



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

## **Acompanhamento da Renovação do Grupo 3 do Aproveitamento Hidroelétrico da Aguieira**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

**Autor**

**Ricardo Manuel Dias da Silva**

**Orientadores**

**José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro**

**Ricardo António Lopes Mendes**

**Júri**

**Presidente**

**Professor Doutor Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira**

**Vogais**

**Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho**

**Colaboração Institucional**

---



**EDP – Gestão da  
Produção de Energia, S.A.**

**Coimbra, Setembro, 2010**

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar agradeço aos dois orientadores da tese, Professor José Baranda Ribeiro e Professor Ricardo Mendes, pela disponibilidade, conhecimentos transmitidos e ajuda prestada na elaboração do trabalho escrito.

Em seguida, mas não de menor mérito, agradeço ao Eng.º Francisco Freitas pelo apoio e ajuda prestada durante o estágio, pela motivação e conhecimentos transmitidos.

A todos os elementos da EDP, com que estabeleci contacto, pela disponibilidade e boa disposição.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à família, em especial aos meus pais, e a todos os amigos pela paciência e tolerância.

## Resumo

As centrais hidroeléctricas têm como finalidade a produção de energia eléctrica através do aproveitamento do potencial hidráulico de um rio. Este potencial é transformado em energia eléctrica através de grupos geradores constituídos por uma turbina associada a um alternador.

O presente trabalho, realizado no âmbito de um estágio realizado na EDP – Gestão da Produção de Energia S.A., teve como objectivo a descrição do acompanhamento realizado na renovação do grupo 3 do aproveitamento hidroeléctrico da Aguieira. Esta renovação é fundamentada por relatórios emitidos pelas entidades GE Hydro e ALSTOM, sendo estes mencionados ao longo do trabalho. Salientam-se os principais recondicionamentos, o procedimento de montagem e respectivos controlos dimensionais. Numa última fase, foram acompanhados alguns dos ensaios de entrada em serviço do grupo.

O trabalho descrito realça a importância da manutenção regular e modernização dos grupos geradores envolvidos na geração de energia eléctrica.

**Palavras-chave:** Aproveitamentos Hidroeléctricos, Turbinas Francis Reversíveis, Renovação de Grupos Geradores Hidroeléctricos, Ensaios a Grupos Geradores Hidroeléctricos.

## **Abstract**

The purpose of the hydroelectric power plants is to produce electric energy by taking advantage of the hydraulic potential of the rivers. This energy is converted in electricity through generator groups represented by a turbine in association with an alternator.

The main goal of this work, performed under the scope of a training work realized at EDP – Gestão da Produção de Energia S.A., is the description of the monitoring performed to restore the third group of the Aguieira Power Plant. This renewal was based on reports, referred throughout the work, that were emitted by entities like GE Hydro and ALSTOM. Together, with the work in the field, it is mentioned the principal reconditionings, the assembly process and their dimensional controls. Furthermore, at a final stage, we were able to follow a few assays performed in the start up of the whole group.

The work described herein emphasizes the importance of a regular maintenance and improvement in the generator groups involved in the production of electricity.

**Keywords** Hydroelectric Power Plants, Reversible Francis Pump-Turbines, Renewal of Generators Groups, Assays at Generators Groups.

## Índice

Índice de Figuras.....	vi
Índice de Tabelas .....	x
Siglas.....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. Estudos Preliminares à Renovação .....	3
2.1. Relatório GE Hydro .....	3
2.1.1. Alterações e Renovações Propostas .....	3
2.2. Relatório ALSTOM .....	4
2.3. Relatórios de Vibrações EDP .....	4
2.3.1. Parâmetros Registados .....	5
2.3.2. Monitorizações Periódicas .....	6
2.3.3. Valores Registados Antes da Renovação do Grupo 3.....	7
3. INTERVENÇÃO .....	8
3.1. Válvula Cilíndrica.....	8
3.1.1. Tampas do Bucim.....	8
3.1.2. Hastes dos Macacos Mecânicos .....	8
3.1.3. Obturador da Válvula Cilíndrica .....	11
3.1.4. Garagem da Válvula Cilíndrica .....	11
3.1.5. Motor Hidráulico/Freio/Redutor .....	12
3.1.6. Recondicionamento da Unidade Hidráulica da Válvula Cilíndrica .....	13
3.1.7. Procedimento de Montagem dos Macacos Mecânicos da Válvula Cilíndrica .....	14
3.2. Trabalhos Realizados pela ALSTOM.....	20
3.2.1. Desmontagem e Controlos Realizados.....	20
3.2.2. Recondicionamentos dos Vários Componentes.....	21
3.2.3. Montagem e Controlos Realizados.....	29
4. ENSAIOS DE ENTRADA EM SERVIÇO DO GRUPO .....	42
4.1. Condições Prévias Gerais.....	42
4.2. Controlo e Parametrização Dos Instrumentos de Medida Instalados .....	43
4.2.1. Chumaceira Combinada.....	43
4.2.2. Bomba de Drenagem da Tampa.....	44
4.2.3. Extração de Vapores de Óleo da Chumaceira Combinada .....	45
4.2.4. Junta Plana .....	45
4.2.5. Frenagem .....	45
4.2.6. Chumaceira Guia do Alternador.....	46
4.2.7. Regulação .....	46
4.2.8. Refrigeração.....	49
4.2.9. Restantes Ensaios.....	50
4.2.10. Vibrações Pós-Renovação.....	50
5. CONCLUSÃO .....	51
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
7. ANEXOS .....	54

---

7.1.	Anexo A – Aproveitamentos do PHTM .....	54
7.2.	Anexo B – Aproveitamento Hidroelétrico da Aguieira .....	54
7.3.	Anexo C – Componentes do Grupo 3 .....	55
7.4.	Anexo D – Estudos Realizados pela GE Hydro .....	56
7.4.1.	Análise de vibrações pela GE Hydro.....	56
7.4.2.	Análise por FEM à Tampa Superior da Turbina.....	57
7.5.	Anexo E – Estudos Realizados pela ALSTOM.....	61
7.6.	Anexo F - Estudos Realizados pela EDP .....	63
7.6.1.	Sensores de Vibrações e Posicionamento Utilizados.....	63
7.6.2.	Funcionamento em Bomba .....	65
7.6.3.	Condições de Funcionamento Antes da Renovação .....	68
7.7.	Anexo G – Controlos Realizados à Válvula Cilíndrica .....	70
7.7.1.	Controlo às Hastes dos Macacos Mecânicos.....	70
7.7.2.	Características do Motor Hidráulico de Accionamento dos Macacos Mecânicos.....	71
7.7.3.	Características das Bombas da Unidade Hidráulica da Válvula Cilíndrica .....	72
7.7.4.	Nivelamento do Obturador.....	73
7.7.5.	Perpendicularidade das hastes dos macacos mecânicos.....	74
7.7.6.	Ensaio de Funcionamento da Válvula Cilíndrica.....	74
7.8.	Anexo H – Exemplo de Protocolo de Desmontagem .....	75
7.9.	Anexo I – Exemplo de Protocolo de montagem.....	76
7.10.	Anexo J – Procedimento de Controlo Dimensional Estator – Rotor.....	76
7.11.	Anexo K – Ensaios de Entrada em Serviço .....	83
7.11.1.	Chumaceira Combinada.....	83
7.11.2.	Circulação de Óleo na Chumaceira Combinada .....	84
7.11.3.	Condições de Funcionamento das Bombas de Circulação de Óleo da Chumaceira Combinada .....	84
7.11.4.	Verificação da Bomba de Drenagem da Tampa Superior.....	85
7.11.5.	Verificação do Modo de Funcionamento do Motor Associado à Extração de Vapores de Óleo da Chumaceira Combinada .....	86
7.11.6.	Verificação dos Sensores da Junta Plana.....	86
7.11.7.	Verificação dos Sensores da Chumaceira Guia do Alternador .....	87
7.11.8.	Registos EDP Pós-Remontagem.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de montagem dos sensores de vibrações no equipamento. ....	5
Figura 2. Antiga tampa do bucim. ....	8
Figura 3. Controlo dimensional das novas tampas do bucim. ....	8
Figura 4. Flange de acoplamento entre a haste e o obturador. ....	9
Figura 5. Hastes dos macacos mecânicos da válvula cilíndrica. ....	9
Figura 6. Controlo dimensional das hastes entre pontos, em torno mecânico. ....	10
Figura 7. Verificação do empeno das hastes. ....	10
Figura 8. Esquema do controlo realizado às hastes. ....	10
Figura 9. Manobra do obturador da válvula cilíndrica. ....	11
Figura 10. Obturador devidamente tratado. ....	11
Figura 11. Anilha cónica fissurada. ....	13
Figura 12. Interior de um freio, nas devidas condições. ....	13
Figura 13. Acoplamento do freio ao redutor. ....	13
Figura 14. Acoplamento do redutor ao macaco mecânico. ....	13
Figura 15. Acoplamento da bomba ao motor eléctrico. ....	14
Figura 16. Unidade hidráulica recondicionada. ....	14
Figura 17. Afinador do obturador da válvula cilíndrica. ....	15
Figura 18. Controlo do nivelamento do obturador da válvula cilíndrica. ....	15
Figura 19. Esquema do controlo de perpendicularidade das hastes. ....	15
Figura 20. Colocação do fuso de precisão no interior da haste. ....	16
Figura 21. Introdução dos rolamentos cônicos na manga do macaco mecânico. ....	16
Figura 22. Introdução do conjunto haste/fuso na manga do macaco mecânico. ....	16
Figura 23. Acoplamento da tampa inferior da manga do macaco mecânico. ....	16
Figura 24. Montagem das cremalheiras da cadeia de sincronização no fuso de precisão. ..	17
Figura 25. Montagem da tampa do bucim. ....	17
Figura 26. Montagem do macaco mecânico no respectivo local de funcionamento. ....	18
Figura 27. Montagem das calhas das correntes da cadeia de sincronização. ....	18
Figura 28. Medição realizada no obturador da válvula cilíndrica. ....	19
Figura 29. Afiinação dos fins de curso de fecho. ....	19
Figura 30. Afiinação dos sensores de esforço, nas mesas das correntes da cadeia de sincronização. ....	19
Figura 31. Montagem do macaco mecânico concluída. ....	19
Figura 32. Falta de aderência, da protecção anticorrosiva, na superfície lateral da tampa superior da turbina. ....	23
Figura 33. Interior da cobertura de protecção da tampa superior da turbina. ....	23
Figura 34. Preparação de uma das superfícies para reparação da vedação da tampa superior da turbina. ....	23
Figura 35. Superfície de vedação reparada. ....	23
Figura 36. Novos patins axiais, não rascados. ....	25
Figura 37. Mola dos patins axiais da chumaceira combinada, apresentando alguma degradação. ....	25
Figura 38. Sistema de refrigeração do óleo da chumaceira combinada. ....	26

---

Figura 39. Antiga furação de passagem do óleo da chumaceira combinada na lentilha, devidamente tamponada.....	27
Figura 40. Fissuras na base de assentamento das molas planas.....	27
Figura 41. Fissura na zona de acoplamento das duas metades do anel suporte de patins da chumaceira combinada.....	27
Figura 42. Preparação das superfícies de acoplamento das duas metades da tampa inferior da turbina.....	30
Figura 43. Montagem da tampa inferior da turbina no poço da turbina.....	30
Figura 44. Descida da tampa superior da turbina para pré-montagem.....	32
Figura 45. Operação de furação e mandrilagem dos furos de fixação da tampa superior da turbina.....	32
Figura 46. Montagem das chumaceiras superiores das pás directrizes e bases dos servomotores.....	33
Figura 47. Chumaceiras superiores das pás directrizes e bases dos servomotores montadas e encavilhadas.....	33
Figura 48. Montagem das primeiras pás directrizes.....	34
Figura 49. Montagem das pás directrizes completa.....	34
Figura 50. Acoplamento do veio da turbina com a roda, realizado com porcas devidamente travadas.....	35
Figura 51. Montagem do conjunto veio da turbina/roda/cone no seu local de funcionamento.....	35
Figura 52. Montagem dos servomotores em bancada.....	36
Figura 53. Montagem dos servomotores nas suas respectivas bases.....	36
Figura 54. Montagem do anel suporte de patins da chumaceira combinada e tubagem da injeção preliminar.....	37
Figura 55. Montagem da meia cuba exterior da chumaceira combinada e patins radiais.....	37
Figura 56. Montagem dos patins radiais da chumaceira do alternador.....	40
Figura 57. Afição da chumaceira do alternador.....	40
Figura 58. Montagem da cuba de óleo da chumaceira combinada. Montagem da excitatriz.....	41
Figura 59. Sonda de temperatura Pt100.....	43
Figura 60. Sonda instalada num patim axial.....	43
Figura 61. Esquema representativo da cuba de óleo da chumaceira combinada.....	43
Figura 62. Esquema do reservatório de óleo de regulação.....	47
Figura 63. Esquema representativo do acumulador ar-óleo.....	48
Figura 64. Aproveitamentos hidroelétricos que integram o PHTM.....	54
Figura 65. Corte do aproveitamento hidroelétrico da Aguieira.....	54
Figura 66. Esquematisação dos vários componentes de um grupo gerador do aproveitamento da Aguieira.....	55
Figura 67. Cargas aplicadas no modelo da tampa superior da turbina.....	57
Figura 68. LC1 (“Load Case 1”).....	59
Figura 69. LC2 (“Load Case 2”).....	60
Figura 70. LC 3 (“Load Case 3”).....	60
Figura 71. Gráfico da evolução do deslocamento do veio ( $S_{pp}$ ), com a carga.....	62
Figura 72. Evolução de $S_{max}$ com a carga.....	62
Figura 73. Acelerómetro piezoresistivo SE120.....	63
Figura 74. Detector de proximidade TQ402.....	63
Figura 75. Detector de proximidade TQ403.....	64

---



---

Figura 76. Gráficos de vibrações do dia 26 de Janeiro de 2006, obtidos a partir do sistema portátil de aquisição de dados.....	65
Figura 77. Gráficos de vibrações do dia 13 de Setembro de 2006, obtidos a partir do sistema portátil de aquisição de dados. ....	66
Figura 78. Gráficos da posição do veio em vários planos de medição, do dia 26 de Janeiro de 2006, obtidos a partir do sistema portátil de aquisição e tratamento de dados.....	67
Figura 79. Gráficos da posição do veio em vários planos de medição, do dia 13 de Setembro de 2006, obtidos a partir do sistema portátil de aquisição e tratamento de dados. ....	67
Figura 80. Gráficos da posição da roda, do dia 26 de Janeiro de 2006, obtidos a partir do sistema portátil de aquisição e tratamento de dados. ....	68
Figura 81. Gráfico da variação da posição da roda com a potência activa, antes da renovação.....	68
Figura 82. Gráfico das vibrações absolutas com a variação da potência activa, antes da renovação.....	69
Figura 83. Gráfico da variação da temperatura em vários componentes com a potência activa, antes da renovação.....	69
Figura 84. Gráfico das vibrações relativas com a variação da potência activa, antes da renovação.....	70
Figura 85. Gráfico com a variação da cota a jusante com a potência activa, antes da renovação.....	70
Figura 86. (a) Entrada/saída (roscado lateral e traseiro); (b) Extremidade do veio.....	72
Figura 87. Motor hidráulico dos macacos mecânicos da válvula cilíndrica. ....	72
Figura 88. Bomba da unidade de accionamento da hidráulica da válvula cilíndrica, com discriminação dos vários componentes a substituir. ....	73
Figura 89. Controlo do nivelamento da válvula cilíndrica.....	73
Figura 90. Controlo realizado ao nivelamento do obturador da válvula cilíndrica, com este elevado cerca de 10cm. ....	74
Figura 91. Exemplo de protocolo de desmontagem.....	75
Figura 92. Exemplo de protocolo de montagem.....	76
Figura 93. Esquematização do procedimento de controlo dimensional do rotor e estator. ..	78
Figura 94. Esquema de princípio de funcionamento do instrumento de medição do entreferro.....	79
Figura 95. Instrumento para medição do entreferro.....	79
Figura 96. Nível óptico colocado na flange do veio do alternador.....	79
Figura 97. Fita métrica colocada no ponto de medição (rotor ou estator). ....	79
Figura 98. Esquema representativo das medições realizadas para o cálculo do eixo magnético. ....	80
Figura 99. Gráfico que apresenta a comparação entre o valor médio total e o valor médio pontual do entreferro, utilizando como referência a posição a montante do estator. ....	81
Figura 100. Gráfico que apresenta a comparação entre o valor médio total e o valor médio pontual do entreferro, utilizando como referência o pólo 1 do rotor.....	81
Figura 101. Gráfico comparativo dos eixos magnéticos do rotor e estator, considerando o pólo 1 como referência de medição. ....	82
Figura 102. Gráfico comparativo dos eixos magnéticos do rotor e estator, considerando como referência de medição a posição a montante do estator.....	82
Figura 103. Gráfico da variação da posição da roda com a potência activa, após da renovação.....	87

---

Figura 104. Gráfico das vibrações absolutas com a variação da potência activa, após da renovação.....	88
Figura 105. Gráfico das vibrações relativas com a variação da potência activa, após a renovação.....	88

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Níveis de accionamento da bomba de drenagem. ....	45
Tabela 2. Verificação do funcionamento da fernagem. ....	46
Tabela 3. Parametrização dos níveis do reservatório de óleo da regulação (Figura 62). ....	47
Tabela 4. Parametrização dos níveis do acumulador ar-óleo. ....	48
Tabela 5. Verificação dos caudais de refrigeração. ....	50
Tabela 6. Limites de vibração para o grupo gerador (ISO 10816-5). ....	56
Tabela 7. Limites de vibração para o grupo gerador (ISO 7919-5). ....	61
Tabela 8. Verificação do empeno das hastes dos macacos mecânicos da válvula cilíndrica. ....	71
Tabela 9. Verificação da perpendicularidade das hastes dos macacos mecânicos. ....	74
Tabela 10. Verificação do nivelamento do obturador da válvula cilíndrica após manobra. ....	75
Tabela 11. Verificação e parametrização de sensores na chumaceira combinada. ....	83
Tabela 12. Verificação de sensores do sistema de circulação de óleo na chumaceira combinada. ....	84
Tabela 13. Verificação das condições de funcionamento das bombas de circulação de óleo da chumaceira combinada. ....	84
Tabela 14. Verificação da bomba de drenagem da tampa superior da turbina. ....	85
Tabela 15. Verificação do ventilador de extracção de vapores de óleo da chumaceira combinada. ....	86
Tabela 16. Verificação de sensores da junta plana. ....	86
Tabela 17. Verificação dos sensores da chumaceira guia do alternador. ....	87

## **SIGLAS**

EDP – Energias de Portugal

END – Ensaio Não Destrutivo

EQS – Engenharia Qualidade e Segurança

ISO – International Organization for Standardization

ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade

Jus. – Jusante

M.D. – Margem Direita

M.E. – Margem Esquerda

Mont. – Montante

PHDR – Centro de Produção do Douro

PHMN – Produção Hidráulica – Manutenção (EDP)

SGS – Société Générale de Surveillance S.A.

$S_{max}$  – Deslocamento de vibração máxima

$S_{pp}$  – Deslocamento de vibração pico a pico

## 1. INTRODUÇÃO

Os aproveitamentos hidroelétricos da EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A., integrada no Grupo EDP, distribuem-se por três grandes Centros de Produção: Cávado – Lima, Douro e Tejo – Mondego.

O aproveitamento hidroelétrico da Aguieira, de fins múltiplos, entrou em serviço em 1981, está integrado no Centro de Produção Tejo-Mondego (Anexo A) e situa-se no rio Mondego, 1,7km a jusante da foz do Dão, a cerca de 35km a montante da cidade de Coimbra.

O aproveitamento, do tipo albufeira, é constituído essencialmente pela barragem do tipo abóbadas múltiplas, com três abóbadas de dupla curvatura que se apoiam em dois contrafortes de espessura variável e por um coroamento de gravidade cortado por duas juntas estruturais, verticais, em cada abóbada. No plano médio de cada contraforte existe, também, uma junta estrutural vertical.

Os contrafortes têm formas ajustadas às exigências hidráulicas dos dois descarregadores de cheias que estão localizados sobre eles, enquanto que a descarga de fundo está instalada na galeria anteriormente utilizada no desvio provisório do rio, dispondo de uma estrutura de entrada com grade grossa em betão e, cerca de 65m a jusante, de uma torre de manobra. As comportas, quer para os descarregadores de cheias quer para a descarga de fundo, são do tipo segmento.

O circuito hidráulico para alimentação dos grupos atravessa o corpo da barragem, estando o bocal de entrada de água, de grade grossa, integrado na torre de manobra, que é completamente independente do corpo da barragem.

A central está localizada entre dois contrafortes e está dotada de três grupos equipados com turbinas/bombas de fabrico Vevey/Nohab/Mague do tipo Francis reversível de eixo vertical e alternadores/motores de fabrico Alstom/Sorefame. Cada grupo reversível possui uma potência nominal de 112MW sob uma queda útil nominal de 71,0m como turbina; e com uma potência absorvida de 92,7MW para uma altura máxima de bombagem de 68,5 m como bomba. A velocidade de rotação do grupo é de 125r.p.m.. Os grupos estão equipados com alternadores de 100MVA de potência nominal aparente como gerador e de

91MW de potência absorvida como bomba, a uma tensão de alimentação de 12kV (Anexo C).

O circuito hidráulico é independente para cada grupo reversível e é constituído por: tomada de água (dotada de grelha metálica, manobrada por pórtico, e de comporta de segurança, do tipo lagarta, manobrada por servomotor óleo-hidráulico); conduta forçada de adução, dotada de válvula de guarda, do tipo cilíndrica; e túnel de fuga da restituição, incluindo duas comportas ensecadeiras das turbinas, do tipo corredeira, manobradas por servomotores. No Anexo B está representado um corte do aproveitamento.

O presente trabalho teve como base o estágio na EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A., no qual foi proposto realizar o acompanhamento da renovação do grupo 3. Este pressupôs, a actualização e desenvolvimento dos programas de trabalhos das várias entidades em obra, a organização dos vários desenhos emitidos pela ALSTOM, vários protocolos emitidos em obra e normas de apoio técnico.

Um dos primeiros objectivos deste relatório é descrever quais as fundamentações que levaram à decisão da renovação dos três grupos geradores, utilizando para isso o histórico disponível. Para além de relatórios de intervenções anteriores, existem estudos realizados por entidades competentes, como é o caso da ALSTOM e da GE Hydro, onde se identificam vários tipos de problemas, alguns deles considerados de gravidade elevada. Parte desses problemas já haviam sido identificados pela EDP, através de inspecções e dos registos do sistema de monitorização de vibrações e parâmetros de funcionamento, instalado nas centrais.

Com base nos problemas identificados e bem fundamentados, iniciou-se a renovação do grupo 3. Este foi o primeiro, pois sempre demonstrou mais fragilidades em relação aos outros, tendo já sido alvo de uma grande intervenção no ano de 1995.

Apesar de não ter sido realizada no tempo útil do estágio, a desmontagem será descrita de uma forma simples, em que se faz referência aos controlos realizados. No final, serão apresentados alguns dos ensaios preliminares de entrada em serviço, que arrancaram até à data da conclusão do estágio.

## **2. ESTUDOS PRELIMINARES À RENOVAÇÃO**

### **2.1. Relatório GE Hydro**

No ano de 2006, a EDP – Gestão da Produção, S.A., requereu à GE Hydro a realização de um diagnóstico aos grupos da Central da Aguieira. No âmbito desse diagnóstico, foi registado o estado de funcionamento dos equipamentos e identificados graves problemas em determinados componentes.

Um dos principais problemas identificados corresponde ao funcionamento deficitário e fugas de óleo nos servomotores tóricos. Estes parecem estar associados à elevada deflexão e vibração da tampa superior da turbina e das pás directrizes. A existência de fugas de água nas chumaceiras das pás directrizes pode também estar ligada a esta causa.

No âmbito do estudo realizado, foram efectuadas inspecções locais, testes hidrodinâmicos e modelação da tampa superior pelo método dos elementos finitos. Sendo a tampa superior da turbina uma das maiores fragilidades encontradas, apresenta-se em anexo, a sua modelação (Anexo D).

#### **2.1.1. Alterações e Renovações Propostas**

De acordo com a inspecção realizada, o problema principal está relacionado com a deflexão da tampa superior da turbina e fugas de óleo nos servomotores tóricos das pás directrizes. Dessa forma, foi proposto instalar uma nova tampa, mais rígida, substituir as pás directrizes e, o mecanismo de distribuição por um convencional, sendo necessário modificar o sistema regulação.

No que diz respeito às pás directrizes, no caso de serem substituídas, propôs-se um novo perfil da pá. Na eventualidade dessa substituição, estas deveriam ser fabricadas em aço inoxidável, de modo a evitar problemas de corrosão e cavitação, de modo a aumentar a sua durabilidade, evitando posteriores reparações.

Como alternativa, foi proposto aumentar o número de pás directrizes, o que permitia o aumento da distância entre as pás e a roda. Dessa forma conseguia-se reduzir os níveis de vibração e ruído. Esta intervenção implicaria uma nova tampa inferior.

Apesar da roda se apresentar em boas condições, uma nova roda iria evitar problema de fissuração (devido à fadiga e elevado número de ciclos que a actual já sofreu). Esta intervenção iria permitir construir uma roda com novo perfil de pás, de modo a se conseguir melhores eficiências e estabilidade.

## **2.2. Relatório ALSTOM**

Com o objectivo de verificar as condições de funcionamento e o estado em que se encontrava o grupo 3, a ALSTOM Hydro France elaborou vários ensaios mecânicos e hidráulicos, antes da renovação. Os ensaios foram realizados no início do ano de 2009.

Observaram-se valores alarmantes ao nível do deslocamento da linha de veios, principalmente na zona da chumaceira combinada. A análise da órbita do veio, quando comparada com a norma ISO 7919, assim o confirma (Anexo E).

Os valores de RMS global continuam admissíveis, apesar de se notar níveis de vibrações significativos, com valores superiores a 1mm/s no eixo Z. A velocidade RMS global é aceitável.

O nível de ruído era bastante elevado, com níveis à volta de 104dBA no difusor e 98dBA no poço da turbina, em modo turbina. No difusor os valores rondam os 103,4dBA e, no poço da turbina os 99dBA, em modo bomba.

No que diz respeito à pressão pulsante, foram registados valores elevados, especialmente em modo turbina na tampa superior da turbina.

