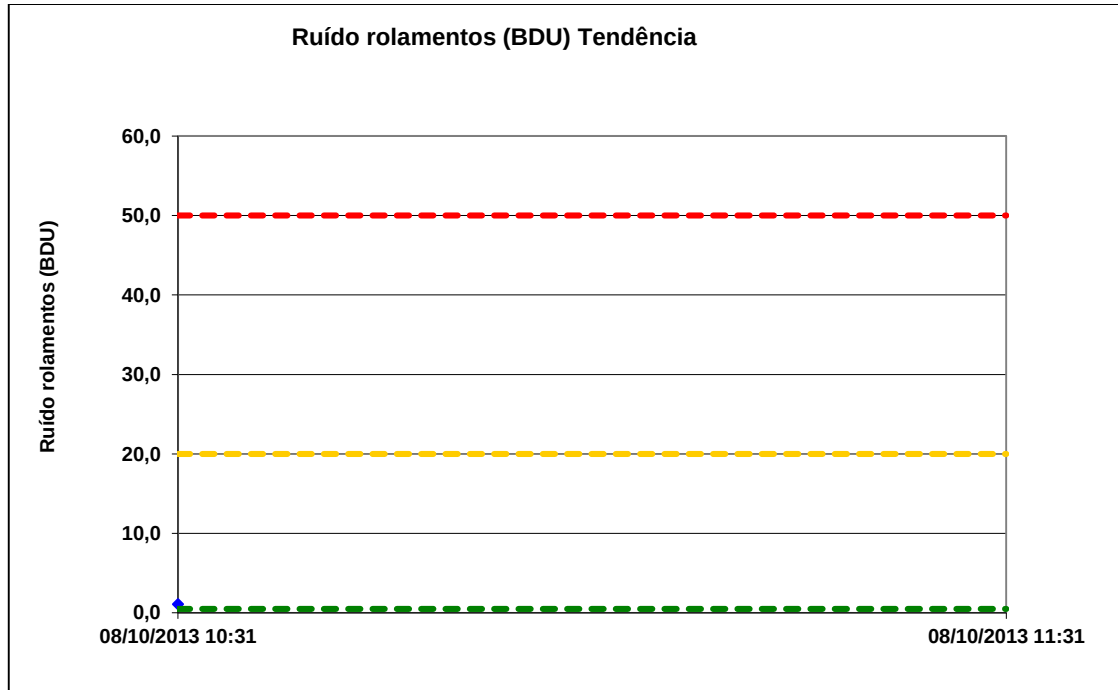
2V-Motor PT2 Vertical



2H-Motor PT2 Horizontal



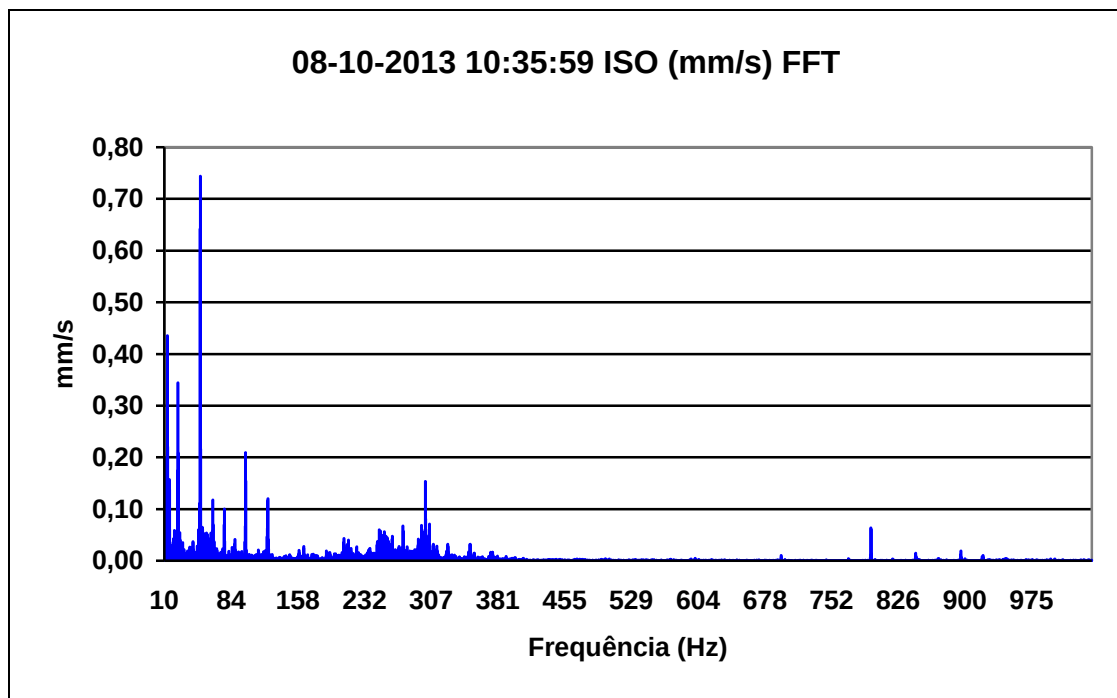
2A-Motor PT2 Axial



Último estado do bem

Ventilador 2

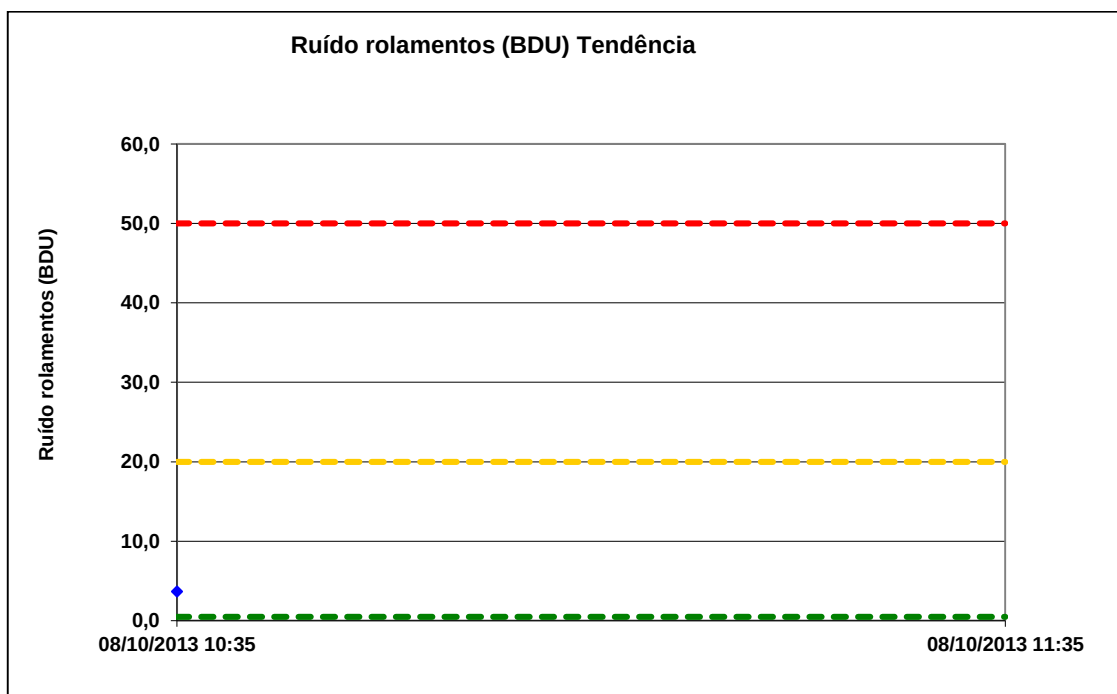
Nome PM	Data/Hora	Estado	ISO (mm/s)	Ruído rolamentos (BDU)	Total (g)
1V-Motor PT1 Vertical	08-10-2013 10:35:59	OK	1.5	3.7	0.1
1H-Motor PT1 Horizontal	08-10-2013 10:35:59	OK	1.9	2.4	0.1
2V-Motor PT2 Vertical	08-10-2013 10:35:59	OK	0.9	10.0	0.1
2H-Motor PT2 Horizontal	08-10-2013 10:35:59	OK	1.8	8.9	0.1
2A-Motor PT2 Axial	08-10-2013 10:35:59	OK	2.5	7.8	0.4

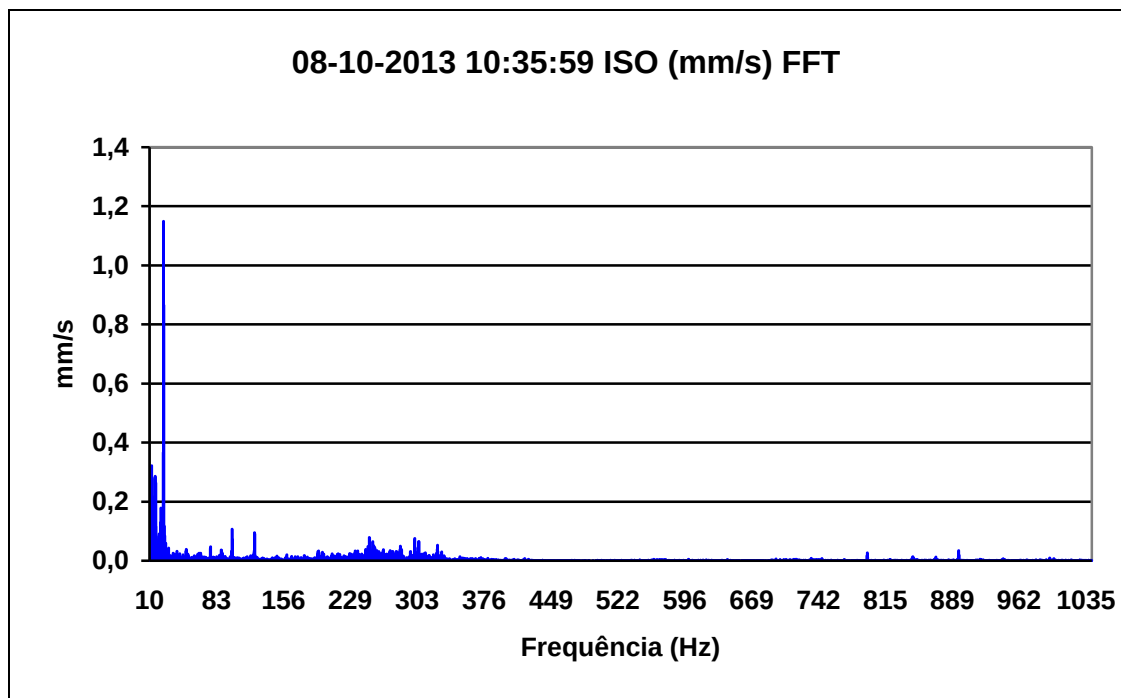


Ventilador 2

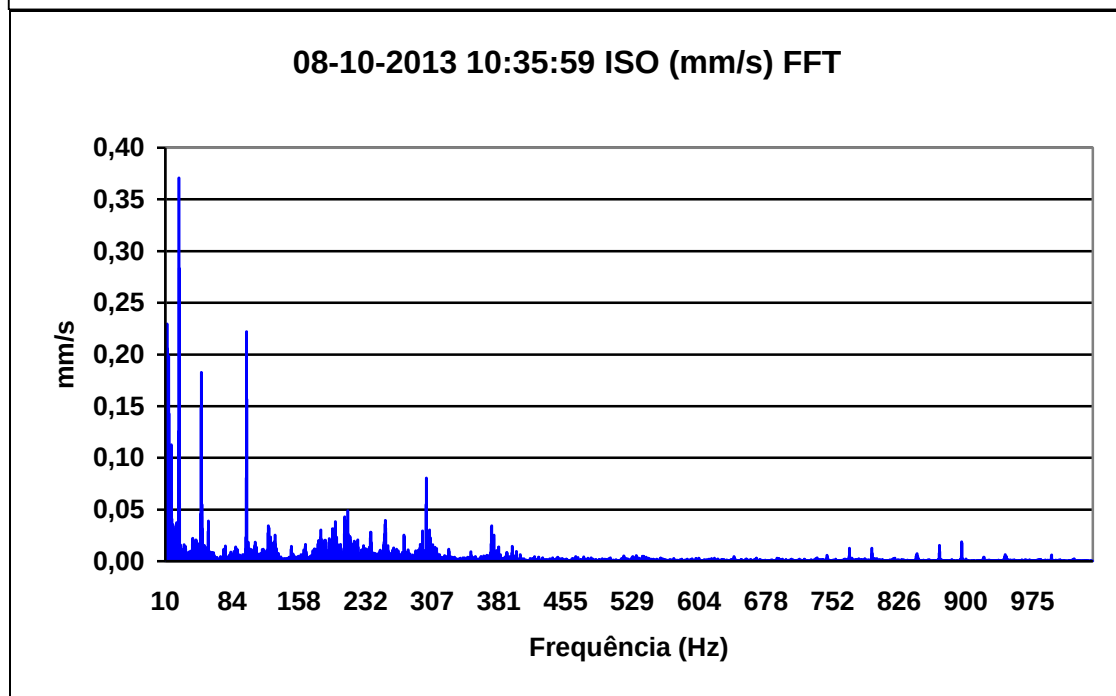
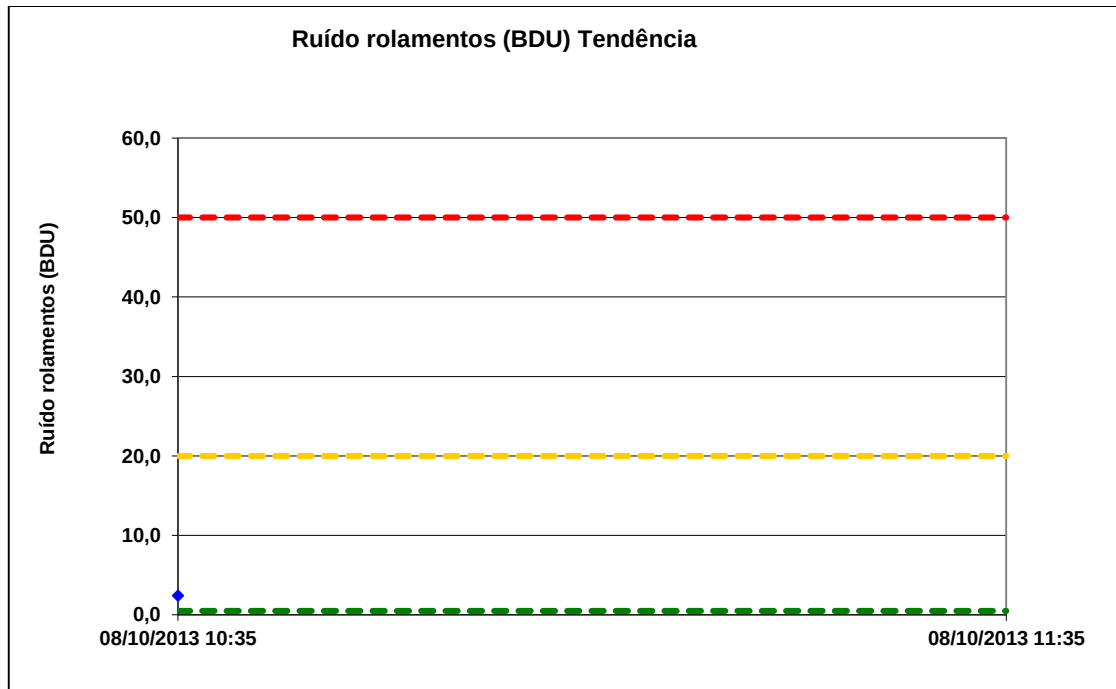
Ruído rolamentos (BDU)

