



**Rita Silva Granja Delgado**

*Licenciada em Ciências de Engenharia Mecânica*

**Estudo dos modos de falha de rolos de  
uma linha de produção de fibras  
acrílicas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Doutor Rui Fernando dos Santos Pereira Martins,  
Professor Auxiliar, FCT/UNL - DEMI

Co-orientador: Eng.º Tiago Albarran, Chefe de Departamento de Manutenção, Fisipec  
S.A.

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António José Freire Mourão, Professor Associado, FCT-UNL

Arguentes: Engenheiro Rui Miguel Bento Ligeiro, Fisipec S.A.  
Prof. Doutor João Manuel Vicente Fradinho, Professor Auxiliar, FCT-UNL

Vogais: Prof. Doutor Rui Fernando dos Santos Pereira Martins, Professor Auxiliar, FCT-UNL  
Engenheiro Rui Miguel Bento Ligeiro, Fisipec S.A.  
Prof. Doutor João Manuel Vicente Fradinho, Professor Auxiliar, FCT-UNL



**Setembro 2018**



**Rita Silva Granja Delgado**

*Licenciada em Ciências de Engenharia Mecânica*

**Estudo dos modos de falha de rolos  
de uma linha de produção de fibras  
acrílicas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Doutor Rui Fernando dos Santos Pereira Martins,  
Professor Auxiliar, FCT/UNL - DEMI

Co-orientador: Eng.º Tiago Albarran, Chefe de Departamento de Manutenção, Fisipe  
S.A.

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António José Freire Mourão, Professor Associado, FCT-UNL

Arguentes: Engenheiro Rui Miguel Bento Ligeiro, Fisipe S.A.  
Prof. Doutor João Manuel Vicente Fradinho, Professor Auxiliar, FCT-UNL

Vogais: Prof. Doutor Rui Fernando dos Santos Pereira Martins, Professor Auxiliar, FCT-UNL  
Engenheiro Rui Miguel Bento Ligeiro, Fisipe S.A.  
Prof. Doutor João Manuel Vicente Fradinho, Professor Auxiliar, FCT-UNL

**Setembro 2018**



## **Estudo dos modos de falha de rolos de uma linha de produção de fibras acrílicas**

Copyright © Rita Silva Granja Delgado

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*Para os meus pais*

*A dor é passageira, mas a glória é eterna*



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostava de agradecer ao meu orientador, Professor Rui Martins, por toda a disponibilidade, e a possibilidade de poder fazer esta tese com a Fisipe S.A.

Ao Engenheiro Tiago Albarran, que é uma pessoa excepcional e que me ajudou em tudo o que podia, mesmo com pouca disponibilidade conseguia sempre arranjar tempo para me ajudar no que eu necessitasse.

A toda a equipa da Fisipe S.A. por me ter recebido de braços abertos e por me ajudar tudo o que eu sempre precisei. Desde informação à companhia na hora de almoço.

Um agradecimento especial ao André Caetano que sem o conhecimento e a ajuda dele não teria conseguido acabar esta tese.

A todos os colegas da faculdade e amigos que me ajudaram a passar esta etapa e que a tornaram mais fácil de superar. Aos que estiveram sempre lá quando era preciso.

Um agradecimento muito especial à Mariana que sem ti esta viagem académica não era a mesma coisa. Obrigada pelas noitadas, viagens, trabalhos de grupo, festas, desfiles e pelos milhões de outras coisas que espero que ainda iremos fazer. Tens um lugar especial no meu coração.

Para os meus pais que me deram esta oportunidade de poder ser alguém melhor e maior com toda a orientação e carinho que me deram ao longo destes anos todos. Ao meu irmão que me dá o apoio para ser a melhor, para o poder “sustentar” no futuro, e para ser a Sra engenheira que eu tanto desejava.



## RESUMO

Esta dissertação assenta no estudo de um caso de falha nos rolos da produção de fibras acrílicas na empresa Fisipe S.A.. A falha em estudo encontra-se nos rolos de *spinning*. De modo a compreender melhor a causa raiz desta falha foi necessário estudar todo o processo envolvente no fabrico das fibras acrílicas assim como os materiais que são utilizados nas máquinas de *spinning*.

Depois de estudadas as possíveis falhas existentes nos rolos, chegou-se à conclusão de que havia três tipos de falhas predominantes, nomeadamente: fugas de óleo, fugas de vapor e folgas excessivas. Foram identificados os componentes associados às falhas e estudadas as possíveis alterações de modo a resolver as respetivas falhas. O principal foco de estudo foram as fugas de óleo, sendo que os componentes associados a este tipo de fugas são os retentores e os rolamentos.

Depois de diversos testes verificou-se que a melhor solução seria substituir o retentor por um cordão de empanque. Foram montados nos rolos os cordões de empanque e até ao momento não se registaram fugas de óleo visíveis, tendo sido resolvida a falha em questão.

A alternativa de resolução seria eliminar o óleo da zona onde ocorrem as fugas de óleo. Para isto os rolamentos teriam de ser sem lubrificação. Foram sugeridas três alternativas todas sem sucesso devido às dimensões dos rolamentos e às temperaturas aplicadas. Deste modo, é necessária a fabricação dos rolamentos com as medidas pretendidas (*one of a kind*) e que resistam às condições de funcionamento dos rolos de *spinning*.

**Palavras chave:** Fibras acrílicas, *spinning*, rolos de *spinning*, retentor, *o'ring*, rolamentos, cordão de empanque



## ABSTRACT

This dissertation is based on the study of a failure case in the production rolls of acrylic fibres in the company Fisipe S.A., namely in the spinning rolls. To understand the origin of the failure, it was necessary to study the entire process involved in the manufacture of the acrylic fibres, as well as the materials that are used in the spinning machines.

After studying the possible flaws in the spinning rolls, it was concluded that there were three types of failures: oil leakage, steam leakage and excessive clearance. The materials associated with the flaws were identified, and the possible changes to solve the flaws were studied. The focus was the oil leakage failure, where the components associated with these types of leakages are the seals and the bearings.

It was concluded that one of the best options to the failure resolution would be changing the retainer, and after several tests, it was found that the best solution would be to replace the retainer with a packing cord. The packing cords were installed in the spinning machines and no visible oil leaks were registered so far.

The alternative solution would be to eliminate the presence of oil from the area where leakages occur, that is, inside the bearings. Therefore, the bearings would have to work without lubrication. Several alternatives have been suggested, but all of them unsuccessfully due to the dimensions of the bearings and service temperatures.

**Keywords:** Acrylic fibers, spinning, spinning rollers, retainer, *o'ring*, bearings, packing cord



# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>1 – MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS.....</b>	<b>1</b>
1.1 - MOTIVAÇÃO .....	1
1.2 - OBJETIVOS .....	1
1.3 – ESTRUTURA DA TESE .....	2
<b>2 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
2.1 - FIBRAS TÊXTEIS .....	5
2.2 - FIBRAS ACRÍLICAS .....	6
2.3 - ROLAMENTOS .....	7
2.4 - RETENTORES.....	8
2.5 - O'RINGS .....	9
2.6 - CORDÃO DE EMPANQUE .....	10
<b>3 - ENVOLVENTE.....</b>	<b>11</b>
3.1 - EMPRESA.....	11
3.2 – PRODUTOS.....	12
3.3 - PROCESSO DE FABRICO.....	15
3.4 – SPINNING.....	17
<b>4 - ANÁLISE DA FALHA.....</b>	<b>21</b>
<b>5 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>27</b>
5.1 - TESTES REALIZADOS ANTERIORMENTE .....	27
5.1.1 – Teste a rolamentos.....	27
5.1.2 – Teste a retentores .....	29
5.1.3 – Teste a o'rings .....	31
5.2 - REVISÃO DA SPM .....	32
5.3 – TESTES REALIZADOS.....	33
<b>6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>37</b>
<b>7 - CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....</b>	<b>43</b>

<b>ANEXO A - ORGANOGRAMA DA EMPRESA.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO B – EMAIL DE CONTACTO COM O FORNECEDOR .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO C – RETENTORES EM TESTE .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO D – REGISTOS DE TESTE .....</b>	<b>51</b>
D.1 - RETENTOR DE TEFLON.....	51
D.2 - RETENTOR DE VITON .....	52
D.3 - RETENTOR DE TEFLON GRAFITADO .....	53
D.4 - RETENTOR COM CORDÃO DE EMPANQUE .....	54
<b>ANEXO E – O'RINGS EM TESTE.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXO F – PROPRIEDADES DO AÇO 34CRNIMO6 .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO G – TENSÃO NO VEIO .....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO H – PROPRIEDADES DOS ROLAMENTOS SKF .....</b>	<b>58</b>
H.1 – SKF NU 214 .....	58
H.2 – SKF 22213 .....	59
H.3 – SKF 22313 .....	60