## **2.3. Relatórios de Vibrações EDP**

A Central da Aguieira tem instalado nos três grupos geradores um sistema de monitorização de vibrações e condições de funcionamento, à semelhança de outras centrais. Este sistema de monitorização foi alvo de uma actualização nos anos 2006/2007, em que foram adicionados vários parâmetros de medida tanto ao nível de controlo dos desvios radiais e axiais da linha de veios como das variáveis de temperaturas e caudais das chumaceiras, potência e cota do nível de jusante. Esta informação tem vindo a ser guardada



num histórico digital, permitindo posteriores análises de características de funcionamento e eventuais ocorrências.

Para além deste sistema permanente de monitorização de vibrações (Figura 1), existe um sistema portátil, “Adrewin” da Bently e Nevada, que apenas faz o tratamento dos dados vindos dos sensores. É composto por:

- unidade de aquisição de dados, DAIU 208P;
- software de tratamento de dados “ADRE for Windows”;
- computador portátil.

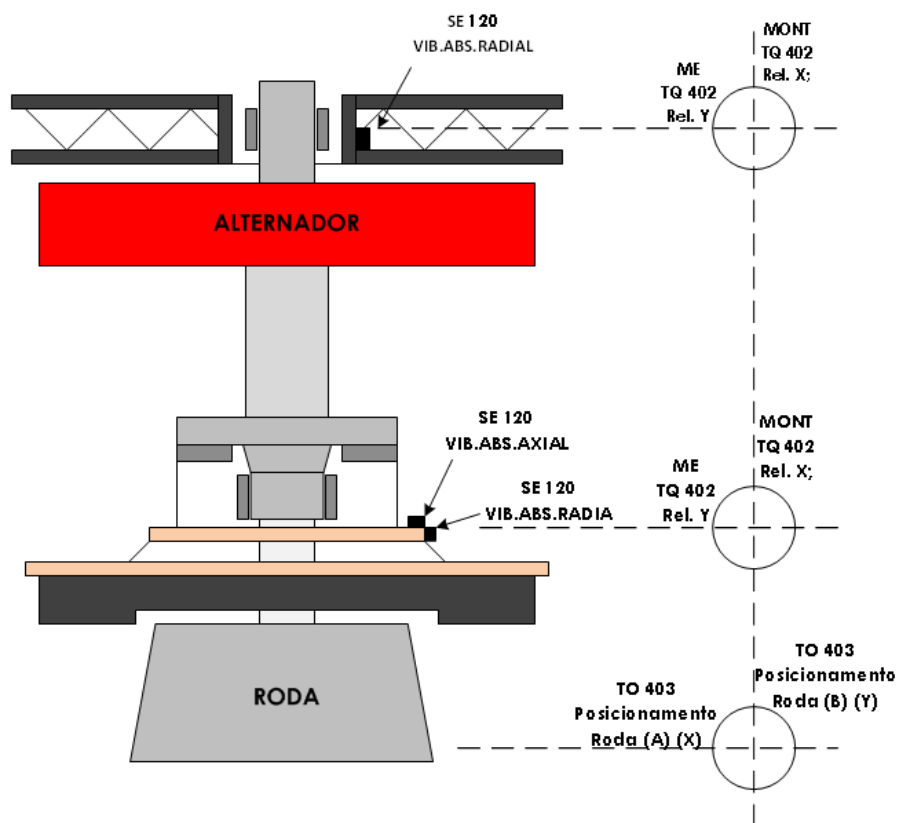


Figura 1. Esquema de montagem dos sensores de vibrações no equipamento (Anexo F).

### 2.3.1. Parâmetros Registados

Tendo em conta a renovação do grupo 3, registaram-se os valores dos vários parâmetros em histórico, correspondentes a um dia de funcionamento, em regime de bomba e gerador. Este registo envolve os seguintes parâmetros:

- Potência;
- Cota a jusante;

- Temperatura do óleo da chumaceira combinada;
- Temperatura de ferro dos patins axiais da chumaceira combinada;
- Temperatura de ferro dos patins radiais da chumaceira combinada;
- Caudal de óleo na chumaceira combinada;
- Temperatura do óleo da chumaceira guia do alternador;
- Temperatura de ferro dos patins axiais da chumaceira guia do alternador;
- Vibração absoluta radial na tampa da superior;
- Vibração absoluta axial na tampa da turbina;
- Vibração absoluta axial no alternador;
- Movimento relativo na chumaceira guia do alternador (em 2 eixos);
- Movimento relativo na chumaceira combinada (em 2 eixos);
- Posicionamento da roda (em 2 eixos).

### **2.3.2. Monitorizações Periódicas**

A implementação do sistema de monitorização de vibrações tornou periódico o controlo dos níveis de vibração de cada grupo, emitindo-se, pelo menos um relatório por ano, sobre as condições de funcionamento em relação às vibrações registadas. Em situações de avaria, regista-se o nível de vibrações antes e pós-reparação da avaria, de modo a verificar a melhoria do estado de funcionamento.

O nível de vibrações é controlado em várias condições de funcionamento, por exemplo:

Turbina;

Vazio não excitado;

Vazio excitado;

65MW, 0MVAR;

80MW, 0MVAR;

95MW, 0MVAR;

Bomba;

Compensador;

Apresenta-se um exemplo (Anexo F), retirado de relatórios da EDP, que compara o regime de bomba de Janeiro 2006 com 13 Setembro 2006, recorrendo ao equipamento portátil de monitorização de vibrações.

**Agueira – grupo 3** (23JAN2006) Cota Mont. (m) – 117,65 Cota Jus. (m) – 56,59

12:42h – arranque para bomba

12:48h às 13:04h – bomba (-91MW)

**Agueira – grupo 3** (13SET2006) Cota Mont. (m) – 116,55 Cota Jus. (m) – 58,11

13:05h – arranque para bomba

13:10h às 13:27h – bomba (-91MW)

Verifica-se que, na chumaceira do alternador os valores mantêm-se idênticos, e na chumaceira da turbina há um aumento acentuado dos valores. Salienta-se também um aumento significativo da vibração axial.

### **2.3.3. Valores Registados Antes da Renovação do Grupo 3**

No âmbito da renovação do grupo 3, e com recurso ao equipamento fixo da central (VM600), registou-se os vários parâmetros de funcionamento para o regime turbina, a várias cargas, e bomba. Os registos são do dia 02 Fevereiro 2009 (Anexo F).

## 3. INTERVENÇÃO

### 3.1. Válvula Cilíndrica

No processo de desmontagem dos componentes no interior do poço da turbina, a válvula cilíndrica foi o último componente a ser desmontado, tendo sido realizado antes do início do estágio.

Tanto os macacos mecânicos como as mesas pré-tensoras das correntes foram reabilitados na Central. Apenas as hastes dos macacos mecânicos foram enviadas para a empresa FALUAL, para reabilitação e fabricaram-se novas tampas dos bucms, trabalho realizado pela A.BRITO.

#### 3.1.1. Tampas do Bucim

As tampas dos bucms apresentavam-se bastante deterioradas (Figura 2) logo, foi pedido à A.BRITO que fabricasse 12 tampas dos bucms (Figura 3). Também foi pedido o fornecimento de 24 casquilhos de guiamento normalizados. O material utilizado para as tampas foi o EN10213-4 GX 5 CrNi 19 10, sendo o seu processo de fabrico por fundição e posterior maquinagem para as dimensões e tolerâncias de projecto.



Figura 2. Antiga tampa do bucim.

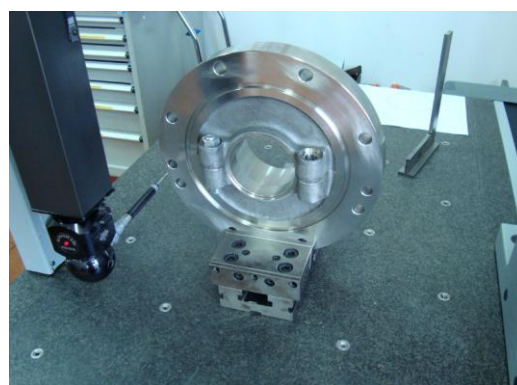


Figura 3. Controlo dimensional das novas tampas do bucim.

#### 3.1.2. Hastes dos Macacos Mecânicos

Este é um órgão considerado problemático, pois, pelo facto da manobra de

abertura e fecho da válvula ser relativamente violenta, causa vibrações que afectam o acoplamento das hastes dos macacos mecânicos ao obturador da válvula (Figura 5). Este efeito é amplificado caso as hastes e a superfície de acoplamento do obturador não apresentem uma boa perpendicularidade. Existem registos históricos de parafusos partidos, devido a esses efeitos.



**Figura 4.** Flange de acoplamento entre a haste e o obturador.



**Figura 5.** Hastes dos macacos mecânicos da válvula cilíndrica.

As hastes foram reabilitadas pela empresa FALUAL, onde se substituiu as bases rectangulares de acoplamento ao obturador da válvula (Figura 4), tendo sido controlado o diâmetro dos furos da base, perpendicularidade desta com o corpo da haste e o próprio empeno do corpo da haste (controlo arquivado). Depois, procedeu-se ao tratamento superficial com crómio duro, ou seja, foi adicionado crómio à superfície das hastes dos macacos mecânicos, ficando com uma sobreespessura (normalmente entre os 0,2mm e 0,5mm). De seguida, de forma a respeitar o diâmetro do corpo da haste dos macacos mecânicos, estas foram rectificadas, garantindo-se assim as tolerâncias dimensionais (Figura 6). De forma a garantir a qualidade do serviço prestado, a EDP realizou os seus próprios controlos dimensionais (Figura 7).

A medição do empeno foi feita entre pontos, com recurso a um torno mecânico, de modo a permitir rodar a haste sobre o seu eixo. Utilizaram-se comparadores para verificar variações diamétricas e longitudinais.



**Figura 6.** Controlo dimensional das hastes entre pontos, em torno mecânico.

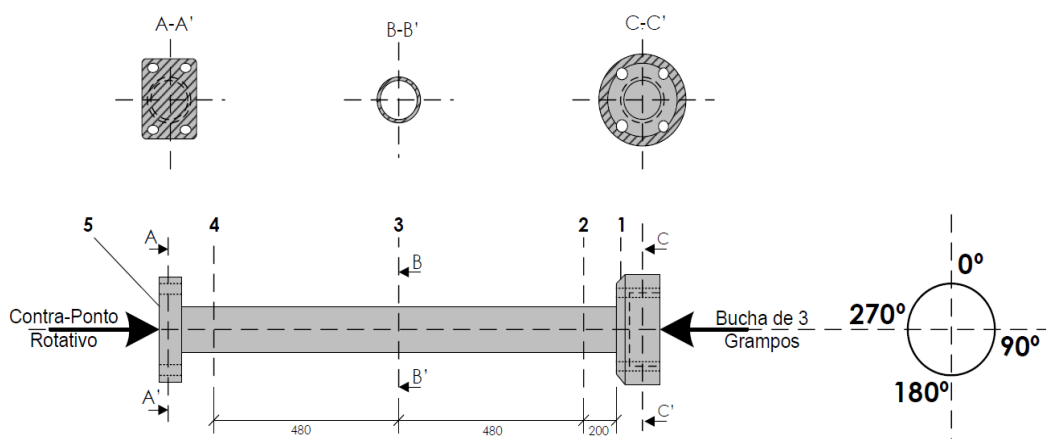


**Figura 7.** Verificação do empeno das hastes.

Foram criadas 5 zonas de medição, sendo elas as seguintes:

- 1-Medição da perpendicularidade da base cilíndrica;
- 2-Medição da variação diametral a 200mm da base cilíndrica;
- 3-Medição da variação diametral a 680mm da base cilíndrica;
- 4-Medição da variação diametral a 1160mm da base diametral;
- 5-Medição da perpendicularidade da face rectangular;

Foi também realizada a medição da variação longitudinal nos pontos 2, 3 e 4 em 4 pontos ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $270^\circ$ ) (Figura 8). As medições encontram-se no Anexo G.



**Figura 8.** Esquema do controlo realizado às hastes.

### 3.1.3. Obturador da Válvula Cilíndrica

Sendo o obturador um órgão que isola a admissão de água à turbina, situado entre as pás do ante-distribuidor e as pás directrizes, é de suma importância manter sempre o seu tratamento anticorrosivo e as vedações (localizadas nas tampas superior e inferior da turbina) em boas condições. Ao nível de solicitações mecânicas, tendo em conta que antes de subir o obturador já o distribuidor está fechado, este órgão apenas é solicitado pela pressão estática de montante.

O tratamento anticorrosivo do obturador foi realizado pela PROZINCO, iniciando-se com a decapagem por jacto abrasivo ao grau SA3, de acordo com a norma ISO 8501-1. Após a decapagem, houve uma interrupção no tratamento anticorrosivo, de cerca de 8 dias, para inspecção à superfície metálica do obturador, de modo a efectuar reparações na sua estrutura. O tratamento anticorrosivo foi realizado recorrendo a produtos de base polimérica, compostos de epoxi cerâmico, com alta resistência à corrosão, abrasão e erosão, da marca BELZONA. A preparação e acondicionamento das superfícies a tratar (aproximadamente 150m<sup>2</sup>), foi realizada de acordo com as especificações da BELZONA (Figura 9 e Figura 10).

Depois do tratamento anticorrosivo foi necessário reabilitar os vedantes da estanquidade, superior e inferior, do obturador. A estanquicidade é feita na tampa superior e inferior da turbina, a partir de vedantes do tipo nota de música. Estes são fixos nas tampas com segmentos aparafusados.



Figura 9. Manobra do obturador da válvula cilíndrica.



Figura 10. Obturador devidamente tratado.

### 3.1.4. Garagem da Válvula Cilíndrica

A garagem da válvula cilíndrica é composta por duas partes, sendo uma

solidária à estrutura de betão e a outra integrada na tampa inferior da turbina, formando a garagem que aloja o obturador da válvula quando na posição totalmente aberta. Das duas partes da garagem da válvula cilíndrica, a parte integrada na tampa inferior da turbina foi tratada juntamente com esta.

Procedeu-se à decapagem de forma idêntica à anteriormente descrita para o obturador da válvula cilíndrica, fazendo-se também uma interrupção de oito dias para inspecção e reparações às superfícies metálicas a tratar.

### **3.1.5. Motor Hidráulico/Freio/Redutor**

Todas as partes de accionamento dos macacos mecânicos da válvula cilíndrica foram desmontados e revistos, pois o mau funcionamento destes equipamentos em qualquer um dos macacos mecânicos incrementa um esforço extra na cadeia de sincronização.

#### **3.1.5.1. Motor Hidráulico**

Cada um dos macacos mecânicos tem associado um motor hidráulico, ou seja, no total, foram inspeccionados seis motores (Anexo G).

#### **3.1.5.2. Freio do macaco mecânico da válvula cilíndrica.**

Este componente tem como objectivo, evitar deslocamentos da válvula sempre que esta está numa das posições de fim de curso (totalmente aberta ou totalmente fechada). Garante, por exemplo, que a válvula quando fechada, fique na mesma posição ao longo do tempo.

Sempre que é necessário manobrar a válvula, o freio é pilotado. Essa pressão é aplicada num “êmbolo”, onde existe uma anilha cónica (mola) que é deformada (elasticamente). Essa deformação vai permitir que um disco de atrito, acoplado ao veio de interligação ao macaco mecânico, desencoste da sua posição inicial e permita o movimento.

Na inspecção realizada, encontrou-se uma das anilhas cónicas fracturada, correspondente ao freio do macaco mecânico n.º 5 (Figura 11). O interior do freio apresentava-se sujo (água misturada com óleo), concluindo-se que houve alguma fuga de água para o freio. O fenómeno de corrosão associado ao elevado número de ciclos de funcionamento, aumenta o processo de fadiga da mola, inicialmente fissurando-a, acabando por a fracturar. Os restantes freios encontravam-se nas devidas condições (Figura 12).





**Figura 11.** Anilha cónica fissurada.



**Figura 12.** Interior de um freio, nas devidas condições.

### 3.1.5.3. Redutor

Os redutores do tipo planetário foram fabricados pela F Ili BREVINI, à data da construção da central. A principal característica deste tipo de redutores é a construção em linha. A razão de transmissão é de 21:1, com um binário de 975Nm (Figura 13 e Figura 14).



**Figura 13.** Acoplamento do freio ao redutor.



**Figura 14.** Acoplamento do redutor ao macaco mecânico.

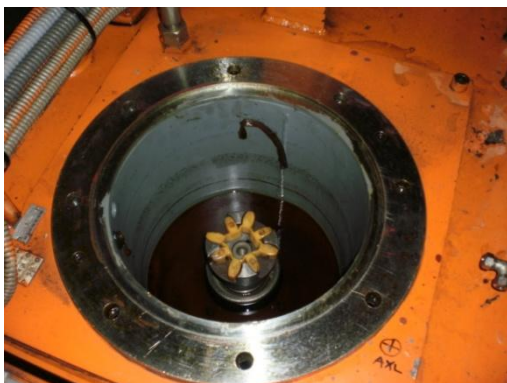
### 3.1.6. Recondicionamento da Unidade Hidráulica da Válvula Cilíndrica

Depois de retirado todo o óleo da instalação, procedeu-se à desmontagem da tubagem de óleo de ligação aos macacos mecânicos e, por sua vez, isolou-se a parte da instalação correspondente ao reservatório de azoto.

No que diz respeito à unidade hidráulica, verificou-se o estado de conservação das bombas, substituindo todos os rolamentos e vedantes (Anexo G).

O reservatório de óleo foi rigorosamente limpo de modo a não existir a possibilidade de contaminação do óleo novo. Depois de recondicionadas, remontaram-se as

bombas no local de funcionamento (Figura 15). Toda a unidade hidráulica, e respectiva tubagem de alimentação aos macacos mecânicos, foi repintada, assegurando que todos os equipamentos de medida e controlo (válvulas) estavam devidamente protegidos (Figura 16).



**Figura 15.** Acoplamento da bomba ao motor eléctrico.



**Figura 16.** Unidade hidráulica recondicionada.

### **3.1.7. Procedimento de Montagem dos Macacos Mecânicos da Válvula Cilíndrica**

#### **3.1.7.1. Trabalhos Preliminares à Montagem dos Macacos Mecânicos**

Depois de a tampa inferior da turbina ser colocada e apertada, procedeu-se à soldadura, por eléctrodo revestido, dos apoios dos patins de guiamento da válvula. Em seguida, procedeu-se ao nivelamento da válvula cilíndrica com recurso a afinadores (Figura 17), instalados no local do acoplamento das hastes dos macacos, e nível de precisão com uma resolução de 0,02mm/m (Figura 18).

O procedimento para o nivelamento do obturador foi o seguinte:

- Limpeza da superfície superior do obturador onde se pretende realizar as medições;
- Localizar pontos de medição. Estes eram seis e correspondiam a cada um dos macacos mecânicos. No interior do distribuidor, identificou-se essas zonas a partir do número da pá correspondente à posição do macaco mecânico;
- Colocar o nível, e verificar o desnível em cada um dos pontos;
- Apertar ou desapertar o fuso do afinador com pequenos movimentos, de modo a subir ou descer o obturador nessa zona.

Os resultados deste controlo encontram-se no Anexo G.



**Figura 17.** Afinador do obturador da válvula cilíndrica.



**Figura 18.** Controlo do nivelamento do obturador da válvula cilíndrica.

Estando o obturador devidamente nivelado, verificou-se a verticalidade das hastes dos macacos mecânicos em relação ao obturador (Figura 19). Utilizando um nível de precisão, procedeu-se da seguinte forma:

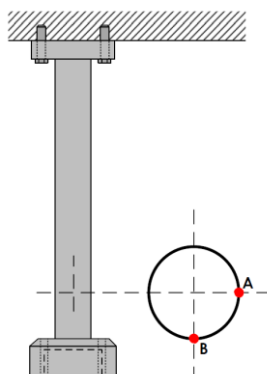
- Acoplar uma haste do macaco mecânico de cada vez no seu local de funcionamento, deixando os pernos apenas ajustados. As hastes são montadas com a numeração da flange redonda inferior virada para o centro do grupo;

- Encostar o nível à haste e verificar a sua perpendicularidade na direcção do centro do grupo e  $90^\circ$  desfasado.

No caso de não haver perpendicularidade:

- Aperta-se os pernos de acoplamento de forma diferente, de modo a corrigir a falta de perpendicularidade;

- Retira-se a haste e rectifica-se ligeiramente a base rectangular de acoplamento, até se atingir a perpendicularidade. O controlo realizado pode observar-se no Anexo G.



**Figura 19.** Esquema do controlo de perpendicularidade das hastes.

### 3.1.7.2. Montagem dos Macacos Mecânicos

O procedimento de montagem do macaco mecânico foi o seguinte:

- O fuso de precisão, já com a porca de precisão colocada, foi introduzido no interior da haste do macaco mecânico (Figura 20). Alojou-se a porca de precisão na cavidade da flange redonda da haste, sendo que pelo lado oposto é introduzida outra flange que vai fixar a porca a essa posição da haste.

- Colocaram-se dois rolamentos cónicos (Figura 21). Com auxílio de uma ferramenta específica e um macaco hidráulico, introduziu-se, na parte inferior da camisa do macaco mecânico, os vários componentes dos rolamentos cónicos.



**Figura 20.** Colocação do fuso de precisão no interior da haste.



**Figura 21.** Introdução dos rolamentos cónicos na manga do macaco mecânico.

- Introduziu-se o conjunto haste/fuso de precisão na manga do macaco mecânico (Figura 22). Esta operação é realizada na vertical, mantendo o conjunto seguro e descendo a manga até o veio do fuso sair pelo orifício dos rolamentos cónicos.

- Foi colocado o vedante no veio do fuso de precisão, e o *o'ring* na tampa inferior da manga do macaco mecânico (Figura 23). Esta é aparafusada tendo em atenção a colocação da posição do bujão de drenagem do óleo.



**Figura 22.** Introdução do conjunto haste/fuso na manga do macaco mecânico.



**Figura 23.** Acoplamento da tampa inferior da manga do macaco mecânico.

- Montaram-se as cremalheiras para corrente de sincronização (Figura 24). Além disso, foram montados rolamentos e o dispositivo fusível de sobre esforço na cadeia de sincronização.

- Colocou-se a estrutura que acopla a manga do macaco mecânico ao sistema de accionamento do macaco mecânico. É aqui que a transmissão é feita, com recurso a um elemento polimérico chamado estrela de VULKOLLAN ROT, que evita que a parte metálica da transmissão se toque, evitando choques e atenuando vibrações.

- Colocou-se a tampa do bucim (Figura 25). Esta vai já acoplada, tendo em atenção a protecção da haste para não danificar e procedeu-se à montagem do macaco mecânico no local (Figura 26). Montagem do cárter e enchimento dos macacos mecânicos com óleo.



**Figura 24.** Montagem das cremalheiras da cadeia de sincronização no fuso de precisão.



**Figura 25.** Montagem da tampa do bucim.

- Montagem de toda a tubagem de óleo. Esta fase foi realizada depois de toda a tubagem ser devidamente limpa, de modo a evitar tanto contaminantes sólidos (poeiras) como líquidos (solventes).

- Montagem das mesas do sistema de sincronização (Figura 27). Com as mesas montadas, foi possível a colocação das correntes e a sua posterior lubrificação com SHELL RETINAX HDX.



**Figura 26.** Montagem do macaco mecânico no respectivo local de funcionamento.



**Figura 27.** Montagem das calhas das correntes da cadeia de sincronização.

### 3.1.7.3. Ensaio e Ajustagem da Válvula Cilíndrica

Com os *by-pass*'s fechados e a tubagem de pilotagem devidamente tamponada nas ligações aos freios, realizou-se o chamado “*flashing*” da instalação do óleo. Ou seja, estando o reservatório da unidade hidráulica com o nível de óleo normal, fez-se passar o óleo por toda a tubagem, sendo o retorno feito para fora da unidade hidráulica. Este procedimento serve para retirar qualquer resíduo contaminante, encher e purgar a instalação do óleo e verificar a existência de fugas.

Depois de repostas as ligações aos freios e fechados os *by-pass*'s, procedeu-se à verificação da subida da válvula, de modo a verificar se ela sobe toda por igual.

Procedeu-se da seguinte forma:

- Desconsignação para ensaios;
- Ligação da unidade hidráulica da válvula cilíndrica;
- Pressão de fecho 90bar e abertura 0bar. Sendo um ensaio não se realizou a manobra à pressão nominal;
- Actuou-se, manualmente, a válvula que dá ordem aos freios;
- Actuou-se, manualmente, a válvula que dá ordem de fecho da válvula cilíndrica (Figura 29);
- Manobra de fecho até, aproximadamente, 10cm;
- Medição em quatro pontos desfasados 90° (Figura 28):
  - (1) – Distância subida (do topo do obturador à tampa superior);
  - (2) – Distância ao vedante superior;
  - (3) – Nivelamento do obturador após subida;

- Manobra de abertura completa.

Os resultados deste controlo encontram-se no Anexo G.



**Figura 28.** Medição realizada no obturador da válvula cilíndrica.

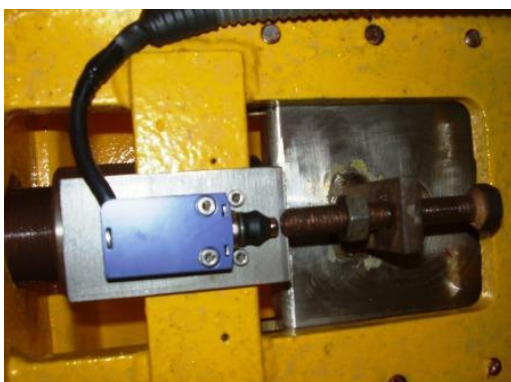


**Figura 29.** Ajustagem dos fins de curso de fecho.

Posteriormente, realizou-se o ensaio de fecho e abertura completa. O procedimento é idêntico, só que desta vez à pressão nominal (28MPa). Desse modo, verificou-se, com um apalpa-folgas, se o obturador esmaga devidamente o vedante superior na tampa superior.

Com a válvula toda aberta ou toda fechada, afinou-se os fins de curso dos macacos mecânicos, para a velocidade lenta e rápida. Estes estão colocados nos macacos mecânicos n. 1 e n.º 4, no topo e fundo da manga dos macacos mecânicos.

Afinou-se também todos os sensores de fim de curso de sinalização de esforços na cadeia de sincronização dos macacos mecânicos da válvula cilíndrica, sendo que estes se localizam na parte inferior das mesas das correntes (Figura 31 e Figura 32).



**Figura 30.** Ajustagem dos sensores de esforço, nas mesas das correntes da cadeia de sincronização.



**Figura 31.** Montagem do macaco mecânico concluída.

## **3.2. Trabalhos Realizados pela ALSTOM**

De uma forma resumida, será descrito o procedimento de desmontagem e montagem dos componentes no interior do poço da turbina, do grupo 3, e dos controlos realizados em cada uma das suas fases. Também serão referidos os principais recondiçionamentos realizados.