1V-Motor PT1 Vertical

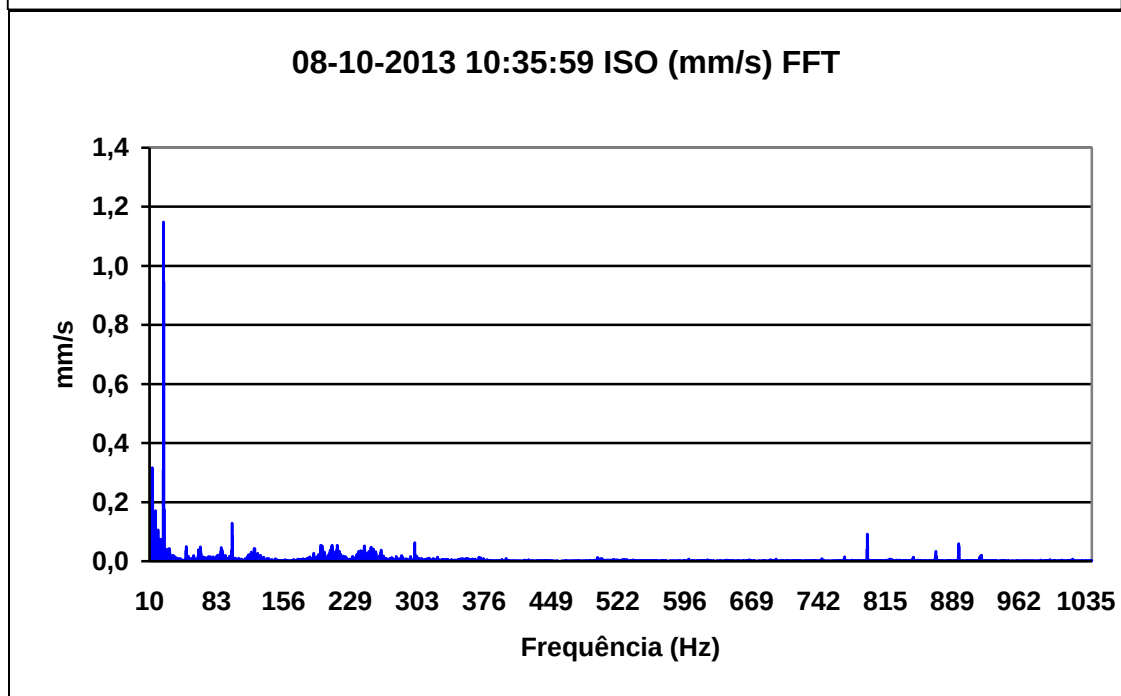
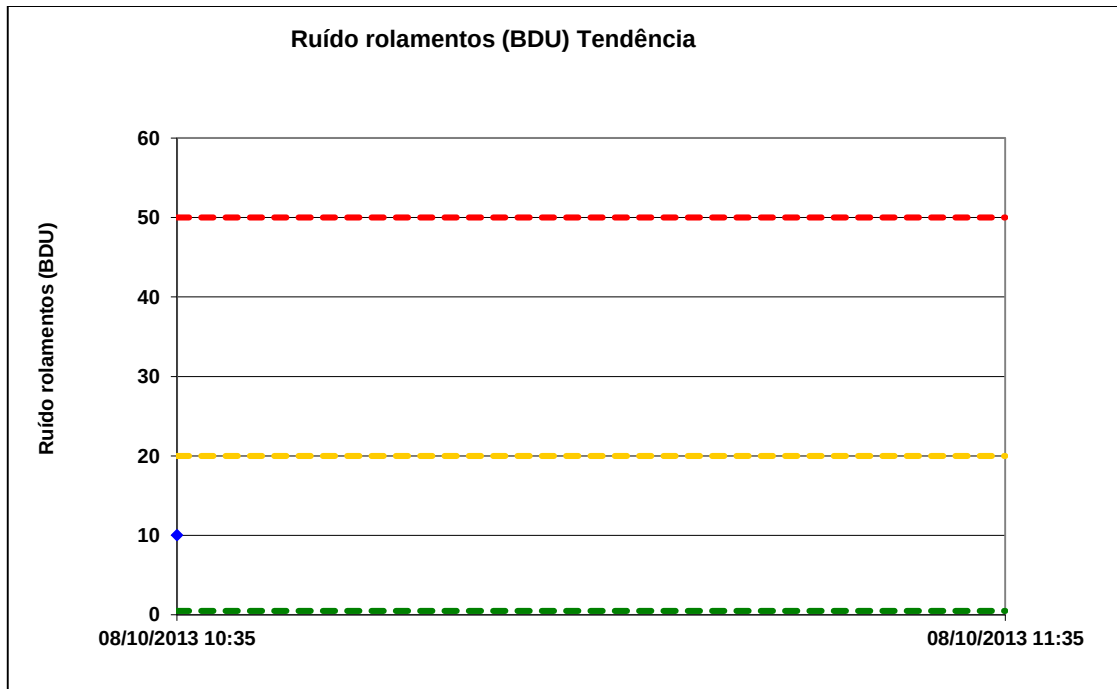




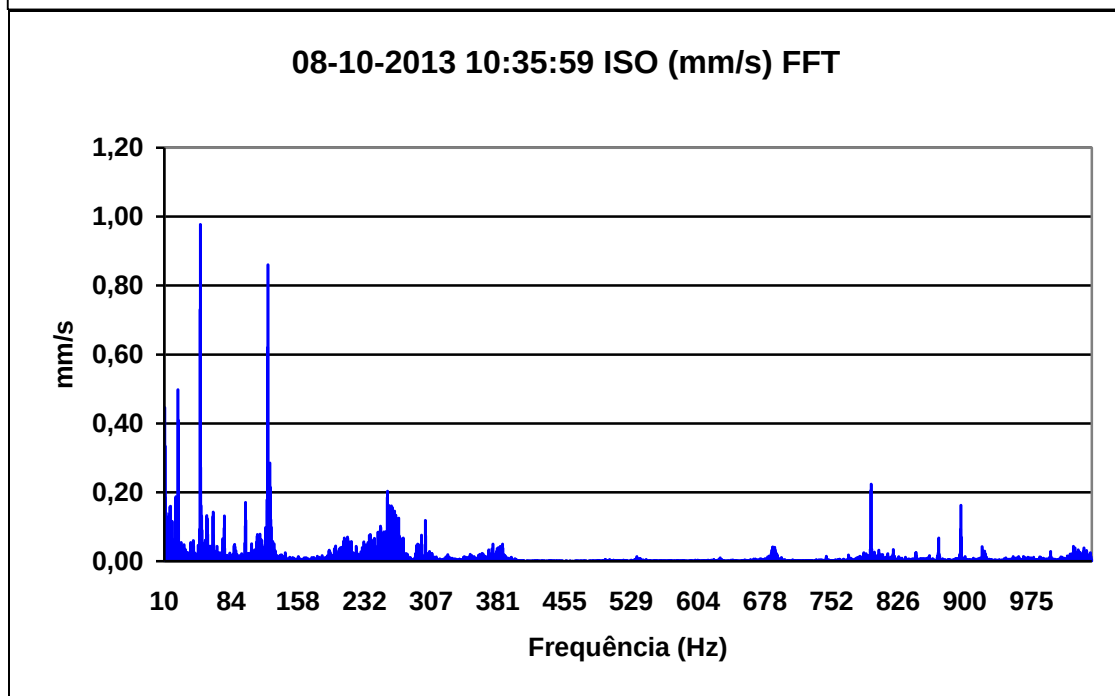
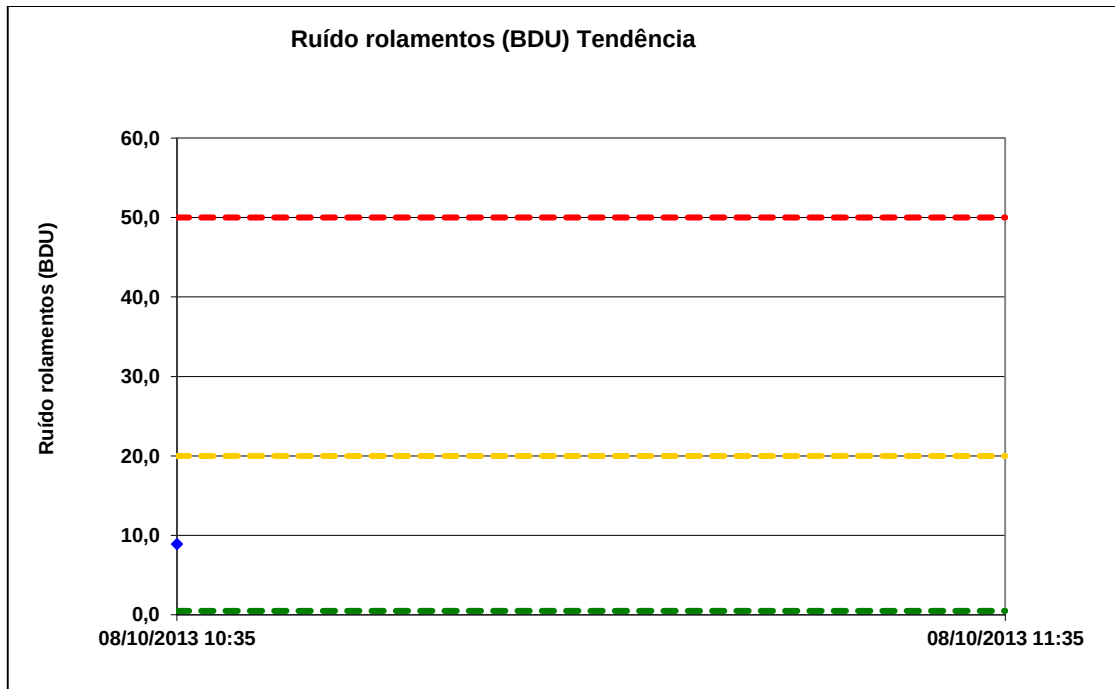
1H-Motor PT1 Horizontal



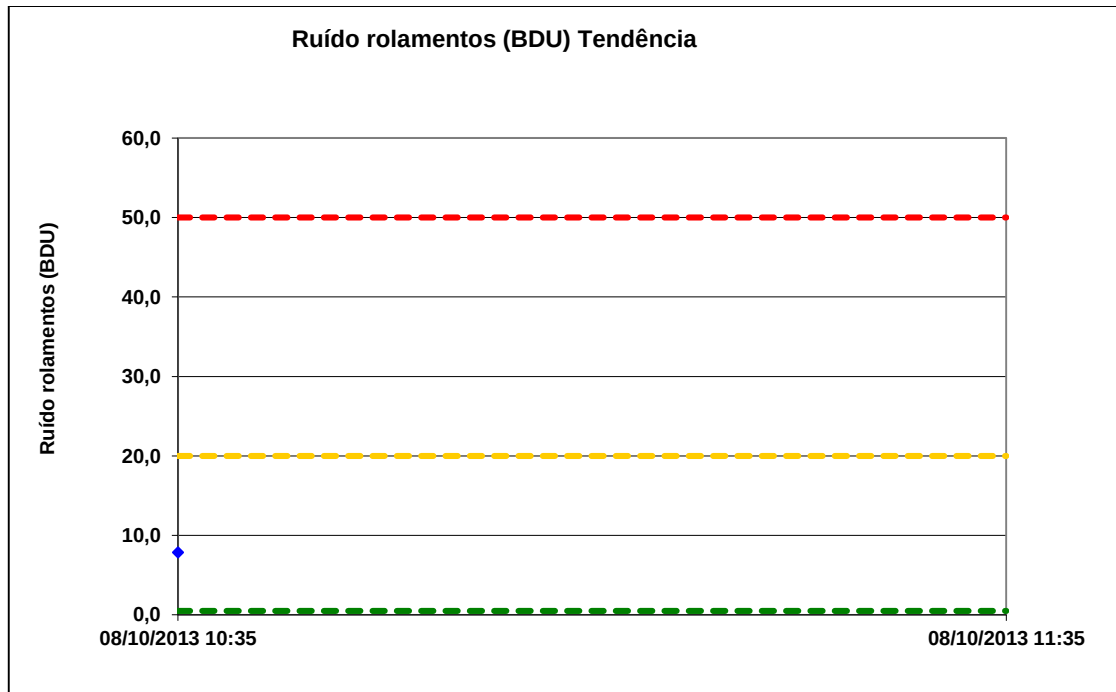
2V-Motor PT2 Vertical



2H-Motor PT2 Horizontal



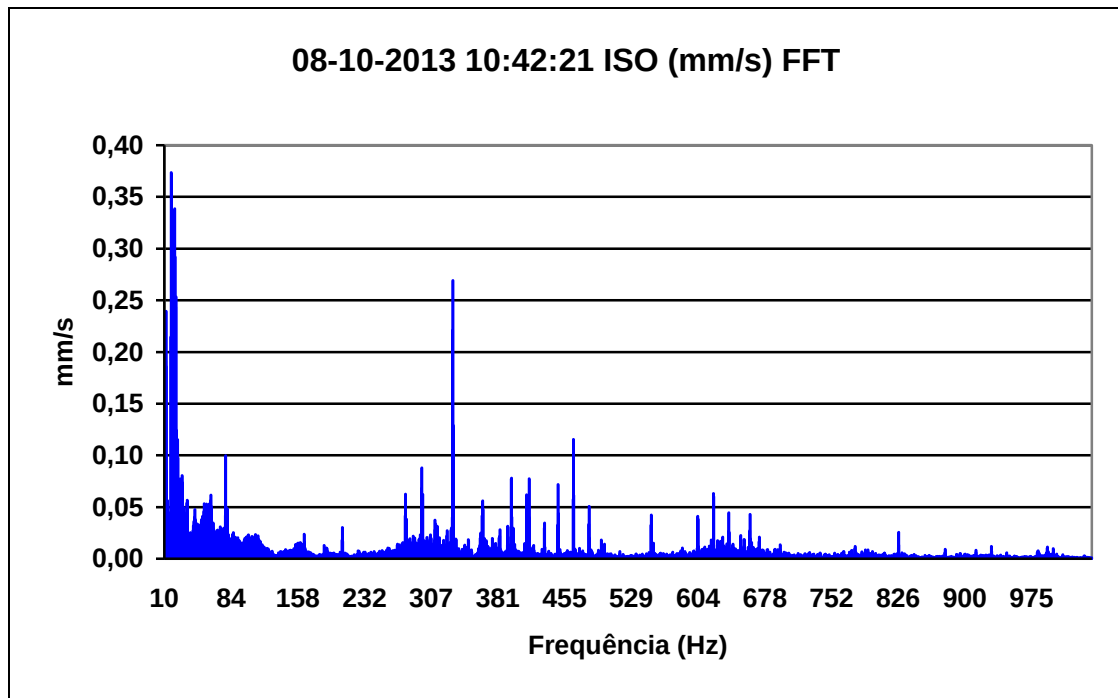
2A-Motor PT2 Axial



Último estado do bem

Moto redutor torre subida

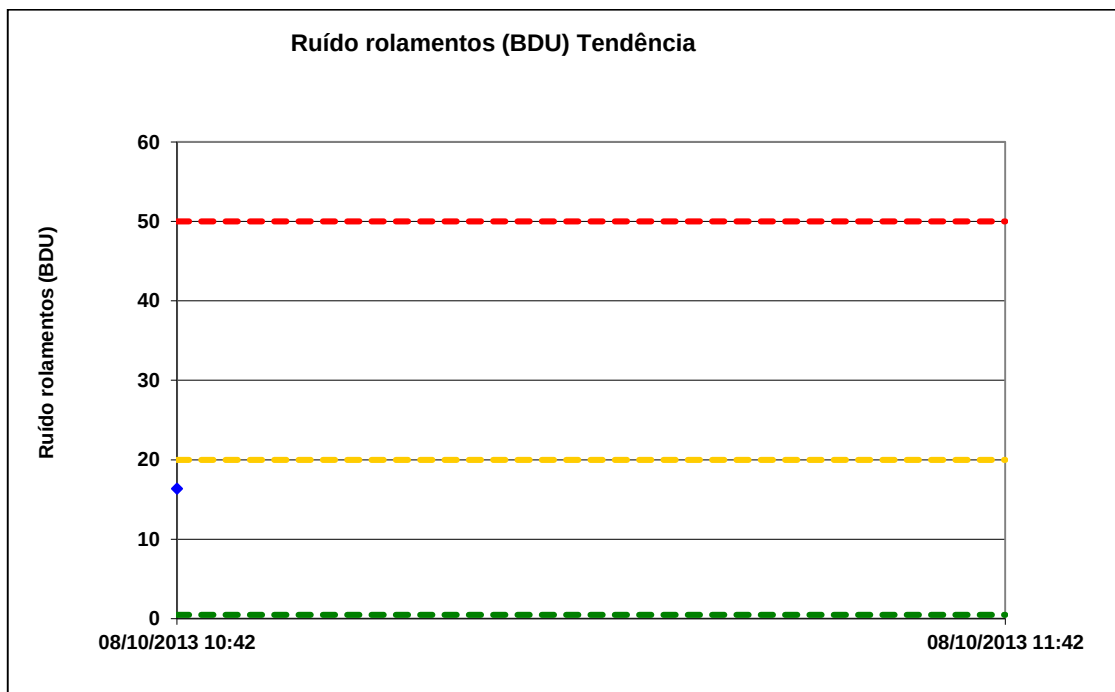
Nome PM	Data/Hora	Estado	ISO (mm/s)	Ruído rolamentos (BDU)	Total (g)
1V-Motor PT1 Vertical	08-10-2013 10:42:21	OK	1.3	16.4	0.2
1H-Motor PT1 Horizontal	08-10-2013 10:42:21	OK	0.8	8.7	0.2
2V-Motor PT2 Vertical	08-10-2013 10:42:21	OK	0.9	14.9	0.2
2H-Motor PT2 Horizontal	08-10-2013 10:42:21	OK	0.6	12.0	0.2
3H-Redutor PT3 Radial	08-10-2013 10:42:21	OK	0.6	19.1	0.2
4H-Redutor PT4 Radial	08-10-2013 10:42:21	OK	0.4	3.2	0.1