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - FLUXOGRAMA DA ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	2
FIGURA 2.1 - CLASSIFICAÇÃO DAS FIBRAS TÊXTEIS [2] .....	6
FIGURA 2.2 - CARGA AXIAL NUM ROLAMENTO [5] .....	8
FIGURA 2.3 - CARGA RADIAL NUM ROLAMENTO [5] .....	8
FIGURA 2.4 - COMPONENTES DOS ROLAMENTOS [5] .....	8
FIGURA 2.5 - COMPONENTES DO RETENTOR [7].....	9
FIGURA 2.6 - O'RINGS [10] .....	10
FIGURA 2.7 - CORDÃO DE EMPANQUE [11] .....	10
FIGURA 2.8 - PORMENOR DO ENTRANÇADO DO CORDÃO DE EMPANQUE [12] .....	10
FIGURA 3.1 - SEQUÊNCIA DE PROCESSOS DA PRODUÇÃO.....	15
FIGURA 3.2 - FILTRAÇÃO DE IMPUREZAS E PARTÍCULAS.....	16
FIGURA 3.3 - XAROPE JÁ FILTRADO.....	16
FIGURA 3.4 - DISTRIBUIDOR DA FIBRA .....	16
FIGURA 3.5 - ARMAZENAMENTO DA FIBRA EM CONTENTORES .....	16
FIGURA 3.6 - ESQUEMA DE PROCESSOS DO <i>SPINNING</i> .....	17
FIGURA 3.7 - PROCESSOS DA ÁREA DE <i>SPINNING</i> [14] .....	18
FIGURA 3.8 - DESCRIMINAÇÃO DA CABEÇA E DO ROLO (ADAPTADO) [14] .....	19
FIGURA 3.9 - ESQUEMA DAS ENTRADAS DE ÓLEO E DE VAPOR (ADAPTADO) [14] .....	20
FIGURA 4.1 - ESQUEMA DA ANÁLISE DA FALHA.....	21
FIGURA 4.2 - FALHAS DOS ROLOS DE <i>SPINNING</i> .....	22
FIGURA 4.3 - LOCALIZAÇÃO DO RETENTOR E DO O'RING NA CABEÇA .....	23
FIGURA 4.4 - ESQUEMA DAS FUGAS (ADAPTADO) [14] .....	23
FIGURA 4.5 - ACUMULAÇÃO DE ÓLEO CARBONIZADO NOS ROLAMENTOS.....	24
FIGURA 4.6 - ACUMULAÇÃO DE ÓLEO CARBONIZADO NOS ROTÂMETROS.....	24
FIGURA 4.7 - FOLGAS NOS CASQUILHOS (ADAPTADO) [14].....	24
FIGURA 4.8 - DIAGRAMA CAUSA-EFEITO DO ESTUDO DOS MODOS DE FALHA DOS ROLOS DE <i>SPINNING</i> . 25	
FIGURA 5.1 - CAIXA COM O CORDÃO DE EMPANQUE .....	30
FIGURA 5.2 - CAIXA ALTERADA PARA O CORDÃO DE EMPAQUE .....	30
FIGURA 5.3 - O'RING DESFEITO .....	31
FIGURA 5.4 - O'RING RASGADO .....	31
FIGURA 5.5 - CONTABILIZAÇÃO DE TEMPO DE PRODUÇÃO DA SPM .....	32
FIGURA 5.6 - ACUMULAÇÃO DE ÓLEO NA CABEÇA DEVIDO A FUGA.....	33
FIGURA 5.7 - TENSÍOMETRO EXISTENTE NA FÁBRICA.....	34
FIGURA 5.8 - DISPOSIÇÃO DOS COMPARADORES (VISTA FRONTAL) .....	34
FIGURA 5.9 - DISPOSIÇÃO DOS COMPARADORES (VISTA LATERAL) .....	34
FIGURA 5.10 - TEMPERATURA DE SERVIÇO DOS ROLOS DO <i>SPINNING</i> .....	35
FIGURA 6.1 - CONDIÇÕES INICIAIS APLICADAS .....	37
FIGURA 6.2 - MALHA DE ELEMENTOS FINITOS .....	38

FIGURA 6.3 - DESLOCAMENTOS NO ROLO.....	38
FIGURA 6.4 - TENSÃO MÁXIMA NO VEIO .....	38
FIGURA 6.5 - PORMENOR DA TENSÃO MÁXIMA .....	39
FIGURA 6.6 - REAÇÃO NO APOIO TRASEIRO DOS ROLAMENTOS .....	40
FIGURA 6.7 - REAÇÃO NO APOIO DIANTEIRO DOS ROLAMENTOS .....	40
FIGURA 6.8 - ROLAMENTOS UTILIZADOS NOS ROLOS DE <i>SPINNING</i> (ADAPTADO) [14] .....	40
FIGURA 6.9 - DESLOCAMENTO DO ROLO DE <i>SPINNING</i> .....	41
FIGURA 6.10 – TENSÃO MÁXIMA NO ROLO DE <i>SPINNING</i> .....	41
FIGURA 6.11 - TENSÃO MÁXIMA NO VEIO .....	42

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 3.1 – DESCRIÇÃO E APLICAÇÕES DE FIBRAS TÊXTEIS [13] .....	13
TABELA 3.2 – DESCRIÇÃO E APLICAÇÕES DE FIBRAS TÉCNICAS [13] .....	14
TABELA 5.1 - CUSTOS CONTABILÍSTICOS DE MANUTENÇÃO DA FALHA DE FUGA DE ÓLEO EM 2014 .....	28
TABELA 5.2 - PREÇOS DOS MATERIAIS DOS RETENTORES.....	30
TABELA 5.3 - PREÇOS DOS MATERIAIS DOS O'RINGS .....	32
TABELA 5.4 - RESULTADOS DO TESTE DA MEDIÇÃO DA FLECHA DO ROLO COM COMPARADORES .....	36
TABELA 5.5 - DESLOCAMENTO DA FLECHA DO ROLO DE <i>SPINNING</i> .....	36
TABELA 6.1 - CARGAS DINÂMICAS DOS ROLAMENTOS (ANEXO I) .....	39



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AN	Acrilonitrilo
CB	<i>Cutting &amp; Balling</i>
CP	<i>Continuous Polimerization</i>
CUF	Companhia União Fabril
DP	<i>Dope Preparation</i>
PAN	Poliacrilonitrilo
SP	<i>Spinning</i>
SPM	<i>Spinning Machine</i>
SR	<i>Solvente Recovery</i>



## MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

### 1.1 - Motivação

Este estudo foi motivado devido a falhas frequentes ocorridas nos rolos da zona de produção de fibras acrílicas na fábrica da Fisipe S.A. Estes rolos estão a causar atrasos na produção da fibra pois é necessário parar as máquinas para substituir ou reparar os rolos que estão danificados devido a fugas de óleo, fugas de vapor ou folgas excessivas.

Simultaneamente com o aumento do consumo mundial das fibras acrílicas [1] é necessário aumentar também a sua produção o que se torna difícil quando existem cada vez mais falhas nestes rolos.

### 1.2 - Objetivos

Este estudo divide-se em cinco objetivos específicos:

1. Compreender o funcionamento da produção de fibra acrílica;
2. Compreender o funcionamento dos rolos;
3. Analisar e compreender as falhas existentes nos rolos de *spinning*;
4. Identificar a causa raiz da falha;
5. Definir soluções possíveis.

## 1.3 – Estrutura da tese

Na presente dissertação optou-se por uma divisão da mesma em 7 capítulos (Fig. 1.1), compostos em vários subcapítulos:

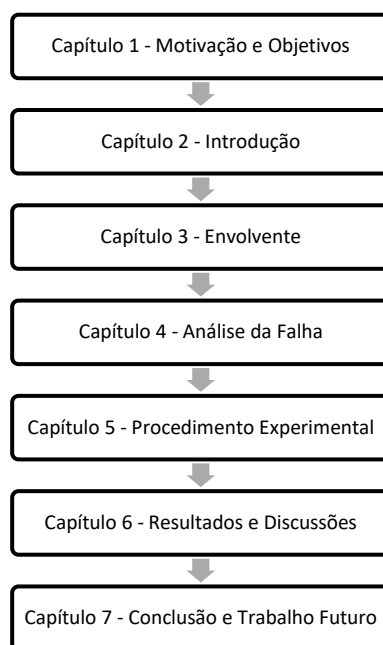


Figura 1.1 - Fluxograma da estrutura da Dissertação

De seguida é feita uma pequena descrição do conteúdo de cada capítulo:

**Capítulo 1 – Motivação e Objetivos:** apresenta a estrutura da dissertação, os objetivos e identifica a motivação para a elaboração da mesma.

**Capítulo 2: - Introdução:** enquadra os temas relacionados com o trabalho a ser realizado. Este capítulo inclui informações sobre a fábrica e como esta se posiciona no mundo das fibras acrílicas. É também descrito o estudo e a metodologia utilizada durante a análise das falhas.