Todos os controlos realizados, tanto na desmontagem como montagem, foram registados nos respectivos protocolos, sendo posteriormente submetidos a análise. (exemplos de protocolos de desmontagem e montagem (Anexo H e Anexo I).

### **3.2.1. Desmontagem e Controlos Realizados**

Antes da desmontagem foi necessário realizar a centragem do grupo, considerando essa a posição de referência, que permitiu recolher medições de posições relativas e folgas para avaliar o seu estado e análise na posterior montagem.

De uma forma resumida, os controlos realizados formam os seguintes:

- Controlo da elevação das massas girantes com a injeção preliminar ligada;
- Controlo da verticalidade do veio;
- Controlo da linha de veios;
- Controlo das folgas entre tampas e directrizes;
- Controlo das folgas entre a roda e os labirintos;
- Controlo da posição altimétrica da turbina;
- Folga entre a tampa superior e o ante-distribuidor.

O procedimento de desmontagem foi:

- Desmontagem da excitatriz;
- Controlo das folgas dos patins/monte na chumaceira guia do alternador;
- Desmontagem da chumaceira e veio intermédio do alternador;
- Desmontagem do rotor;
- Desmontagem do veio intermédio;
- Desacoplamento do veio intermédio do veio da turbina;
- Elevar e remover o veio intermédio;
- Desmontagem da Chumaceira Combinada;



- Desmontagem da Distribuição;
- Desmontagem das chumaceiras superiores das pás directrizes e bases dos servomotores;
- Desmontagem da Junta Plana;
- Desmontagem da tampa superior e labirinto superior;
- Desmontagem das pás directrizes;
- Desmontagem das chumaceiras inferiores das pás directrizes;
- Desmontagem da roda e do veio da turbina;
- Controlo e nivelamento das superfícies de contacto entre o antedistribuidor e a tampa superior;
- Controlo da posição altimétrica da tampa inferior;
- Desmontagem do Tampa Inferior;
- Controlo do nivelamento da superfície da flange inferior do antedistribuidor.

### **3.2.2. Recondicionamentos dos Vários Componentes**

No âmbito da renovação, vários componentes foram reabilitados. Outros, depois de ensaiados e inspeccionados, tiveram de ser fabricados.

#### **3.2.2.1. Tampa Superior da Turbina**

Tendo como base o relatório da GE Hydro, uma das principais intervenções desta renovação passa pela fabricação de uma nova tampa superior da turbina mais robusta, que não apresente deflexões exageradas, como acontecia com a anterior.

A tampa superior da turbina foi fabricada pela GOMETEGUI, sendo projectada e encomendada pela ALSTOM.

##### **3.2.2.1.1. Pormenores de Projecto**

Para além dos pormenores de projecto já indicados pela GE Hydro, foi-se refinando o que se pretendia para a tampa superior, ao longo da adjudicação.

No projecto da nova tampa assegurou-se a presença de orifícios para a drenagem de fugas pela tampa superior. Os furos de passagem entre câmaras também foram alargados, de modo a facilitar o funcionamento da bomba de drenagem da tampa superior.

O acoplamento entre as duas metades da tampa superior da turbina foi selado na parte superior, com um produto adequado a óleo. Na parte inferior existe um vedante para água do circuito hidráulico.

Foi também necessário pré-montar a junta superior de vedação (estanquicidade com casquilhos separadores, anel e sistema de aperto) do obturador da válvula cilíndrica.

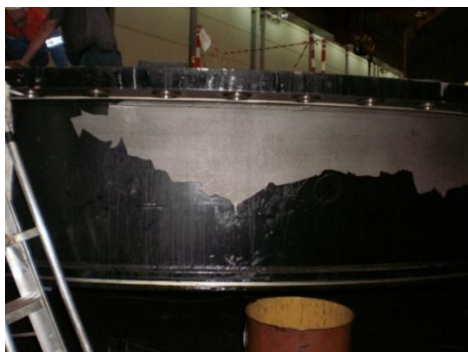
Na desmontagem foi feito um modelo com as furações de fixação da base dos servomotores. Na fabricação da nova tampa, utilizou-se esse modelo para verificar a furação das bases dos servomotores tóricos. O resultado final da furação foi bom, pois apenas dois furos cónicos, em bases diferentes do sistema de imobilização por cavilhas cónicas, não estavam completamente bem posicionados.

#### **3.2.2.1.2. Tratamento Anticorrosivo da Tampa Superior da Turbina**

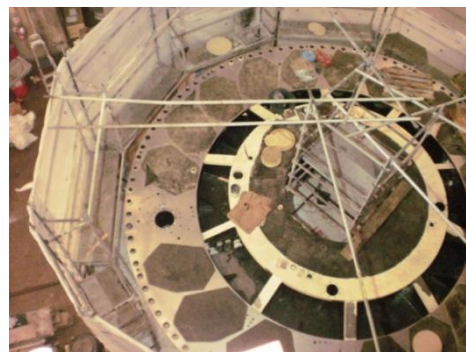
A tampa foi sujeita a tratamento anticorrosivo, pela GOMETEGUI. Este não ficou nas melhores condições, apesar de ter sido realizada uma inspecção em fábrica.

O problema foi identificado ao verificar-se a falta de aderência da camada de tinta em algumas zonas da tampa (Figura 32). Com uma inspecção mais rigorosa, percebeu-se que era um defeito geral da tampa. Essas faltas de aderência levaram a concluir que o tratamento anticorrosivo talvez tenha sido aplicado sem a limpeza e desengorduramento adequado da peça.

O tratamento anticorrosivo ficou a cargo da PROZINCO. Visto ter de se realizar a decapagem completa da tampa, teve de se montar uma cobertura de protecção em pleno estaleiro (Figura 33). Foi necessário proteger todas as superfícies maquinadas da turbina para não se danificarem ou recobrirem de material anticorrosivo durante o tratamento. A decapagem realizou-se com jacto de areia, limpeza, uma demão de primário (50 $\mu$ m), uma demão de protecção (350 $\mu$ m) e uma demão final de cobertura.



**Figura 32.** Falta de aderência, da protecção anticorrosiva, na superfície lateral da tampa superior da turbina.



**Figura 33.** Interior da cobertura de protecção da tampa superior da turbina.

O atraso directamente associado a este defeito foi de cerca de 16 dias. Sendo este atraso incrementado pelos trabalhos de desmontagem e remontagem de alguns componentes, que já haviam sido instalados.

#### **3.2.2.1.3. Vedação da Tampa superior da Turbina**

Depois de devidamente montada e apertada a tampa superior, foi identificada uma anomalia na vedação. No controlo da vedação, a ALSTOM identificou várias zonas em que esta não era efectiva, havendo pelo menos uma zona com uma folga de 1mm numa extensão de, aproximadamente, 1m entre o poço da turbina e o *o'ring*, que garante a vedação. A ALSTOM responsabilizou-se a elaborar o procedimento de reparação, para posterior análise da EDP.

A solução passou por proceder-se à desmontagem parcial dos equipamentos montados sobre a tampa superior da turbina e elevar esta, cerca de 140mm, para intervir na resolução da anomalia na vedação entre a tampa e o ante-distribuidor. Após a subida da tampa superior, realizou-se a reparação em três zonas da superfície de vedação no ante-distribuidor, aplicando BELZONA 1111 (Figura 34 e Figura 35).



**Figura 34.** Preparação de uma das superfícies para reparação da vedação da tampa superior da turbina.



**Figura 35.** Superfície de vedação reparada.

Além desta reparação, instalou-se um *o'ring* com um diâmetro superior, Ø13mm (sendo o anterior de Ø12mm), pois houve uma alteração na profundidade da caixa do *o'ring* de 8,6mm para 9,6mm em projecto (reduzindo significativamente o valor de compressão da junta, principalmente se considerarmos que existe uma folga teórica, que pode variar entre 1 e 2mm, entre os diâmetros de funcionamento do *o'ring*).

### **3.2.2.2. Chumaceira Combinada**

#### **3.2.2.2.1. Cuba do Óleo da Chumaceira Combinada**

Uma questão técnica discutida logo de início foi o facto de o novo fundo da cuba do óleo da chumaceira combinada não poder estar rigidamente fixo à envolvente exterior da mesma, por questões de desmontagem desta e de manutibilidade dos patins radiais e axiais.

A colocação deste fundo de cuba não teve implicações nas cotas de posicionamento do anel suporte dos patins axiais, tendo em conta que foi efectuada uma caixa de alojamento desta peça na tampa superior da turbina, a qual serve de guia de posicionamento da cuba do óleo da chumaceira combinada.

Foi instalado um 3º nível de controlo no detector de nível de óleo na cuba do óleo da chumaceira combinada: Alto, Baixo e Muito Baixo.

#### **3.2.2.2.2. Patins da Chumaceira Combinada**

O subadjudicatário da ALSTOM que recondicionou os patins radiais e axiais da chumaceira combinada foi a firma CRUZ & CRUZ. Este recondicionamento passa pela realização de ensaios não destrutivos (END), para verificação do seu estado. Estes ensaios foram realizados pela SGS, na empresa adjudicatária.

Inicialmente, estava previsto que a folga dos patins radiais da chumaceira combinada da turbina seria de 0,25mm, sendo a folga antes da desmontagem de 0,35mm. Isto justificou-se com o facto de os patins radiais terem uma alteração técnica de concepção para permitir uma melhor lubrificação (como por exemplo, o óleo a utilizar na lubrificação ser menos viscoso) (Figura 36). Mas no final, os patins ficaram com a mesma folga da desmontagem, de 0,35mm. Questionada, a ALSTOM fundamentou a existência de uma nova concepção e desenho do metal antifricção dos patins, que os levou de novo àquela folga.

A ALSTOM decidiu que os patins axiais da chumaceira de impulsos não serão rascados na superfície do metal antifricção, sendo que a EDP recordou que os patins axiais da chumaceira de impulsos eram rascados desde a sua origem, para ficar sempre com uma película de óleo residual, mesmo dotados de injeção preliminar.

Os calços e as molas de assentamento dos patins axiais foram sujeitos a controlos dimensionais. As molas também foram sujeitas a um procedimento chamado “*shotpennig*” que lhe atribuirá uma maior resistência à fadiga (Figura 37).



Figura 36. Novos patins axiais, não rascados.



Figura 37. Mola dos patins axiais da chumaceira combinada, apresentando alguma degradação.

### 3.2.2.2.3. Sistema de Refrigeração do Óleo da Chumaceira Combinada

A circulação do óleo na antiga chumaceira era feita por termossifão, através de furos radiais com diafragma existentes na lentilha, e com a refrigeração do óleo a ser realizada por permutador óleo-água, independente e no exterior da cuba do óleo da chumaceira combinada.

Uma das alterações foi o sistema de circulação de óleo, que passou de circulação “natural” para uma circulação forçada. Para isso, foram instalados dois grupos electrobombas de corrente alterna, no exterior do poço da turbina.

Dessa forma, o óleo sai da cuba de chumaceira por intermédio da nova tubagem instalada no corredor de acesso ao poço da turbina, é bombeado para o permutador de calor, filtrado, e retornado à cuba por uma tubagem adjacente à de saída do óleo.

Os grupos electrobomba são de montagem vertical para uma pressão de serviço de 3bar.

Por motivo de fabricação standard o permutador não é em aço inoxidável, como havia sido requerido pela EDP. Assim, foi acordada a solução apresentada (opção por permutador BLOKSMA-FRYER P28-2P-L=1800) com características técnicas idênticas às requeridas para a lubrificação, como sejam: a transferência de calor a dissipar (250kW); o caudal de lubrificação (da ordem dos 700l/mm mas, no mínimo com 500l/mm); o caudal de refrigeração (da ordem dos 700l/mm); característica do óleo.

Foi necessário alterar a refrigeração do grupo, devido ao atravancamento da refrigeração do óleo da chumaceira combinada (Figura 38).



**Figura 38.** Sistema de refrigeração do óleo da chumaceira combinada.

#### **3.2.2.2.4. Lentilha**

Inicialmente, foi realizado o controlo dimensional da lentilha, no qual se verificou o seu bom estado de conservação. Decorreu o polimento, com lixa de água, da superfície de trabalho da lentilha nos patins axiais.

Os END por líquidos penetrantes e ultra sons, efectuados pela SGS, certificaram que o componente estava conforme para remontagem.

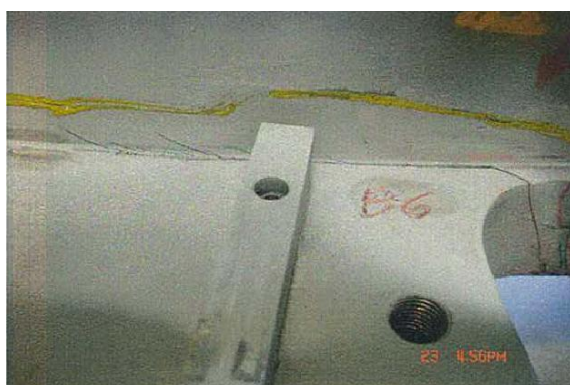
Na periferia exterior da lentilha foram abertos 2 canais paralelos para quebrar a eventual formação de película de óleo por capilaridade (Figura 39). A furação, que outrora serviu para a passagem do óleo da chumaceira combinada para o sistema de refrigeração, foi tamponada e soldada, pois com o novo sistema, o óleo circula por outra instalação.



**Figura 39.** Antiga furação de passagem do óleo da chumaceira combinada na lentilha, devidamente tamponada.

#### **3.2.2.2.5. Anel Suporte de Patins da Chumaceira Combinada**

O anel de base dos patins foi recondicionado pela firma A. Brito, onde foi realizado o controlo dimensional e END das soldaduras, neste caso com recurso a empresa especializada, com procedimento definido pela ALSTOM - Grenoble. Foram encontradas várias fissuras no anel base, dessa forma, procedeu-se à sua reparação, tendo em consideração: os referidos END e o protocolo dimensional prévio; os procedimentos de soldadura e de certificação dos soldadores pelo ISQ; reparação acompanhada em permanência com controlo de qualidade do ISQ; rectificação, ao mínimo, do anel de base para eliminar eventuais empenos provocados pelo trabalho de soldadura; e controlo dimensional final (Figura 40 e Figura 41).



**Figura 40.** Fissuras na base de assentamento das molas planas.



**Figura 41.** Fissura na zona de acoplamento das duas metades do anel suporte de patins da chumaceira combinada.

Verificou-se, numa inspecção ao anel de base e à sua zona de assentamento na antiga tampa superior da turbina, que alguns dos defeitos encontrados no anel de base também estão na tampa superior. Os defeitos encontrados no anel de base foram

parcialmente eliminados com a sua rectificação para eliminar deformações (os defeitos que não foram eliminados por este trabalho não condicionam o funcionamento desta peça).

Foi necessário maquinar uma espessura da ordem dos 3mm na base do anel. Esta espessura foi compensada com as réguas de assentamento das molas. Também as rótulas de afinação dos patins radiais foram alvo de END, sendo que, pelo menos uma delas apresentava-se fissurada.

#### **3.2.2.2.6. Moente**

Foram realizados END efectuados ao moente dos patins radiais da chumaceira combina, montada no veio intermédio. Foram encontradas 28 fissuras pelo exterior (com extensão a variar entre 20 e 60mm) e 3 fissuras pelo interior. Neste contexto, a conclusão final é de peça “não aceitável” para reutilização. Logo, procedeu-se ao fabrico de uma peça nova para substituição.

Relativamente ao novo moente de trabalho dos patins radiais da chumaceira guia da turbina, ocorreu um incidente, em fábrica, que o danificou. Os serviços técnicos da ALSTOM consideram a peça aceitável para montagem tendo em conta o seguinte procedimento, em curso: maquinagem de 0,2mm ao diâmetro 1900mm; eliminar saliências, sem eliminar as reentrâncias, das “mossas” e riscos existentes no diâmetro 2080mm e no topo superior da peça (zona de acoplamento no veio intermédio).

Os serviços técnicos da ALSTOM decidiram introduzir 6 cavilhas de posicionamento e imobilização da saia no veio intermédio, para além da solução original de montagem por acoplamento com interferência e aperto com 8 pernos.

#### **3.2.2.3. Regulação**

O sistema de regulação foi uma das grandes intervenções na renovação do grupo 3. A optimização do sistema, recorrendo a um novo regulador de velocidade, associado ao novo autómato de grupo, permitiu rentabilizar mais a utilização do equipamento.

Depois da drenagem do óleo de regulação e da desmontagem do antigo sistema de regulação, recondicionou-se tanto o reservatório de óleo de regulação como o acumulador ar óleo.



No reservatório de regulação, desmontaram-se as electrobombas para verificar o seu estado, e substituir alguns componentes, como é o caso dos rolamentos. Procedeu-se à limpeza dos filtros de óleo das bombas e do interior do próprio reservatório.

O sistema de medição de nível do reservatório foi alterado, passando do sistema convencional de indicação magnética de nível, com uma escala visual, para um sistema transdutor de micropulso. O sinal emitido por este sensor é posteriormente parametrizado num controlador de painel digital (DIP10 ARDETEM). Essa parametrização está descrita no capítulo de ensaios (Capítulo 4).

Relativamente à monitorização da temperatura do óleo, será utilizada uma sonda Pt100, ligada a um controlador, onde se fez a parametrização.

No que diz respeito ao acumulador ar-óleo, depois de despressurizado e drenado o óleo, procedeu-se à desmontagem dos equipamentos de medição, tendo sido limpo o seu interior e a válvula de isolamento recondicionada pela EDP.

Instalou-se no acumulador um transdutor de pressão ligado a um controlador, que foi parametrizado para accionar uma electroválvula de suplementação de ar ao acumulador.

O acumulador está equipado com um indicador de nível magnético, em que se parametrizou cinco patamares, descritos no capítulo relativo aos ensaios (Capítulo 4).

Foram instaladas duas válvulas de segurança, substituindo a que já existiam.

Na linha de pressão existe um pressostato que monitoriza a pressão do sistema, correspondente à pressão que sai das bombas. Este também está ligado a um controlador e é parametrizado para pressões máximas e mínimas.

### **3.2.3. Montagem e Controlos Realizados**

#### **3.2.3.1. Montagem da Tampa Inferior da Turbina**

Enquanto se procedia o recondicionamento da tampa inferior da turbina, na central, preparava-se o plano de apoio na plataforma para acoplamento das duas meias tampas inferiores. Após a chegada da tampa inferior, acoplou-se as duas metades e procedeu-se à montagem da tampa inferior no respectivo local de funcionamento:

- Alinhou-se as meias tampas com as cavilhas de posicionamento e apertaram-se os pernos através da sua dilatação por resistência eléctrica (nesta

operação utilizou-se massa anti-gripante). A parafusaria do acoplamento foi devidamente travada mecanicamente (Figura 42);

- Montou-se os labirintos fixos inferiores, respeitando a posição de montagem em fábrica na fase de fabrico destes, montou-se a junta de vedação do obturador da válvula cilíndrica e verificou-se o estado dos alojamentos dos sensores de posicionamento radial da roda;

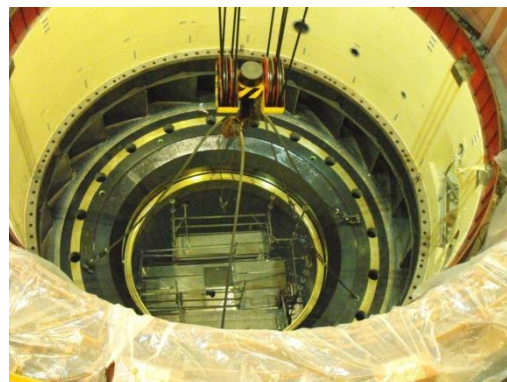
- As chumaceiras inferiores das pás directrizes foram montadas no seu local de funcionamento, respeitando as referências efectuadas na desmontagem;

- Depois da PROZINCO proceder à preparação das superfícies de assentamento da tampa, na flange inferior do ante-distribuidor e no topo do difusor, com as respectivas juntas de cordão de vedação montadas nos alojamentos, procedeu-se ao deslocamento da tampa para o poço da turbina. (Para a realização desta operação, o obturador da válvula cilíndrica já estava colocado no seu devido local de funcionamento);

- Alinhou-se a tampa com os eixos de referência Montante/Jusante e centrou-se utilizando os furos do encavilhamento existente. Depois de a regular, encavilhou-se e imobilizou-se com os parafusos próprios (Figura 43);



**Figura 42.** Preparação das superfícies de acoplamento das duas metades da tampa inferior da turbina.



**Figura 43.** Montagem da tampa inferior da turbina no poço da turbina.

- Com a tampa inferior montada, controlou-se a posição altimétrica da turbina. Para isso, recorreu-se ao ponto fixo da desmontagem, a um nível óptico e fita métrica.

Devido à detecção de defeitos na protecção anticorrosiva da tampa superior e tendo sido ambas as tampas tratadas na GOMETEGUI, a EQS procedeu a ensaios

destrutivos no tratamento anticorrosivo da tampa inferior. A EQS concluiu que o tratamento apresentava-se conforme.

### **3.2.3.2. Montagem da Tampa Superior em Plataforma**

Para a montagem das metades da tampa superior, procedeu-se da seguinte forma:

- Ao longo da recepção das metades da tampa superior da turbina, preparava-se as suas superfícies e furos de acoplamento. Foram também marcados e furados os furos das cinco cavilhas de posicionamento no ante distribuidor;
- Acoplou-se das duas metades na plataforma de montagem, tendo em atenção a preparação prévia das faces e a colocação das juntas de estanquidade (referidas anteriormente) entre as duas metades das tampas. O acoplamento realizou-se a partir do alinhamento das cavilhas de posicionamento das metades;
- Apertou-se, a quente, os pernos fosfatizados de acoplamento, controlando o alongamento. Esta operação foi realizada com recurso a uma máquina hidráulica da SKF, cedida pelo PHDR (Crestuma). Utilizou-se massa anti-gripante nesta operação;
- Montou-se o labirinto superior e centrou-se com a tampa pelas cavilhas de maquinagem conjunta em fábrica;
- Montou-se a junta superior de vedação do obturador da válvula cilíndrica, bloqueando os parafusos com produto da BELZONA.

### **3.2.3.3. Pré-montagem da Tampa Superior da Turbina**

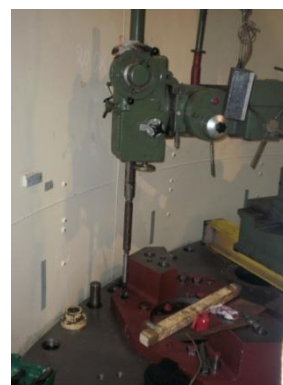
Com o objectivo de controlar o nivelamento e centragem da tampa, e coaxialidade dos furos das chumaceiras das pás directrizes, a tampa foi levada para o seu local de funcionamento (Figura 44). Procedeu-se da seguinte forma:

- Montou-se a ferramenta de manobra da tampa e transportou-se para o poço da turbina;
- Alinhou-se e nivelou-se a tampa superior com os eixos de referência Montante/Jusante da máquina;
- Fez-se coincidir o furo da pá directriz n.º1 da tampa superior com o furo da tampa superior da tampa inferior e pousou-se na flange superior do ante-distribuidor;

- Efectuou-se a furação e mandrilagem em conjunto com a flange do ante-distribuidor dos furos para cavilhas de posicionamento da tampa (Figura 45);
- Realizou-se operações de furação e mandrilagem para cavilhas de posicionamento das bases dos servomotores tóricos e chumaceiras superiores das pás directrizes. De forma a otimizar o tempo, estas operações foram realizadas logo após o assentamento da tampa enquanto se procedia o passo anterior.



**Figura 44.** Descida da tampa superior da turbina para pré-montagem.



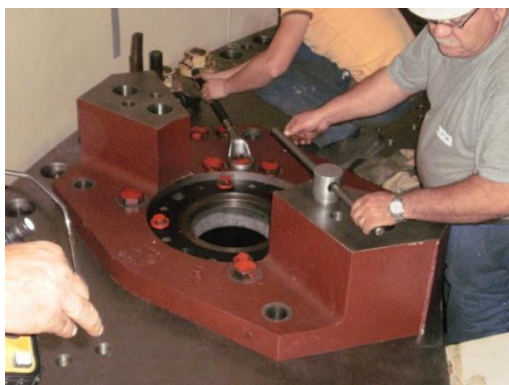
**Figura 45.** Operação de furação e mandrilagem dos furos de fixação da tampa superior da turbina.

- Controlou-se a centragem da tampa superior, utilizando para o efeito as pistas maquinadas criada nas tampas;
- Controlou-se a altura ao longo distribuidor, com recurso a uma vara micrométrica. Semi-apertou-se e encavilhou-se a tampa superior tendo sido feita, anteriormente, a determinação da altura do distribuidor e colocadas as anilhas roscadas de regulação da altura do distribuidor. Controlou-se as folgas entre a tampa superior e o ante-distribuidor, com recurso a uma apalpa-fogas;
- Realizou-se o controlo altimétrico da turbina, entre o ponto de referência marcado no poço da turbina durante a desmontagem e a flange superior e intermédia da tampa da turbina, com recurso a um nível óptico e fita métrica;
- Realizou-se a verificação da coaxialidade entre os furos para as chumaceiras das pás directrizes, da tampa superior e inferior. Para isso, recorreu-se a cordas de viola, esticadas, a passarem pelos dois furos e um micrómetro de interiores. Nesta altura estavam a decorrer os trabalhos de decapagem na conduta e, devido ao sistema de ventilação implementado pela PROZINCO, criava-se “correntes de ar” que faziam oscilar o fio, afectando as medições. Dessa forma foi

necessário para essas frentes de trabalho. Os registos realizados demonstraram falta de coaxialidade entre os furos;

- Montaram-se, nivelaram-se e encavilharam-se as primeiras chumaceiras superiores das pás directrizes (Figura 46 e Figura 47), respeitando a ordem de marcação da desmontagem e centrando-as com as chumaceiras inferiores das pás directrizes, montadas na tampa inferior;

- Montaram-se as primeiras bases dos servomotores tóricos, alinhando-os pelas referências criadas na desmontagem e centrando-as pelos furos do aro superior (Figura 46 e Figura 47);



**Figura 46.** Montagem das chumaceiras superiores das pás directrizes e bases dos servomotores.



**Figura 47.** Chumaceiras superiores das pás directrizes e bases dos servomotores montadas e encavilhadas.

- Desapertou-se e retirou-se as cavilhas e pernos da tampa superior para a remover novamente para a plataforma, onde continuaram os trabalhos de furação e mandrilagem dos furos das restantes bases dos servomotores e se montou a parte fixa da junta plana.