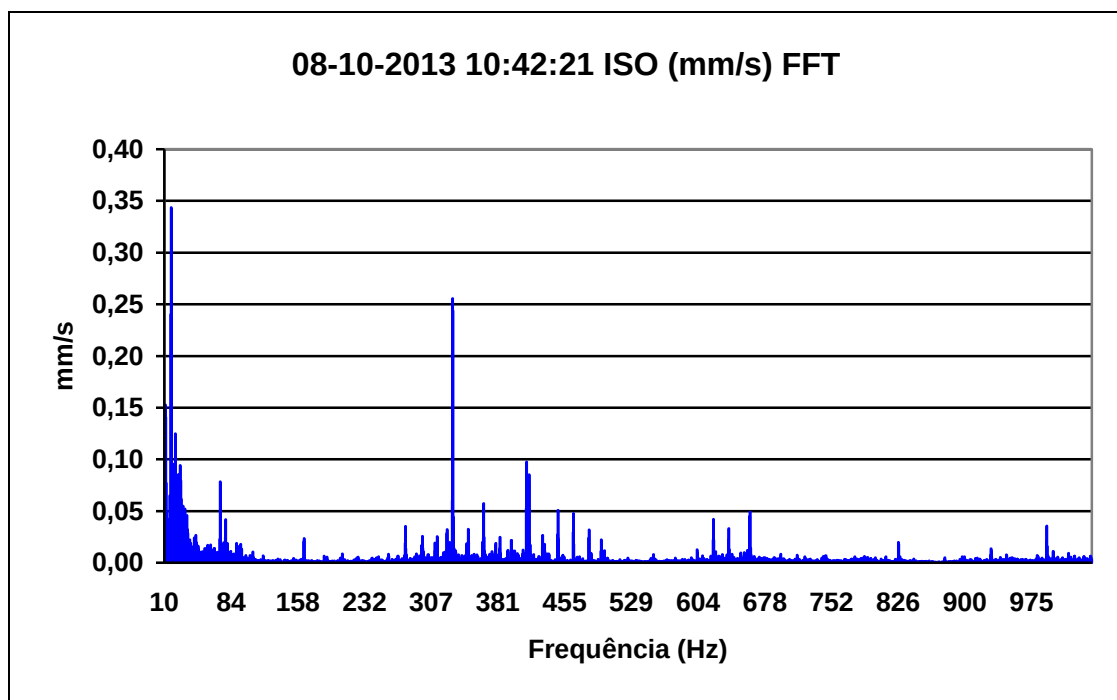


Moto redutor torre subida

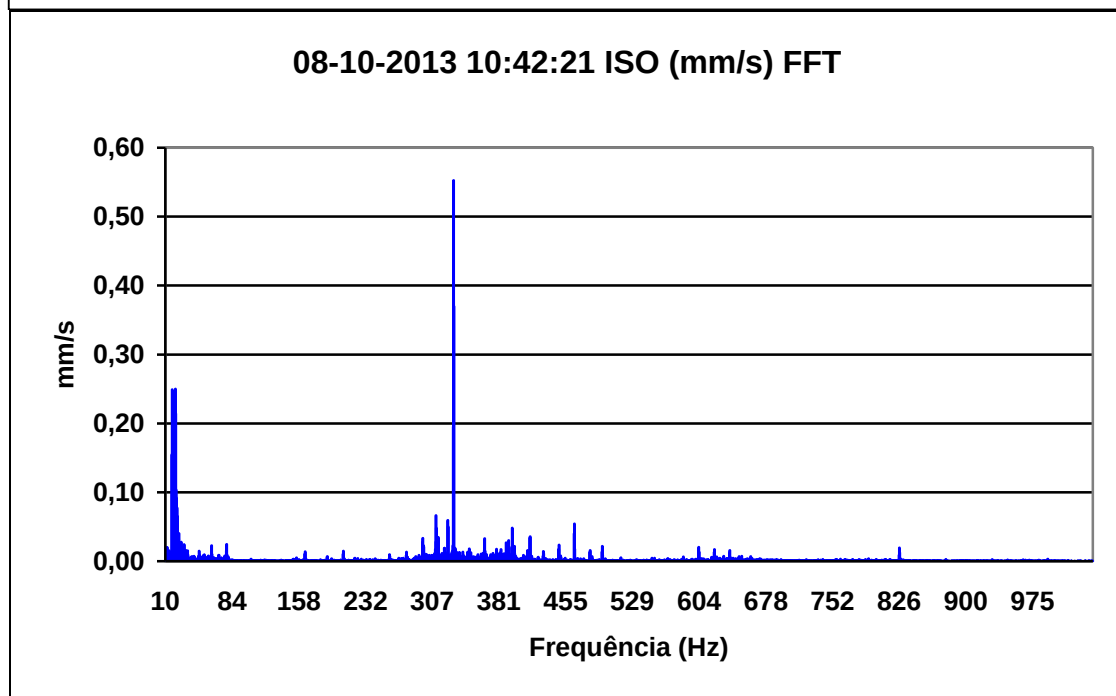
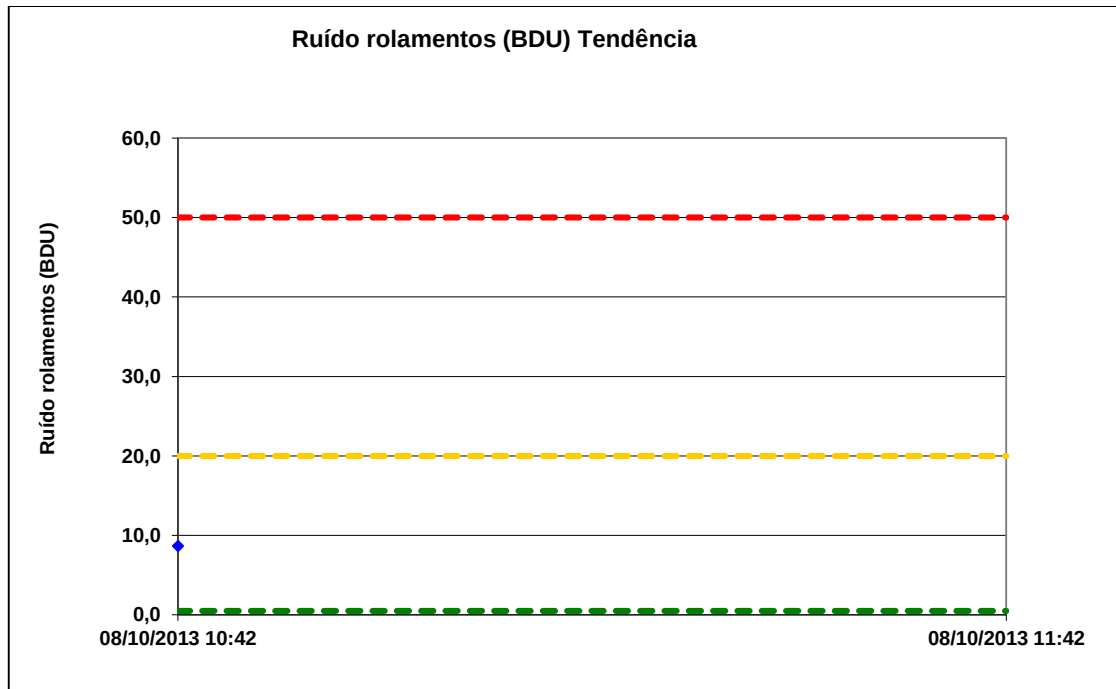
Ruído rolamentos (BDU)

1V-Motor PT1 Vertical

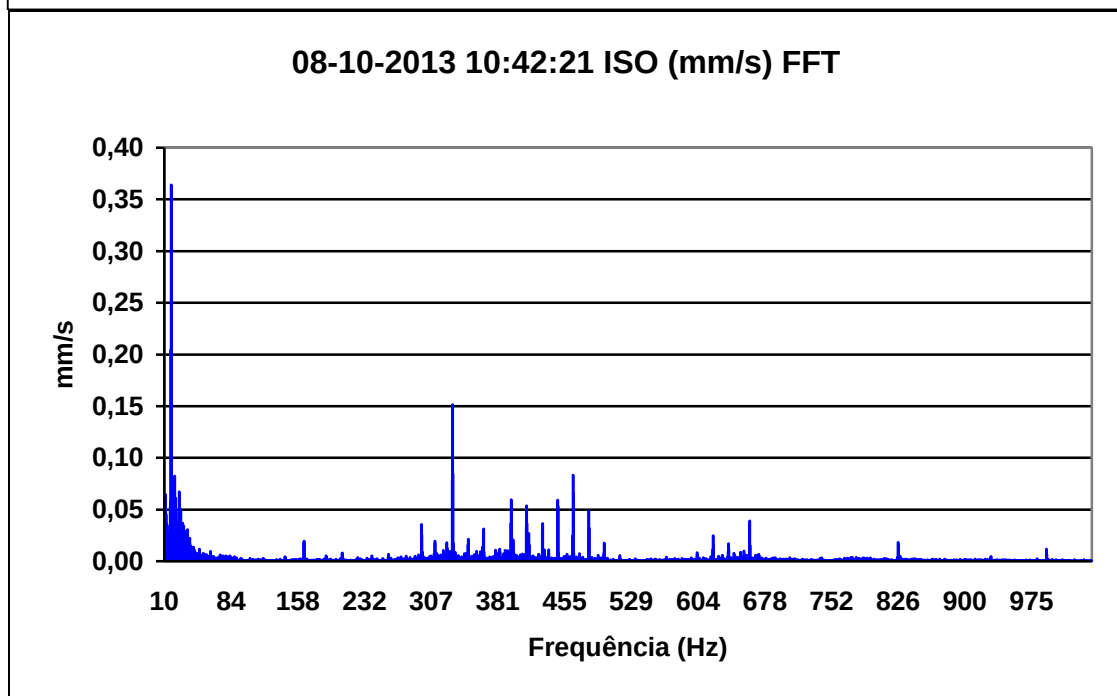
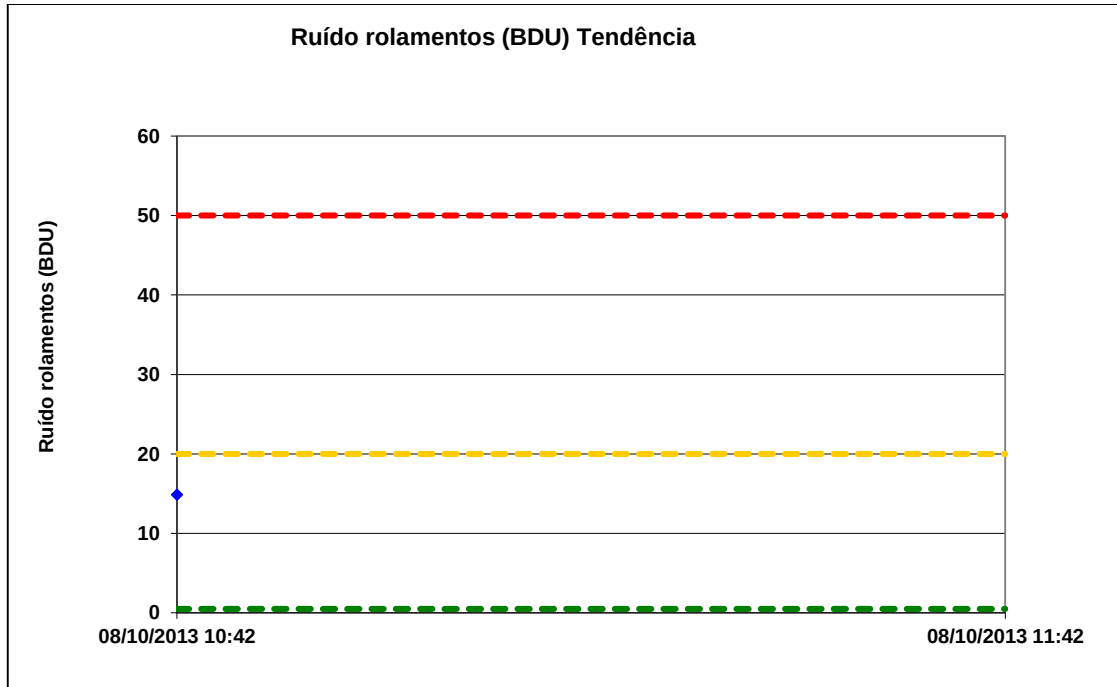