**Capítulo 3 – Envolvente:** introduz a empresa, o processo e a zona onde foi realizado o estudo em questão.

**Capítulo 4 - Análise da Falha:** inclui uma introdução ao conceito de falha e descreve as falhas existentes nos rolos de *spinning*, bem como o estudo da falha.

**Capítulo 5 - Procedimento Experimental:** descreve os processos utilizados para a realização do estudo desenvolvido, os materiais empregues e os procedimentos usados que permitiram chegar aos resultados finais.

**Capítulo 6 – Resultados e Discussão:** apresentada e discute os resultados obtidos.

**Capítulo 7 – Conclusão e Trabalho Futuro:** contempla as conclusões e é proposto um possível trabalho futuro.

Ao longo da dissertação foi mantido o anonimato de alguns fabricantes, sendo referido apenas como fabricante.





## INTRODUÇÃO

Este capítulo foi essencial para obter conhecimento prévio e para alcançar os objetivos finais. Sem estes conhecimentos seria extremamente difícil compreender a produção das fibras acrílicas. Apresenta também a origem dos materiais estudados ao longo desta dissertação assim como o seu funcionamento e os seus componentes.

### 2.1 - Fibras têxteis

As fibras têxteis são elementos filiformes caracterizados pela flexibilidade, finura e grande comprimento em relação à dimensão transversal máxima, sendo aptas para aplicações têxteis. Existem fibras descontínuas e fibras contínuas. As descontínuas têm comprimento limitado a alguns centímetros. As contínuas têm um comprimento muito grande que é apenas limitado por razões técnicas [2].

As fibras têxteis podem ter várias origens, e é esse o critério vulgarmente usado para a sua classificação. Assim as fibras podem ser: de origem natural se são produzidas pela natureza sob uma forma que as torna aptas para o processamento têxtil, ou de origem não-natural se são produzidas por processos industriais, quer a partir de polímeros naturais transformados por ação de reagentes químicos (fibras regeneradas ou artificiais) quer por polímeros obtidos por síntese química (fibras sintéticas) [2].

A classificação geral das fibras têxteis está apresentada resumidamente na figura 2.1.

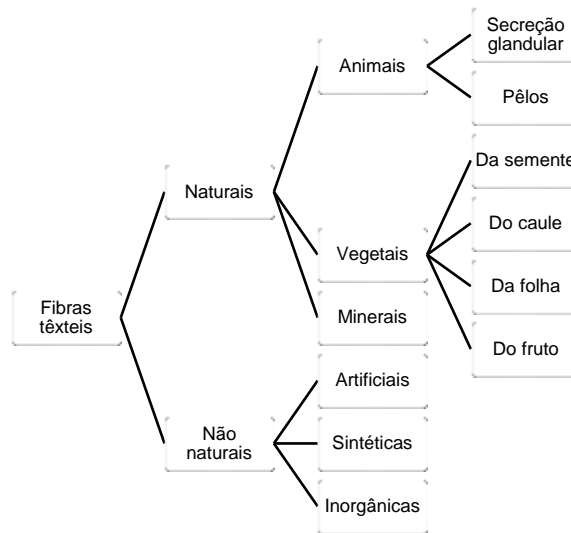


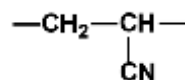
Figura 2.1 - Classificação das fibras têxteis [2]

## 2.2 - Fibras acrílicas

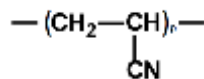
O conceito de produzir fibras não-naturais é uma ideia relativamente recente, apenas em meados do século XVII é que se pensou na possibilidade de produzir seda que não fosse proveniente da segregação glandular de um inseto.

Após 12 anos de experiências, Herbert Rein conseguiu fundir o poliácridonitrilo (PAN) com soluções de elevado ponto de ebulição e, em 1942, nasceu a fibra acrílica, que só foi comercializada após o término da guerra em 1939/45 [2].

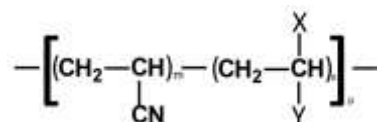
Macromoléculas sintéticas lineares cuja cadeia está formada pela repetição da unidade



em, pelo menos, 85% da respetiva massa: poliácridonitrilo (PAN)



e copolímeros do acridonitrilo (AN) e outro(s) monómero(s)



Podem ser utilizados dois tipos de processos de fiação:

- Fiação a seco: a extrusão é feita a seco, a fieira está numa câmara de evaporação onde os filamentos encontram uma corrente de ar quente, azoto ou vapor de água;

- Fiação húmida: a extrusão é feita numa solução coagulante.

Tanto num processo, como no outro, os filamentos sofrem um alongamento elevado, o que melhora as suas propriedades mecânicas.

## 2.3 - Rolamentos

Os rolamentos são mecanismos bastante antigos. Alguns situam o início do seu uso por volta do ano 4.000 A.C., ajudando os Escandinavos a deslizar com seus trenós. [3] Através de pictografias existentes na Noruega é possível ver uma estrutura formada por madeiras com rodas que se assemelhava a um trenó. Outros historiadores preferem apontar o início da sua utilização por volta de 3.500 A.C., quando os Sumérios utilizaram um cubo de roda construído em madeira montado sobre um eixo também de madeira. Já os egípcios apresentam diversas provas do seu uso. A construção dos seus inúmeros monumentos foi muito facilitada quando passaram a usar rolos de madeiras para transportar pedras de grande peso. Há inclusive uma ilustração datada de cerca de 1.800 A.C., que mostra um egípcio na ponta da pedra entornando um lubrificante no chão. Essa ilustração é frequentemente referida como a mais antiga figura de um “engenho de lubrificação” em funcionamento [3].

As chumaceiras de rolamentos são dispositivos usados para permitir o movimento rotacional ou linear reduzindo o atrito. Quando o atrito é reduzido facilita-se o movimento, fazendo com que a velocidade e a eficiência da aplicação da força sejam maiores. A estrutura dos rolamentos é relativamente simples, sendo composta por: um elemento externo, um elemento interno, elementos rolantes e uma gaiola [4].

Os rolamentos podem estar sujeitos a cargas axiais e/ou radiais estando maioritariamente sujeitos a ambas as cargas [5]. Na figura 2.2 são apresentadas as cargas axiais a que um rolamento está sujeito, enquanto que na figura 2.3 estão representadas as cargas radiais, sendo indicada a força.



Figura 2.2 - Carga axial num rolamento [5]

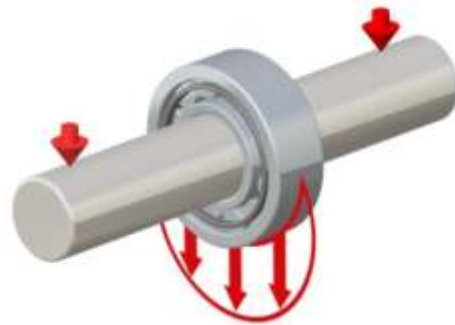


Figura 2.3 - Carga radial num rolamento [5]

O anel externo é o componente que, normalmente, está instalado no alojamento e encontra-se estacionário. Em determinadas aplicações, menos frequentes, pode dar-se o caso de o anel externo ser giratório. Quase sempre o anel interno é o componente rotativo encontrando-se montado no veio. As superfícies dos anéis interno e externo nas quais se movimentam os elementos rolantes são designadas, respetivamente por pista do anel interno e pista do anel externo.

Os elementos rolantes podem ser: esferas, rolos, cones ou agulhas. São geralmente feitos de uma liga de aço cromado especial de alta pureza. Materiais especiais como a cerâmica e plásticos também são usados. A gaiola tem como finalidade manter o afastamento entre si dos elementos rolantes conservando a sua posição relativa. Os rolamentos que não possuem gaiola têm a totalidade do espaço preenchido entre os anéis por elementos rolantes [5]. Na figura 2.4 é possível observar os componentes diferentes que formam dos rolamentos.



Figura 2.4 - Componentes dos rolamentos [5]

## 2.4 - Retentores

Foi em 1929 que Freudenberg criou o primeiro retentor da história, Simmerring®, desempenhando um papel primordial na indústria automóvel permitindo que motores, eixos e transmissões operassem de maneira mais eficiente sem haver fugas [6].

Desde o primeiro anel de vedação foram inúmeros os desenvolvimentos que cada vez mais aprimoram a qualidade e desempenho da peça. Entre eles a incorporação de uma mola e a impregnação de couro com Acronal, trouxeram avanços valiosos para a sua funcionalidade, além disso, problemas como a baixa resistência a altas temperaturas e a alguns solventes foram resolvidos.

O retentor tem como função reter o lubrificante no lado interno do conjunto evitando fugas. É composto por de três peças principais: a carcaça metálica, a mola e o revestimento de borracha com lábio de vedação [7].

A mola é responsável por compensar a carga radial exercida sobre o eixo. O lábio do retentor atua com a finalidade de reter o fluido quando o eixo se encontra na condição dinâmica ou estática. Na figura 2.5 é possível observar espacialmente cada componente do retentor.