### Controlos

Relativamente ao desenvolvimento dos controlos verificavam-se os seguintes problemas:

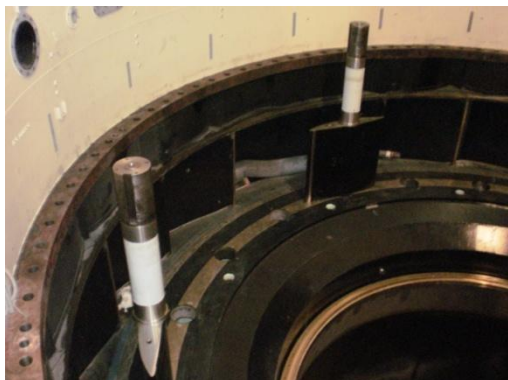
1 – Falta de coaxialidade, em pelo menos 6 conjuntos, entre os furos de alojamento das chumaceiras superiores com os furos de alojamento ou com os casquilhos das chumaceiras inferiores das pás directrizes, sendo que se encontraram diferenças radiais e/ou no passo entre furações. Este trabalho condicionou o caminho crítico da montagem e introduziu atrasos na data prevista para a conclusão da obra.

2 – Depois de analisados os registos dos diâmetros dos casquilhos das chumaceiras superiores e inferiores bem como os veios das pás directrizes, realizados pela ASLTOM, entendeu-se que seria muito difícil a montagem deste conjunto de peças devido à falta de coaxialidade dos respectivos furos de alojamento.

Segundo a ALSTOM, inicialmente a correcção dos defeitos de coaxialidade entre as pás tampas da turbina seria realizada nos próprios equipamentos, ou seja nas pás directrizes e respectivas chumaceiras. Numa fase final conclui-se que apenas seria necessária a correcção nas chumaceiras inferiores das pás directrizes.

#### **3.2.3.4. Montagem das Pás Directrizes**

Desceu-se as directrizes para os potes inferiores, respeitando a posição de cada pá na desmontagem. As pás ficaram colocadas de modo a que o distribuidor permanecesse fechado (Figura 48 e Figura 49).



**Figura 48.** Montagem das primeiras pás directrizes. **Figura 49.** Montagem das pás directrizes completa.

#### **3.2.3.5. Montagem da Roda / Veio da Turbina**

Nesta fase foi realizado o acoplamento, em plataforma, da roda ao veio da turbina, utilizando novos pernos (Figura 50). O aperto dos pernos foi realizado por macaco hidráulico, sendo registado o alongamento deste e pressão de aperto. Para o acoplamento utilizou-se massa anti-gripante.

Os pernos deste acoplamento, ficam sujeitos a muita corrosão, dessa forma foram colocadas tampas no lado inferior dos pernos. No interior das tampas, foi colocado um disco metálico com uma espessura específica, de modo a travar os pernos.

Nesta fase, também se montou o anel de desgaste inferior da junta plana, devido a facilidade de acesso. Após esta operação, elevou-se o conjunto roda/veio da

turbina e colocou-se por cima do cone da roda. Assim, subindo o cone, procedeu-se ao acoplamento deste com a roda.

O conjunto é centrado e controlado, recorrendo aos furos, existentes na tampa inferior e no apoio fixo dos labirintos, a Mont., Jus., M.E. e M.D. (Figura 51). Outro controlo realizado foi o da folga entre a tampa inferior e a roda da turbina.



**Figura 50.** Acoplamento do veio da turbina com a roda, realizado com porcas devidamente travadas.



**Figura 51.** Montagem do conjunto veio da turbina/roda/cone no seu local de funcionamento.

### 3.2.3.6. Montagem Final da Tampa Superior da Turbina

Montou-se a ferramenta de manobra da tampa superior e, com recurso a uma ponte, fez-se descê-lo para a sua posição de funcionamento, respeitando a posição previamente definida na sua pré-montagem.

Fixou-se a tampa remontando as suas cavilhas de posicionamento e apertando os parafusos de imobilização. Previamente preparou-se a superfície de assentamento na flange superior do ante-distribuidor. As porcas dos parafusos de imobilização da tampa foram travadas mecanicamente.

Controlou-se as folgas entre o labirinto móvel superior da roda e o labirinto fixo superior na tampa superior, e entre a roda e a superfície maquinada da tampa superior.

No que diz respeito à junta plana, tendo sido previamente montados, o alojamento do anel fixo e o próprio anel fixo, procedeu-se à montagem da junta de carvão, bem como do anel de desgaste. Finalmente, montou-se a tampa da junta, molas, detectores de desgaste e sensores de temperatura.

### 3.2.3.7. Montagem das Chumaceiras Superiores das Pás Directrizes

Antes da montagem das chumaceiras, foi colocado o vedante que, devido a dificuldades técnicas, rigidez elevada do vedante, tornou necessário criar uma ferramenta específica para este trabalho.

Em seguida, desceu-se as chumaceiras pelo veio das pás, respeitando a numeração da desmontagem. Controlou-se as folgas entre directrizes, entre directrizes e forra de desgaste da tampa superior, com o distribuidor fechado e a pás apoiadas na tampa inferior.

### 3.2.3.8. Montagem do Sistema de Distribuição

À medida que chegavam à central, as flanges com os respectivos sistemas de vedação (vedantes), de limpeza (raspadores), de aperto, hastes e cilindros devidamente reabilitados, realizava-se a pré-montagem dos servomotores em bancada (Figura 52). Seguidamente, montou-se o conjunto de guiamento axial, respeitando as folgas entre aros das directrizes, preconizadas no projecto e verificou-se se as directrizes rodavam livremente sem esforço. Colocaram-se calços entre as directrizes e o distribuidor para auxiliar a montagem.

Montou-se os servomotores tóricos na directriz correspondente respeitando as marcações realizadas na desmontagem (Figura 53).



Figura 52. Montagem dos servomotores em bancada.



Figura 53. Montagem dos servomotes nas suas respectivas bases.

Montou-se o sistema de sincronização da distribuição e afinou-se o sincronismo da cadeia cinemática do distribuidor e controlou-se as folgas entre tampas e directrizes com o distribuidor aberto.



Realizou-se o controlo altimétrico do eixo dos servomotores da distribuição, utilizando para isso, um nível óptico e fita métrica. As medições foram realizadas em relação ao ponto de referência na parede do poço da turbina, já utilizado na desmontagem.

### 3.2.3.9. Montagem da Chumaceira Combinada

Depois de preparada a superfície da tampa superior, onde vai assentar a chumaceira combinada, colocou-se uma chapa com cerca de 5mm, que corresponde ao fundo da cuba do óleo da chumaceira combinada.

Procedeu-se à montagem da meia cuba interior, anel suporte dos patins, tubagens do sistema da injeção preliminar, molas, patins axiais e cuba meia cuba exterior do óleo (Figura 54 e Figura 55). Realizou-se o controlo de nivelamento dos patins axiais.

De seguida, montou-se as rótulas dos patins radiais e os próprios patins radiais, à máxima folga, para permitir a descida do monte, que viria acoplado ao veio intermédio.



Figura 54. Montagem do anel suporte de patins da chumaceira combinada e tubagem da injeção preliminar.



Figura 55. Montagem da meia cuba exterior da chumaceira combinada e patins radiais.

### 3.2.3.10. Montagem do Veio Intermédio, Moente e Lentilha

Depois de o veio intermédio chegar à central, já com o moente dos patins radiais acoplado a quente, e da lentilha ter voltado da rectificação à superfície de interface com os patins axiais, procedeu-se ao acoplamento do conjunto, aplicando um aperto dos parafusos do veio intermédio / lentilha de 200Nm. Nesta medição utilizou-se uma chave dinamométrica.

Procedeu-se à instalação da ferramenta de manobra e desceu-se o conjunto para a posição de trabalho, tomando as devidas precauções, de modo a não danificar os patins radiais.

Realizou-se o aperto dos parafusos de acoplamento entre o veio intermédio e o veio da turbina, com alongamento dos pernos por macaco hidráulico.

Já com óleo na cuba, afinou-se os patins radiais, ficando estes com uma folga de 0,35mm cada um. O procedimento de afinação foi o seguinte:

- Com o grupo centrado, ajustaram-se quatro patins, diametralmente opostos, ao moente da chumaceira (folga zero);

- Calculou-se o ângulo que seria necessário rodar o afinador da rótula, de modo a conseguir um determinado deslocamento do patim. Construiu-se um modelo com esse ângulo;

- Dando a folga aos patins, ligou-se a injeção preliminar e empurrou-se o veio para encostar a cada um dos quatro patins (recorrendo a um macaco hidráulico) e, utilizando comparadores, verificou-se o deslocamento de desencosto de um dos patins até ao encosto do outro, de modo a que corresponda ao somatório das duas folgas aplicadas;

- Os restantes patins radiais foram afinados da mesma forma;

Posteriormente à afinação dos patins, procedeu-se à montagem das ligações hidráulicas e instrumentação de medição. Montou-se, também o sistema de extracção de vapores de óleo e respectivos labirintos da cuba do óleo da chumaceira combinada.

#### **3.2.3.11. Montagem do Rotor**

O rotor, depois de limpo na sua plataforma, foi transportado para o seu local de funcionamento, com auxílio das duas pontes rolantes. Este foi acoplado ao veio intermédio. De seguida, procedeu-se ao controlo dimensional do Estator-Rotor, devidamente explicado no Anexo I. Dos controlos realizados obteve-se os seguintes resultados.

##### Circularidade do estator:

No que diz respeito à circularidade do rotor, a diferença máxima entre o valor máximo e mínimo medido em cada uma das posições é de 1,30mm, cerca de 7% do valor médio do entreferro. Os valores máximos e mínimos encontrados foram, respectivamente, na parte superior do pólo 16 (19,6mm) e na parte inferior dos pólos 25, 26 e 43 (18,3mm). A Figura 99 (Anexo J), compara o valor médio total do entreferro e os valores médios pontuais em cada pólo.

Paralelismos dos pólos com a posição de referência a montante:

Existe diferença substancial entre o entreferro superior e inferior. Esta diferença implica que os pólos ou a referência não estão nivelados entre si. A diferença máxima encontrada entre a medição superior e inferior foi de 0,9mm.

Excentricidade do rotor:

Este controlo, apesar de ter sido feito pela ALSTOM, não transmite qualquer tipo de informação relevante, pois foi feito com o grupo descentrado e com a folga já aplicada nos patins das chumaceiras. Ou seja, o facto de se dizer que existe uma excentricidade, de 0,142mm (dados da ALSTOM), comparada com a folga total dos patins, de aproximadamente 0,7mm, não é conclusivo. De certo modo, todos os valores registados relacionados com o entreferro estão directamente afectados pela descentragem do grupo e folga nos patins das chumaceiras. Assim, os dados recolhidos do entreferro contêm uma incerteza de  $\pm 0.7$ mm.

Circularidade do estator:

De forma análoga ao rotor, verificou-se que a variação máxima da circularidade do estator apresenta um valor de 1,5mm, ou seja, cerca de 8% do valor médio do entreferro. Os valores máximos e mínimos encontrados foram, respectivamente, 19,6mm na parte superior da posição 8 e 18,1mm na parte inferior da posição 31. A Figura 100 (Anexo J) compara o valor médio total do entreferro e os valores médios pontuais em cada pólo.

Paralelismo do empilhamento com o pólo 1:

Neste caso, também existe diferença substancial entre o entreferro superior e inferior. Esta diferença implica que o pólo 1 ou a posição a ser medida no estator não estejam nivelados. A diferença máxima entre a medição superior e inferior foi de 1,4mm.

Excentricidade do estator:

Como referido para a excentricidade do rotor, os valores recolhidos não têm significado.

Eixo magnético:

Com recurso às medições altimétricas realizadas no rotor e estator, efectuou-se o tratamento dos dados, referido no Anexo J.

Da análise realizada, utilizando como referência o pólo 1 do rotor, conclui-se que plano do rotor encontra-se **1,93mm** a baixo, em relação ao plano do estator.

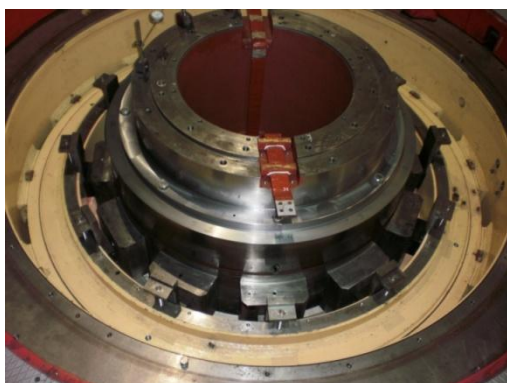
De modo análogo, utilizando a posição do estator a montante como referência, conclui-se que o plano do rotor está **0,07mm** a baixo do plano do estator. Concluindo, temos uma diferença média entre planos de, aproximadamente, **1mm**.

#### **3.2.3.12. Montagem da Chumaceira Guia do Alternador**

O veio do alternador, depois de preparado em plataforma, foi descido, recorrendo a uma ferramenta própria e a uma ponte. O acoplamento foi realizado a quente, tendo sido registados os seus valores de alongamento.

Procedeu-se à montagem da cruzeta do alternador, sendo esta aparafusada nos seus suportes, na fossa do alternador. Na cruzeta vem acoplada a cuba do óleo da chumaceira do alternador, com o respectivo sistema de refrigeração.

Realizou-se a montagem da chumaceira do alternador (sistema de vedação inferior da cuba e patins) (Figura 56) e controlou-se a folga dos patins (0,35mm), utilizando um procedimento similar ao utilizado para os patins radiais da chumaceira combinada (Figura 57).



**Figura 56.** Montagem dos patins radiais da chumaceira do alternador.



**Figura 57.** Ajustagem da chumaceira do alternador.

#### **3.2.3.13. Marcha Concêntrica e Controlo da Elevação das Massas Girantes**

De forma análoga à desmontagem, a marcha concêntrica foi realizada da seguinte forma: comparador em cada uma das direcções Mont., Jus., M.E. e M.D., em quatro níveis ao longo da linha de veios. Os quatro níveis ao longo da linha de veios localizam-se na chumaceira do alternador (secção 1), no topo do veio intermédio, a baixo do rotor (secção 2), na chumaceira combinada (secção 3) e na roda motriz (secção 4). Realizou-se uma rotação de 360° (1 volta) e registou-se os valores para 0°, 90°, 180°, 270° e 360°. Depois de se verificar a marcha concêntrica, comparou-se os valores obtidos, com

várias normas, por exemplo, a norma interna da ALSTOM. Para a marcha concêntrica ser realizada, foi necessário ligar a injeção preliminar, o que permitiu verificar elevação das massas girantes, sendo esta de 0,1mm.

#### **3.2.3.14. Excitatriz**

Montou-se todas as chapas da cobertura da cruzeta.

Procedeu-se à montagem do anel colector e anel porta escovas da excitatriz, ligando os cabos de excitação e controlo (Figura 58).



**Figura 58.** Montagem da cuba de óleo da chumaceira combinada. Montagem da excitatriz.

## **4. ENSAIOS DE ENTRADA EM SERVIÇO DO GRUPO**

### **4.1. Condições Prévias Gerais**

- Alimentação dos armários de comando e controlo dos equipamentos auxiliares em CA e CC;
- Enchimento de óleo de lubrificação das chumaceiras;
- Ligações eléctricas finalizadas;
- Circuitos de tubagem de ar, óleo e água finalizados;
- Montagem mecânica do grupo concluída;
- Montagem concluída do sistema de regulação da turbina;
- Montagem mecânica concluída da válvula de guarda;
- Montagem dos disjuntores de Alta Tensão (AT) e de Média Tensão (MT) concluída;
- Alimentação do sistema de comando da válvula de guarda;
- Alimentação do sistema de ar comprimido para o sistema de frenagem e para a suplementação automática de ar;
- Alimentação dos equipamentos dos sistemas de lubrificação das chumaceiras;
- Alimentação dos equipamentos dos sistemas de injeção preliminar da chumaceira de impulsos e de extracção dos vapores de óleo da chumaceira combinada;
- Alimentação dos equipamentos do sistema de drenagem da fossa da turbina incluindo separador água/óleo;
- Alimentação do sistema de regulação de velocidade;
- Alimentação do sistema de medição de caudal turbinado;
- Alimentação do sistema de refrigeração do grupo;
- Alimentação da protecção da derivação;
- Alimentação do sistema de excitação.

## 4.2. Controlo e Parametrização Dos Instrumentos de Medida Instalados

### 4.2.1. Chumaceira Combinada

A chumaceira combinada tem dez Pt100 instaladas (Figura 59 e Figura 60), dispostas da seguinte forma:

- Patins axiais – 4;
- Patins radiais – 4;
- Cuba do óleo da chumaceira – 2;

Foi instalado um termóstato na cuba do óleo da chumaceira, com o objectivo de existir um parâmetro (alarme ou disparo ainda por definir) de monitorização mecânica.

Em anexo, encontram-se o ensaio feito aos sensores (Anexo K)

Nota: - Existe a incerteza na numeração das sondas de temperatura dos patins radiais, pois não foi registado pela ALSTOM.



Figura 59. Sonda de temperatura Pt100.



Figura 60. Sonda instalada num patim axial.

A cuba do óleo da chumaceira combinada tem um indicador magnético de nível e está parametrizado para vários níveis, como demonstra a Figura 61.

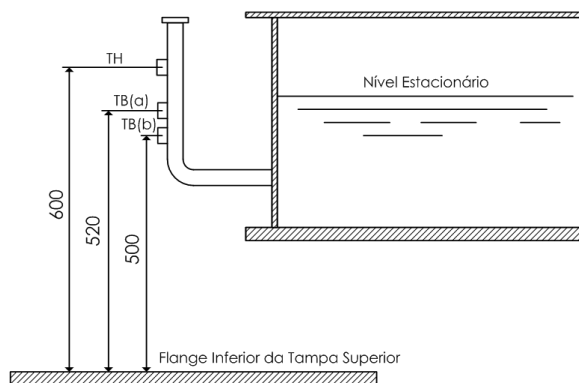


Figura 61. Esquema representativo da cuba de óleo da chumaceira combinada.

Sendo que:

- TH: Nível Alto (Alarme) [96QMia];
- TB(a): Nível Baixo (Alarme) [96QMih];
- TB(b): Nível Muito Baixo (Disparo) [96QMib];

No que diz respeito ao equipamento de circulação de óleo da chumaceira combinada, são monitorizados os seguintes parâmetros:

- Temperatura do óleo à entrada do permutador;
- Temperatura do óleo à saída do permutador;
- Temperatura da água à entrada do permutador;
- Temperatura da água à saída de permutador;
- Pressão no circuito de óleo;
- Colmatação do filtro do óleo;
- Caudal de óleo;
- Caudal de água.

No Anexo K estão representadas as verificações aos sensores.

No início do funcionamento da injeção preliminar a pressão sobe até aos 150bar, sendo apenas um pico de pressão, para permitir o “descolamento” da lentilha dos patins axiais, passando logo para a pressão nominal, de 50bar.

A partir do sinal enviado por um pressostato, o tempo que se demora a atingir o pico é controlado, sendo que dá disparo no caso de tempo excedido (2s).

Verificaram-se as condições de funcionamento das bombas de circulação de óleo da chumaceira combinada, estando o resultado apresentado no Anexo K.

Medições da pressão realizadas no sistema de refrigeração do óleo da chumaceira combinada, são apresentadas no Anexo K.

#### **4.2.2. Bomba de Drenagem da Tampa**

A drenagem das fugas de água da tampa superior é realizada por uma bomba de sujios. Assim, definiu-se três níveis associados ao funcionamento da bomba (Tabela 1):



**Tabela 1.** Níveis de accionamento da bomba de drenagem.

<b>Ref.</b>	<b>Descrição</b>	<b>Posição em relação ao fundo da tampa superior [mm]</b>
DL1	Arranca a bomba	220
DL2	Pára a bomba	120
DL3	Nível muito elevado	300

A verificação do funcionamento da bomba é apresentada no Anexo K.

#### **4.2.3. Extracção de Vapores de Óleo da Chumaceira Combinada**

O sistema de extracção de vapores de óleo tem associado um ventilador que permite a circulação dos vapores de óleo da chumaceira combinada até um colector. O modo de funcionamento do motor eléctrico ligado ao ventilador foi verificado, estando representado no Anexo K.

#### **4.2.4. Junta Plana**

A junta plana, que evita a passagem de água do circuito hidráulico para a parte superior da tampa da turbina, é composta por anéis de carvão (interiores e exteriores), que permitem a estanquicidade. Esta está instrumentada com os seguintes equipamentos de medição:

- Pressão diferencial entre os anéis – Pressostato;
- Temperatura nos anéis – Termóstatos; Pt100;
- Desgaste dos anéis – Detectores de proximidade;
- Caudal de água para os anéis – Caudalímetros.

A verificação dos sensores da junta plana está representada no Anexo K.

Nota: estes caudais foram conseguidos colocando um diafragma a jusante do caudalímetro, sendo o diâmetro do furo do diafragma de 7,5mm.

#### **4.2.5. Frenagem**

Existem 12 êmbolos da frenagem accionados por óleo ou ar comprimido. Estes permitem manobras como a paragem das massas girantes, aquando da paragem do grupo, e

para elevação destas em operações de manutenção. Cada êmbolo de frenagem possui dois fins de curso e um sensor de desgaste do material de fricção (ferodo) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Verificação do funcionamento da frenagem.

<b>Ref.</b>	<b>Descrição</b>	<b>Verificação</b>
S_.1	Frenagem aplicada	OK
S_.2	Frenagem desaplicada	OK
S_.3	Interruptor de proximidade	a 6mm da pista

#### **4.2.6. Chumaceira Guia do Alternador**

Esta chumaceira possui seis sensores de temperatura Pt100 e termóstato. Quatro dos sensores Pt100 estão instalados nos patins, sendo que dois deles são de reserva. Na cuba do óleo estão instalados dois sensores Pt100 e o termóstato. No Anexo K encontram-se as verificações feitas aos sensores.

#### **4.2.7. Regulação**

Foram verificados todos os órgãos hidráulicos, assim como, o reservatório de óleo de regulação, acumulador ar-óleo e respectiva suplementação de ar automática de ar. Foi feito o controlo de todos os circuitos de comando e dispositivos de segurança, directamente ou através de protecções eléctricas e mecânicas.

Foram também controladas as pressões, temperaturas e níveis, de modo a se fazer as parametrizações estado, alarme e disparo.

##### **4.2.7.1. Reservatório de óleo da regulação:**

Válvula de Segurança regulada para 43bar;

Electroválvula de descarga regulada para 41bar;

Transdutor de temperatura do óleo de regulação:

Alarme: 45°C;

Disparo: 50°C;

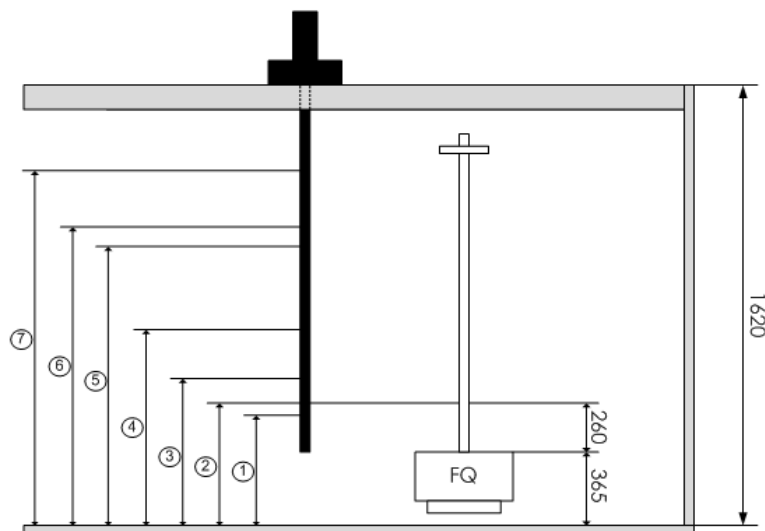
Transdutor de pressão:

Alarme: não avaliado;

Disparo: não avaliado;

Indicador de circulação de água: 80l/min;

Transdutor de nível.



**Figura 62.** Esquema do reservatório de óleo de regulação.

É possível verificar o comportamento do acumulador ar – óleo a partir do reservatório de óleo da regulação (Figura 62).

Sendo este transdutor de saída analógica, parametrizou-se o nível mínimo do reservatório de óleo de regulação (TB) e o nível alto do reservatório de óleo de regulação (TH) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Parametrização dos níveis do reservatório de óleo da regulação (Figura 62).

1	Nível mínimo do reservatório de óleo de regulação - TB – 605mm
2	Nível alto. do acumulador de ar-óleo – TH – 625mm
3	Nível alto normal do acumulador ar-óleo – HN – 695mm
4	Nível baixo normal do acumulador ar-óleo – BN – 820mm
5	Nível baixo do acumulador ar-óleo – TB – 985mm
6	Nível alto do reservatório de óleo de regulação –TH – 1005mm
7	Nível máx. para o flutuador do acumulador ar-óleo – 1280mm

A quantidade de óleo na regulação, no reservatório de óleo e no acumulador ar – óleo é de cerca 5300 litros.

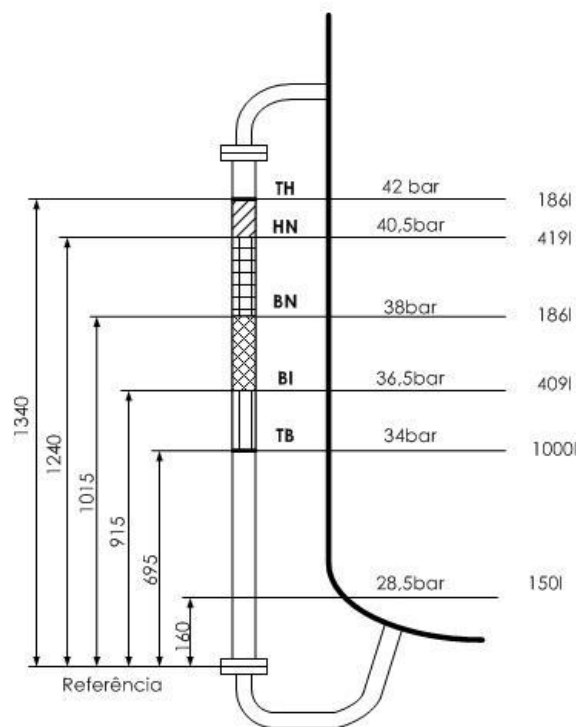
#### 4.2.7.2. Acumulador ar – óleo:

Dados do Acumulador:

Pressão máxima: 43 bar;

Pressão de funcionamento: 39bar;

O nível de óleo do acumulador ar – óleo é controlado por um indicador magnético de nível, com vários relés ao longo do seu corpo (Figura 63 e Tabela 4).