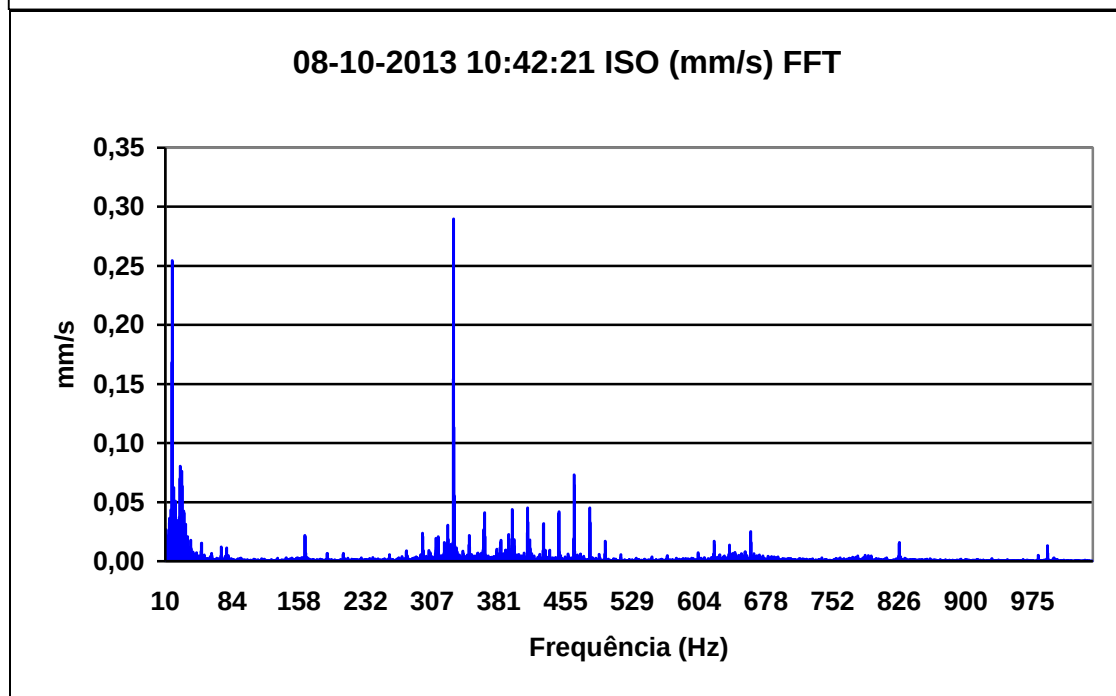
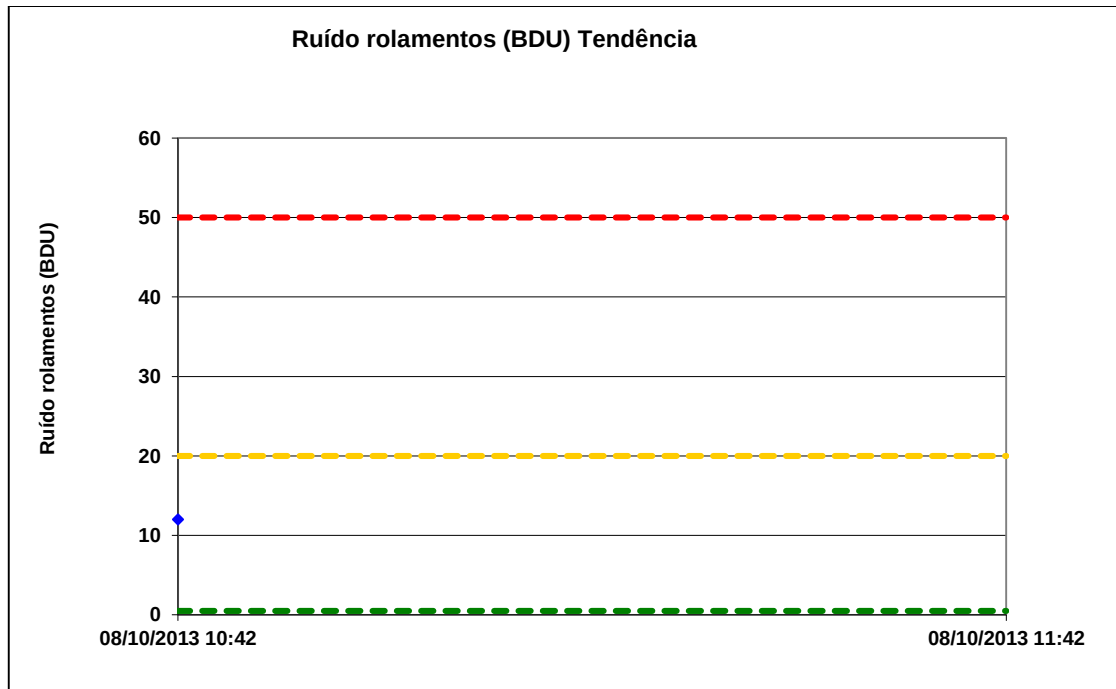
1H-Motor PT1 Horizontal



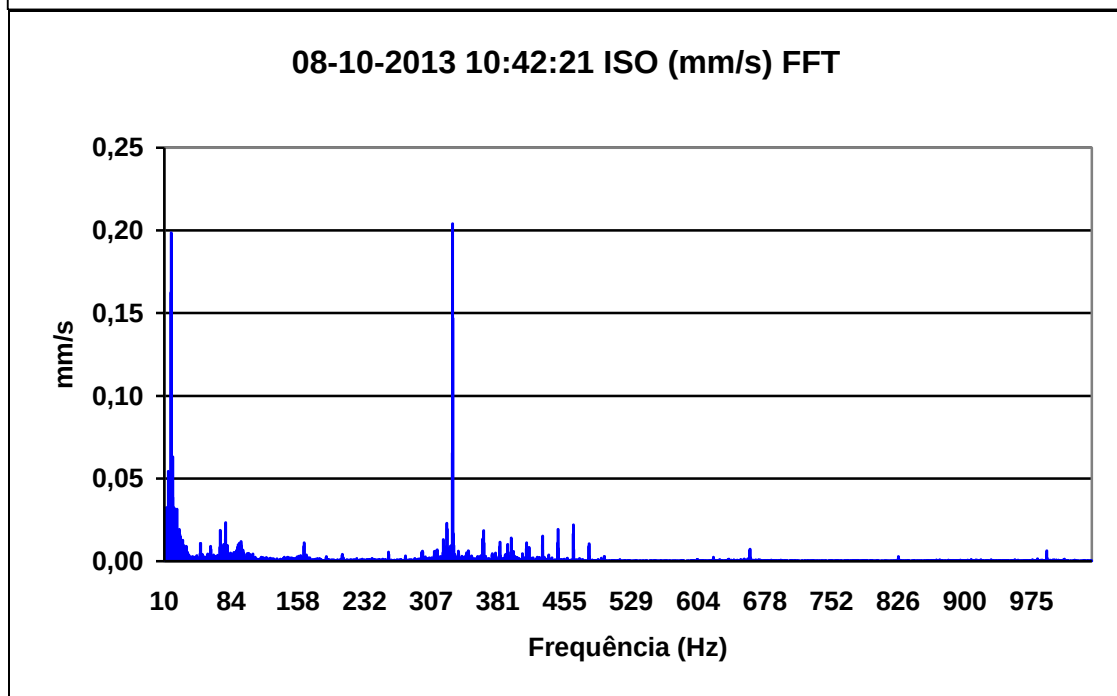
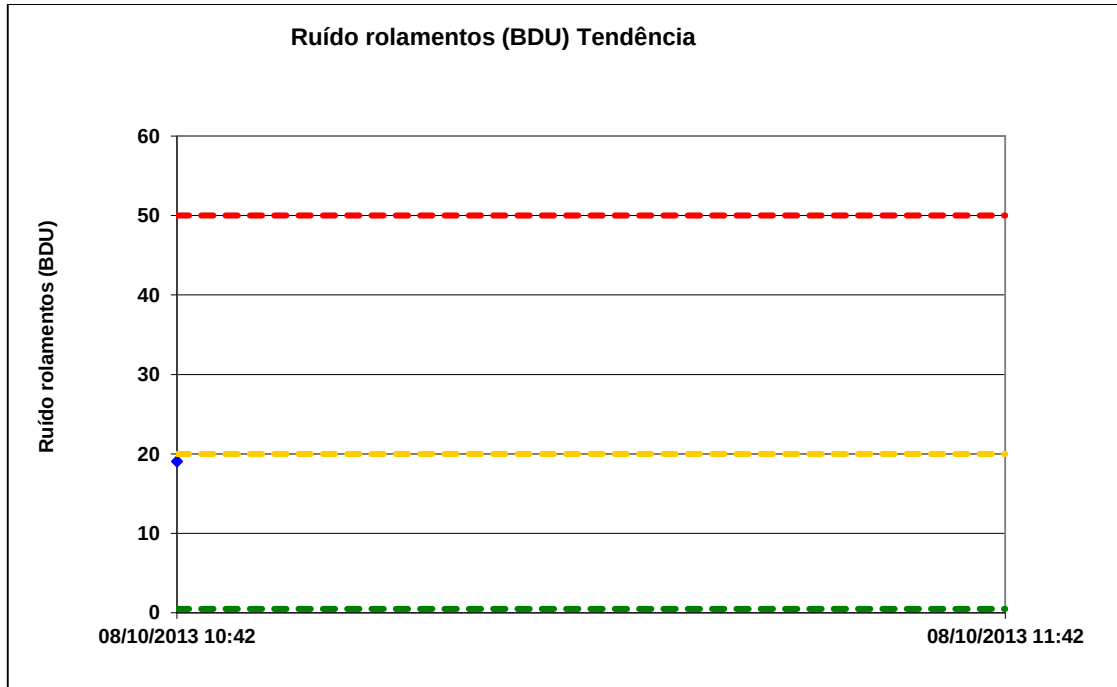
2V-Motor PT2 Vertical



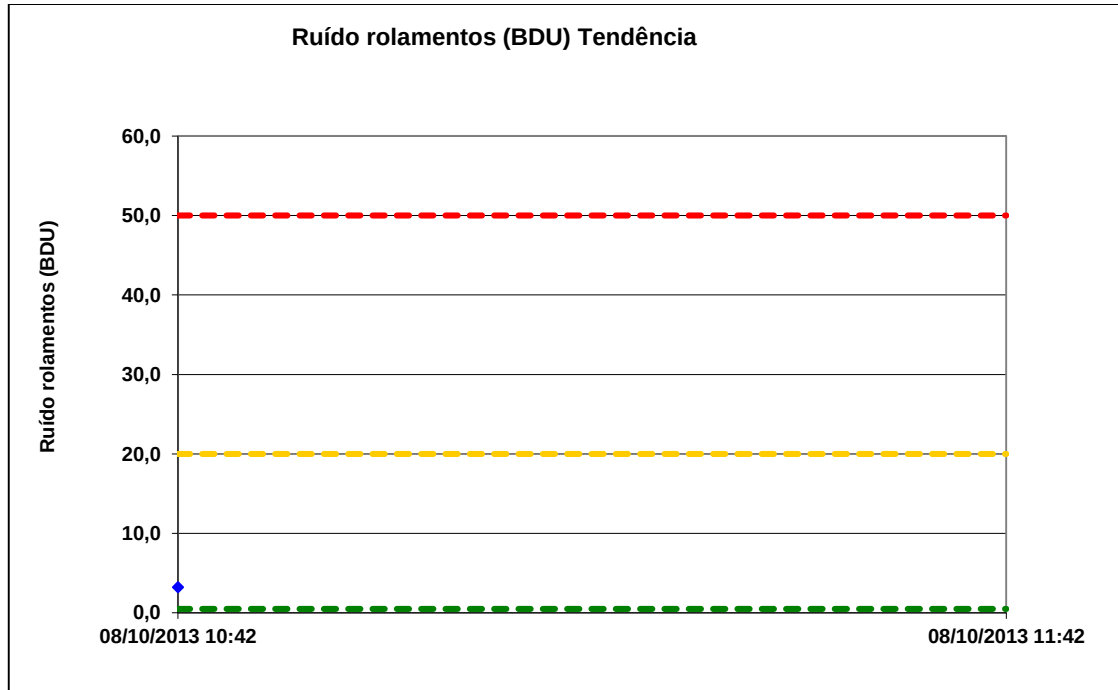
2H-Motor PT2 Horizontal



3H-Redutor PT3 Radial



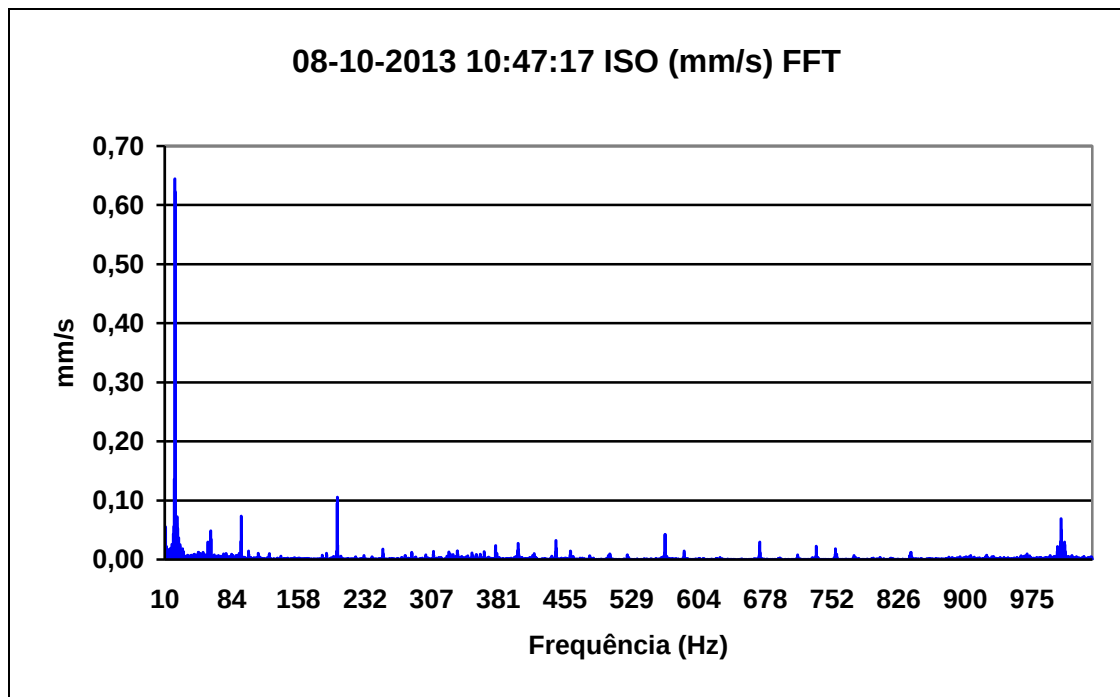
4H-Redutor PT4 Radial



Último estado do bem

Moto redutor torre descid

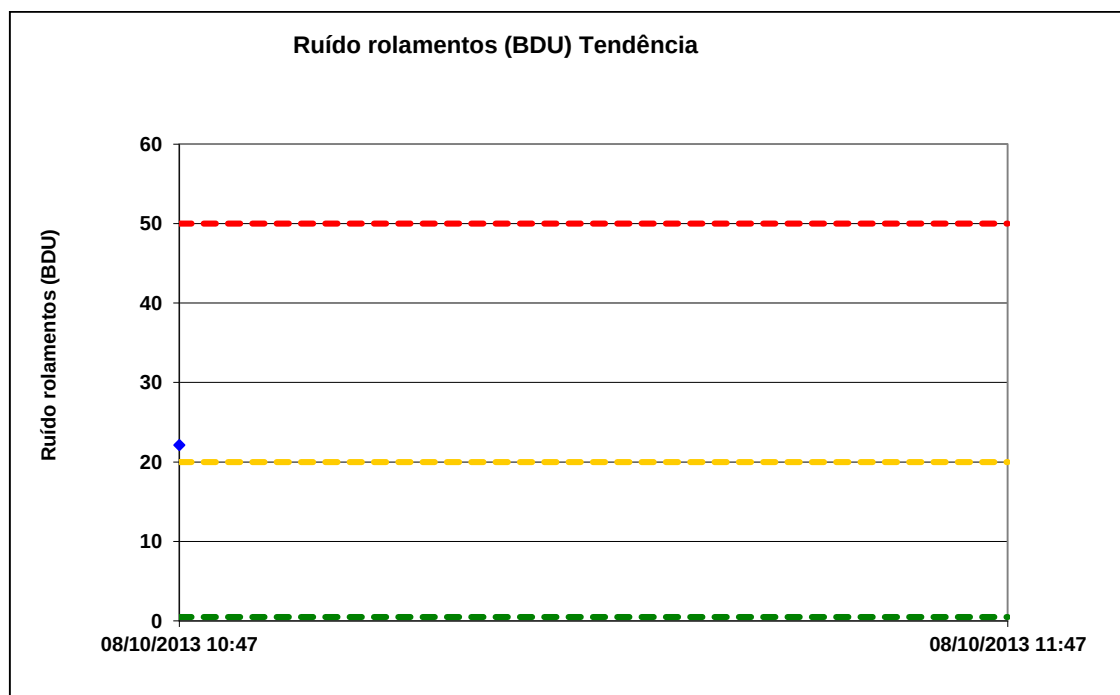
Nome PM	Data/Hora	Estado	ISO (mm/s)	Ruído rolamentos (BDU)	Total (g)
1V-Motor PT1 Vertical	08-10-2013 10:47:17	AVISO	1.0	22.1	0.3
1H-Motor PT1 Horizontal	08-10-2013 10:47:17	OK	0.7	16.6	0.2
2V-Motor PT2 Vertical	08-10-2013 10:47:17	OK	0.7	16.7	0.2
2H-Motor PT2 Horizontal	08-10-2013 10:47:17	OK	0.6	18.6	0.2
3H-Redutor PT3 Radial	08-10-2013 10:47:17	AVISO	0.4	35.7	0.3
4H-Redutor PT4 Radial	08-10-2013 10:47:17	OK	0.4	13.8	0.1