Figura 2.5 - Componentes do retentor [7]

## 2.5 - O'rings

Foi em meados do século XVIII que apareceram os *o'rings* (Figura 2.6). Estes eram de ferro fundido e usados como vedantes em cilindros a vapor. Mais tarde foi patenteado o uso de um *o'ring* resiliente numa torneira. O desenvolvimento de *o'ring* como é conhecido hoje em dia foi feito por Niels Christensen que conseguiu obter patentes nos Estados Unidos e no Canadá para certas aplicações. O descobrimento da borracha sintética foi uma importante contribuição para o desenvolvimento posterior do *o'ring* [8, 9].

O *o'ring* tem como objetivo vedar e prevenir a passagem indesejável de produtos, gasosos ou líquidos, para as peças e equipamentos e opera a diversas temperaturas e com diversos níveis de pressão. São adequados tanto para aplicações estáticas como dinâmicas.



Figura 2.6 - *O'rings* [10]

## 2.6 - Cordão de Empanque

Um cordão de empanque é uma vedação mecânica que ajuda a isolar sistemas ou mecanismos (Fig. 2.7), evitando fugas entre partes deslizantes ou giratórias.

Existem vários tipos de cordões de empanque, em que cada tipo tem uma aplicação própria. Alguns tipos de cordão de empanque são embebidos em massa ou sebo de modo a reforçar a vedação do sistema. A sua aplicação é feita pressionando os cordões de modo a que estes estejam comprimidos junto à zona a vedar, fazendo com que seja difícil a passagem de líquidos.

Na figura 2.7 são apresentados dois tipos de cordão de empanque e, na figura 2.8 é exibido o padrão entrançado do cordão de empanque.



Figura 2.7 - Cordão de empanque [11]



Figura 2.8 - Pormenor do entrançado do cordão de empanque [12]



Neste capítulo é feita uma pequena introdução à empresa onde foi realizado o estágio, aos produtos comercializados pela mesma e descreve-se em pormenor o processo de fabrico das fibras acrílicas bem como a máquina que as fabrica.

### 3.1 - Empresa

A Fisipe S.A. [13] nasceu em setembro de 1973 da associação da CUF – Companhia União Fabril com a *Mitsubishi Rayon* e a *Mitsubishi Corporation*, procurando associar a experiência internacional dos parceiros Japoneses. Em 2012 a empresa é comprada pelo *SGL Group*, o maior produtor europeu de fibras de carbono.

A empresa é fundamentalmente produtora de fibras têxteis *standard*, mas ao longo da sua vida foi-se tornando produtora de fibras acrílicas especiais, nomeadamente fibras pré-tintas, funcionais e para aplicações técnicas. A Fisipe S.A. é uma empresa que exporta cerca de 99% da produção e atua em mercados a nível mundial.

Atualmente a estratégia da empresa foca-se na qualidade e sofisticação dos produtos comercializados, com o intuito de sair gradualmente do sector têxtil e entrar nas aplicações técnicas, como as fibras de carbono. No passado, o lema da empresa era: “O máximo de quantidade com a qualidade possível”, mas com a especialização das fibras o novo lema é; “A máxima qualidade na quantidade necessária” [13].

Depois de ser adquirida pelo grupo SGL, o projeto de precursor de fibra de carbono ganhou uma nova dinâmica e dimensão, esta começou a ser produzida mais tarde levando ao desenvolvimento da fibra de carbono.

### 3.2 – Produtos

A Fisipe S.A. afirma-se como *Your creative partner in acrylic fibers*; o lema exprime que quer partilhar a cultura de inovação com cada cliente, de modo a ter benefícios mútuos. Esta empresa também possui uma instalação piloto extremamente bem equipada podendo fazer pesquisa e testes dentro da própria fábrica, o que permite alcançar os desafios que o mercado coloca estando sempre atualizados. [13]

A Fisipe S.A. pode fornecer apoio técnico em alguns assuntos como:

- Tecnologia de tingimento;
- Tecnologia de reprodução de cor;
- Modificação da secção transversal da fibra;
- Desenvolvimento de fibras de alta *performance*, com propriedades mecânicas melhoradas;
- Aplicação de acabamentos inovadores;
- Utilização de fibras técnicas para reforço na construção civil, como asfalto, argamassas e misturas cimentícias diversas.

Nas tabelas 3.1 e 3.2 é descrita a variabilidade de fibras que são produzidas pela Fisipe S.A., desde fibras têxteis a fibras técnicas, indicando também onde os diferentes tipos de fibras são usados ou aplicados.

Tabela 3.1 – Descrição e aplicações de fibras têxteis [13]












Fibras	Descrição	Usos/Aplicações
	<p>As diferentes variedades da Fisivon são certificadas de acordo com a norma <i>Ökotex Standard 100</i>, produtos de classe 1, o que comprova que foram cumpridos os requisitos relativos à ecologia humana, nomeadamente os exigidos pelas normas de artigos para bebé.</p>	
	<p>Fibra tingida pelo processo tecnologicamente mais avançado de tingimento em linha - <i>Gel Dyeing Process</i>. Este é o processo de tingimento mais ecológico e mais eficiente.</p>	
	<p>Fibra tinta em massa com negro de fumo, de elevada solidez e apta para a sobre tintura. Adequada para conseguir efeitos de <i>mix grey</i> e artigos bicolor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malhas</li> <li>• Artigos de pêlo</li> <li>• Decoração</li> <li>• Carpetes</li> </ul>
	<p>Fibra com excelentes resultados de <i>pilling</i>, obtidos por diferentes métodos. Evita assim a formação de borbotos. Permite manter o aspeto novo dos artigos durante mais tempo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fios de Tricot</li> <li>• Peúgas</li> <li>• Mantas</li> </ul>
	<p>Fibra de secção plana, perfeitamente retangular. Esta característica combinada com o seu elevado <i>flat ratio</i> (até 12.5) e frisado especial, resultam numa fibra que imita com perfeição o pêlo animal, originando um tecido de aspeto natural e tato suave.</p>	
	<p>Fibra de secção especial que proporciona efeitos com maior volume e toque particularmente macio. Imita com perfeição o pêlo dos animais jovens ou a camada de pêlo mais fino e suave.</p>	

Tabela 3.2 – Descrição e aplicações de fibras técnicas [13]

Fibras	Descrição	Usos/Aplicações
	<p>A fibra <i>Asphalt+</i> tem um efeito ligante na mistura betuminosa através da formação de uma rede coesiva tridimensional, que melhora as propriedades mecânicas e durabilidade do pavimento.</p> <p>A utilização da fibra <i>Asphalt+</i> em misturas betuminosas é uma solução tecnológica inovadora para os problemas comuns dos asfaltos standard.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camadas base de alta resistência;</li> <li>• Construção SMA;</li> <li>• Técnicas de camada fina;</li> <li>• Misturas betuminosas a frio;</li> <li>• Camada drenante;</li> <li>• Redução de ruído.</li> </ul>
	<p>A fibra <i>Binder+</i> tem um efeito ligante nos componentes das argamassas através da formação de uma rede coesiva tridimensional, que melhora as propriedades mecânicas e durabilidade do revestimento.</p> <p>A utilização da fibra <i>Binder+</i> em gesso e matrizes cimentícias em geral é uma solução tecnológica inovadora para a resolução dos problemas comuns decorrentes da cura (evaporação da água) destes materiais.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassas;</li> <li>• Estuques;</li> <li>• Betonilha;</li> <li>• Argamassas de reparação;</li> <li>• Gesso;</li> <li>• Betões.</li> </ul>
	<p>A fibra <i>Filter+</i> é ideal para a produção de tecidos para filtração industrial onde a temperatura não exceda os 140°C, sendo um excelente compromisso entre custo e desempenho.</p> <p>A utilização da fibra de alta tenacidade <i>Filter+</i> a 100% ou em mistura com outras fibras, permite obter soluções de filtração muito competitivas e flexíveis adequadas para diversas aplicações.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtração industrial.</li> </ul>
	<p>Após fibrilar, a fibra <i>Pulp+</i> tem um efeito ligante dos componentes do papel através da formação de uma rede coesiva tridimensional: as diversas ramificações das fibras fibriladas mantêm os componentes unidos enquanto o ramo principal confere força e resistência.</p> <p>A utilização de <i>Pulp+</i> em juntas e outras aplicações “livres de amoníaco” é uma boa alternativa (em termos de custos e desempenho) às fibras celulósicas e aramidadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de fibra acrílica fibrilada.</li> </ul>
	<p>As fibras <i>Paper+</i> dispersam-se facilmente na matriz do papel, permitindo obter um excelente efeito ligante devido à relação otimizada de comprimento/diâmetro e uma boa coesão fibra-matriz resultante dos grupos nitrilos da fibra acrílica.</p> <p>A fibra <i>Paper+</i> é ideal para aplicações onde a utilização de um acabamento aprovado pela FDA seja um requisito.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtros de papel.</li> </ul>

### 3.3 - Processo de fabrico

A produção de fibras acrílicas é um processo complexo que requer conhecimentos de várias áreas da produção. É necessário haver conhecimento na área visto ser uma secção muito restrita e com muitas especificações.