**Figura 63.** Esquema representativo do acumulador ar-óleo.

Os níveis são os seguintes:

**Tabela 4.** Parametrização dos níveis do acumulador ar-óleo.

Nomenclatura	Designação
TH	Nível alto
HN	Nível alto normal
BN	Nível baixo normal
BI	Nível baixo
TB	Nível muito baixo

Os valores de pressão são medidos a partir do transdutor de pressão e manómetro, instalados no acumulador. O transdutor de pressão controla os valores de funcionamento da válvula de suplementação de ar.

A alimentação de ar é controlada pela electroválvula de suplementação de ar, à pressão de 40bar.

Válvula do acumulador:

Curso: 42mm;

Tempo de abertura: 3,5s;                      Tempo de fecho: 9,7s;

#### **4.2.7.3. Ajuste dos tempos de manobra do distribuidor**

Servomotores tóricos:

Diâmetro do furo do diafragma de segurança: 15mm;

Tempo de fecho de segurança, utilizado este diafragma: 4s;

Servomotor de comando:

Diâmetro do furo do diafragma de abertura: 5mm;

Diâmetro do furo do diafragma de fecho: 6mm;

Tempo de abertura das pás do distribuidor de 0% a 100%: 12s;

Tempo de fecho das pás do distribuidor de 0% a 100%: 19s;

Os diafragmas de regulação do tempo de manobra do distribuidor são montados na gaveta de distribuição.

#### **4.2.8. Refrigeração**

O PHMN efectuou medições com o caudalímetro portátil, tendo sido verificados os seguintes valores (Tabela 5):

**Tabela 5.** Verificação dos caudais de refrigeração.

<b>Circuito</b>	<b>Caudal Nominal [l/min]</b>	<b>Caudal Medido [l/min]</b>	<b>Obs.</b>
Refrigeradores do ar do alternador	6.400	7.200	
Refrigerador do óleo da chumaceira combinada	700	680	(1)
Refrigerador do óleo da chumaceira guia alternador	70	85	
Refrigerador do óleo do sistema de regulação da turbina	90	90	
Refrigeração dos labirintos superior e inferior da roda	270	440	(2)
Alimentação à junta de estanquicidade	70	320	(3)

Nota: (1) - Com diafragma Ø26,5 montado pela ALSTOM.

(2) - 2 x 220l/min.

(3) - Com válvulas de isolamento 100% abertas.

Salienta-se o facto do caudal do circuito de água de refrigeração do óleo de regulação, nos caudalímetros da instalação, marcar aproximadamente 60l/min, correspondendo, no entanto, a 90l/min.

#### **4.2.9. Restantes Ensaios**

Sendo esta a última fase da renovação, já realizada ao longo do mês de Março, não foi possível acompanhar totalmente os últimos ensaios. Dessa forma, aguarda-se a entrega do relatório da ALSTOM, onde estarão referenciados todos estes ensaios, com os respectivos resultados.

#### **4.2.10. Vibrações Pós-Renovação**

A partir do VM600 (equipamento de monitorização do aproveitamento), já referido anteriormente, foi possível fazer um registo da evolução das vibrações em função do modo de funcionamento e carga aplicada. Dessa forma, as figuras apresentadas no Anexo K mostram o registo gráfico das vibrações do grupo 3, no dia 07 Março de 2009.

## 5. CONCLUSÃO

O aproveitamento da Central da Aguieira é constituído por grupos de concepção NOHAB/VEVEY, com características destes fornecedores. Para além de ter a chumaceira combinada assente em cima da tampa da turbina, o seu sistema de distribuição a partir de 20 servomotores tóricos, individualizados por directriz, é pouco frequente.

O estudo da GE Hydro, realizado em 2006, foi o catalisador para a intervenção decorrente, pois a partir dele conclui-se que as fugas dos servomotores tóricos e da chumaceira combinada, se deviam principalmente à deflexão da tampa superior da turbina. Sugeriram substituir esta por uma mais robusta o mais rápido possível, pois a anomalia foi considerada de alto risco. Sugeriam também, como principal intervenção a realizar, a substituição do sistema de distribuição por um sistema de anel distribuidor, braços fusíveis e servomotores lineares.

Por outro lado, os ensaios realizados pela ALSTOM, antes da renovação, detectaram níveis problemáticos de vibrações, quando comparados com os valores normalizados, o que fundamentou ainda mais a intervenção urgente do grupo.

O acondicionamento da válvula cilíndrica é considerado uma das intervenções em que é necessário bastante rigor e precisão, para não correr riscos de esforços inesperados nas bases das hastes dos macacos mecânicos. Assim procedeu-se aos mais variados controlos, por forma a garantir o bom funcionamento.

Do estudo realizado aos protocolos de desmontagem, concluiu-se que estes não foram realizados de uma forma cuidada e rigorosa, pois existem fichas de controlo por preencher e medições de alongamentos e pressões de desaperto de vários acoplamentos que não foram registados. No que diz respeito à marcação e numeração de determinado tipo de componentes, esta não se realizou da forma mais correcta, sendo isso relevado na montagem. Ainda no processo de montagem, não se verificou o rigor exigido, sendo que ficaram vários parâmetros por registar.

No que diz respeito à entrega de documentos, desde documentação técnica de equipamentos a controlos realizados, não se verificou a pontualidade desejada, ficando

várias vezes por analisar determinados aspectos, ou então a análise decorreu fora de tempo útil para intervenção.

Os ensaios de entrada em serviço decorreram com normalidade, sendo que os valores registados, tanto ao nível da temperaturas como vibrações, diminuíram substancialmente, em relação aos valores antes da renovação. Dessa forma se conclui que a intervenção de renovação, apesar dos atrasos e imprevistos, foi bem realizada. Assim sendo, espera-se o bom funcionamento da máquina, com o mínimo de indisponibilidades.

O acompanhamento da renovação, no âmbito deste estágio, permitiu aprofundar conhecimentos de uma forma bastante intensiva, adquirindo competências aos mais variados níveis.

Do acompanhamento da renovação, aprenderam-se e relembroum-se vários conceitos sobre os componentes de um grupo gerador, tendo em conta todo o processo de desmontagem, reabilitação, fabricação e remontagem.

Em relação aos ensaios, permitiram conhecer toda a parametrização da máquina, desde a localização das várias sondas (temperatura, deslocamento, vibrações, etc.), até aos valores de alarme e disparo do grupo. Ainda associado aos ensaios, percebeu-se o funcionamento da matriz de controlo antiga, e verificou-se as várias alterações nesta no decorrer da intervenção (facto este que não figura no presente relatório).

Por todas estas razões, pode-se considerar que este estágio foi uma oportunidade única de aprendizagem, desenvolvimento pessoal e de competências.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALSTOM Hydro France (2009). “Aguieira Unit 3 – Test before refurbishment”, Document N.º LTESS-09228\_Rev.A.
- ALSTOM Hydro (2009). “Beneficiação dos Grupos - Especificação de Desmontagem e de Controlo”, Document N.º26294.0900.EDD.00.
- ALSTOM Hydro (2009). “Beneficiação dos Grupos - Especificação de Montagem e de Controlo”, Document N.º26294.0900.EDM.00.
- EDP (Fevereiro de 2006). “Medição de vibrações – Grupo 3 – Relatório de ensaios”, 0717-P0144/06.
- EDP (Setembro de 2006). “Medição de vibrações – Grupo 3 – Relatório de ensaios”, 0717-P1051/06.
- GE Hydro (2006). “Aguieira Reversible Pump Turbines – Report from inspections and measurements at site”, Document N.º 16104 Rev.0.
- ISO 7919-5 (2005). “Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts – Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants”.
- ISO 8501-1 (2007). “Preparation of steel substrates before application of paints and related products – Visual assessment of surface cleanliness – Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings”.
- ISO 10816-5 (2000). “Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants”.

## 7. ANEXOS

### 7.1. Anexo A – Aproveitamentos do PHTM

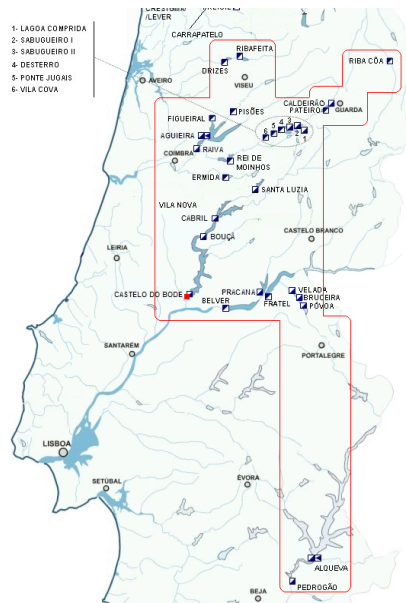


Figura 64. Aproveitamentos hidroeléctricos que integram o PHTM.

### 7.2. Anexo B – Aproveitamento Hidroeléctrico da Aguieira

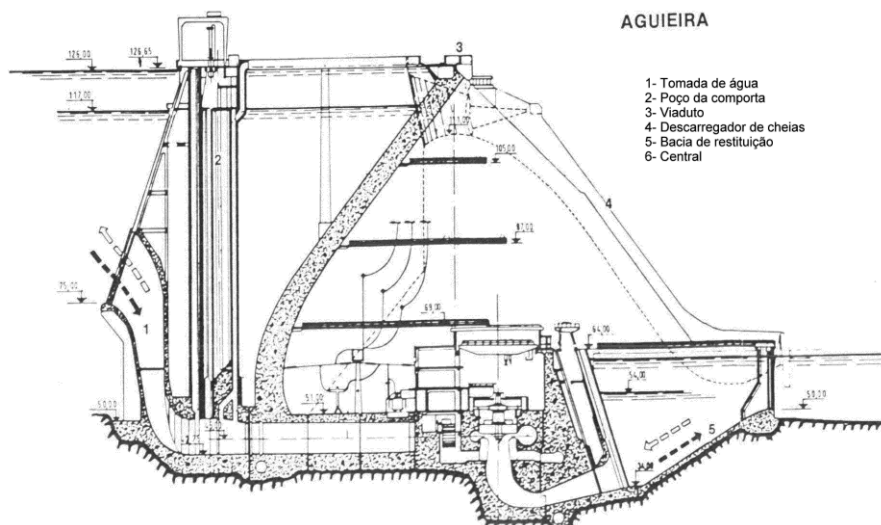
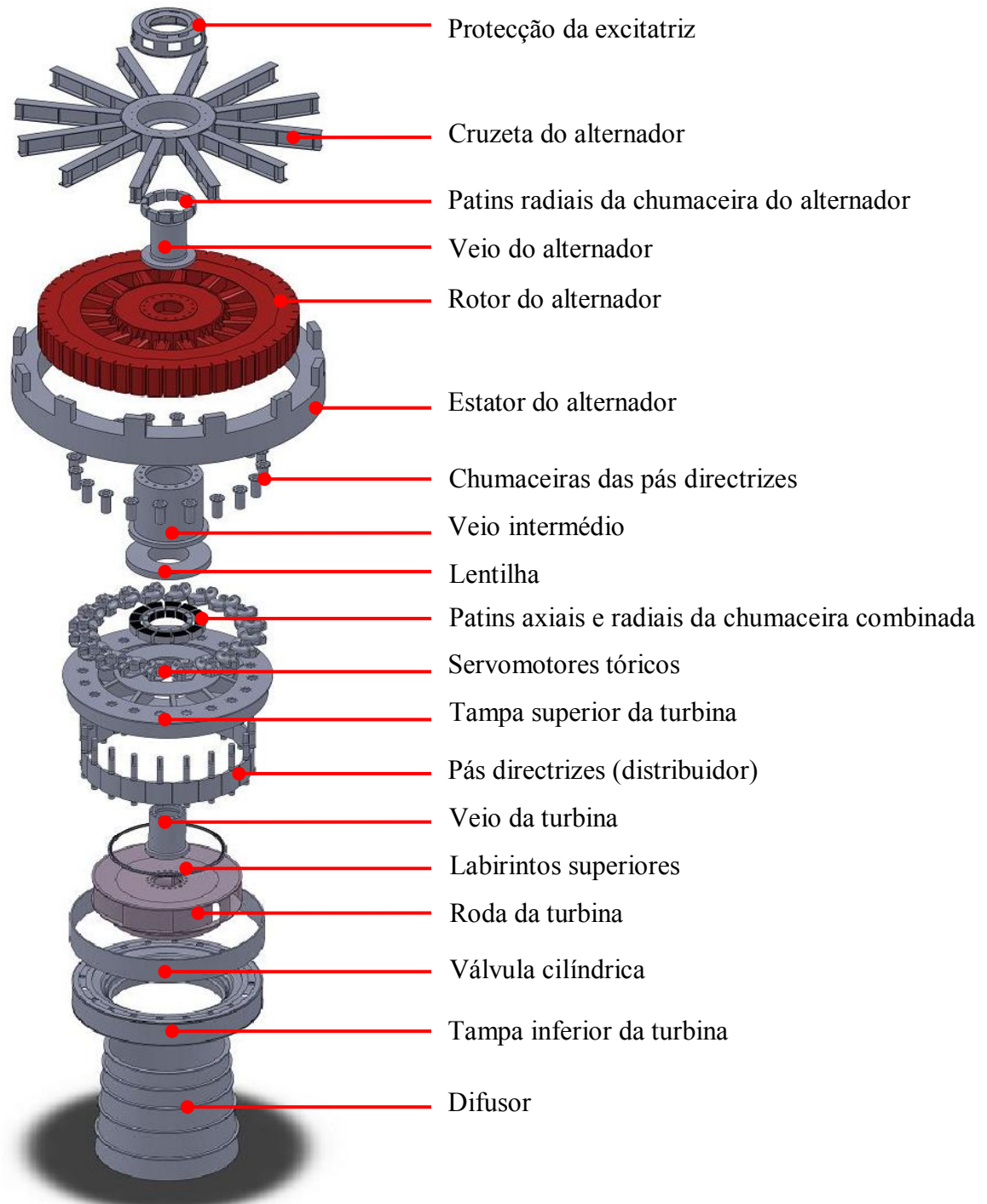


Figura 65. Corte do aproveitamento hidroeléctrico da Aguieira.

### 7.3. Anexo C – Componentes do Grupo 3



**Figura 66.** Esquemática dos vários componentes de um grupo gerador do aproveitamento da Aguieira.

## 7.4. Anexo D – Estudos Realizados pela GE Hydro

### 7.4.1. Análise de vibrações pela GE Hydro

A partir da Norma ISO 10816-5, verificaram-se os valores de vibração.

De acordo com a norma, os limites aplicados à Aguieira são (Tabela 6):

**Tabela 6.** Limites de vibração para o grupo gerador (ISO 10816-5).

Zona	Suporte Superior do Alternador		Todas as Outras Localizações	
	Deslocamento [ $\mu\text{m}$ ]	Velocidade rms [mm/s]	Deslocamento [ $\mu\text{m}$ ]	Velocidade rms [mm/s]
A/B	65	2,5	30	1,6
B/C	100	4,0	80	4,0
C/D	160	6,4	80	4,0

Em que:

Zona A – Máquinas recentemente comissionadas;

Zona B – Insatisfatório para funcionamento a longo prazo;

Zona C – Considerado suficientemente severo para causar estragos;

Os valores registados para o alternador (direcção radial) e tampa da turbina (direcção axial) aparentavam estar bem, quando comparados com a norma (Zona A/B).

A tampa superior da turbina (direcção radial) apresentava vibrações elevadas para uma gama de cargas (á volta de 30MW), o que é frequente em turbinas Francis. Dessa forma, esta gama de valores de carga deveram ser evitados. Todos os outros registos apresentam valores normais de acordo com a norma (Zona A/B).

Na tampa inferior (direcção axial) os valores registados são considerados, segundo a norma, aceitáveis, apenas alguns valores de funcionamento em bomba apresentam-se elevados (Zona B/C)

Verificou-se que a maioria dos valores registados nas pás directrizes apresentavam-se muito elevados (Zona C/D).

A maioria das vibrações reside na turbina, e também no topo do alternador à carga máxima, no início de funcionamento em turbina e bomba.

Os níveis de vibração não eram considerados alarmantes, mas acima do normal, comparativamente a outras máquinas do género.

### 7.4.2. Análise por FEM à Tampa Superior da Turbina

Para o estudo da tampa superior da turbina, pelo método dos elementos finitos, foi modelado apenas  $\frac{1}{4}$  da tampa superior. O modelo não inclui as flanges de ligação entre as duas metades da tampa, ou seja, não inclui tensões e deformações locais nessa flanges.

A tampa superior suporta todo o peso das massas girantes, por intermédio da chumaceira combinada, e a impulsão hidráulica da roda. As cargas aplicadas na tampa estão representadas na Figura 67. Na zona central da tampa, numa área com o raio de aproximadamente 2500mm, foi aplicado o peso correspondente às massas girantes, o que corresponde à carga na chumaceira combinada.

Neste estudo, foram considerados três casos de carga (“Load Cases” – “LC”):

**LC1:** 325T, correspondente ao peso das massas girantes, ou seja, a carga na chumaceira combinada. Sem pressão hidráulica. Corresponde ao grupo desafogado, com o peso “morto” na tampa.

**LC2:** Apenas a pressão hidráulica. Sem o peso das massas girantes ou impulsão hidráulica da roda.

**LC3:** Pressão hidráulica, carga das massas girantes e impulsão hidráulica da roda.

A distribuição da pressão hidráulica é demonstrada na Figura 67. Os valores de pressão são os de funcionamento normal, ou seja, distribuidor aberto no máximo, para cotas a montante e jusante máximas.

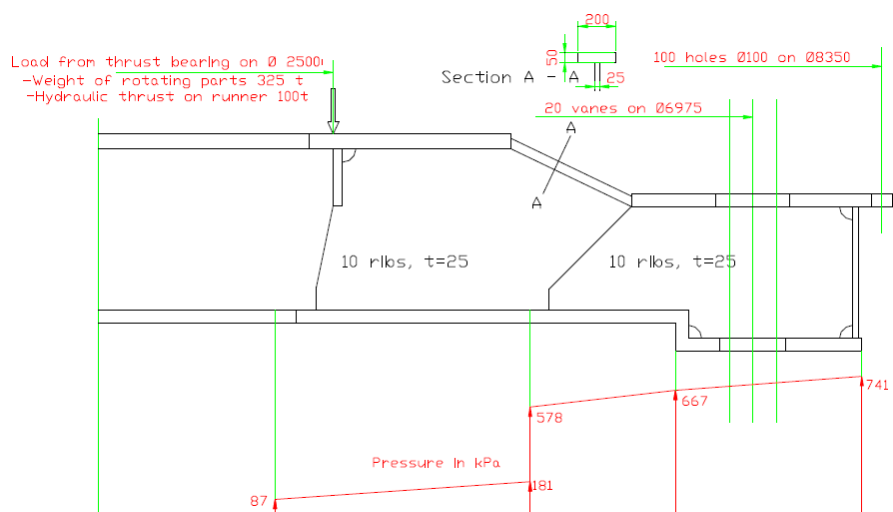


Figura 67. Cargas aplicadas no modelo da tampa superior da turbina.

Para a modelação da tampa, utilizou-se as seguintes hipóteses:

- A distribuição da pressão radial foi elaborada pelo cálculo simples de Euler. A velocidade tangencial da água entre a roda e a tampa superior foi calculada supondo que a água roda com 50% da velocidade da roda.
- A pressão no cimo da roda, do lado de dentro dos labirintos, foi estabelecida a partir dos valores medidos na tampa superior.
- A impulsão na roda foi calculada para uma carga hidráulica relativamente pequena, 100T. Isto é, efectuar uma estimativa conservativa, pois, com valores altos de carga, as tensões e deflexões na tampa superior reduzir-se-ão.

### TENSÕES

**LC1:** Apresenta tensões baixas, sendo este caso apenas relevante para o cálculo da rigidez da tampa.

**LC2:** É considerado o pior caso para a tampa, pois houve redução da carga axial na chumaceira combinada. Este caso é considerado pouco habitual, mas de facto existem casos, em outras unidades, que o rotor é elevado devido a pressões ascendentes inesperadas na roda.

As tensões para a parte superior e inferior da tampa são consideradas baixas e seguras (50MPa). No que diz respeito às “travessas” da tampa, apresentam valores mais elevados (entre 130MPa e 150MPa).

O valor máximo calculado (316MPa) é uma típica tensão de pico, que pode favorecer a fadiga do material, mas não é considerado séria, tal como este caso de carga anormal.

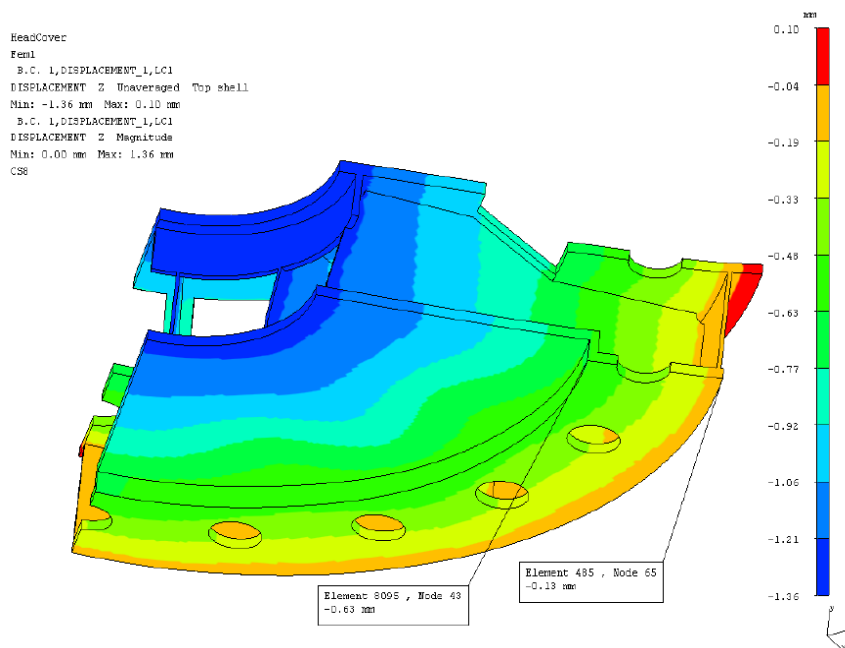
**LC3:** Esta é considerada uma situação normal de funcionamento, e as tensões descem cerca de 20% do caso anterior.

As tensões encontradas na faces superior e inferior da tampa, são consideradas baixas (40MPa), quanto nas “travessas” apresenta valores elevados (entre 110MPa e 130MPa), mas não alarmantes.

O valor máximo encontrado (252MPa) é um valor típico de pico, favorecendo os efeitos de fadiga do material, principalmente se existir vários arranques de turbina – bomba por dia.

## DEFLEXÃO

**LC1:** Este caso de carga é relevante para validar a rigidez da tampa superior como suporte da carga na chumaceira combinada. Dá a constaste de mola na direcção axial e a partir daí pode-se calcular a frequência natural da tampa com as massas girantes na direcção axial (Figura 68).



**Figura 68.** LC1 ("Load Case 1").

A frequência natural calculada é de 13,51Hz. Esta frequência não deverá coincidir com nenhuma frequência de funcionamento do sistema de modo a evitar problemas de ressonância na direcção axial.

O cálculo verifica que a tampa tem a rigidez adequada para suportar a carga da chumaceira combinada, sem correr o risco de ressonância com nenhum outro sistema de frequências.

**LC2:** A deflexão máxima axial é 3,98mm, na zona de assentamento da chumaceira combinada. É considerada elevada mas não alarmante (Figura 69).

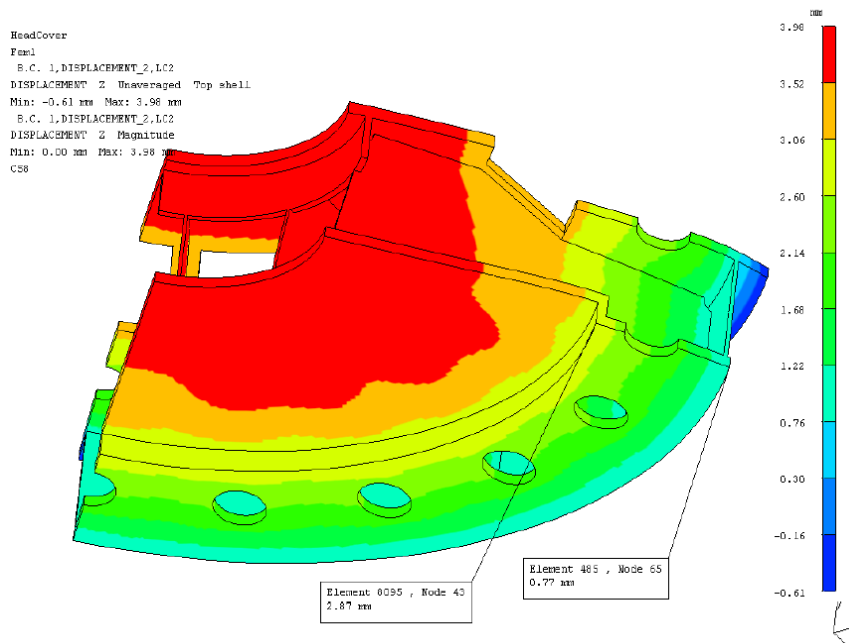


Figura 69. LC2 ("Load Case 2").

**LC3:** Sendo este a situação de funcionamento normal, é evidente a redução da deflexão, em relação ao caso 2.

A máxima defecção na zona da chumaceira combinada é entre 2,71mm e 2,39mm. Estes valores são idênticos aos medidos no local. A deflexão angular média ronda os  $0,8 \times 10^{-3}$  radianos. Segundo o valor de projecto, deveria ser de  $0,5 \times 10^{-3}$  radianos (Figura 70).

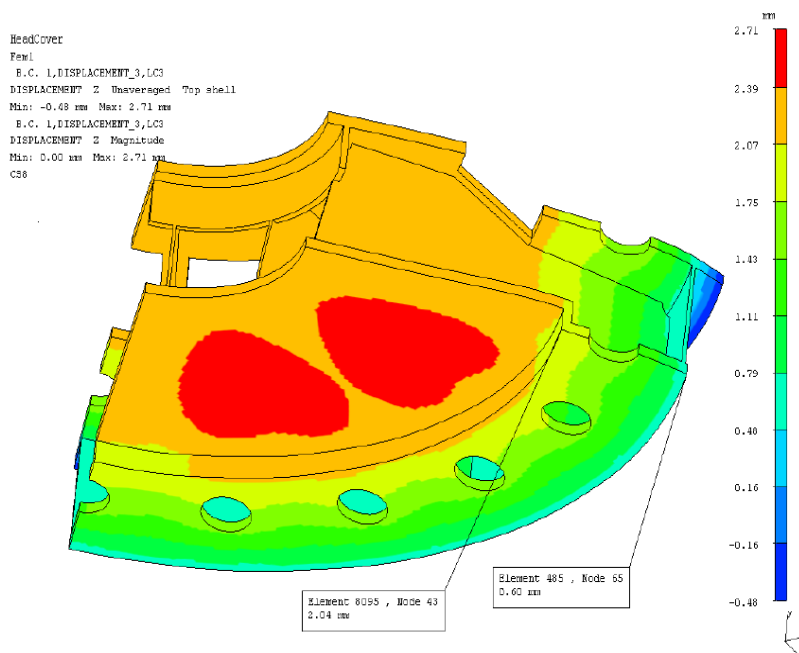


Figura 70. LC 3 ("Load Case 3").