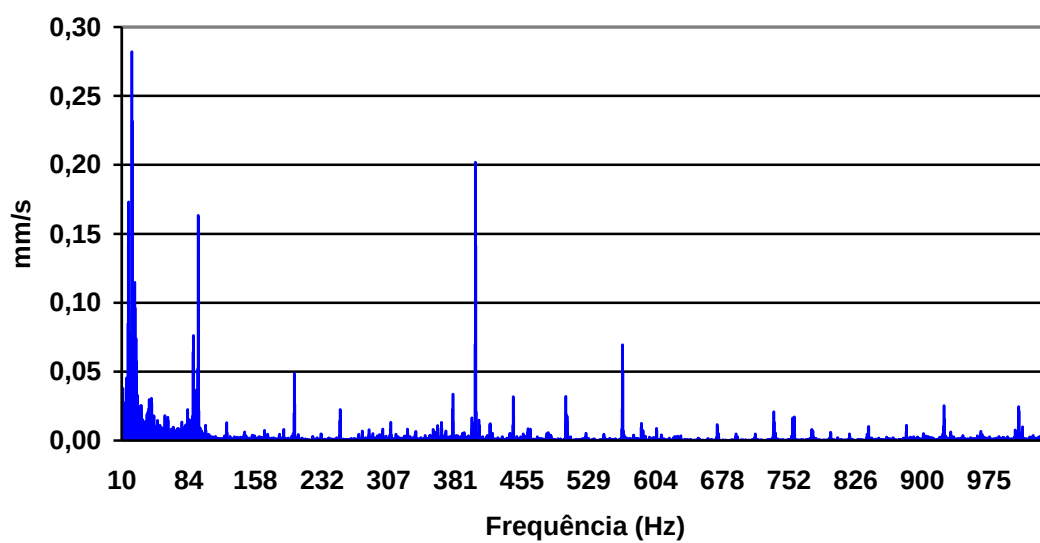
Moto redutor torre descid

Ruído rolamentos (BDU)

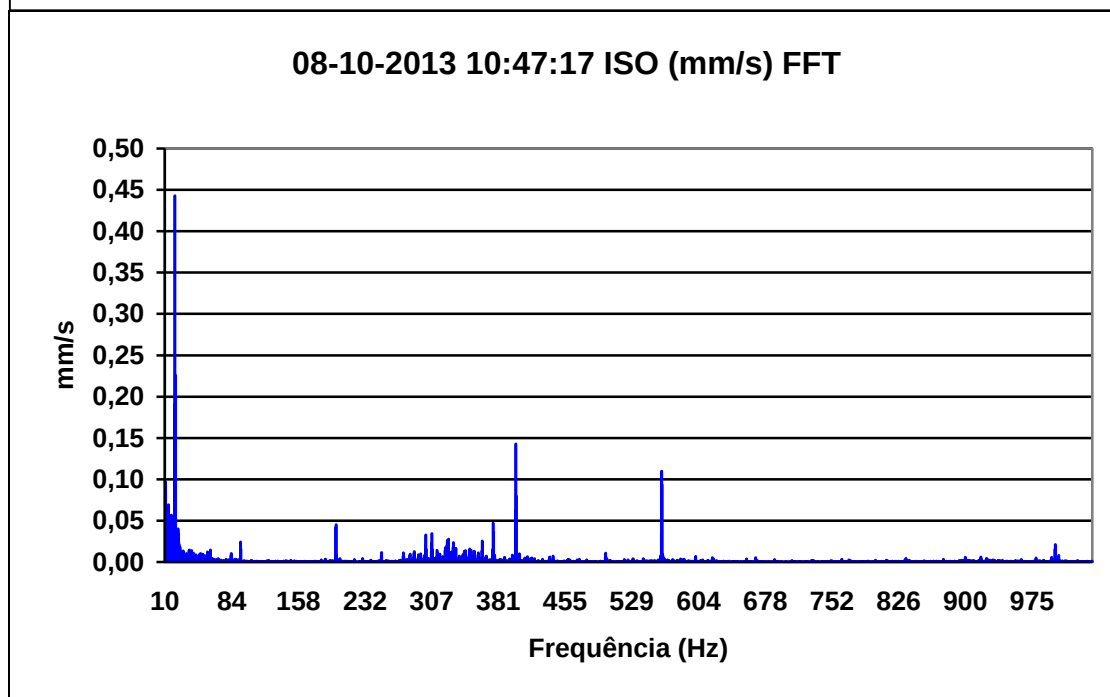
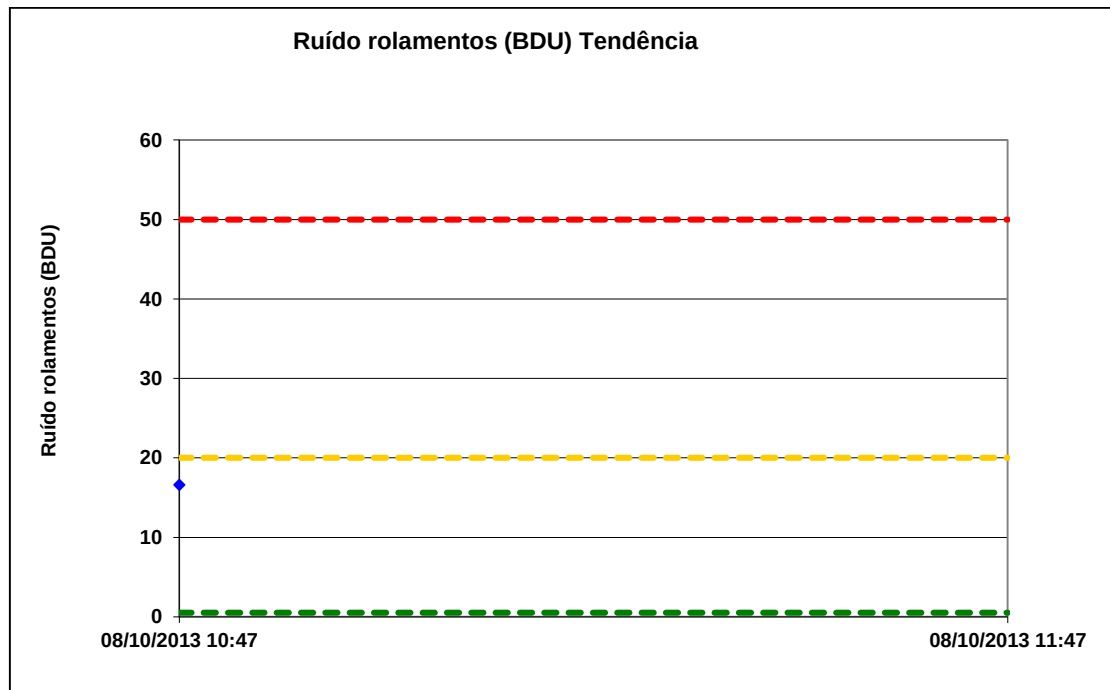
1V-Motor PT1 Vertical



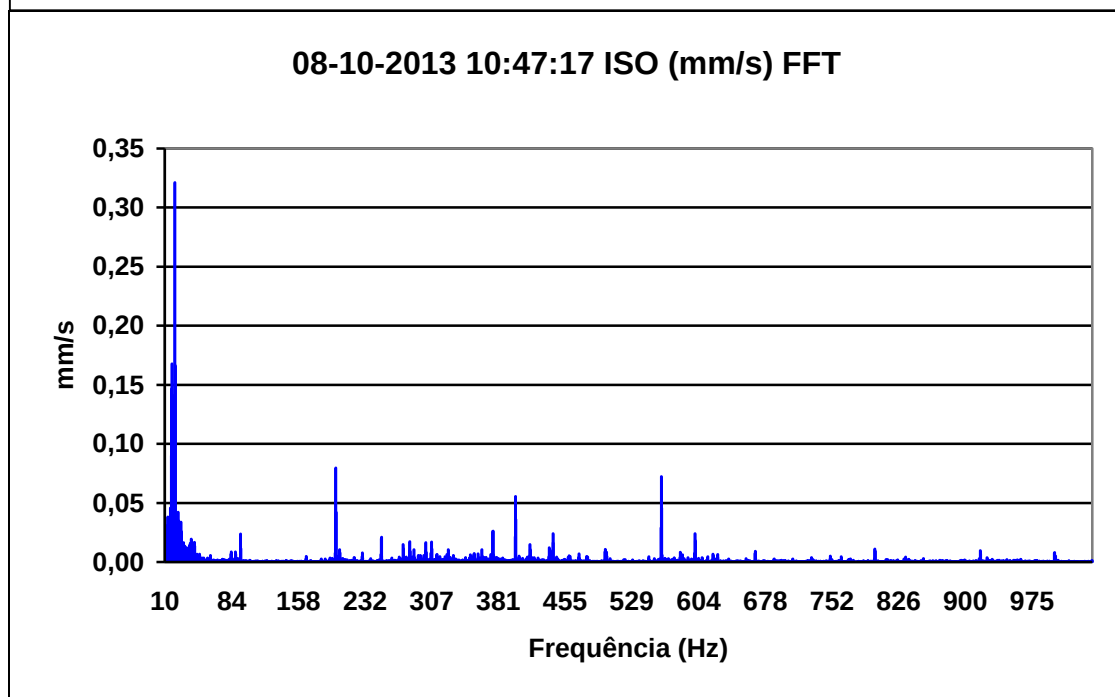
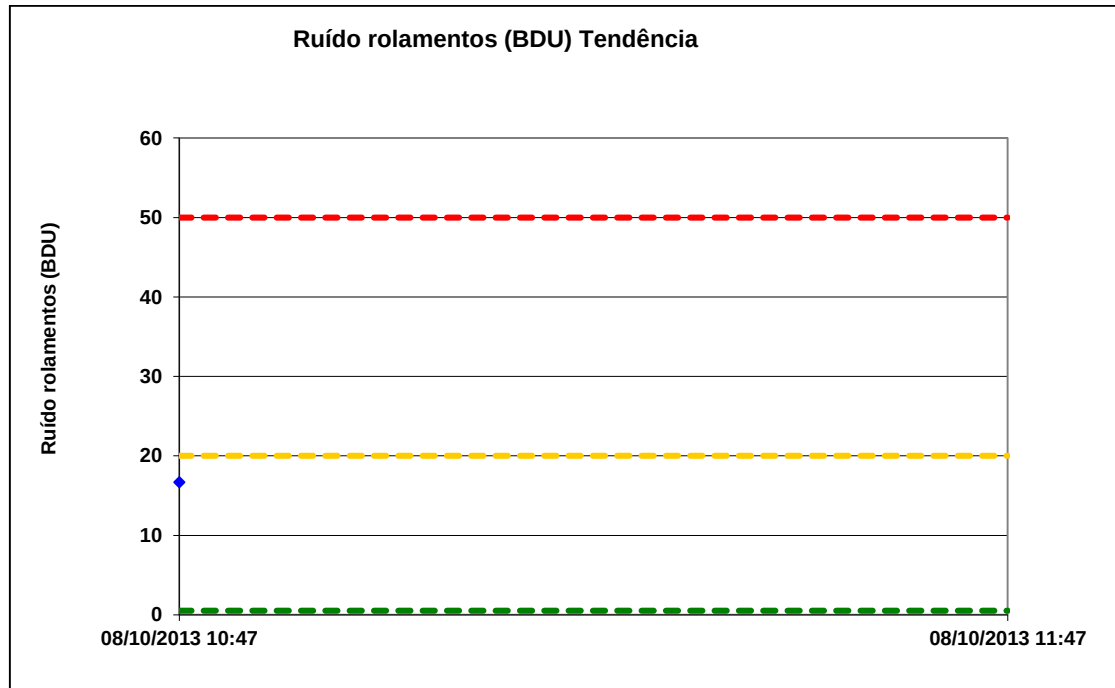
08-10-2013 10:47:17 ISO (mm/s) FFT



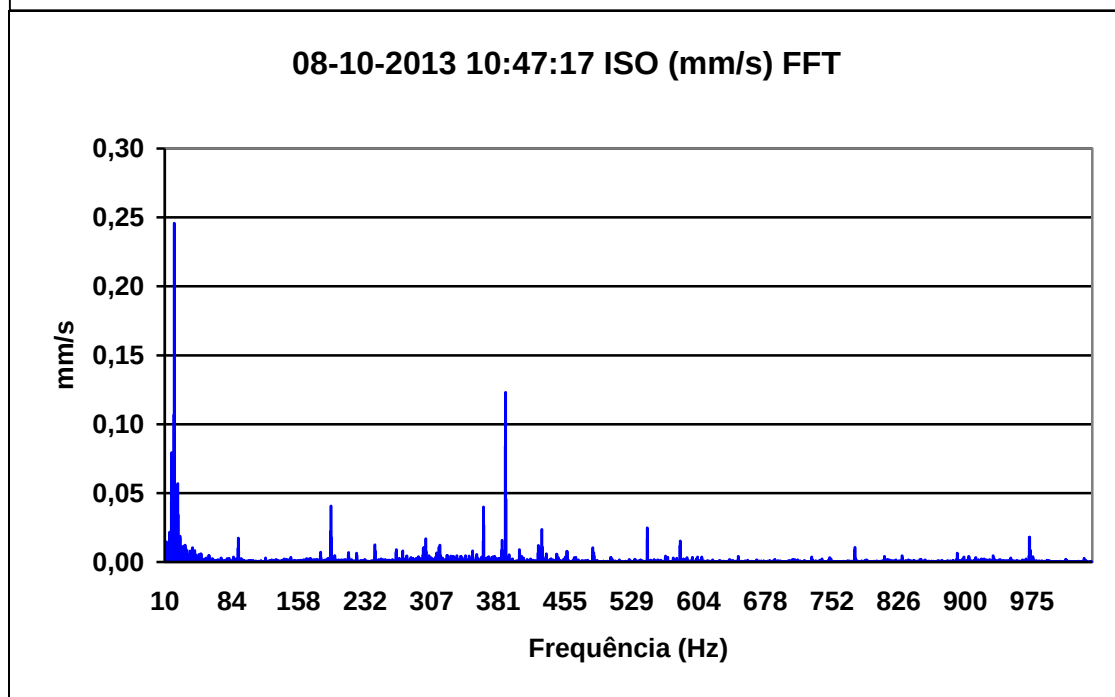
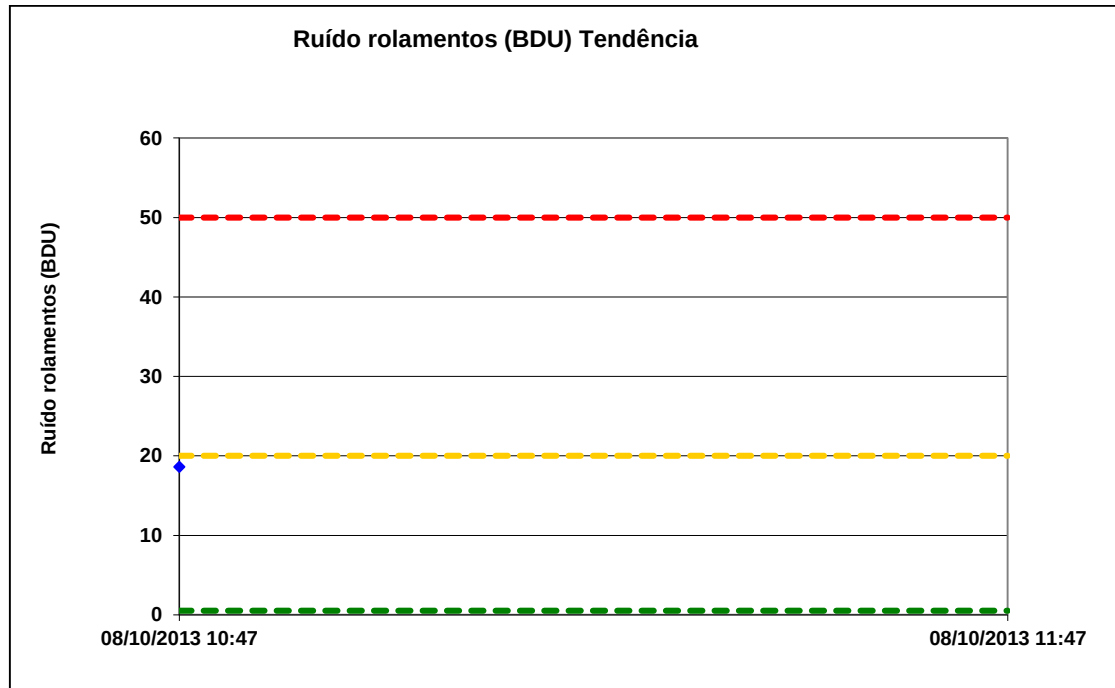
1H-Motor PT1 Horizontal