A sequência de processos apresentada na figura 3.1 representa as várias áreas existentes na produção das fibras acrílicas.

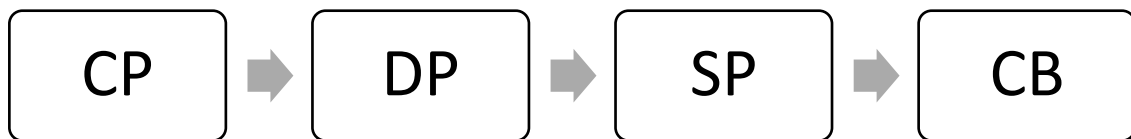


Figura 3.1 - Sequência de processos da produção

Na polimerização contínua (CP) efetua-se a reação de polimerização em meio aquoso de acrilonitrilo (AN) e de co monómeros, sob condições controladas. Nesta área são realizadas as operações de filtração, lavagem, peletização, secagem e moagem do polímero.

A reação de polimerização realiza-se em reatores perfeitamente agitados. A suspensão aquosa é misturada e posteriormente é separado o AN que não reagiu na mistura. Em seguida a mistura é enviada para a filtração e lavagem do polímero, o qual após ser filtrado e lavado, é enviado para a coluna de destilação onde são removidos os monómeros remanescentes. Seguidamente o bolo da filtração (polímero húmido) vai ser encaminhado para o peletizador onde ocorre a formação de *pellets*, que posteriormente são secos e pesados. Por fim os *pellets* de polímero são moídos e transformados em pó e armazenados para o processo seguinte.

Na área de preparação do xarope (DP) é produzido o xarope para a obtenção de fibras acrílicas. O xarope é obtido por dissolução do polímero em pó num solvente. Após a dissolução dos polímeros, o xarope é filtrado de modo a remover quaisquer impurezas ou partículas sólidas de polímeros não dissolvidos. Por fim, este xarope filtrado é fornecido com uma pressão constante à zona do *spinning*. Nas figuras 3.2 e 3.3 pode ver-se a filtragem do xarope antes de ser enviado para a zona do SP.



Figura 3.2 - Filtração de impurezas e partículas

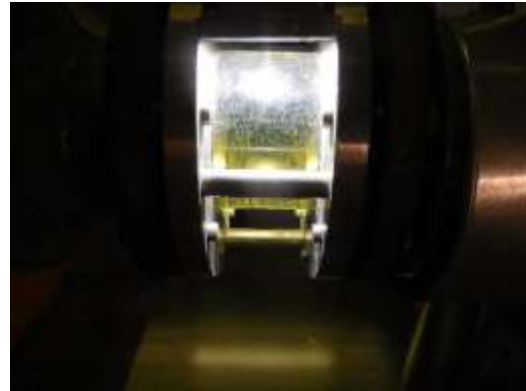


Figura 3.3 - Xarope já filtrado

É na área do *spinning* (SP) que esta dissertação se foca. Nesta zona existem as operações de extrusão, lavagem, tingimento, acabamento, estiramento, secagem e frisagem, as quais serão abordadas em mais detalhe na secção seguinte.

Na área de corte e embalagem (CB) o material proveniente da área SP é recolhido em contentores contendo a fibra, como identificado nas figuras 3.4 e 3.5. Posteriormente é embalado e entregue ao cliente ou é enviado para a zona de fiação.



Figura 3.4 - Distribuidor da fibra



Figura 3.5 - Armazenamento da fibra em contentores

A sequência de processos acima descrita está inserida num sistema de produção contínuo. A falha de apenas um processo compromete a produção de fibra como um todo.

### 3.4 – Spinning

A sequência de processos apresentada na figura 3.6 representa os processos do *spinning*.

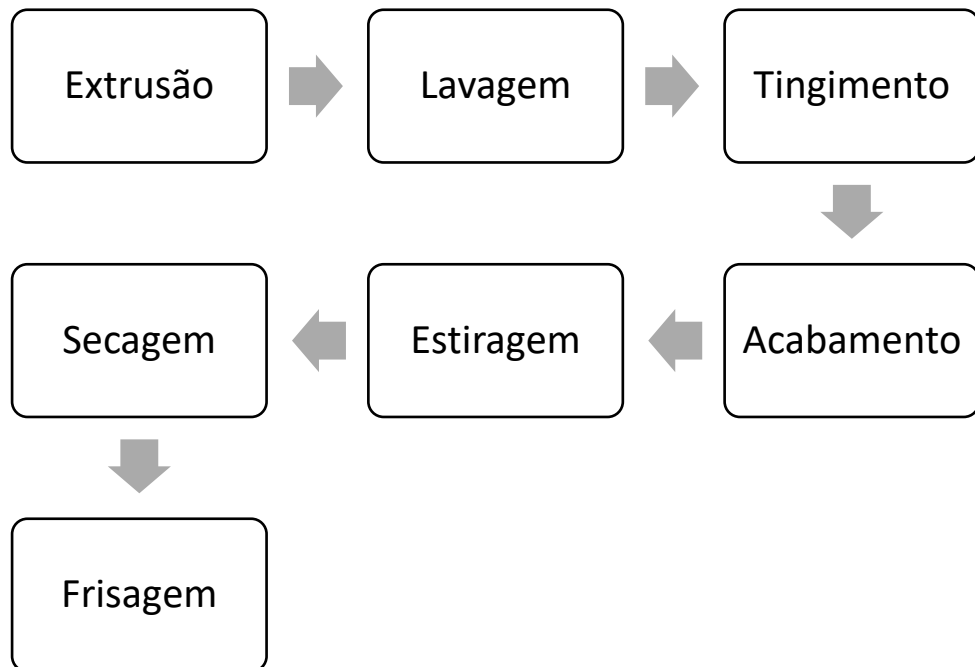


Figura 3.6 - Esquema de processos do *spinning*

Na extrusão, o xarope é forçado a passar nos *spinnerets*. Estes são pequenas placas de tântalo, ou aço inoxidável, com um grande número de orifícios circulares, ou retangulares. Assim que o xarope é extrudido pelos *spinnerets* entra no banho de coagulação e forma-se um feixe contínuo de filamentos a partir de cada um dos *spinnerets*. A convergência de vários feixes num rolo livre dá origem a uma fita. As seis fitas formadas são retiradas da cuba de coagulação por meio do conjunto de primeiros rolos.

Após deixarem os 1<sup>os</sup> rolos, as seis fitas ainda possuem uma grande quantidade de solvente que não foi removido da cuba de coagulação. A remoção deste resto da solução coagulante é conseguida por lavagem das fitas com água. Cada máquina de *spinning* (SPM) possui várias cubas de lavagem, umas são aquecidas, as cubas quentes, e outras são as cubas frias. Entre as cubas frias e as cubas quentes existe um *carter* de rolos (segundos rolos) por onde as fitas passam.

É possível produzir fibra crua, pigmentada ou *gel-dyed*. Esta última é obtida por aplicação de uma mistura de corantes enquanto a fibra ainda está em fase de “gel”, ou seja, quando a quantidade de solvente na fibra ainda é significativa. Esta operação de tingimento é feita na cuba de *gel-dyeing*.

Depois de removido o solvente durante a operação de lavagem é necessário aplicar sobre as fitas um produto de acabamento, escolhido conforme as características que se pretende obter na fibra.

Após a aplicação de acabamento, a fibra é encaminhada para a operação de estiramento, onde passa nos rolos de *spinning* e é estirada. O aumento da resistência mecânica das fibras consegue-se pelo estiramento das fitas ao longo das SPM. A distribuição dos estiramentos é feita consoante as propriedades físicas que se pretende que a fibra adquira e tentando otimizar a estabilidade de produção. É possível fazer estiramento nas cubas de lavagem frias e quentes, e até mesmo durante o processo de secagem. É possível alterar os tipos de estiramentos por alteração da velocidade dos diversos conjuntos de rolos.

A operação de secagem é feita por rolos secadores, estes são idênticos aos de estiramento, mas possuem condensação de vapor no seu interior que fornece calor suficiente para a evaporação de água das fitas.

O objetivo da operação de frisagem é garantir a coesão dos filamentos que constituem a fita e evitar a sua separação e desordenamento durante as operações subsequentes. À saída dos rolos secadores, as seis fitas são sobrepostas duas a duas ou três a três, por conjuntos de guias. Depois de serem sobrepostas estas passam num condicionador de vapor que faz com que gotículas de água se condensem sobre os filamentos da fibra protegendo-os da operação de frisagem e permitindo que os vincos sejam fixados pela fibra.

Após a fibra ser frisada, terminam os processos na área do SP.