É de bastante interesse saber o comportamento da tampa à volta dos veios das pás directrizes. Nessa zona existe uma deflexão de cerca 2,04mm, o que não é muito menor quando comparado com a zona da chumaceira combinada (2,71mm).

A deflexão angular da superfície da tampa contra as pás directrizes é, aproximadamente,  $2,0 \times 10^{-3}$  radianos, o que é considerado elevado, em relação ao valor de projecto, que ronda os  $1,0 \times 10^{-3}$  radianos para esta parte da tampa. Este valor é importante tanto para a eficiência da turbina como para o bom funcionamento dos servomotores das pás directrizes.

## 7.5. Anexo E – Estudos Realizados pela ALSTOM

Foram medidos os valores de deslocamento do veio, pico a pico, e caudal turbinado, à velocidade nominal, para os seguintes regimes de funcionamento em turbina: 50%Pmax, 55%Pmax, 60%Pmax, 65%Pmax, 70%Pmax, 75%Pmax, 80%Pmax, 85%Pmax, 90%Pmax, 95%Pmax e 100%Pmax repetindo 100%Pmax.

### Deslocamentos do veio:

Recorrendo à norma ISO 7919, que define o limite de vibrações versus rotação de veios, comparou-se os valores obtidos, de pico a pico e  $S_{max}$ , sendo os resultados possíveis:

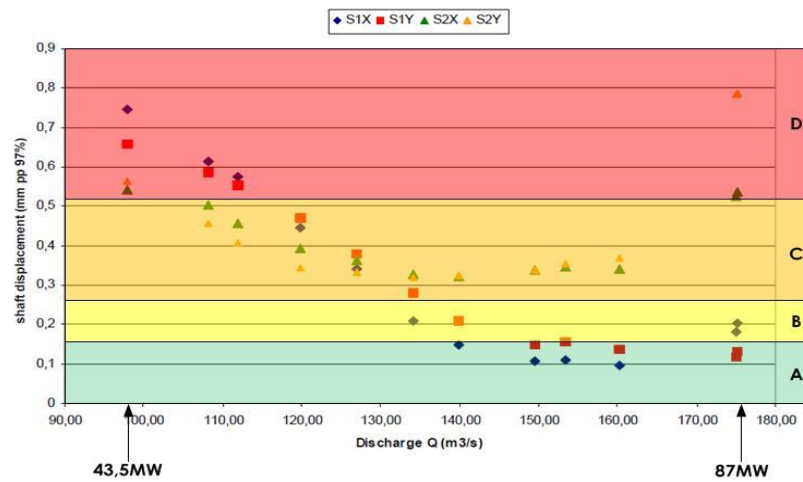
- A – Máquina nova;
- B – Aceitável sem restrições;
- C – Tolerável para tempo limitado de operação;
- D – Anormal

Para uma velocidade de rotação de 125r.p.m. a norma específica os valores da Tabela 7:

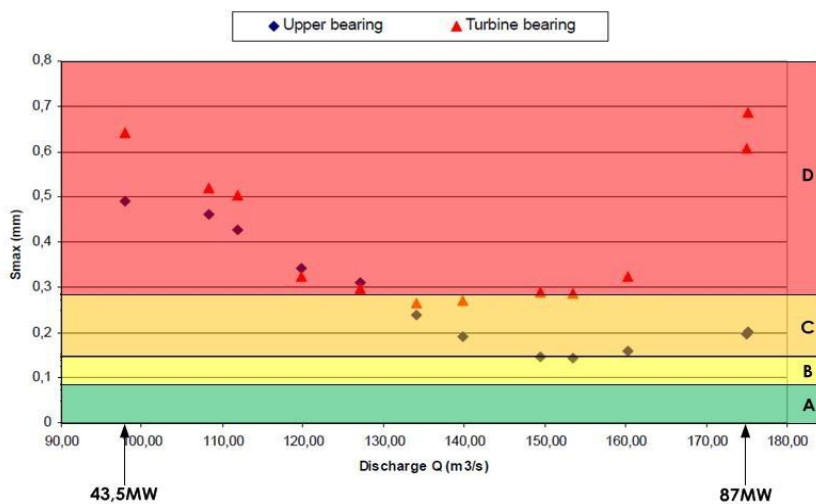
**Tabela 7.** Limites de vibração para o grupo gerador (ISO 7919-5).

Zona	$S_{max}$ (mm)	$S_{pp}$ (mm pp)
A – B	0,085	0,157
B – C	0,145	0,262
C – D	0,285	0,517

Reunindo todas da medições obteve-se as Figura 71 e Figura 72:



**Figura 71.** Gráfico da evolução do deslocamento do veio ( $S_{pp}$ ), com a carga.



**Figura 72.** Evolução de  $S_{max}$  com a carga.

Segundo a norma utilizada, os valores de vibração são considerados anormais, especialmente para cargas entre os 40MW a 60MW, na chumaceira guia do alternador, e entre os 40MW a 60MW e 80MW a carga máxima, na chumaceira combinada.

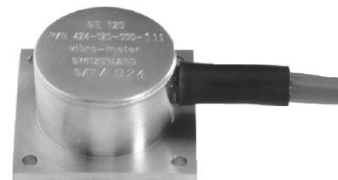
Os valores registados são mais elevados na chumaceira combinada do que na chumaceira guia do alternador.

## 7.6. Anexo F - Estudos Realizados pela EDP

### 7.6.1. Sensores de Vibrações e Posicionamento Utilizados

Acelerómetro Piezoresistivo SE 120 (Figura 73)

- Acelerómetro de alta sensibilidade;
- Aplicações em turbinas hidráulicas;
- Monitorização de vibrações de baixa frequência;
- Cabo integrado;
- Invólucro duplo e isolado;



**Figura 73.** Acelerómetro piezoresistivo SE120.

O transdutor consiste num sensor de aceleração piezoresistivo de silício, provido de quatro resistências em ponte de *Wheatstone*.

A sua saída tem uma sensibilidade de 2mA/g. Para além do seu invólucro em aço inox blindado, contém um cabo de ligação integrado.

Detectores de Proximidade TQ 402 (Figura 74)

- Sistema de medição sem contacto baseado no princípio de corrente de *eddy*;
- Certificado para uso em atmosferas potencialmente explosivas;
- Sistema de compensação de temperatura;
- Tensão ou corrente de saída com protecção contra curto-circuitos;
- Frequência de resposta: DC a 20kHz (-3dB);
- Campo de medição: 2mm ou 4mm;
- Campo de temperaturas do transdutor: -40°C a +180°C;



**Figura 74.** Detetector de proximidade TQ402.

### Detectores de Proximidade TQ 403 (Figura 75)

- Sistema de medição sem contacto baseado no princípio de corrente de *eddy*;
- Certificado para uso em atmosferas potencialmente explosivas;
- Sistema de compensação de temperatura;
- Tensão ou corrente de saída com protecção contra curto-circuitos;
- Frequência de resposta: DC a 20kHz (-3dB);
- Campo de medição: 12mm;
- Campo de temperaturas do Transdutor: -40°C a +180°C;



**Figura 75.** Detector de proximidade TQ403.

Estes detectores de proximidade permitem medições de deslocamentos relativos de elementos de máquinas em movimento. São habitualmente utilizados para medições da posição axial de veios rotativos, tais como os encontrados em turbinas a vapor, gás e hidráulicas, como também em alternadores, turbo-compressores e bombas.

A parte activa dos transdutores é constituída por uma bobine de fio que é moldada no interior da ponta do dispositivo, sendo feita de Torlon (poliamida-imida). Os corpos dos transdutores são feitos de aço inoxidável. O material alvo, onde se pretende efectuar a medição deve ser metálico.

## 7.6.2. Funcionamento em Bomba VIBRAÇÕES

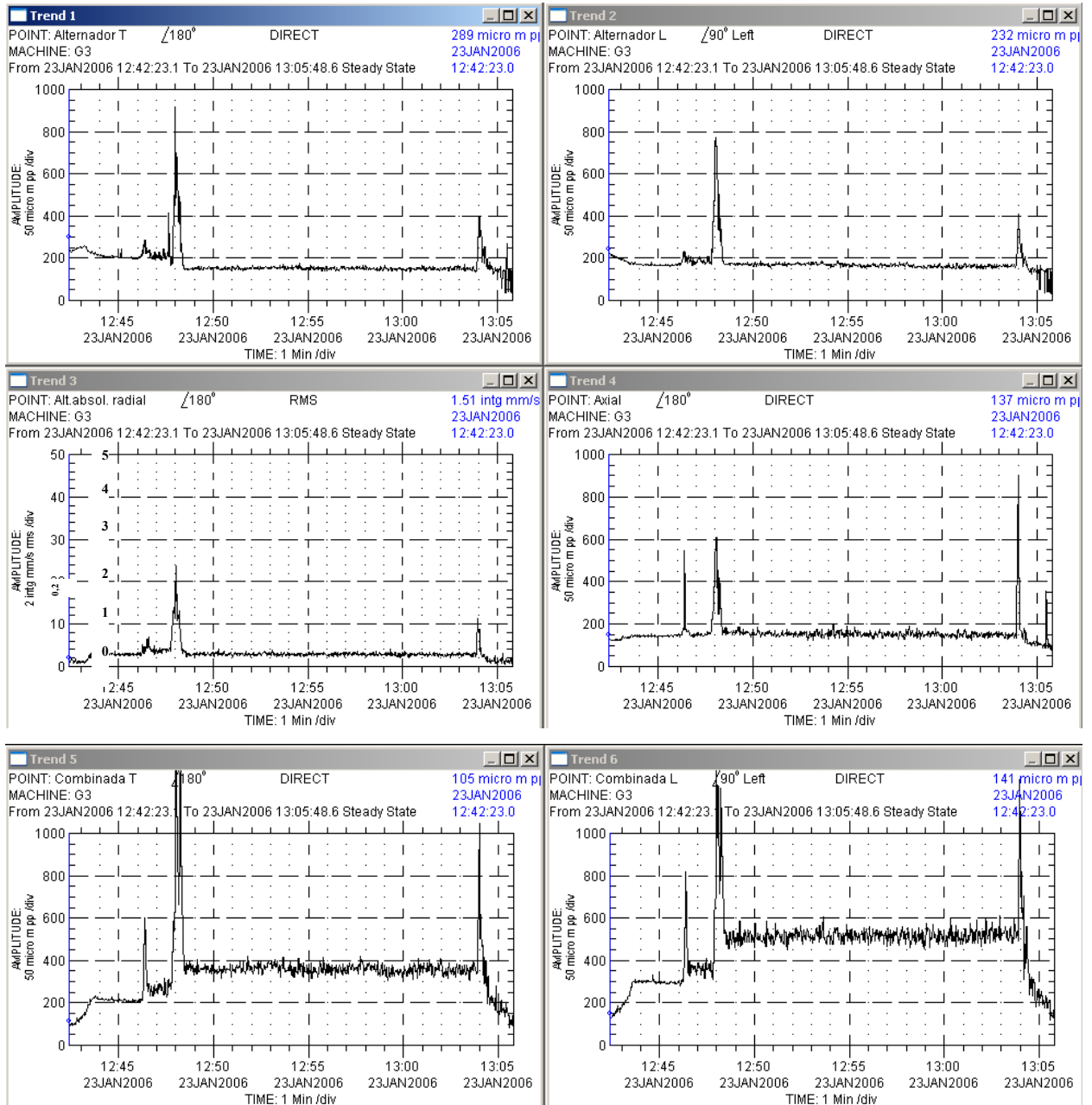


Figura 76. Gráficos de vibrações do dia 26 de Janeiro de 2006, obtidos a partir do sistema portátil de aquisição de dados.

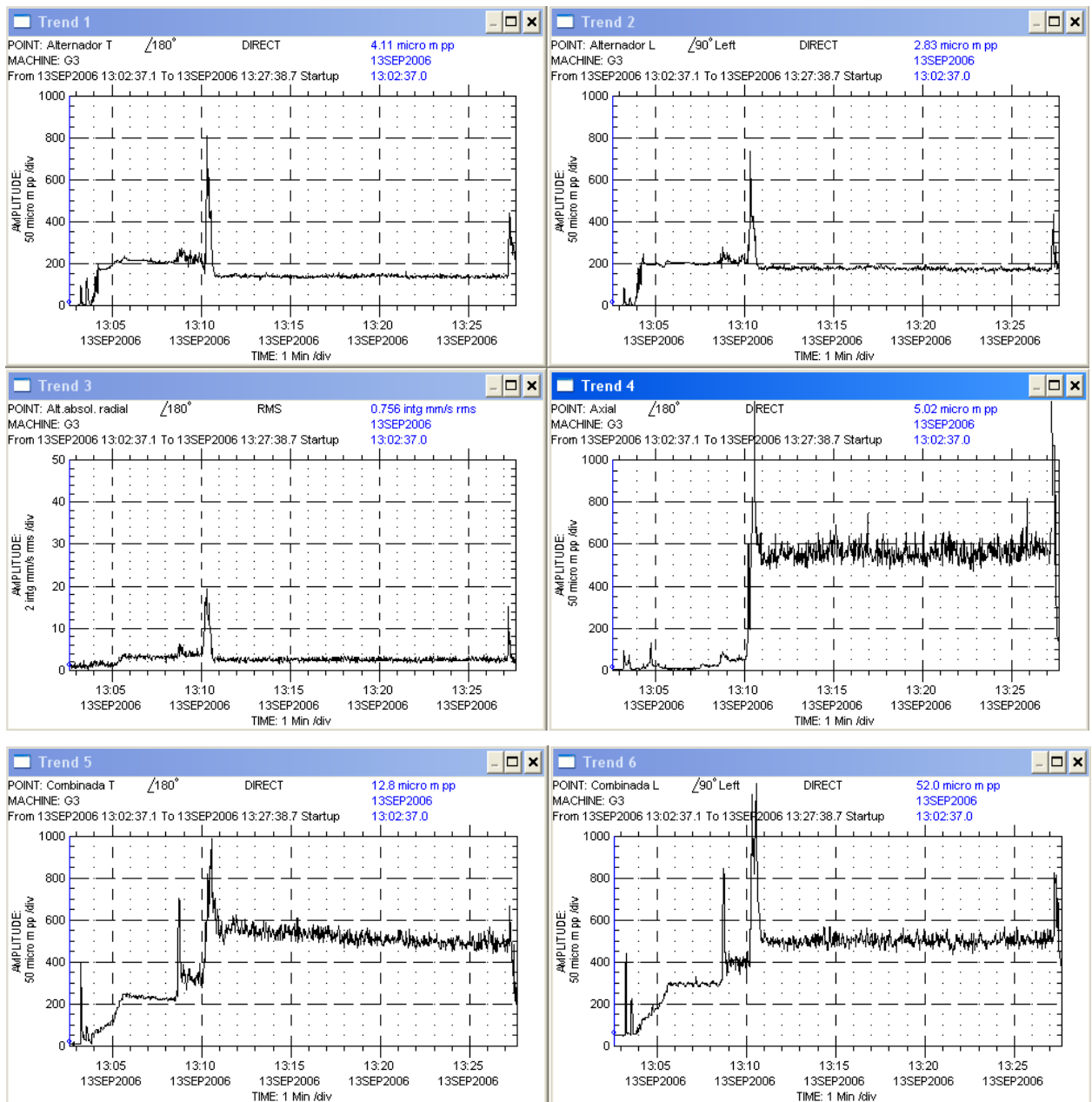


Figura 77. Gráficos de vibrações do dia 13 de Setembro de 2006, obtidos a partir do sistema portátil de aquisição de dados.

### POSIÇÃO DO VEIO

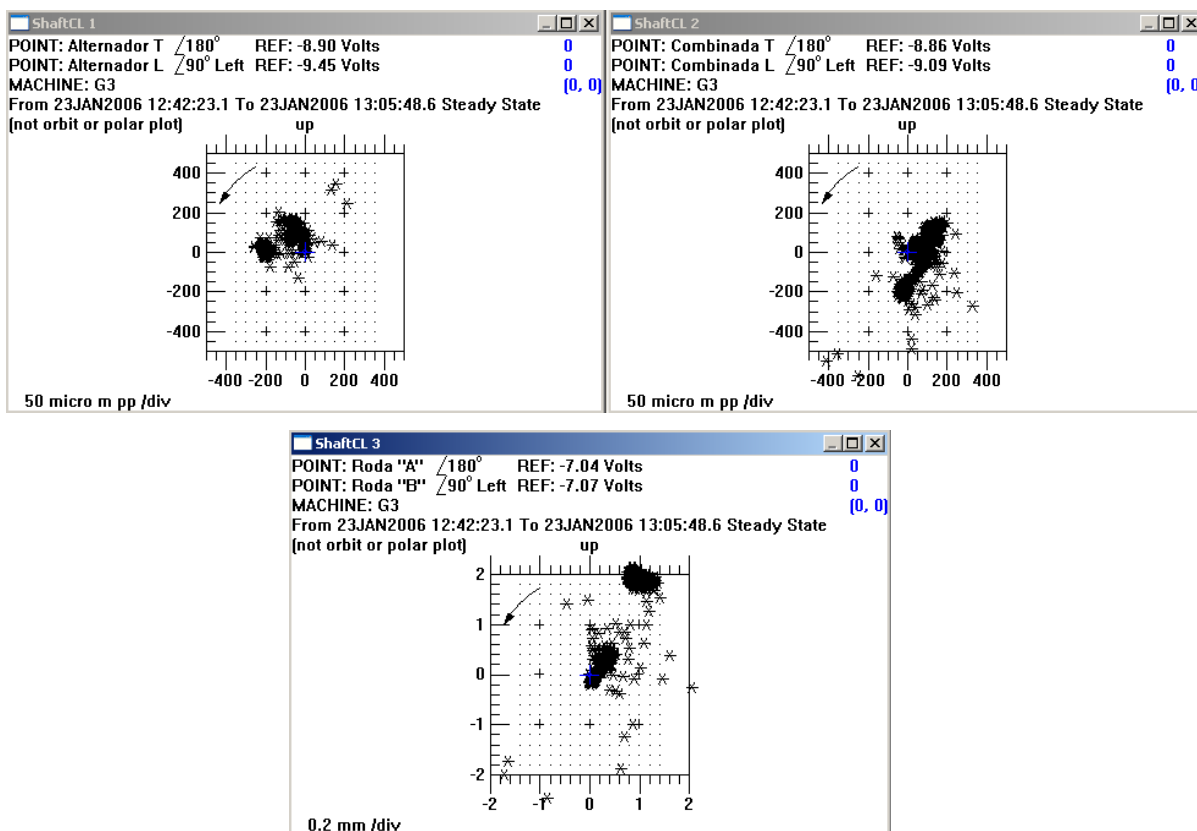


Figura 78. Gráficos da posição do veio em vários planos de medição, do dia 26 de Janeiro de 2006, obtidos a partir do sistema portátil de aquisição e tratamento de dados.

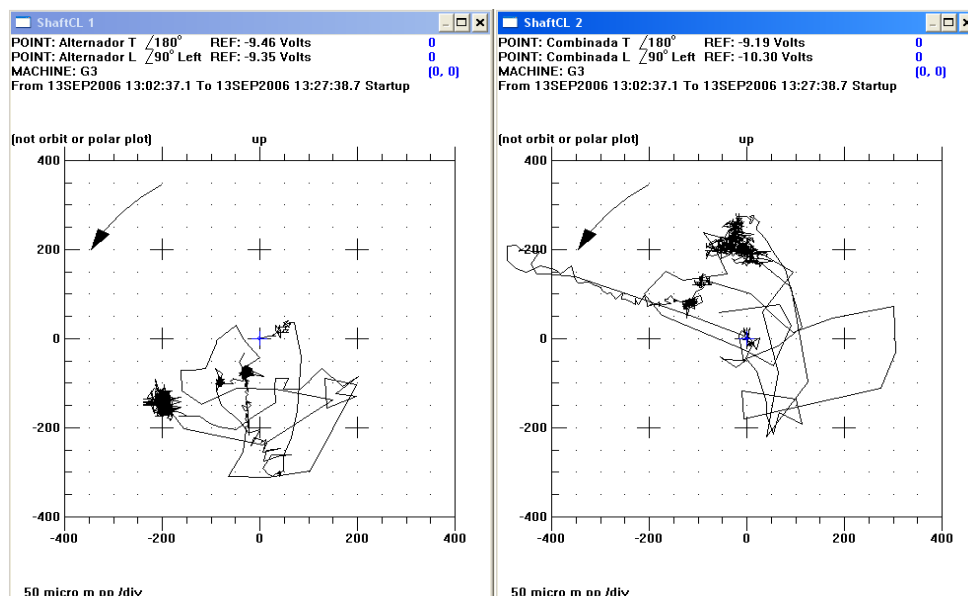


Figura 79. Gráficos da posição do veio em vários planos de medição, do dia 13 de Setembro de 2006, obtidos a partir do sistema portátil de aquisição e tratamento de dados.

### POSIÇÃO DA RODA

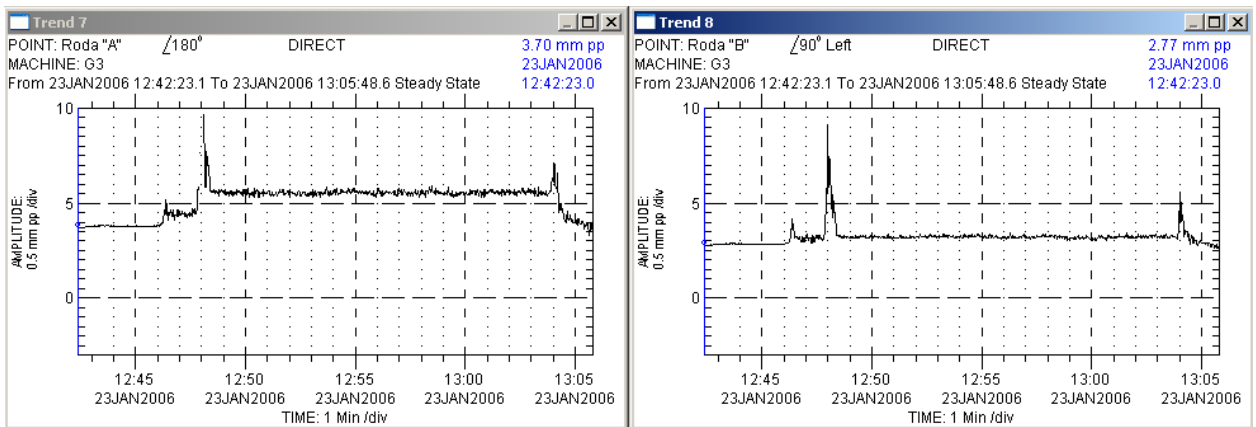


Figura 80. Gráficos da posição da roda, do dia 26 de Janeiro de 2006, obtidos a partir do sistema portátil de aquisição e tratamento de dados.

### 7.6.3. Condições de Funcionamento Antes da Renovação

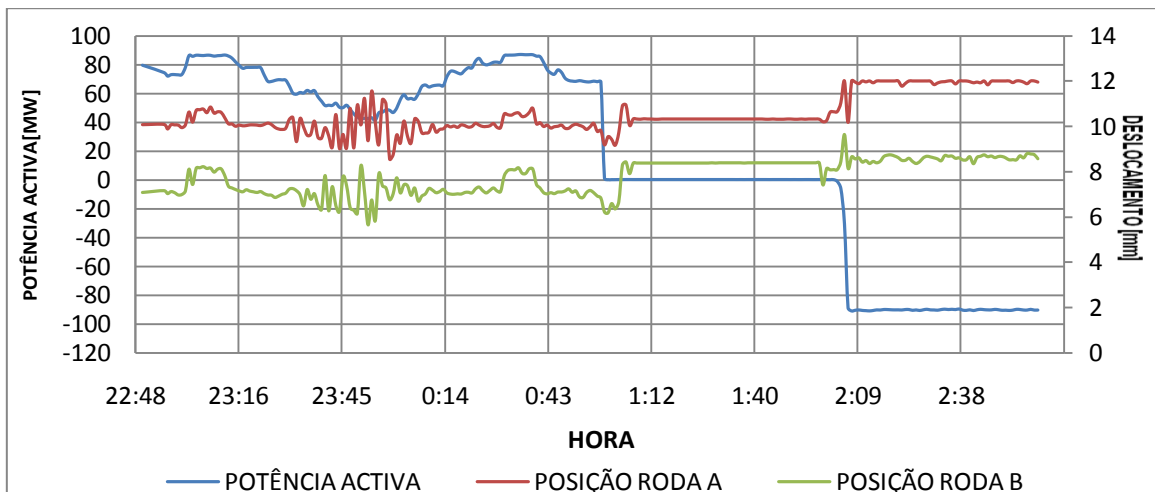


Figura 81. Gráfico da variação da posição da roda com a potência activa, antes da renovação.



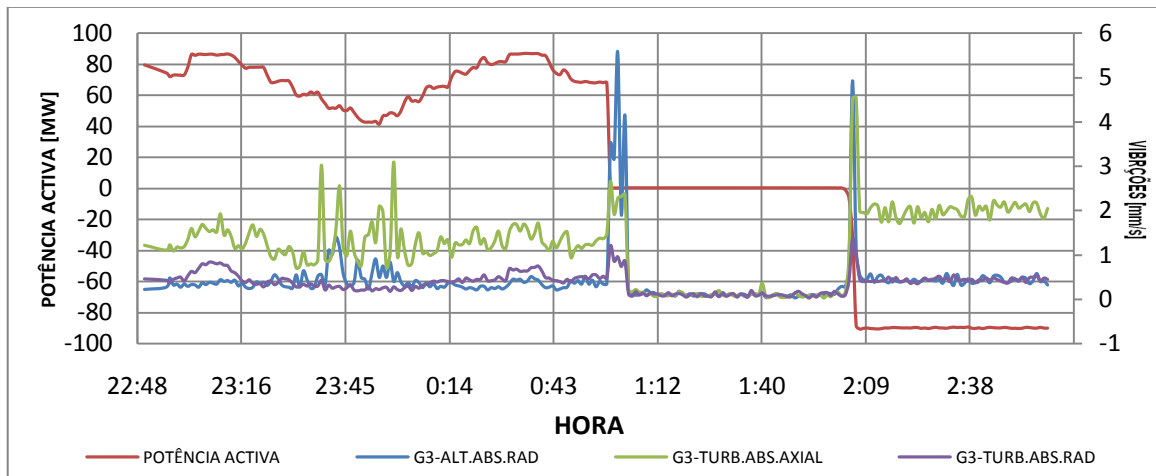


Figura 82. Gráfico das vibrações absolutas com a variação da potência activa, antes da renovação.