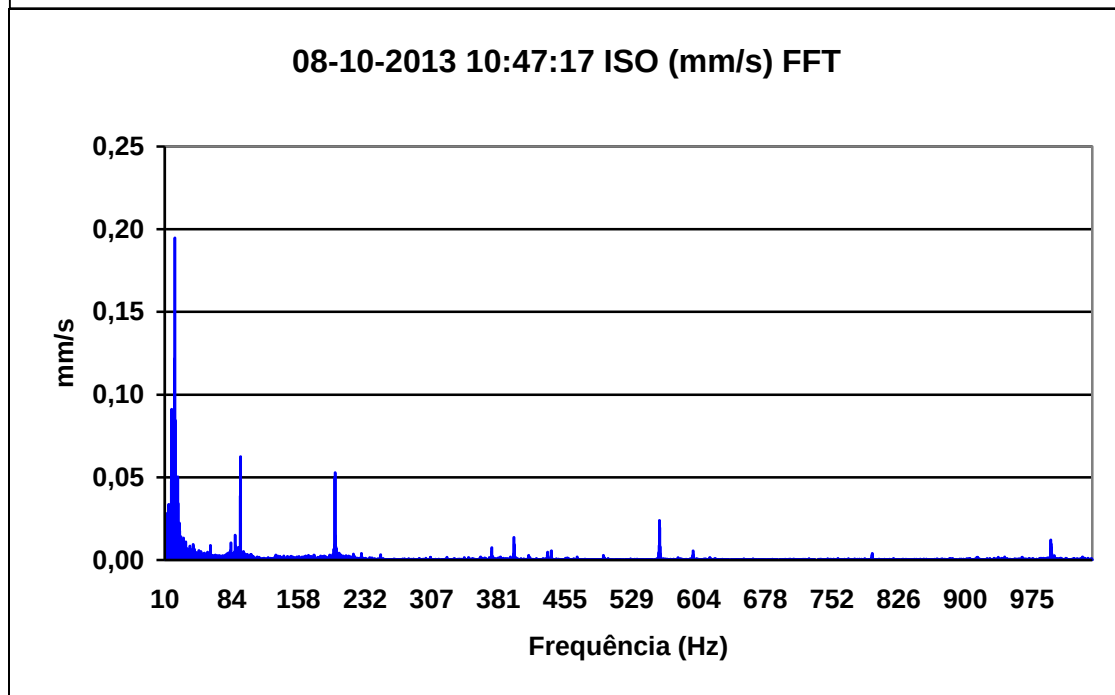
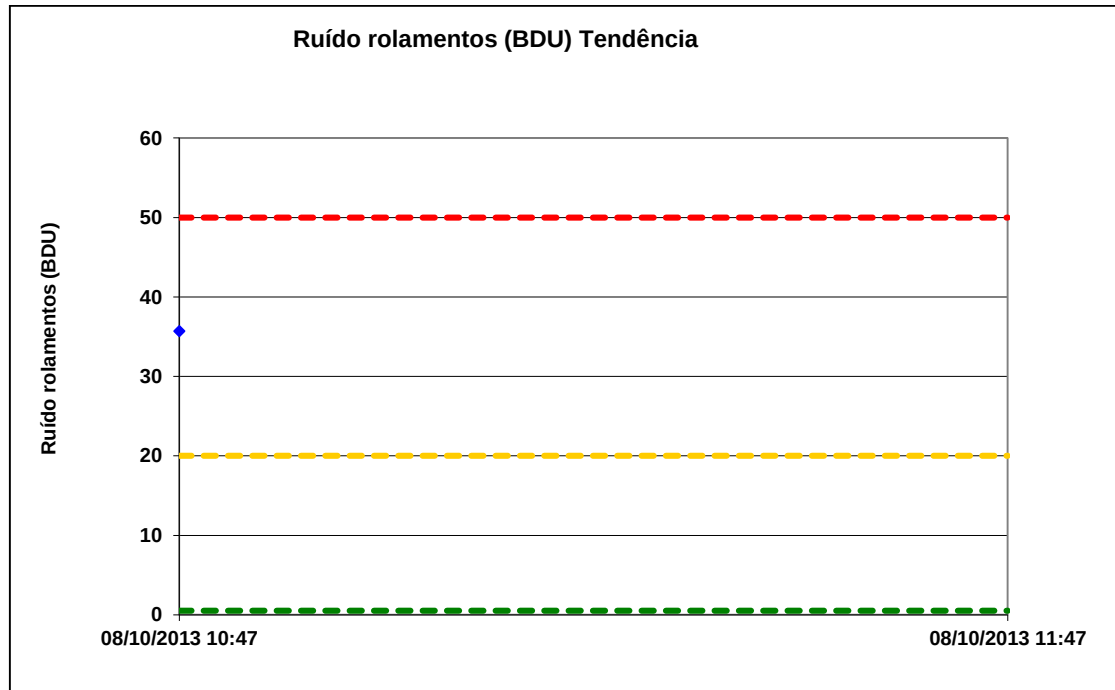
2V-Motor PT2 Vertical



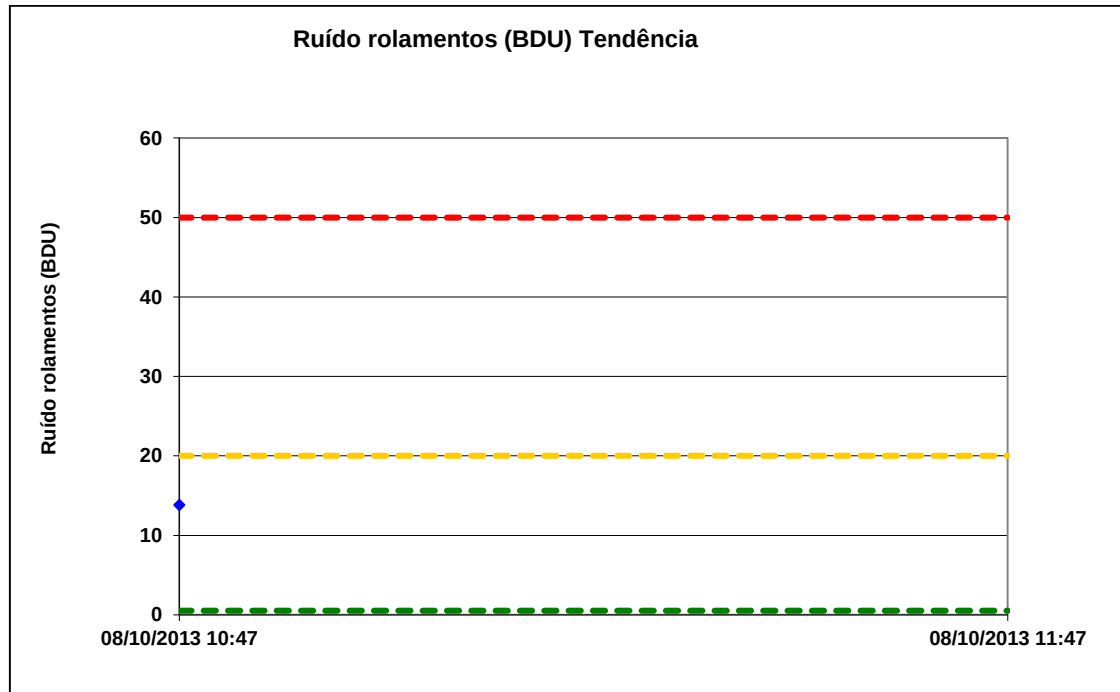
2H-Motor PT2 Horizontal



3H-Redutor PT3 Radial



4H-Redutor PT4 Radial



Anexo III Aparelho de recolha de vibrações

User Guide: Version 7

Pocket VibrA Pro

Vibration Monitoring & Analysis



C-Cubed Limited

**Number Nine, Ardglen Industrial Estate, Whitchurch,
Hampshire, RG28 7BB, United Kingdom.**

Tel: +44 1256 895050 Fax: +44 1256 896486

e-mail: support@c-cubed.co.uk website: www.c-cubed.co.uk

Anexo IV Análises do óleo de lubrificação

Primeiras análises:

detecta

bp lubricant monitoring service



DADOS DO CLIENTE

OLÁ - Indústria de Gelados
Engº Rui Domingues
Stº. Iria de Azóia
Loures
Portugal

DADOS DO EQUIPAMENTO

Código equip.: POD004220004
Zona / Sistema: ~~RD-1558~~
Equipamento / Orgão: Carter Superior - SEW RF77 DRE 132MC4 TH
Marca / Modelo: /
Lubrificante: CASTROL ALPHASYN K 15
Capacidade (l): 3

RESULTADO DA ANÁLISE

	1 - Actual	2	3	4
Referencia:	825291			
Data de Recolha da Amostra:	08/10/2013			
Lubrificante:	CASTROL ALPHASYN K 15			
Tempo de Serviço do Lubrificante (h/km):				
Tempo de Serviço do Equipamento (h/km):				
Muda de lubrificante:	No			
Atestos (l):				
Estado				
Aparência (Adim) (PE-TA.096)	Turvo			
Teor em Água (%) (PE-5022-A6)	< 0.1			
Teor em Água (mg/kg) (ASTM D6304-07 Proc. A)				
Oxidação (ABS/cm) (PE-TA.071)	< 1			
Teor em Água (%) (PE-TA.071)	< 0.1			
TAN (mgr KOH/gr) (ASTM D664-09 Proc. A)	0.22			
Viscosidade a 40°C (cst) (ASTM D445-12)	16.87			
Metais de Desgaste e Contaminação				
Teor em Al (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Pb (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Si (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	2			
Teor em Sn (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Cu (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Fe (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	33			
Teor em Mo (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Ni (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	2			
Partículas				
PQ Index (Adim) (PE-TA.024)	17			

COMENTÁRIO/RECOMENDAÇÃO

A amostra analisada apresenta um elevado teor de partículas de ferro, de dimensão inferior a 5 microns. Os restantes parâmetros são os normais para este produto em serviço.

Atenção



BP Portugal - Lagoas Park Edifício 3 - 2740-266 PORTO SALVO

detecta

bp lubricant monitoring service

**DADOS DO CLIENTE**

OLÁ - Indústria de Gelados
Engº Rui Domingues
Stª. Iria de Azóia
Loures
Portugal

DADOS DO EQUIPAMENTO

Código equip.: POD004220025
Zona / Sistema: Motoredutor RD-1598
Equipamento / Órgão: Carter Inferior - SEW RF77 DRE 132MC4 TH
Marca / Modelo: /
Lubrificante: CASTROL ALPHASYN K 15
Capacidade (l): 33

RESULTADO DA ANÁLISE

	1 - Actual	2	3	4
Referencia:	825289			
Data de Recolha da Amostra:	08/10/2013			
Lubrificante:	CASTROL ALPHASYN K 15			
Tempo de Serviço do Lubrificante (h/km):				
Tempo de Serviço do Equipamento (h/km):				
Muda de lubrificante:	No			
Atestos (l):				
Estado				
Aparência (Adim) (PE-TA 096)	Limpido Escuro			
Teor em Água (%) (PE-6022-A)	< 0.1			
Teor em Água (mg/kg) (ASTM D6304-07 Proc. A)				
Oxidação (ABS/cm) (PE-TA 071)	< 1			
Teor em Água (%) (PE-TA 071)	< 0.1			
TAN (mgr KOH/gr) (ASTM D664-09 Proc. A)	0.22			
Viscosidade a 40°C (cst) (ASTM D445-12)	14.56			
Metais de Desgaste e Contaminação				
Teor em Al (ppm) (ASTM D6185-09 mod)	0			
Teor em Pb (ppm) (ASTM D6185-09 mod)	0			
Teor em Si (ppm) (ASTM D6185-09 mod)	0			
Teor em Sn (ppm) (ASTM D6185-09 mod)	0			
Teor em Cu (ppm) (ASTM D6185-09 mod)	0			
Teor em Fe (ppm) (ASTM D6185-09 mod)	20			
Teor em Mo (ppm) (ASTM D6185-09 mod)	0			
Teor em Ni (ppm) (ASTM D6185-09 mod)	3			
Partículas				
PQ Index (Adim) (PE-TA 024)	17			

COMENTÁRIO/RECOMENDAÇÃO

A amostra analisada apresenta um apreciável teor de partículas de ferro, de dimensão inferior a 5 microns. Os restantes parâmetros são os normais para este produto em serviço.

Atenção



BP Portugal - Lagoas Park Edifício 3 - 2740-266 PORTO SALVO

DADOS DO CLIENTE

OLÁ - Indústria de Gelados
Engº Rui Domingues
Stª. Iria de Azóia
Loures
Portugal

DADOS DO EQUIPAMENTO

Código equip.: POD004220026
Zona / Sistema: Motoredutor - RD-1621
Equipamento / Orgão: Carter Superior - SEW RF77 DRE 132MC4 TH
Marca / Modelo: /
Lubrificante: CASTROL ALPHASYN K 15
Capacidade (l): 3

RESULTADO DA ANÁLISE

	1 - Actual	2	3	4
Referencia: 825288				
Data de Recolha da Amostra: 08/10/2013				
Lubrificante: CASTROL ALPHASYN K 15				
Tempo de Serviço do Lubrificante (h/km):				
Tempo de Serviço do Equipamento (h/km):				
Muda de lubrificante:	No			
Atestos (l):				
Estado				
Aparência (Adim) (PE-TA.096)	Turvo			
Oxidação (ABS/cm) (PE-TA.071)	< 1			
TAN (mgr KOH/gr) (ASTM D664-09 Proc. A)	0.26			
Viscosidade a 40°C (cst) (ASTM D445-12)	24.71			
Teor em Água(KF Vol.) (%) (PE-TA.128)	0.02			
Metais de Desgaste e Contaminação				
Teor em Al (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Cu (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Fe (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	24			
Teor em Mo (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Ni (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	2			
Teor em Pb (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Si (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	8			
Teor em Sn (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Partículas				
PQ Index (Adim) (PE-TA.024)	16			

COMENTÁRIO/RECOMENDAÇÃO

A amostra analisada apresenta uma viscosidade excessivamente elevada para um ISO 15 em serviço, encontrando-se ao nível de um ISO 22. Apreciável teor de partículas de ferro. Recomenda-se a substituição do produto.