As máquinas de *spinning* são compostas por vários componentes como as cubas e os *carters*. Estes últimos são compostos por quatro rolos de *spinning* cada. Na figura 3.7 está representado esquematicamente uma SPM com a ordenação das máquinas, podendo estas variar com os tipos de fibras a serem produzidas.



Figura 3.7 - Processos da área de *Spinning* [14]

Os primeiros, segundos e terceiros rolos são rolos frios, onde não existe vapor de água a aquecer os rolos, logo estes rolos não estão sujeitos a fugas de vapor mas, apenas a fugas de óleo e a folgas excessivas. Visto estes rolos não estarem sujeitos a temperaturas tão elevadas como os rolos quentes, estes têm menor desgaste dos materiais, sendo substituídos menos vezes [15].

Os restantes rolos são rolos quentes em que além de estarem sujeitos a elevadas temperaturas, também estão sujeitos a elevadas pressões devido ao vapor inserido no interior dos rolos.

Cada conjunto de rolo de *spinning* é composto por uma cabeça e um rolo, em que o rolo está inserido na cabeça, como apresentado na figura 3.8. Nesta figura está representado o desenho a três dimensões no canto superior esquerdo e o desenho técnico dos rolos de *spinning* em corte.

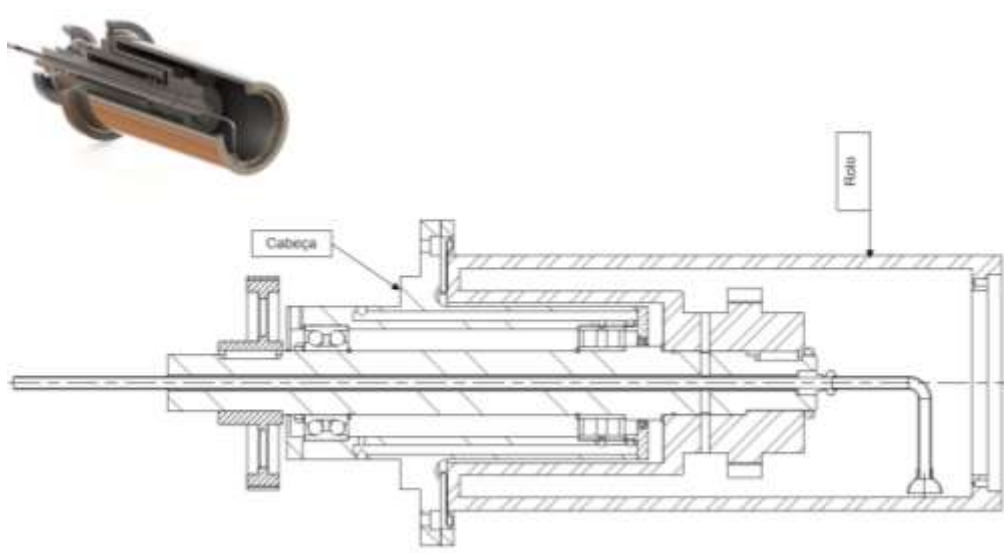


Figura 3.8 - Descrição da cabeça e do rolo (adaptado) [14]

Os rolos de *spinning* são os elementos mais críticos do processo produtivo da fibra acrílica na Fisipe S.A. Podem ser considerados como o coração da máquina de *spinning*, pois se estes falham e, atendendo ao tipo de falha, podem colocar em causa a qualidade do produto ou mesmo a paragem da produção. A cabeça é o elemento que faz o suporte, a lubrificação e dá passagem ao vapor e água dos rolos onde a fibra é estirada, aquecida e arrefecida em cada máquina.

No interior da cabeça é onde é focado o estudo desta dissertação pois é onde se encontram os componentes que levam à falha. A lubrificação é feita no interior da cabeça por canais de circulação de óleo para os rolamentos que permitem a rotação do

veio no seu interior. A entrada de vapor também é feita pela cabeça, mas por um tubo interior que depois sai para o interior do rolo aquecendo-o, posteriormente os condensados são recolhidos por um coletor em forma de campânula no interior do rolo. Logo, todos os elementos que podem conduzir à fuga estão no interior da cabeça dos rolos de *spinning*.

Na figura 3.9 está esquematizado a entrada e saída de óleo (a verde), a entrada de vapor (a amarelo) e os outros componentes em estudo, nomeadamente o retentor e o *o'ring* (a vermelho).

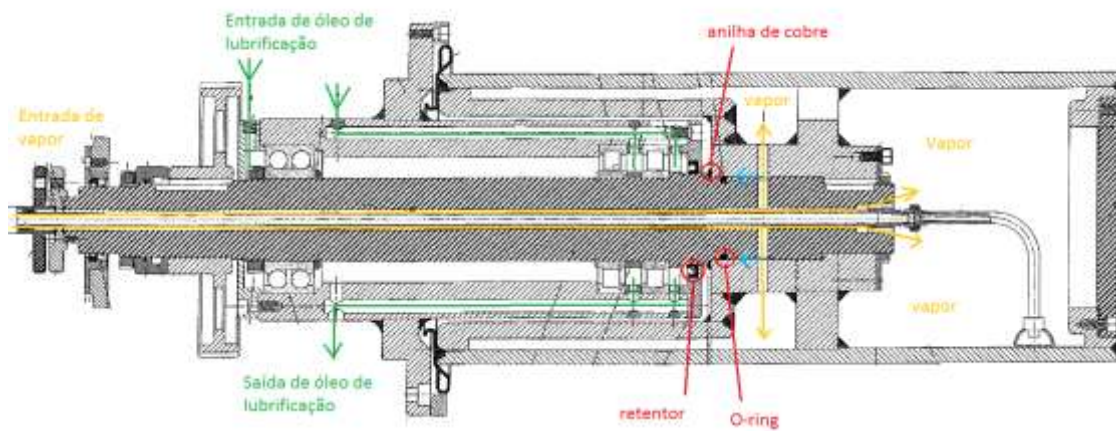


Figura 3.9 - Esquema das entradas de óleo e de vapor (adaptado) [14]

## ANÁLISE DA FALHA

Uma falha é caracterizada como a incapacidade de uma máquina e/ou equipamento de desempenhar a função solicitada [16].

Depois de apresentado o funcionamento e os componentes que pertencem aos rolos de *spinning*, foi possível analisar a proveniência das falhas existentes nestes. Quando estas falhas ocorrem nos rolos de *spinning* é necessário parar a máquina e, conseqüentemente, parar a produção, o que leva à perda de rendimento da máquina.

Após analisar os tipos de falha existentes – fugas de óleo, fugas de vapor e folgas excessivas – foi possível atribuir o componente que estava associado a essa falha, como demonstrado no esquema da figura 4.1. Por exemplo, as fugas de vapor existentes são devidas à má vedação ou à deterioração precoce do *o’ring*.

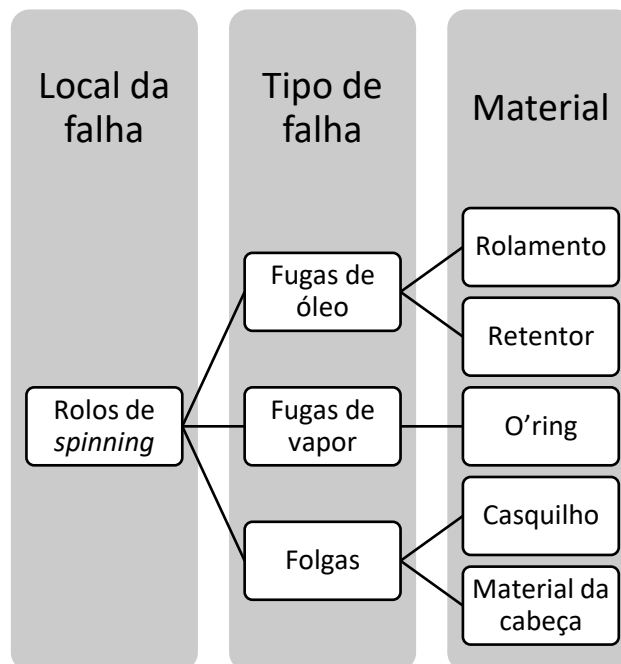


Figura 4.1 - Esquema da análise da falha

Com base num estudo detalhado de cada rolo, e de cada máquina, com a contagem das falhas ocorridas nos anos de 2015 e 2016, foi chegado-se à conclusão de que as falhas que ocorrem com mais frequência nos rolos de *spinning* são as fugas de vapor, as fugas de óleo e as folgas excessivas (Fig. 4.2). Os registos das falhas foram contabilizados individualmente por um engenheiro da empresa que tinha iniciado o estudo das falhas nos rolos.