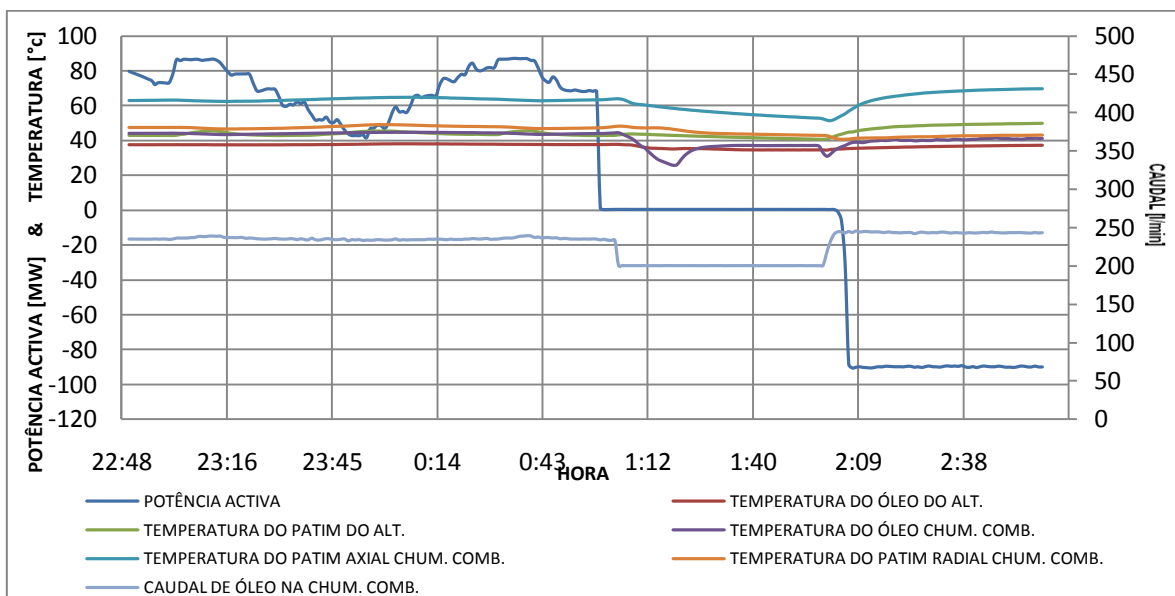


Figura 83. Gráfico da variação da temperatura em vários componentes com a potência activa, antes da renovação.

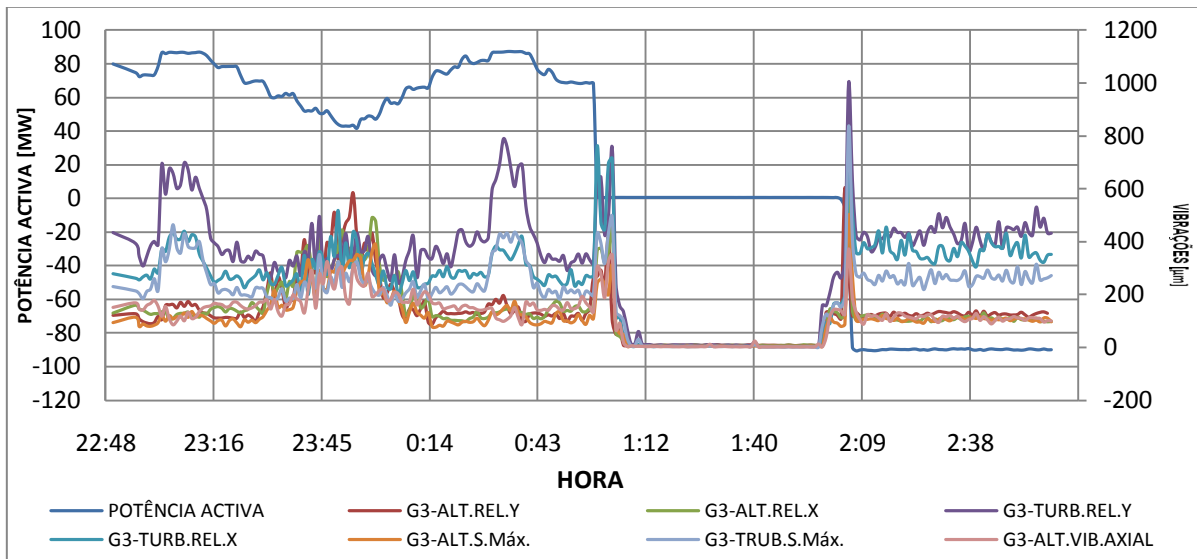


Figura 84. Gráfico das vibrações relativas com a variação da potência activa, antes da renovação.

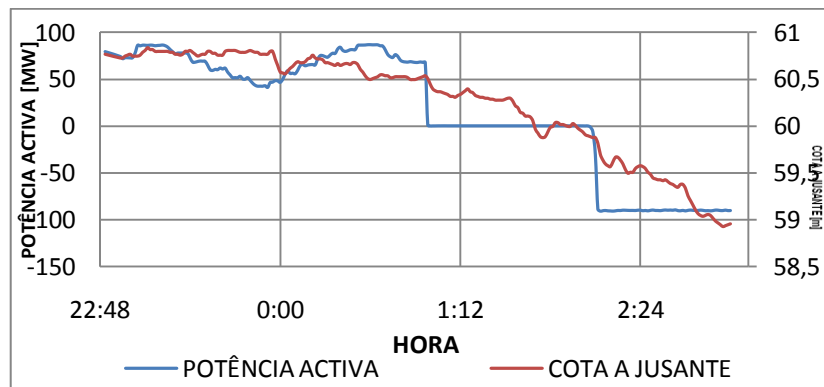


Figura 85. Gráfico com a variação da cota a jusante com a potência activa, antes da renovação.

## 7.7. Anexo G – Controlos Realizados à Válvula Cilíndrica

### 7.7.1. Controlo às Hastes dos Macacos Mecânicos

Controlos do empeno dos corpos das hastes dos macacos mecânicos e da perpendicularidade destes com a base rectangular (em centésimo de milímetro) (Tabela 8).

**Tabela 8.** Verificação do empeno das hastes dos macacos mecânicos da válvula cilíndrica.

Zona de Medição	N.º da Haste					
	1	2	3	4	5	6
1	17	12	3	10	9	7
2(0°)	0	0	0	0	0	0
2(90°)	0	0	0	0	0	0
2(180°)	0	0	0	0	0	0
2(270°)	0	0	0	0	0	0
2(diametral)	6	1	26	5	9	8
3(0°)	2	2	0	3	4	3
3(90°)	4	1	2	3	3	2
3(180°)	2	3	0	2	5	1
3(270°)	1	3	3	3	5	4
3(diametral)	4	2	20	3	18	10
4(0°)	2	2	6	3	18	2
4(90°)	4	3	5	0	9	5
4(180°)	1	2	0	2	8	2
4(270°)	3	1	15	2	5	6
4(diametral)	3	7	4	3	35	3
5	4	3	26	4	5	3

### 7.7.2. Características do Motor Hidráulico de Accionamento dos Macacos Mecânicos

Os motores hidráulicos de pistões axiais são da REXROHT – BOSCH GROUP. A pressão de serviço é de 25MPa, de modo a que seja possível um determinado binário no redutor, ligado ao fuso de esferas (Figura 86 e Figura 87).

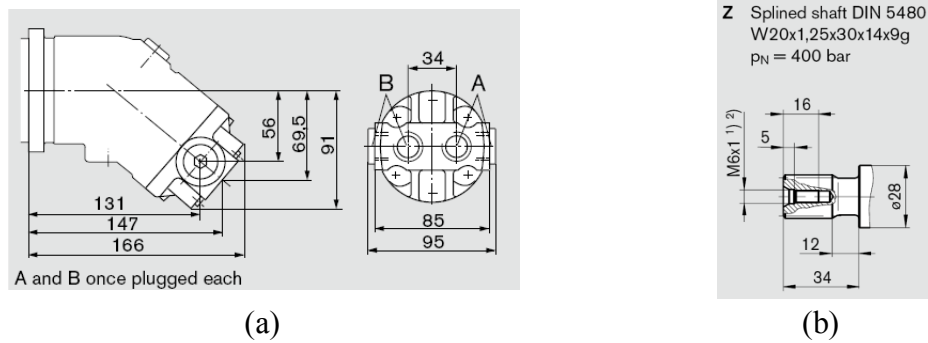


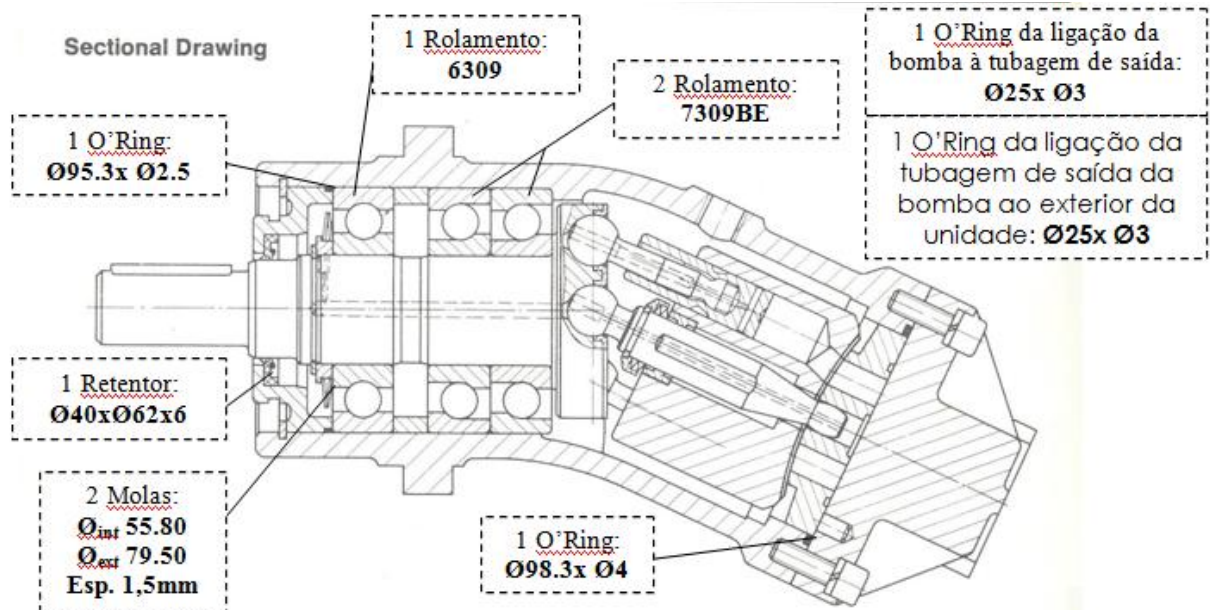
Figura 86. (a) Entrada/saída (roscado lateral e traseiro); (b) Extremidade do veio.



Figura 87. Motor hidráulico dos macacos mecânicos da válvula cilíndrica.

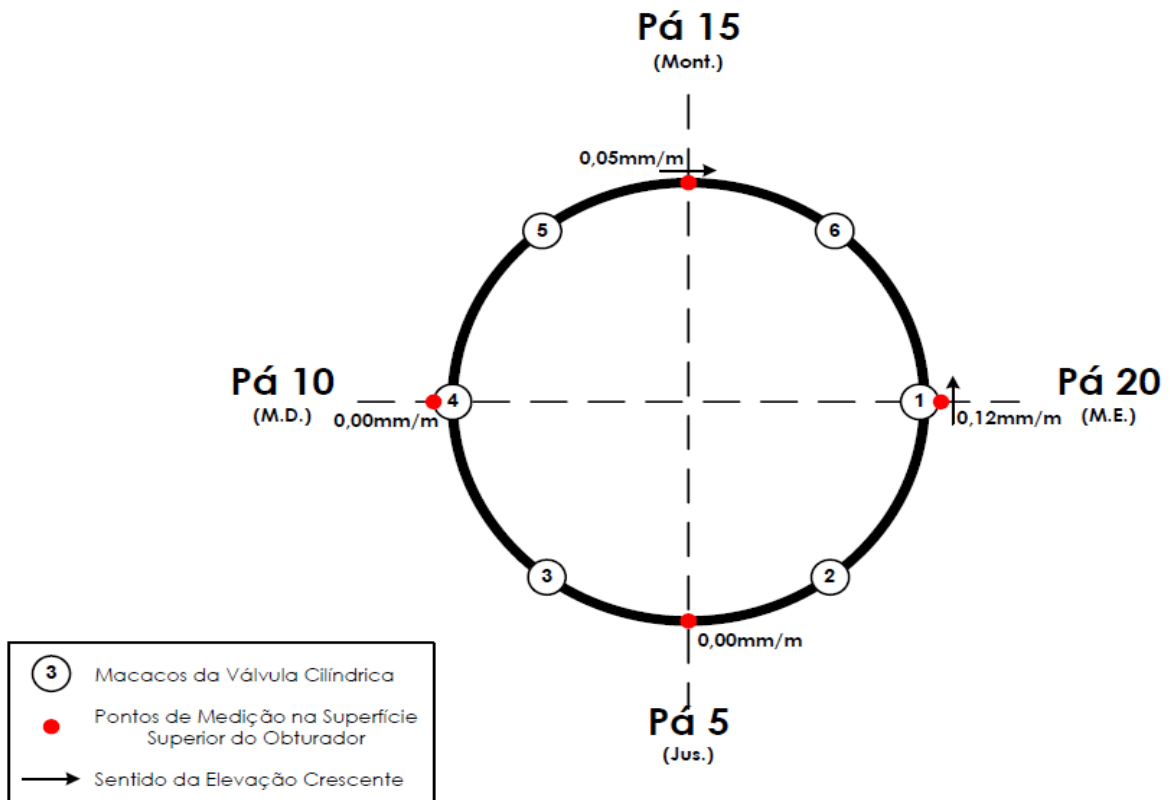
### 7.7.3. Características das Bombas da Unidade Hidráulica da Válvula Cilíndrica

Os componentes substituídos nas bombas da unidade hidráulica da válvula cilíndrica estão representados na Figura 88.



**Figura 88.** Bomba da unidade de accionamento da hidráulica da válvula cilíndrica, com descrição dos vários componentes a substituir.

#### 7.7.4. Nivelamento do Obturador



**Figura 89.** Controlo do nivelamento da válvula cilíndrica.

### 7.7.5. Perpendicularidade das hastes dos macacos mecânicos

Tabela 9. Verificação da perpendicularidade das hastes dos macacos mecânicos.

N.º Mac.	A [mm/m]	B [mm/m]
1	0,1	0,05
2	0	0,04
3	0,05	0,1
4	0	0,1
5	0	0,1
6	0	0,1

### 7.7.6. Ensaio de Funcionamento da Válvula Cilíndrica

A Figura 87 representa o esquema e respectivas medições do controlo de nivelamento do obturador da válvula cilíndrica.

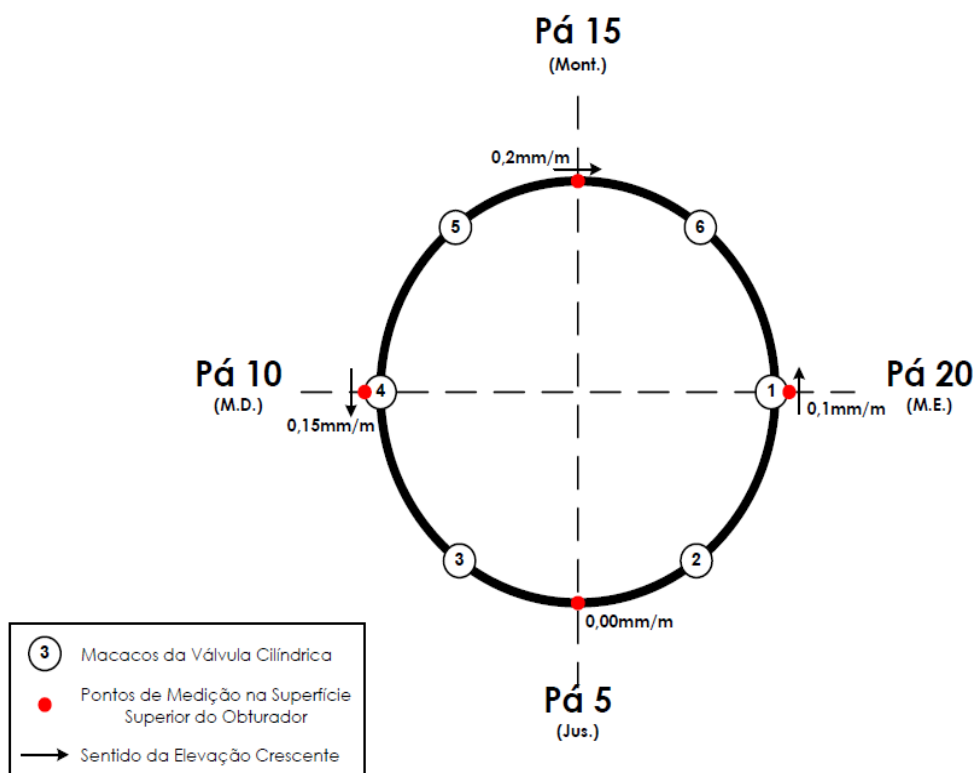


Figura 90. Controlo realizado ao nivelamento do obturador da válvula cilíndrica, com este elevado cerca de 10cm.

Tabela 10. Verificação do nivelamento do obturador da válvula cilíndrica após manobra.

Pontos de Medição	Distância subida [mm]	Distância ao vedante superior [cm]
Mont.	107,35	100,3
M.E.	107,71	100,3
Jus.	106,81	100,3
M.D.	107,34	100,5

### 7.8. Anexo H – Exemplo de Protocolo de Desmontagem

<b>ALSTOM</b>																			
Projecto : AGUIEIRA	Documento Nº: 26294.0900.EDD.00																		
HIB	Ficha de controlo N° 2.7.1																		
<b>OBJECTIVO DO CONTROLO</b>	<b>Controlo efectuado:</b>																		
CONTROLO ALTIMÉTRICO DA TURBINA Ponto fixo na blindagem e outro na flange superior do aro superior	<input checked="" type="checkbox"/> - Antes da desmontagem <input type="checkbox"/> - Após desmontagem <input type="checkbox"/> - Após recondiçãoamento <input type="checkbox"/> - Após remontagem																		
	GRUPO <b>3</b>																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1229,5</td> <td>1229,5</td> <td>1229,5</td> <td>1229,6</td> <td>1229,6</td> <td>1229,6</td> <td>1229,5</td> <td>1229,5</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	A	1229,5	1229,5	1229,5	1229,6	1229,6	1229,6	1229,5	1229,5
	1	2	3	4	5	6	7	8											
A	1229,5	1229,5	1229,5	1229,6	1229,6	1229,6	1229,5	1229,5											
<input type="checkbox"/> Conforme <input type="checkbox"/> Não conforme    Comentários:																			
Meios de controlo	Controlado por: Nome e Rubrica    Data    Visto por:																		
Nível óptico e micrometro Esquadro métrico e nível	M2Lcsta    17.04.09																		

Figura 91. Exemplo de protocolo de desmontagem.

## 7.9. Anexo I – Exemplo de Protocolo de montagem

<b>ALSTOM</b>																										
Projecto : AGUIEIRA					Documento Nº: 26294.0900.EDM.00																					
HIB	Ficha de controlo N°						1.8.1																			
OBJECTIVO DO CONTROLO					Controlo efectuado:																					
CONTROLO ALTIMÉTRICO DA TURBINA Ponto fixo na blindagem e outro na flange superior do aro inferior					<input type="checkbox"/> - Antes da desmontagem <input type="checkbox"/> - Após desmontagem <input type="checkbox"/> - Após recondiçionamento <input checked="" type="checkbox"/> - Após remontagem																					
					GRUPO <b>3</b>																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%;"></td> <td style="width: 10%;">1</td> <td style="width: 10%;">2</td> <td style="width: 10%;">3</td> <td style="width: 10%;">4</td> <td style="width: 10%;">5</td> <td style="width: 10%;">6</td> <td style="width: 10%;">7</td> <td style="width: 10%;">8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">1137,3</td> <td style="text-align: center;">1137,3</td> <td style="text-align: center;">1137,5</td> <td style="text-align: center;">1137,5</td> <td style="text-align: center;">1137,5</td> <td style="text-align: center;">1137,3</td> <td style="text-align: center;">1137,5</td> <td style="text-align: center;">1137,5</td> </tr> </table>										1	2	3	4	5	6	7	8	A	1137,3	1137,3	1137,5	1137,5	1137,5	1137,3	1137,5	1137,5
	1	2	3	4	5	6	7	8																		
A	1137,3	1137,3	1137,5	1137,5	1137,5	1137,3	1137,5	1137,5																		
<input type="checkbox"/> Conforme <input type="checkbox"/> Não conforme			Comentários:																							
Meios de controlo			Controlado por:		Nome e Rubrica		Data	Visto por:																		
Nivel óptico Yanc.			Sr. Halicete				22/09/2009																			

Figura 92. Exemplo de protocolo de montagem.

## 7.10. Anexo J – Procedimento de Controlo Dimensional Estator – Rotor

No âmbito da montagem do grupo 3 da Central Hidroeléctrica da Aguieira, efectuou-se os seguintes controlos dimensionais ao alternador:

- Entreferro em cada pólo do rotor;
- Altura superior e inferior de cada pólo do rotor;
- Altura superior e inferior em cada posição do estator;



A partir destes controlos pode-se verificar a circularidade do rotor e do estator e diferença entre o seu plano do eixo magnético. Estes dois parâmetros são de grande importância, pois têm grande influência tanto os níveis de vibração (dita vibração magnética) como a própria eficiência da máquina.

### **Equipamentos de controlo utilizados**

Neste controlo, foi necessário recorrer aos seguintes instrumentos de medição:

- Nível Óptico e fita métrica;
- Vara de medição do entreferro.

### **Procedimento**

De modo a se conseguir controlar tanto o estator como o rotor, as medições foram realizadas em duas partes:

#### **1ª Parte – Controlo do rotor a partir de um ponto fixo no estator**

Marcou-se uma posição de referência no estator, a montante. Rodou-se o rotor, de modo a que cada pólo do rotor ficasse frente a essa referência. Procedeu-se, então, aos controlos mencionados acima. Dessa forma efectuou-se o registo dos 48 pólos. Este controlo permite verificar a circularidade do rotor.

#### **2ª Parte – Controlo do estator a partir do pólo 1 do rotor**

Para cada pólo do rotor em frente à posição de referência no estator, o pólo 1 define uma outra posição no estator. Ou seja, o pólo 1 intervém como a referência que permitirá controlar a circularidade do estator (Figura 93).

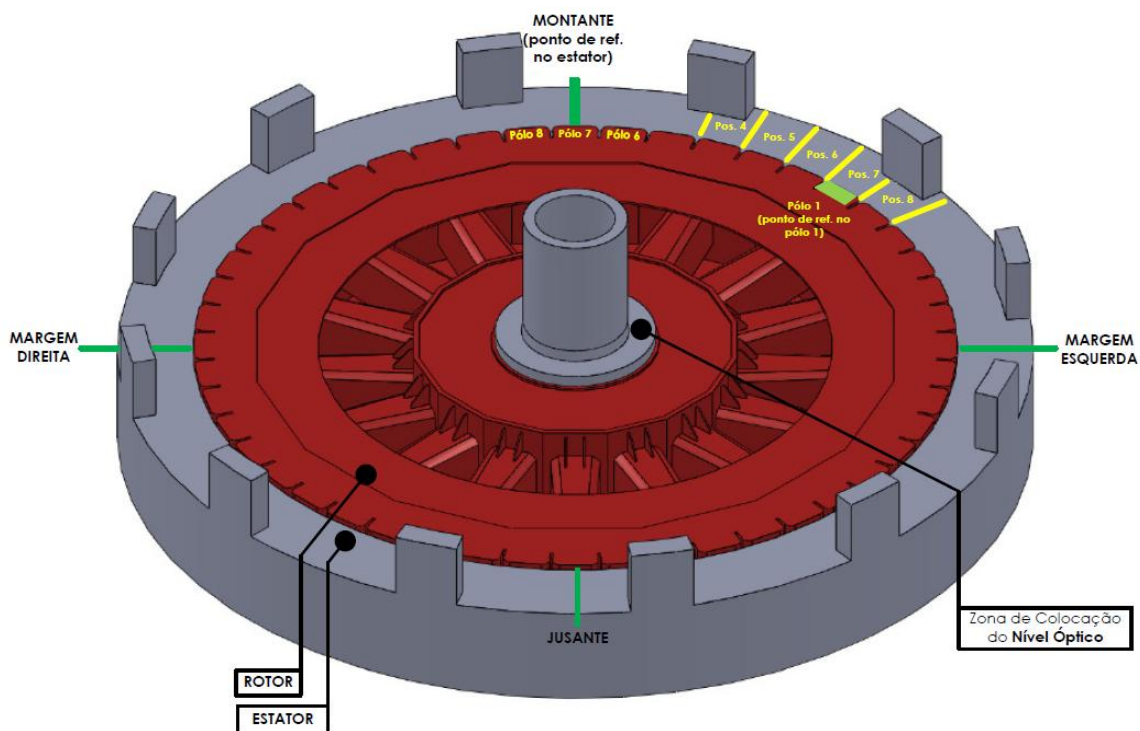
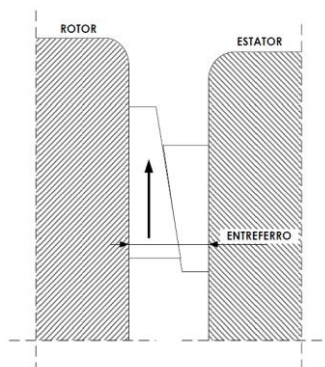


Figura 93. Esquematização do procedimento de controlo dimensional do rotor e estator.

Os processos de controlo foram iguais para ambas as partes, sendo feitos da seguinte forma:

Entreferro em cada pólo do rotor

O entreferro é a distância entre os pólos do rotor e o empilhamento do estator. Esta medida é retirada com um instrumento apropriado, que corresponde a duas cunhas que deslizam entre si, no espaço livre entre o rotor e o estator. Depois da ferramenta ajustada à folga, é marcada a posição na vara de ligação a uma das cunhas e retira-se o instrumento. Volta-se a colocar a vara na marcação anterior e, com o auxílio de um paquímetro, retira-se a medida existente entre as duas cunhas (Figura 94 e Figura 95).