Cuidado



DADOS DO CLIENTE

OLÁ - Indústria de Gelados
Engº Rui Domingues
Stª. Iria de Azóia
Loures
Portugal

DADOS DO EQUIPAMENTO

Código equip.: POD004220027
Zona / Sistema: Motoredutor - RD-1621
Equipamento / Órgão: Carter Inferior - SEW RF77 DRE 132MC4 TH
Marca / Modelo: /
Lubrificante: CASTROL ALPHASYN K 15
Capacidade (l): 33

RESULTADO DA ANÁLISE

	1 - Actual	2	3	4
Referencia:	825290			
Data de Recolha da Amostra:	08/10/2013			
Lubrificante:	CASTROL ALPHASYN K 15			
Tempo de Serviço do Lubrificante (h/km):				
Tempo de Serviço do Equipamento (h/km):				
Muda de lubrificante:	No			
Atestos (l):				
Estado				
Aparência (Adim) (PE-TA.096)	Limpido Claro			
Teor em Água (%) (PE-5022-AI)	< 0.1			
Teor em Água (mg/kg) (ASTM D6304-07 Proc. A)				
Oxidação (ABS/cm) (PE-TA.071)	< 1			
Teor em Água (%) (PE-TA.071)	< 0.1			
TAN (mgr KOH/gr) (ASTM D664-09 Proc. A)	0.23			
Viscosidade a 40°C (cst) (ASTM D445-12)	14.86			
Metais de Desgaste e Contaminação				
Teor em Al (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Pb (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Si (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Sn (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Cu (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Fe (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	12			
Teor em Mo (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	0			
Teor em Ni (ppm) (ASTM D5185-09 mod)	2			
Partículas				
PQ Index (Adim) (PE-TA.024)	14			

COMENTÁRIO/RECOMENDAÇÃO

Estado do óleo e níveis de desgaste e contaminação são normais

Normal



Segunda analises do óleo de lubrificação

IT'S MORE THAN JUST OIL. IT'S LIQUID ENGINEERING.



Relatório do Cliente

Normal	
Marginal	
Crítico	

Olá Indústria de Gelados

Descrição Máq.: RD 1598 Carter Superior
Fabricante:
Modelo:
Código: POD004220004
Obra:

Horas Máquina (h): N/A
Top-up(l):
Capacidade(l):
Lubrificante: CASTROL ALPHASYN T15
Lubrificante Horas(h):

Amostra N.º: 507571
Data da Amostra: 12/11/2013
Data da Recolha: 10/01/2014
Data do Relatório: 15/1/2014

RELATÓRIO

Ações de Manutenção relacionadas:
Nenhuma acção de manutenção relatada.

Comentários sobre a condição do lubrificante:
Aspecto visual: cor castanho claro, turvo, e sem matérias estranhas visíveis.
O conteúdo de água não é significativo: 100 ppm.
A viscosidade cinemática a 40°C, 17.44 mm²/s aumentou para um valor superior ao limite especificado pela ISO.
A acidez é considerada normal para esta aplicação: 0.18 mgKOH/g.
Os resultados dos ensaios espectrométricos mostram indícios de 21 ppm de ferro.

Comentários sobre a condição do equipamento:
O índice WPC para uma determinada máquina mantém-se relativamente estável sob condições normais de funcionamento. A monitorização regular permite-nos definir todo o tipo de desgaste para a aplicação. A Concentração de Partículas de Desgaste é 529. Todas as partículas ferrosas encontradas nas análises são mais pequenas do que 15 µm. O tratamento térmico @330°C das partículas de desgaste ferrosas indicam que elas são quase todas ligas de aço pelo facto de elas mostrarem uma cor de tempera azul. Esta amostra contém uma notável concentração de partículas de desgaste não-magnéticas (metal branco). A dimensão máxima de partículas não-magnéticas de desgaste é limitada. Os contaminantes do sistema são maioritariamente partículas cristalinas (areias e poeiras).

Recomendações:
Baseado nos resultados da análise microscópica (contaminantes e partículas não-magnéticas), a condição da máquina deve ser considerada "MARGINAL".
Manter esta unidade sob vigilância. Recomendamos que futuras amostras sejam efectuadas com intervalos mais curtos para acompanhar a possível progressão do desgaste.

BP Portugal - Comércio de Combustíveis e Lubrificantes, S.A.
Este Relatório é exclusivamente destinada ao seu destinatário. Contém informação CONFIDENCIAL, sujeita a segredo profissional ou cuja divulgação é proibida por Lei. Se recebeu este relatório por engano, é informado que a sua leitura, cópia ou uso estão proibidos. Solicitamos-lhe que nos comunique imediatamente por esta mesma via ou para o telefone 213891000 e a destrua.
O correio electrónico via Internet não permite assegurar a confidencialidade das mensagens transmitidas, nem a sua integridade ou recepção completa. Nestes casos, a BP PORTUGAL não assume qualquer responsabilidade. Se o destinatário deste relatório não tiver consentido na utilização do correio electrónico via Internet e na gravação das mensagens, agradecemos que nos dê conhecimento imediatamente.

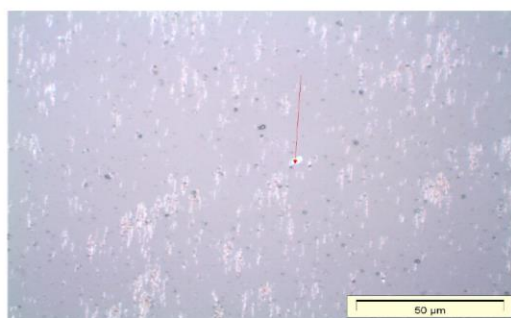
Contacto Predict : Rui Correia - Tlm. +351 968 130 952
Relatório elaborado por :

Página 1 de 2

IT'S MORE THAN JUST OIL. IT'S LIQUID ENGINEERING.



FERROGRAFIA ANALÍTICA		ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA																																																							
<table><tr><td>DL : Partículas Grandes</td><td>377</td></tr><tr><td>DS : Partículas Pequenas</td><td>152</td></tr><tr><td>WPC : Conc. de Partículas de Desgaste</td><td>529</td></tr></table>		DL : Partículas Grandes	377	DS : Partículas Pequenas	152	WPC : Conc. de Partículas de Desgaste	529	<table><tr><th colspan="2">Análise físico-química</th></tr><tr><td>Viscosidade @ 40°C (mm²/s)</td><td>17,44</td></tr><tr><td>Neutralização (mg KOH/g)</td><td>0,18</td></tr><tr><td>Água (ppm)</td><td>100</td></tr><tr><td>Oxidação (A/cm)</td><td>-</td></tr><tr><td>Insolúveis 0,45 µm (mg/100ml)</td><td>-</td></tr></table>		Análise físico-química		Viscosidade @ 40°C (mm²/s)	17,44	Neutralização (mg KOH/g)	0,18	Água (ppm)	100	Oxidação (A/cm)	-	Insolúveis 0,45 µm (mg/100ml)	-																																				
DL : Partículas Grandes	377																																																								
DS : Partículas Pequenas	152																																																								
WPC : Conc. de Partículas de Desgaste	529																																																								
Análise físico-química																																																									
Viscosidade @ 40°C (mm²/s)	17,44																																																								
Neutralização (mg KOH/g)	0,18																																																								
Água (ppm)	100																																																								
Oxidação (A/cm)	-																																																								
Insolúveis 0,45 µm (mg/100ml)	-																																																								
<table><tr><td></td><td></td></tr></table>																																																									
<table><tr><th>TIPO</th><th>Tamanho, µm</th></tr><tr><td colspan="2">FERROSOS</td></tr><tr><td>Desgaste Normal</td><td><15</td></tr><tr><td>Escorregamento severo</td><td></td></tr><tr><td>Corte</td><td></td></tr><tr><td>Fragmentos</td><td></td></tr><tr><td>Lascas, laminas</td><td></td></tr><tr><td>Esferas</td><td></td></tr><tr><td>Óxidos negros</td><td></td></tr><tr><td>Óxidos vermelhos</td><td></td></tr><tr><td>Corrosivos</td><td><1</td></tr><tr><td colspan="2">NÃO-FERROSOS</td></tr><tr><td>Desgaste Normal</td><td><15</td></tr><tr><td>Escorregamento severo</td><td></td></tr><tr><td>Corte</td><td></td></tr><tr><td>Fragmentos</td><td></td></tr><tr><td>Lascas, laminas</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">CONTAMINANTES</td></tr><tr><td>Degradação do lubrificante</td><td></td></tr><tr><td>Areias/sujidade</td><td></td></tr><tr><td>Fibras contaminantes</td><td></td></tr><tr><td>Contaminantes esféricos</td><td><5</td></tr><tr><td>Outras</td><td></td></tr></table>		TIPO	Tamanho, µm	FERROSOS		Desgaste Normal	<15	Escorregamento severo		Corte		Fragmentos		Lascas, laminas		Esferas		Óxidos negros		Óxidos vermelhos		Corrosivos	<1	NÃO-FERROSOS		Desgaste Normal	<15	Escorregamento severo		Corte		Fragmentos		Lascas, laminas		CONTAMINANTES		Degradação do lubrificante		Areias/sujidade		Fibras contaminantes		Contaminantes esféricos	<5	Outras		<table><tr><td>Rating</td><td></td></tr><tr><td>0</td><td>5</td><td>10</td></tr><tr><td colspan="3"></td></tr></table>		Rating		0	5	10			
TIPO	Tamanho, µm																																																								
FERROSOS																																																									
Desgaste Normal	<15																																																								
Escorregamento severo																																																									
Corte																																																									
Fragmentos																																																									
Lascas, laminas																																																									
Esferas																																																									
Óxidos negros																																																									
Óxidos vermelhos																																																									
Corrosivos	<1																																																								
NÃO-FERROSOS																																																									
Desgaste Normal	<15																																																								
Escorregamento severo																																																									
Corte																																																									
Fragmentos																																																									
Lascas, laminas																																																									
CONTAMINANTES																																																									
Degradação do lubrificante																																																									
Areias/sujidade																																																									
Fibras contaminantes																																																									
Contaminantes esféricos	<5																																																								
Outras																																																									
Rating																																																									
0	5	10																																																							



Partícula de desgaste não-magnética

BP Portugal - Comércio de Combustíveis e Lubrificantes, S.A.
 Este Relatório é exclusivamente destinada ao seu destinatário. Contém informação CONFIDENCIAL, sujeita a segredo profissional ou cuja divulgação é proibida por Lei. Se recebeu este relatório por engano, é informado que a sua leitura, cópia ou uso estão proibidos. Solicitamos-lhe que nos comunique imediatamente por esta mesma via ou para o telefone 213891000 e a destrua.
 O correio eletrónico via Internet não permite assegurar a confidencialidade das mensagens transmitidas, nem a sua integridade ou recepção completa. Nestes casos, a BP PORTUGAL não assume qualquer responsabilidade. Se o destinatário deste relatório não tiver consentido na utilização do correio eletrónico via Internet e na gravação das mensagens, agradecemos que nos dê conhecimento imediatamente.

Contacto Predict : Rui Correia - Tlm. +351 968 130 952
 Relatório elaborado por :

Página 2 de 2

IT'S MORE THAN JUST OIL. IT'S LIQUID ENGINEERING.



Relatório do Cliente

Normal	
Marginal	
Crítico	

Olá Indústria de Gelados

Descrição Máq.: RD 1598 Carter Inferior Fabricante: Modelo: Código: POD004220004 Obra:	Horas Máquina (h): N/A Top-up(!): Capacidade(!): Lubrificante: CASTROL ALPHASYN T15 Lubrificante Horas(h):	Amostra N.º: 507572 Data da Amostra: 12/11/2013 Data da Recolha: 10/01/2014 Data do Relatório: 15/1/2014
--	--	---

RELATÓRIO

Ações de Manutenção relatadas:
Nenhuma ação de manutenção relatada.

Comentários sobre a condição do lubrificante:
Aspecto visual: cor amarelo, turvo, e sem matérias estranhas visíveis
O conteúdo de água não é significativo: 97 ppm.
A viscosidade cinemática a 40°C está de acordo com o grau de viscosidade ISO indicado: 15.23 mm²/s.
A acidez é considerada normal para esta aplicação: 0.2 mgKOH/g.
Os resultados dos ensaios espectrométricos mostram indícios de 19 ppm de ferro.

Comentários sobre a condição do equipamento:
O índice WPC para uma determinada máquina mantém-se relativamente estável sob condições normais de funcionamento. A monitorização regular permite-nos definir todo o tipo de desgaste para a aplicação. A Concentração de Partículas de Desgaste é 215. A maioria das partículas magnéticas de desgaste é menor do que 15 µm. O tratamento térmico @330°C indica que as partículas ferrosas nesta amostra são aproximadamente 75% de ferro fundido, pelo facto de elas mostrarem uma cor amarela ou cor de tempera dispersa.
O que pode ser considerado anormal nesta amostra é a presença de partículas não-magnéticas. A dimensão máxima de partículas não-magnéticas é 20 µm. Esta amostra contém uma elevada concentração de contaminantes

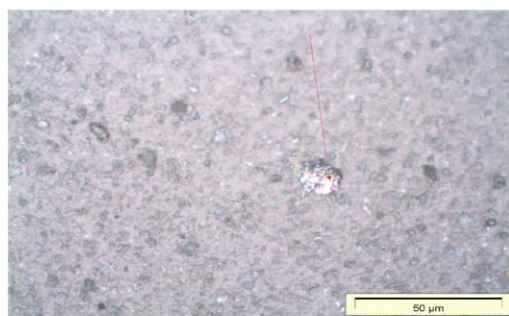
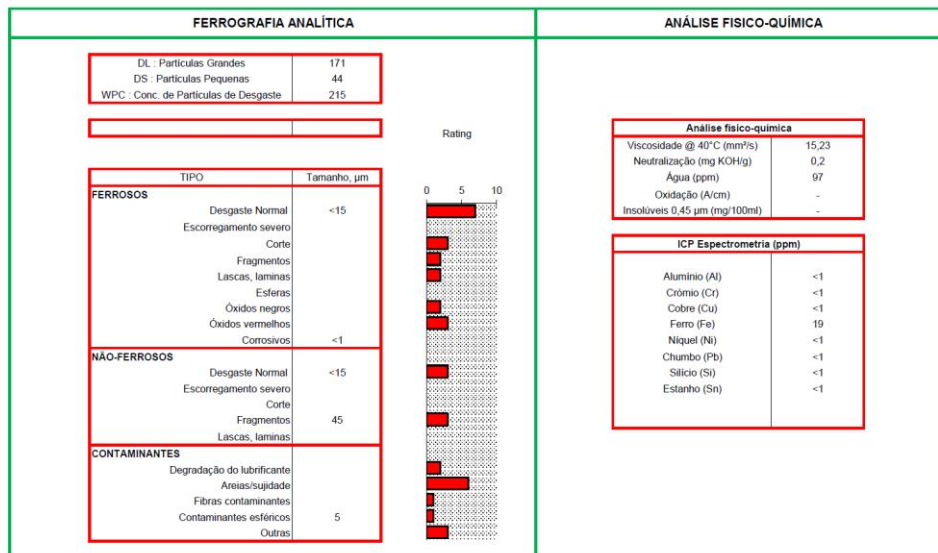
Recomendações:
Baseado nos resultados da análise microscópica (contaminantes e partículas não-magnéticas), a condição da máquina deve ser considerada "MARGINAL".
Manter esta unidade sob apertada vigilância. Recomendamos que futuras amostras sejam efectuadas com intervalos mais curtos para acompanhar a possível progressão do desgaste.