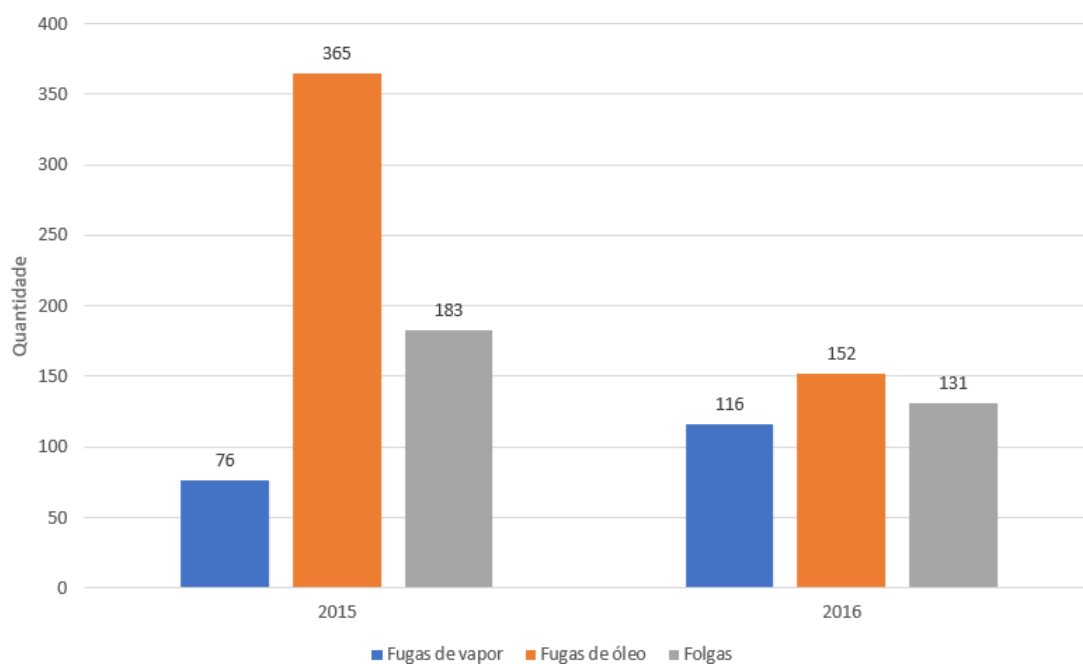


Figura 4.2 - Falhas dos rolos de *Spinning*

O estudo realizado permitiu verificar a diminuição das falhas nos rolos devidas às fugas de óleo e à existência de folgas excessivas, bem como o aumento das fugas de vapor. Com efeito, de 2015 para 2016 testou-se a incorporação de vários tipos de retentores e de *o'rings*, de modo a avaliar a estanquicidade de óleo e de vapor dos rolos.

Na figura 4.3 é possível ver a localização dos componentes em estudo: retentor e *o'ring*.

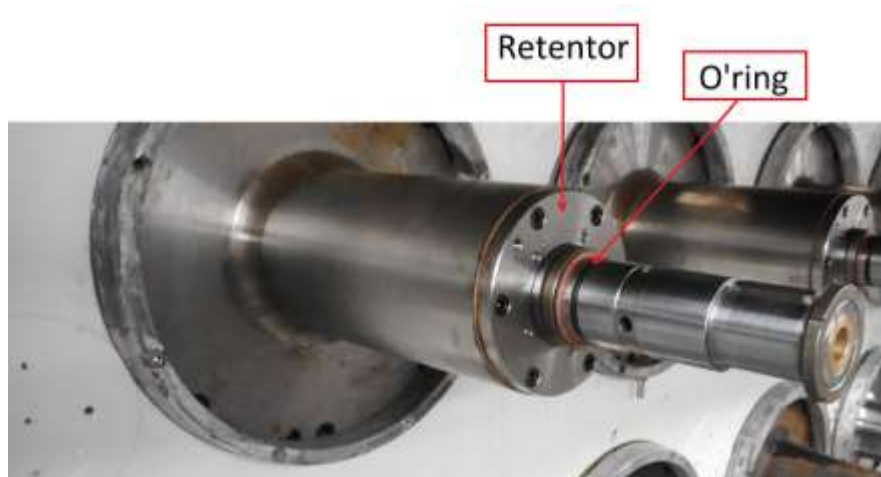


Figura 4.3 - Localização do retentor e do o'ring na cabeça

Na figura 4.4 está esquematizado as fugas que ocorrem nos rolos, tanto as de vapor como as de óleo.

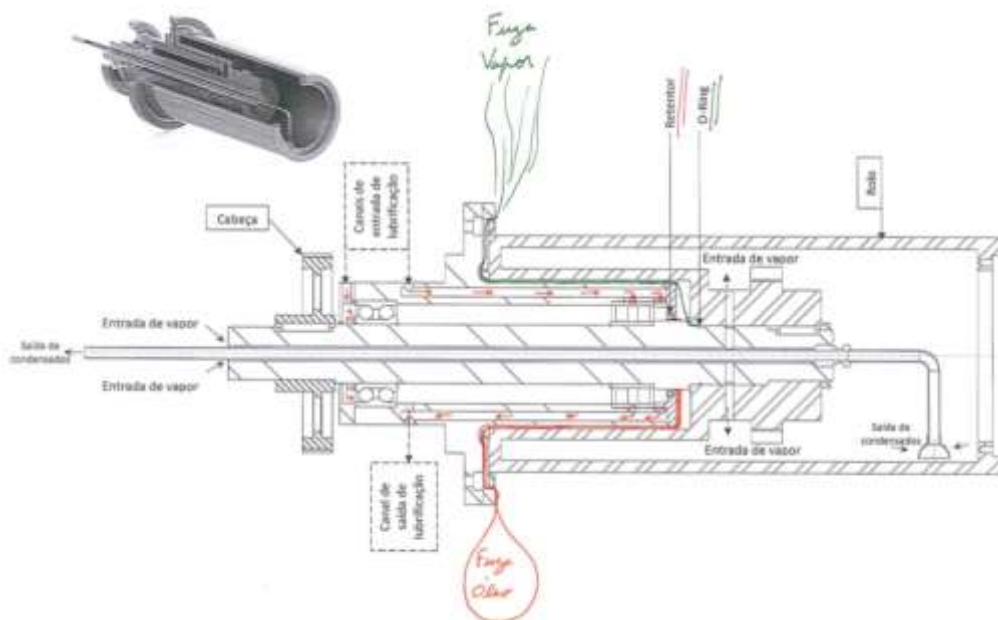


Figura 4.4 - Esquema das fugas (adaptado) [14]

As folgas excessivas existentes nos rolos de spinning podem ocorrer em dois locais distintos:

1. No interior da cabeça, devido ao desgaste do material;
2. Nos casquilhos dos rolos.

As folgas nas cabeças dos rolos podem estar relacionadas com a vida útil dos rolamentos, sendo que estes estão sujeitos a condições de trabalho exigentes como as altas temperaturas e pressões. Devido à altas temperaturas, o óleo que é utilizado para lubrificar os rolamentos por vezes carboniza, o que leva à acumulação de material no

interior dos rolamentos fazendo com que estes não tenham o funcionamento correto. Como exibido nas figuras 4.5 e 4.6 é possível ver a acumulação do óleo nos rolamentos assim como nos rotâmetros.



Figura 4.5 - Acumulação de óleo carbonizado nos rolamentos



Figura 4.6 - Acumulação de óleo carbonizado nos rotâmetros

Esta acumulação de óleo leva ao mau funcionamento dos componentes, resultando no seu desgaste precoce que por sua vez origina folgas.

A folga nos casquilhos é provocada pelo desgaste de contacto entre o veio e o casquilho do rolo, sendo que a máxima admitida é de 0.6 mm. Este casquilho é feito com um material mais resistente (36NiCrMo) de modo a resistir ao trabalho a que está sujeito [anexo F]. A figura 4.7 identifica onde é feito o contacto entre as duas superfícies e onde existe desgaste, representado a vermelho.

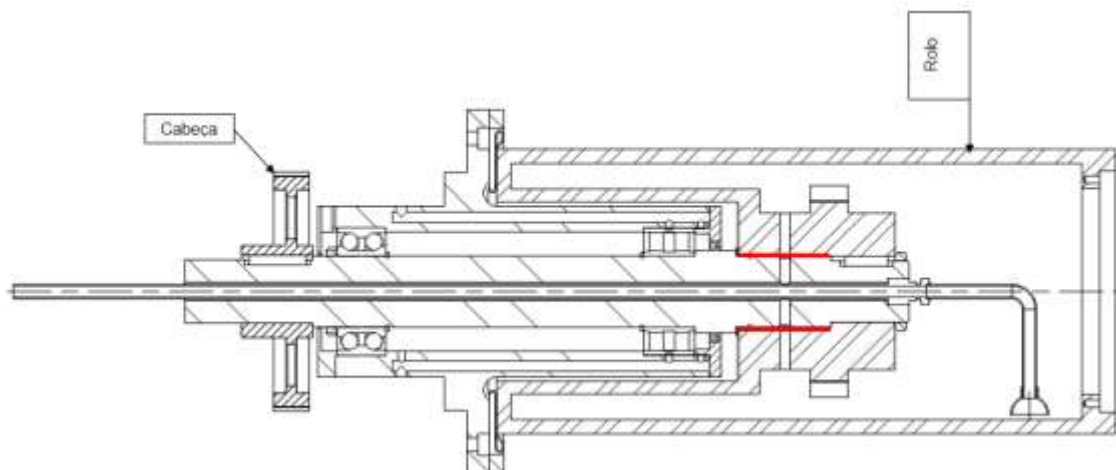


Figura 4.7 - Folgas nos casquilhos (adaptado) [14]

Na figura 4.8 identifica-se o diagrama causa-efeito do estudo dos modos de falha dos rolos de *spinning*.