**Figura 94.** Esquema de princípio de funcionamento do instrumento de medição do entreferro.



**Figura 95.** Instrumento para medição do entreferro.

Este procedimento é feito na parte superior e inferior de cada espaço entre o rotor e o estator (entreferro), nas respectivas referências (estator-montante e pólo 1).

#### Altura superior e inferior de cada pólo do rotor e de cada posição do estator

Com o nível óptico na flange de ligação do veio do alternador ao rotor (Figura 96) e com recurso à fita métrica colocada nos pontos a medir (Figura 97), obteve-se a altura do topo e fundo de todos os pólos, na posição de referência do estator, e de todas as posições deste, definidas pelo pólo 1.

Devido a limitações físicas, no que diz respeito à utilização do nível óptico, colocou-se um ponto, de modo que sempre que se alterasse o nível óptico de posição (em volta do veio do alternador), fosse possível recuperar o plano em que se realiza as medições altimétricas. Esse ponto situa-se a montante no estator.



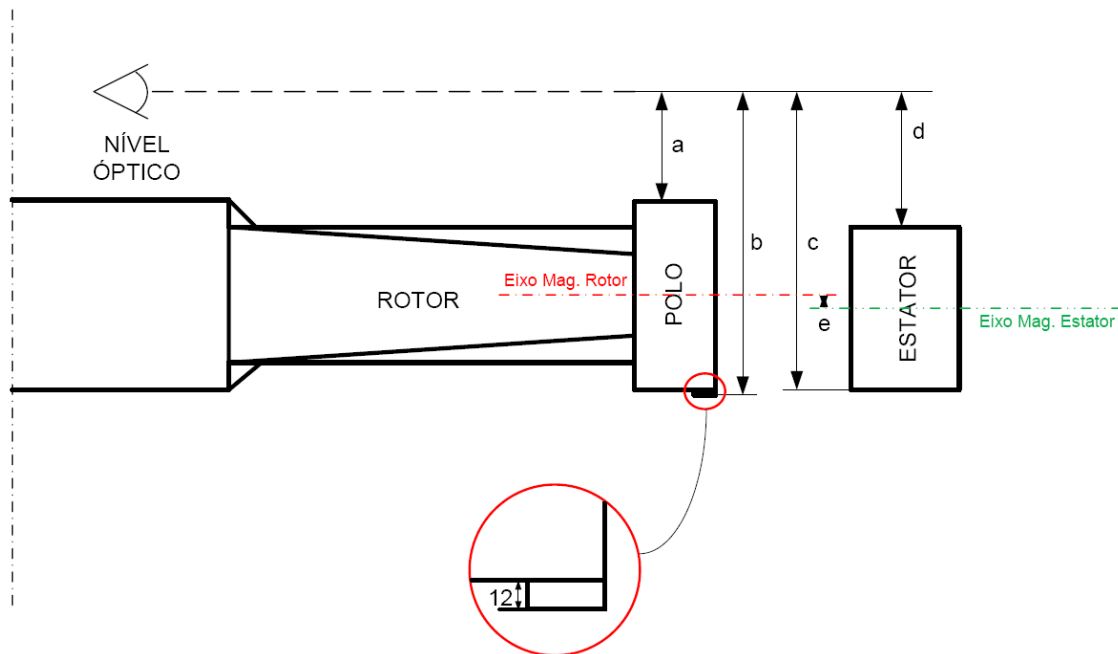
**Figura 96.** Nível óptico colocado na flange do veio do alternador.



**Figura 97.** Fita métrica colocada no ponto de medição (rotor ou estator).

Cálculo do eixo magnético:

Com recurso às medições altimétricas realizadas no rotor e estator, efectuou-se o tratamento dos dados (Figura 98):



**Figura 98.** Esquema representativo das medições realizadas para o cálculo do eixo magnético.

Identificou-se cada uma das distâncias do controlo, ou seja:

- a** – distância do plano do nível óptico ao topo do pólo;
- b** – distância do plano do nível óptico ao fundo do pólo;
- c** – distância do plano do nível óptico ao topo do estator;
- d** – distância do plano do nível óptico ao fundo do estator;
- e** – distância do plano do nível óptico ao distância entre eixos.

Chegou-se à fórmula para o cálculo entre planos dos eixos magnéticos:

$$e = \frac{c-d}{2} + d - \left[ \frac{(b-12)-a}{2} + a \right] \quad (1)$$

Simplificando:

$$e = \underbrace{\frac{c+d}{2}}_A - \underbrace{\left[ \frac{(b-12)+a}{2} \right]}_B \quad (2)$$

Em que:

**A** – Posição do eixo magnético do estator;

**B** – Posição do eixo magnético do rotor;

Então, tem-se as seguintes condições:

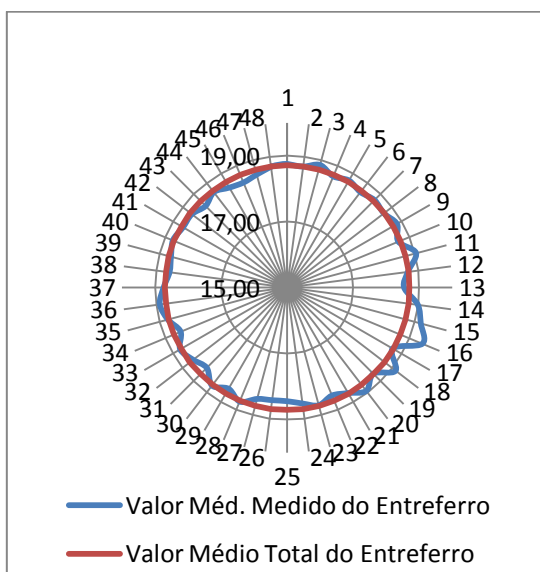
**A-B=0 (A=B)** → Eixo magnético alinhado entre rotor e estator;

**A-B>0 (A>B)** → Eixo magnético do rotor a cima do eixo magnético do estator;

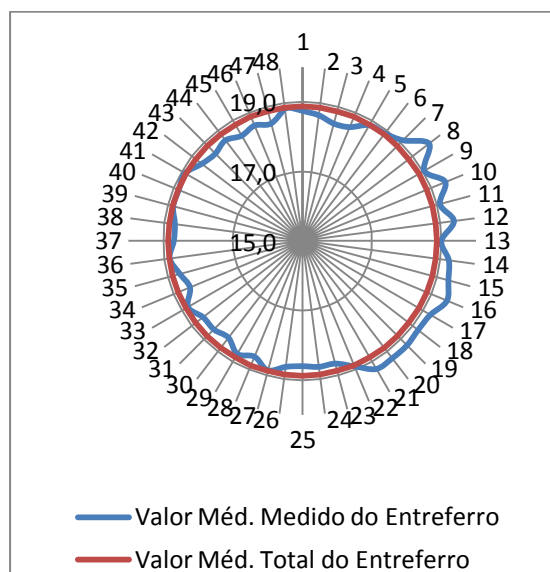
**A-B<0 (A<B)** → Eixo magnético do rotor a baixo do eixo magnético do

estator;

Da análise da circularidade do rotor obteve-se os seguintes gráficos comparativos do valor médio total e médio pontual do entreferro tendo como referência a posição a montante do estator (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) e o pólo 1 do rotor (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).



**Figura 99.** Gráfico que apresenta a comparação entre o valor médio total e o valor médio pontual do entreferro, utilizando como referência a posição a montante do estator.



**Figura 100.** Gráfico que apresenta a comparação entre o valor médio total e o valor médio pontual do entreferro, utilizando como referência o pólo 1 do rotor.

Analisando o eixo magnético do estator e do rotor, obtiveram-se os seguintes gráficos (Figura 101 e Figura 102):

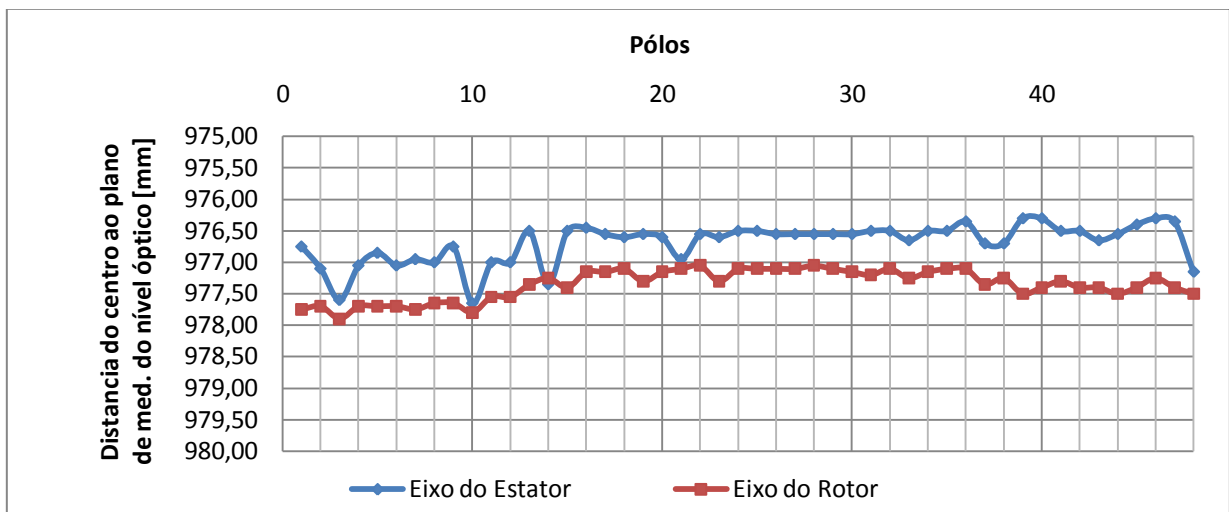


Figura 101. Gráfico comparativo dos eixos magnéticos do rotor e estator, considerando o pólo 1 como referência de medição.

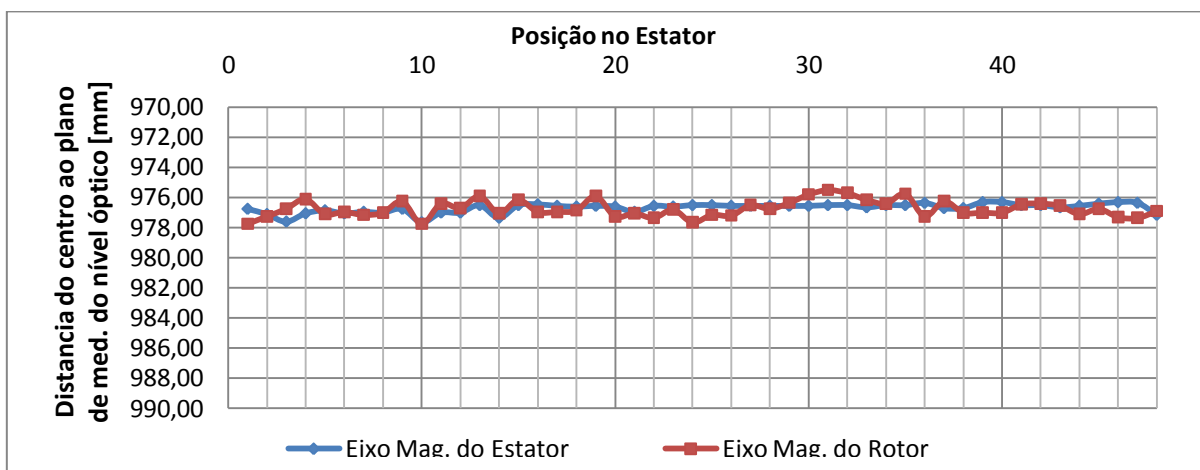


Figura 102. Gráfico comparativo dos eixos magnéticos do rotor e estator, considerando como referência de medição a posição a montante do estator.

## 7.11. Anexo K – Ensaios de Entrada em Serviço

### 7.11.1. Chumaceira Combinada

Tabela 11. Verificação e parametrização de sensores na chumaceira combinada.

Ref.	Local de Instalação	Verificação		Parametrização	
		R [ $\Omega$ ]	T [ $^{\circ}$ C]	Alarme	Disparo
ST1	Patim axial n.º 1 (Mont.)	107,9	16,8	ST1.1 65 $^{\circ}$ C	ST1.2 70 $^{\circ}$ C
ST2	Patim axial n.º 4 (M. E.)	106,1	16,7	ST2.2 65 $^{\circ}$ C	ST2.2 70 $^{\circ}$ C
ST3	Patim axial n.º 7 (Jus.)	108,3	NA	Reserva	Reserva
ST4	Patim axial n.º 10 (M.D.)	108	NA	Reserva	Reserva
ST5	Patim radial n.º 1 ou 12 (Mont.)	107,8	16,7	ST5.2 60 $^{\circ}$ C	ST5.2 65 $^{\circ}$ C
ST6	Patim radial n.º 3 ou 4 (M. E.)	108,2	16,8	ST5.2 60 $^{\circ}$ C	ST5.2 65 $^{\circ}$ C
ST7	Patim radial n.º 6 ou 7 (Jus.)	108,4	NA	Reserva	Reserva
ST8	Patim radial n.º 9 ou 10 (M.D.)	108,6	NA	Reserva	Reserva
ST9	Cuba do óleo	107,3	16,8	ST9.2 45 $^{\circ}$ C	ST9.2 50 $^{\circ}$ C
ST10	Cuba do óleo	107,4	NA	Reserva	Reserva
Termóstato	Cuba do óleo				

### 7.11.2. Circulação de Óleo na Chumaceira Combinada

**Tabela 12.** Verificação de sensores do sistema de circulação de óleo na chumaceira combinada.

Ref.	Descrição	Tipo de Instrumentação	Verificação
ST1	Temperatura do óleo à entrada do permutador	Pt100	
ST2	Temperatura do óleo à saída do permutador	Pt100	107,5 / 17,3°C
ST6	Temperatura da água à entrada do permutador	Pt100	107,4 / 17°C
ST7	Temperatura da água à saída do permutador	Pt100	107,3 / 16,8°C
PX	Pressão de circulação	Pressostato	
PF1	Colmatação do filtro	Pressostato	
Q1	Caudal de óleo	Caudalímetro	
	Caudal de água	Caudalímetro	

### 7.11.3. Condições de Funcionamento das Bombas de Circulação de Óleo da Chumaceira Combinada

**Tabela 13.** Verificação das condições de funcionamento das bombas de circulação de óleo da chumaceira combinada.

	Electrobomba M1			Electrobomba M2		
	Valor	Unidade	Verific.	Valor	Unidade	Verific.
<b>Potência nominal</b>	11	kW		11	kW	
<b>Tensão nominal</b>	380	Vac		380	Vac	
<b>Corrente nominal</b>	15,5	A		15,5	A	
<b>Velocidade nominal</b>	1500	r.p.m.		1500	r.p.m.	
<b>Válvula de segurança</b>	7	bar		7	bar	
<b>Definições</b>			Conf.			Conf.

Continua na próxima página



Continuação da Tabela 13

	Electrobomba M1			Electrobomba M2		
	Valor	Unidade	Verific.	Valor	Unidade	Verific.
<b>Protecção térmica</b>	22	A		22	A	OK
<b>Ligação à terra</b>			OK			OK
<b>Direcção de rotação</b>			OK			OK
<b>Corrente em funcionamento nominal</b>	18,7/18,6 /18,4	A		18,7/18,6 /18,4	A	
<b>Pressão de saída do óleo</b>	2	bar		2	bar	
<b>Contador</b>		horas	OK		horas	OK

#### 7.11.4. Verificação da Bomba de Drenagem da Tampa Superior

Tabela 14. Verificação da bomba de drenagem da tampa superior da turbina.

Motor da Bomba de Drenagem	Valor	Unidade	Verific.
<b>Potência nominal</b>	3	kW	
<b>Tensão nominal</b>	380	Vac	
<b>Corrente nominal</b>	6,5	A	
<b>Definições</b>			Confir..
<b>Protecção térmica</b>	11	A	OK
<b>Ligação à terra</b>			OK
<b>Direcção de rotação</b>			OK
<b>Corrente em funcionamento nominal</b>	18,7/18,6/1 8,4	A	

### 7.11.5. Verificação do Modo de Funcionamento do Motor Associado à Extracção de Vapores de Óleo da Chumaceira Combinada

**Tabela 15.** Verificação do ventilador de extracção de vapores de óleo da chumaceira combinada.

Motor	Valor	Unidade	Verificação
Potência Nominal	0,25	kW	
Tensão Nominal	380	Vac	
Corrente Nominal	0,9	A	
Defenições			Verificação
Protecção Térmica	1,6	A	OK
Ligação à Terra			OK
Direcção da Rotação			OK

### 7.11.6. Verificação dos Sensores da Junta Plana

**Tabela 16.** Verificação de sensores da junta plana.

Ref.	Descrição	Tipo de instrumentação	Verificação
SP2	Pressão diferencial	Pressostato	1bar
ST11	Temperatura no anel	Pt100	106,2Ω
ST12	Temperatura no anel	Pt100	106,3Ω
T2	Temperatura no anel	Termóstato	45°C
T3	Temperatura no anel	Termóstato	50°C
S21	Desgaste do anel	Detector de proximidade	6mm
S22	Desgaste do anel	Detector de proximidade	6mm
SL1	Caudal de água no anel	Caudalímetro	
SL2	Caudal de água no anel	Caudalímetro	

### 7.11.7. Verificação dos Sensores da Chumaceira Guia do Alternador

Tabela 17. Verificação dos sensores da chumaceira guia do alternador.

Ref.	Descrição	Tipo	Afinação
ST21	Temperatura no patim n.º1	Pt100	107Ω
ST22	Temperatura no patim n.º7	Pt100	106,9Ω
ST23	Reserva	Pt100	
ST24	Reserva	Pt100	
ST25	Temperatura na cuba do óleo	Pt100	106,3Ω
T21	Termóstato		
ST9.1	Alarme (Temp. Patim)	Contacto	60°C
ST9.2	Disparo (Temp. Patim)	Contacto	65°C

### 7.11.8. Registos EDP Pós-Remontagem

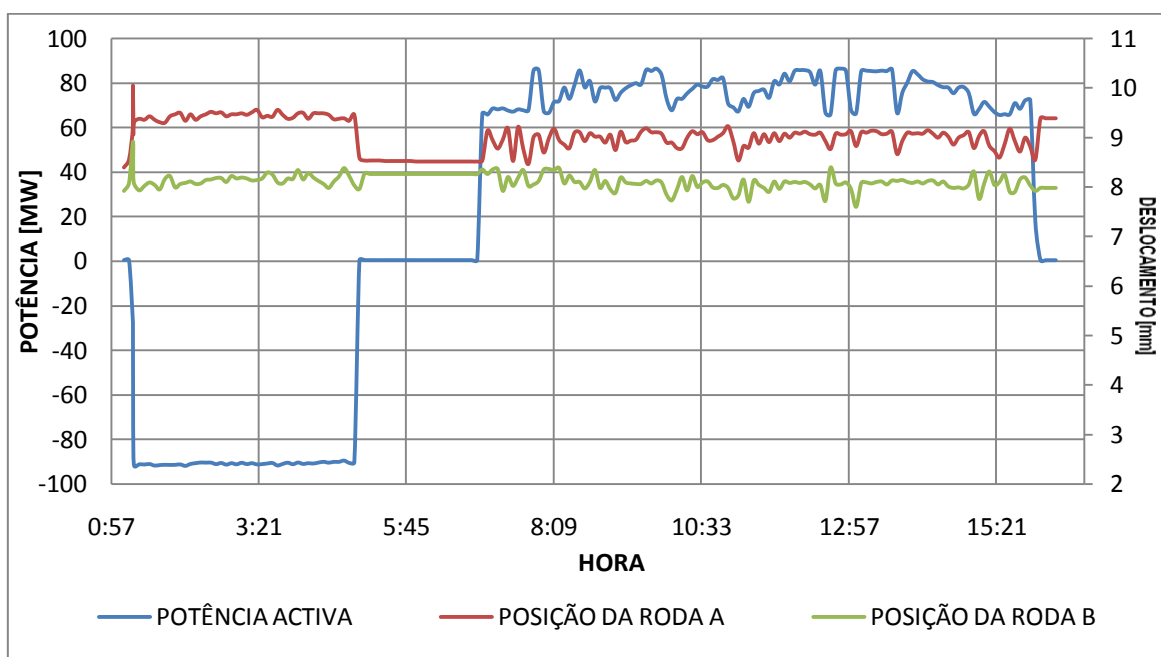


Figura 103. Gráfico da variação da posição da roda com a potência activa, após da renovação.

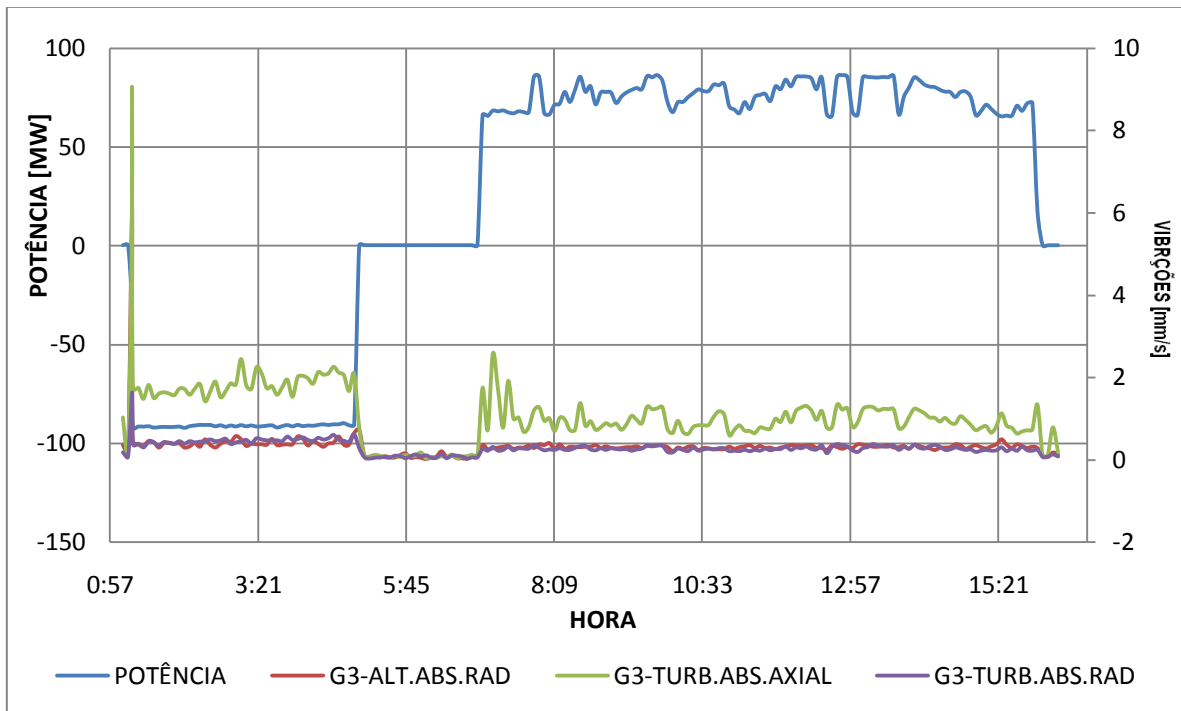


Figura 104. Gráfico das vibrações absolutas com a variação da potência activa, após da renovação.

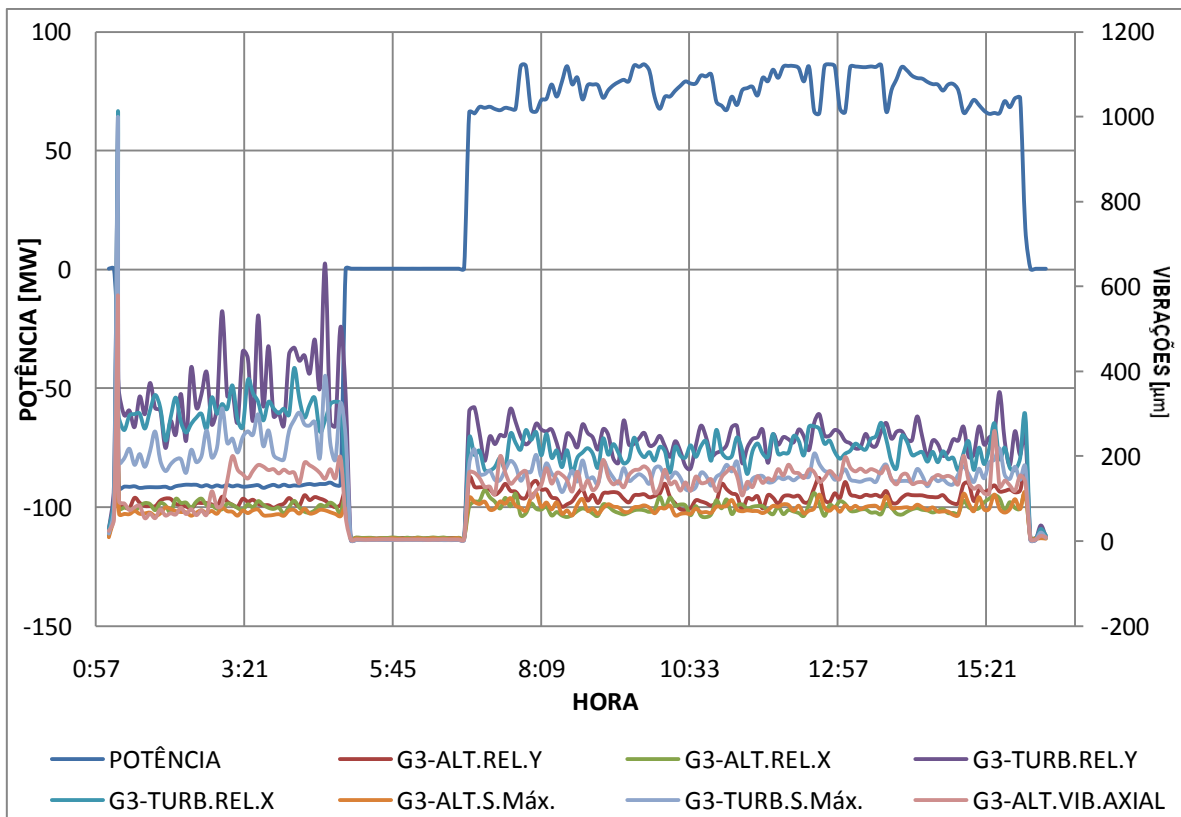


Figura 105. Gráfico das vibrações relativas com a variação da potência activa, após a renovação.