BP Portugal - Comércio de Combustíveis e Lubrificantes, S.A.
Este Relatório é exclusivamente destinada ao seu destinatário. Contém informação CONFIDENCIAL, sujeita a segredo profissional ou cuja divulgação é proibida por Lei. Se recebeu este relatório por engano, é informado que a sua leitura, cópia ou uso estão proibidos. Solicitamos-lhe que nos comunique imediatamente por esta mesma via ou para o telefone 213891000 e a destrua.
O correio electrónico via Internet não permite assegurar a confidencialidade das mensagens transmitidas, nem a sua integridade ou recepção completa. Nestes casos, a BP PORTUGAL não assume qualquer responsabilidade. Se o destinatário deste relatório não tiver consentido na utilização do correio electrónico via Internet e na gravação das mensagens, agradecemos que nos dê conhecimento imediatamente.

Contacto Predict : Rui Correia - Tlm. +351 968 130 952
Relatório elaborado por :

Página 1 de 2

IT'S MORE THAN JUST OIL. IT'S LIQUID ENGINEERING.



Partícula de desgaste não-magnética (fragmento), metal branco

BP Portugal - Comércio de Combustíveis e Lubrificantes, S.A.
 Este Relatório é exclusivamente destinada ao seu destinatário. Contém informação CONFIDENCIAL, sujeita a segredo profissional ou cuja divulgação é proibida por Lei. Se recebeu este relatório por engano, é informado que a sua leitura, cópia ou uso estão proibidos. Solicitamos-lhe que nos comunique imediatamente por esta mesma via ou para o telefone 213891000 e a destrua.
 O correio eletrónico via Internet não permite assegurar a confidencialidade das mensagens transmitidas, nem a sua integridade ou recepção completa. Nestes casos, a BP PORTUGAL não assume qualquer responsabilidade. Se o destinatário deste relatório não tiver consentido na utilização do correio eletrónico via Internet e na gravação das mensagens, agradecemos que nos dê conhecimento imediatamente.

Contacto Predict : Rui Correia - Tlm. +351 968 130 952
 Relatório elaborado por :

Página 2 de 2

IT'S MORE THAN JUST OIL. IT'S LIQUID ENGINEERING.



Relatório do Cliente

Normal	☐
Marginal	☒
Crítico	☐

Olá Indústria de Gelados

Descrição Máq.: 1621 Carter Superior Fabricante: Modelo: Código: POD004220026 Obra:	Horas Máquina (h): N/A Top-up(l): Capacidade(l): Lubrificante: CASTROL ALPHASYN T15 Lubrificante Horas(h): 0	Amostra N.º: 507569 Data da Amostra: 12/11/2013 Data da Recolha: 10/01/2014 Data do Relatório: 14/1/2014
---	--	---

RELATÓRIO

Ações de Manutenção relacionadas:
Nenhuma ação de manutenção relatada.

Comentários sobre a condição do lubrificante:
Aspecto visual: cor castanho claro, turvo, mas com algumas matérias estranhas precipitadas no fundo do frasco.
O conteúdo de água não é significativo: 101 ppm.
A viscosidade cinemática a 40°C, 24.86 mm²/s aumentou para um valor superior ao limite especificado pela ISO.
A acidez é considerada normal para esta aplicação: 0.25 mgKOH/g.
Os resultados da espectrofotometria por plasma não revelam um modo de uso anormal.

Comentários sobre a condição do equipamento:
O índice WPC dá-nos uma concentração de partículas de desgaste através da medição óptica da densidade.
A monitorização regular permite-nos definir todo o tipo de desgaste para a aplicação. O índice WPC, 652, é inaceitável para este tipo de aplicação.
Esta amostra contém principalmente partículas magnéticas de desgaste normal, de dimensão máxima até 15 µm. O tratamento térmico revela que o rácio de partículas aço de baixa / média liga é aproximadamente 80/20.
A quantidade de partículas não-ferrosas não são desprezíveis. A maioria das partículas de desgaste observadas são metal branco. Os contaminantes do sistema são maioritariamente partículas cristalinas (areias e poeiras).

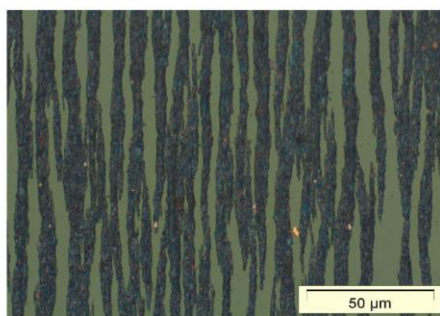
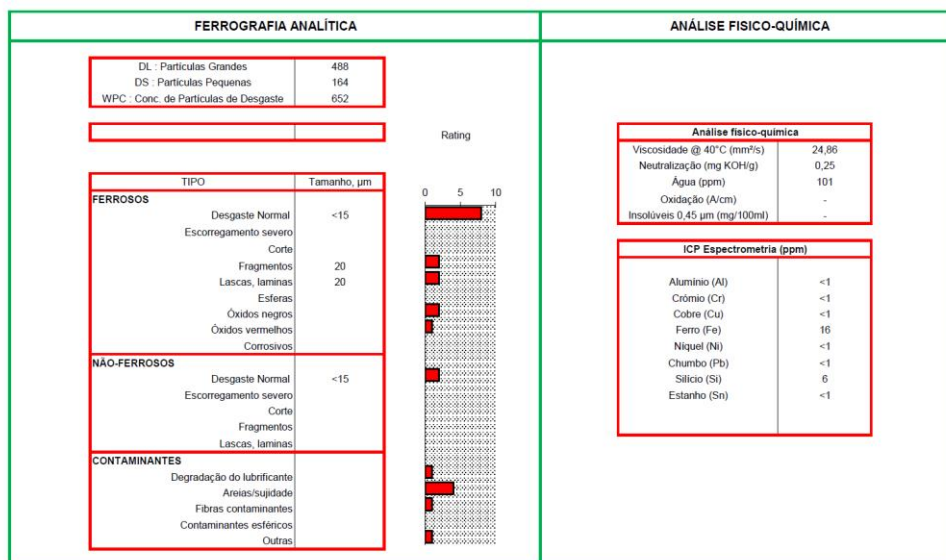
Recomendações:
Baseado nos resultados da ferrografia analítica (análise microscópica) e da viscosidade, a condição da máquina deve ser considerada "MARGINAL".
Informamos que nesta unidade se verificam condições de serviço extremas (temperaturas muito baixas) e que não são as ideais para manter as propriedades do lubrificante até ao fim do intervalo de mudança de óleo estipulado.
Recomendamos monitorizar as temperaturas envolvidas na caixa redutora e que os intervalos de mudança de óleo sejam mais curtos. Recomendamos também que seja implementado um programa regular de análises ao lubrificante para avaliar a sua condição e ajudar na decisão da sua substituição ou não.

BP Portugal - Comércio de Combustíveis e Lubrificantes, S.A.
Este Relatório é exclusivamente destinada ao seu destinatário. Contém informação CONFIDENCIAL, sujeita a segredo profissional ou cuja divulgação é proibida por Lei. Se recebeu este relatório por engano, é informado que a sua leitura, cópia ou uso estão proibidos. Solicitamos-lhe que nos comunique imediatamente por esta mesma via ou para o telefone 213891000 e a destrua.
O correio eletrónico via Internet não permite assegurar a confidencialidade das mensagens transmitidas, nem a sua integridade ou recepção completa. Nestes casos, a BP PORTUGAL não assume qualquer responsabilidade. Se o destinatário deste relatório não tiver consentido na utilização do correio eletrónico via Internet e na gravação das mensagens, agradecemos que nos dê conhecimento imediatamente.

Contacto Predict : Rui Correia - Tlm. +351 968 130 952
Relatório elaborado por :

Página 1 de 2

IT'S MORE THAN JUST OIL. IT'S LIQUID ENGINEERING.



Partículas magnéticas (<15µm)
Partículas não-magnéticas (<15µm)

BP Portugal - Comércio de Combustíveis e Lubrificantes, S.A.
Este Relatório é exclusivamente destinada ao seu destinatário. Contém informação CONFIDENCIAL, sujeita a segredo profissional ou cuja divulgação é proibida por Lei. Se recebeu este relatório por engano, é informado que a sua leitura, cópia ou uso estão proibidos. Solicitamos-lhe que nos comunique imediatamente por esta mesma via ou para o telefone 213891000 e a destrua.
O correio eletrónico via Internet não permite assegurar a confidencialidade das mensagens transmitidas, nem a sua integridade e ou recepção completa. Nestes casos, a BP PORTUGAL não assume qualquer responsabilidade. Se o destinatário deste relatório não tiver consentido na utilização do correio eletrónico via Internet e na gravação das mensagens, agradecemos que nos dê conhecimento imediatamente.

Contacto Predict : Rui Correia - Tlm. +351 968 130 952
Relatório elaborado por :

Página 2 de 2

IT'S MORE THAN JUST OIL. IT'S LIQUID ENGINEERING.



Relatório do Cliente

Normal	☐
Marginal	☒
Crítico	☐

Olá Indústria de Gelados

Descrição Máq.: 1621 Carter Inferior
Fabricante:
Modelo:
Código: POD004220027
Obra:

Horas Máquina (h): N/A
Top-up(l):
Capacidade(l):
Lubrificante: CASTROL ALPHASYN T15
Lubrificante Horas(h): 0

Amostra N.º: 507570
Data da Amostra: 12/11/2013
Data da Recolha: 10/01/2014
Data do Relatório: 14/1/2014

RELATÓRIO

Ações de Manutenção relatadas:
Nenhuma acção de manutenção relatada.

Comentários sobre a condição do lubrificante:

Aspecto visual: cor castanho claro, turvo, mas com algumas matérias estranhas precipitadas no fundo do frasco.
O conteúdo de água não é significativo: 133 ppm.
A viscosidade cinemática a 40°C, 15.69 mm²/s está de acordo com o grau de viscosidade ISO indicado.
A acidez é considerada normal para esta aplicação: 0.20 mgKOH/g.
Os resultados da espectrofotometria por plasma não revelam um modo de uso anormal.

Comentários sobre a condição do equipamento:

O índice WPC dá-nos uma concentração de partículas de desgaste através da medição óptica da densidade.
A monitorização regular permite-nos definir todo o tipo de desgaste para a aplicação. O índice WPC é 413.
Esta amostra contém principalmente partículas magnéticas de desgaste normal, de dimensão máxima até 15 µm. O tratamento térmico revela que o rácio de partículas aço de baixa / média liga é aproximadamente 70/30. Foram observadas muitas aparas magnéticas (max. 40µm).
Esta amostra contém muitas partículas de ferrugem.
A quantidade de partículas não-ferrosas não são desprezíveis. A maioria das partículas de desgaste observadas são metal branco e poucas partículas de liga de cobre.
O sistema contém mais partículas contaminantes que frasco 1 (507569), nomeadamente partículas cristalinas (areias e poeiras), produtos da degradação do óleo e polímeros.

Recomendações:

Baseando a análise nos resultados obtidos, a condição da máquina deve ser considerada "MARGINAL" devido há presença moderada de partículas contaminantes metálicas, cristalinas e também partículas resultantes da degradação do óleo (vernizes, lamas, etc.) e também partículas de ferrugem.
Informamos que nesta unidade se verificam condições de serviço extremas (temperaturas muito baixas) e que não são as ideais para manter as propriedades do lubrificante até ao fim do intervalo de mudança de óleo estipulado.
Recomendamos monitorizar as temperaturas envolvidas na caixa redutora e que os intervalos de mudança de óleo sejam mais curtos. Recomendamos também que seja implementado um programa regular de análises ao lubrificante para avaliar a sua condição, nomeadamente o grau de contaminação e ajudar na decisão da sua substituição ou não.

BP Portugal - Comércio de Combustíveis e Lubrificantes, S.A.
Este Relatório é exclusivamente destinada ao seu destinatário. Contém informação CONFIDENCIAL, sujeita a segredo profissional ou cuja divulgação é proibida por Lei. Se recebeu este relatório por engano, é informado que a sua leitura, cópia ou uso estão proibidos. Solicitamos-lhe que nos comunique imediatamente por esta mesma via ou para o telefone 213891000 e a destrua.
O correio electrónico via Internet não permite assegurar a confidencialidade das mensagens transmitidas, nem a sua integridade e ou recepção completa. Nestes casos, a BP PORTUGAL não assume qualquer responsabilidade. Se o destinatário deste relatório não tiver consentido na utilização do correio electrónico via Internet e na gravação das mensagens, agradecemos que nos dê conhecimento imediatamente.

Contacto Predict : Rui Correia - Tlm. +351 968 130 952
Relatório elaborado por :

Página 1 de 2

IT'S MORE THAN JUST OIL. IT'S LIQUID ENGINEERING.

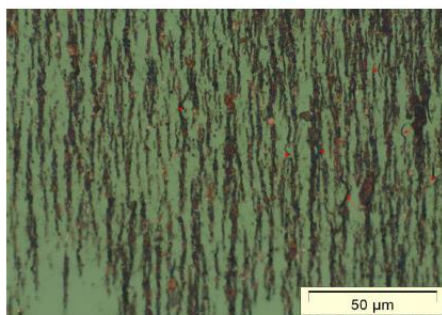


FERROGRAFIA ANALÍTICA			ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA	
DL : Partículas Grandes		319	Análise físico-química	
DS : Partículas Pequenas		94	Viscosidade @ 40°C (mm²/s)	
WPC : Conc. de Partículas de Desgaste		413	Neutralização (mg KOH/g)	
			Água (ppm)	
			Oxidação (A/cm)	
			Insolúveis 0,45 µm (mg/100ml)	
TIPO			Tamanho, µm	
FERROSOS				
Desgaste Normal			<15	
Escorregamento severo				
Corte			40	
Fragmentos			20	
Lascas, laminas			20	
Esferas				
Óxidos negros				
Óxidos vermelhos				
Corrosivos				
NÃO-FERROSOS				
Desgaste Normal			<15	
Escorregamento severo				
Corte				
Fragmentos			45	
Lascas, laminas				
CONTAMINANTES				
Degradação do lubrificante				
Areias/sujidade				
Fibras contaminantes				
Contaminantes esféricos			5	
Outras				

Rating

0 5 10

ICP Espectrometria (ppm)	
Alumínio (Al)	<1
Crômio (Cr)	<1
Cobre (Cu)	<1
Ferro (Fe)	24
Níquel (Ni)	<1
Chumbo (Pb)	<1
Silício (Si)	<1
Estanho (Sn)	<1



Aparas magnéticas (setas a vermelho)
Óxidos
Partículas ferrosas

BP Portugal - Comércio de Combustíveis e Lubrificantes, S.A.
Este Relatório é exclusivamente destinado ao seu destinatário. Contém informação CONFIDENCIAL, cuja divulgação é proibida por lei. Se recebeu este relatório por engano, é informado que a sua leitura, cópia ou uso estão proibidos. Solicitamos-lhe que nos comunique imediatamente por esta mesma via ou para o telefone 213891000 e a destrua. O correio eletrónico via Internet não permite assegurar a confidencialidade das mensagens transmitidas, nem a sua integridade ou recepção completa. Nestes casos, a BP PORTUGAL não assume qualquer responsabilidade. Se o destinatário deste relatório não tiver consentido na utilização do correio eletrónico via Internet e na gravação das mensagens, agradecemos que nos dê conhecimento imediatamente.

Contacto Predict : Rui Correia - Tlm. +351 968 130 952
Relatório elaborado por :

Página 2 de 2

[illegible]