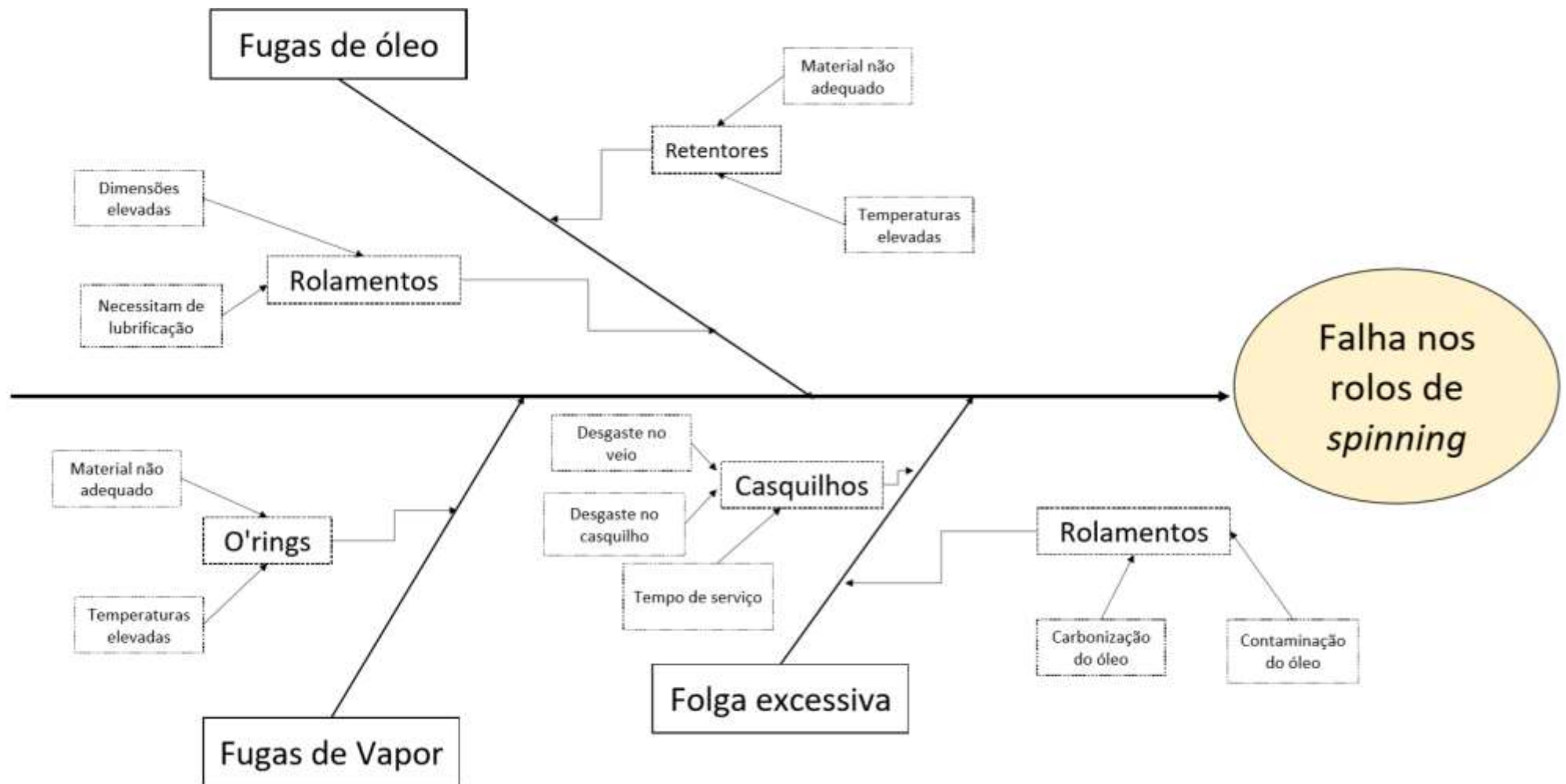


Figura 4.8 - Diagrama causa-efeito do estudo dos modos de falha dos rolos de *spinning*



## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com o intuito de resolver a falha em estudo, foram revistos alguns ensaios executados anteriormente e foram realizados novos testes para chegar a uma conclusão.

### 5.1 - Testes realizados anteriormente

Em 2014 foi estudada a possibilidade de retirar o óleo de lubrificação da zona onde existem fugas, substituindo os rolamentos originais por outros mais adequados. Foram estudadas várias alternativas de rolamentos de modo a que satisfizesse as condições de funcionamento dos rolos de *spinning*, mas sem sucesso. Após a troca de diversos *emails* a contactar fornecedores sobre o tipo de rolamentos, no anexo B é possível verificar a resposta negativa a este pedido.

Em 2015 foi também estudado o comportamento de alguns retentores e *o'rings*. Com este estudo foi possível chegar a algumas conclusões sobre quais os retentores mais adequados para a vedação dos rolos. O principal fator que influencia o funcionamento correto dos rolos é o uso de temperaturas bastante elevadas no processo de fabrico das fibras acrílicas. As temperaturas de serviço utilizadas são elevadas, o que leva ao desgaste precoce nos materiais. Assim os materiais dos *o'rings* e retentores têm de ser característicos de modo a suportar as altas temperaturas

#### 5.1.1 – Teste a rolamentos

Uma das alternativas à resolução das fugas de óleo foi erradicar o óleo de lubrificação da zona onde ocorrem as fugas, passando a haver apenas óleo na parte anterior do rolo (Fig 4.4). Na tabela 5.1 estão representados os custos contabilísticos das reparações dos rolos, relativos aos rolamentos, no ano de 2014. Neste estudo foram contabilizados os custos da substituição de rolamentos e mudanças de óleo nas SPMs que ocorreram no ano de 2014.

Tabela 5.1 - Custos contabilísticos de manutenção da falha de fuga de óleo em 2014

<b>Mão de obra</b>				€62 400
<b>Material</b>	Cabeça reforçada	NU220	Quantidade consumida	89 und
			Custo unitário	€114,45
		3220	Quantidade consumida	44 und
			Custo unitário	€170
	Cabeça normal	NU214	Quantidade consumida	300 und
			Custo unitário	€48
		22313	Quantidade consumida	44 und
			Custo unitário	€78
		22313-EAS	Quantidade consumida	100 und
			Custo unitário	€42
	Atestos de óleo	Nº de tambores		58 und
		Custo/tambor		€724,14
	Sub-total			€81 698,17
	<b>Serviços externos</b>		Não	
<b>Total</b>			<b>€144 098,17</b>	

Com os resultados destes custos foi possível comparar a possível utilização de rolamentos mais dispendiosos, mas com melhores rendimentos, como por exemplo rolamentos cerâmicos ou rolamentos selados. Na altura chegou-se à conclusão de que os rolamentos alternativos iriam ser demasiados dispendiosos em comparação com os custos de reparação dos mesmos. Assim, não se avançou com o projeto alternativo da substituição dos rolamentos.

### 5.1.2 – Teste a retentores

Os retentores usados nos rolos são envolvidos por uma caixa metálica que é aparafusada à cabeça do rolo. O retentor faz com que o óleo que lubrifica os rolamentos não passe para a zona onde atua o vapor não havendo assim fugas de óleo. Existem vários tipos de retentores e de materiais de retentores, sendo que foram vários testados de modo a verificar a estanquicidade dos mesmos com as condições de funcionamentos dos rolos.

No estudo elaborado em 2015 começou-se por contactar os fornecedores de modo a obter informação de quais os produtos que resistiam melhor a altas temperaturas e quais os que tinham melhor *performance* nas condições admitidas. No anexo C estão descritos os materiais utilizados em alguns dos testes feitos nos rolos assim como os fornecedores dos materiais.

O primeiro material a ser testado nos retentores foi o Teflon (anexo D.1), em que depois de se colocar em diferentes rolos verificou-se que havia uma diminuição do diâmetro exterior do retentor o que levava à fuga do óleo pela caixa do retentor, tornando-se assim não viável a continuação do uso destes retentores.

O segundo material a ser testado foi o Viton (anexo D.2) que é um material que já era utilizado anteriormente e que já se tinha chegado à conclusão de que este material não aguentava as temperaturas elevadas do processo e ia sendo desgastado com grande facilidade.

Após o uso de teflon simples, foi utilizado teflon grafitado (anexo D.3) de modo a tentar evitar a diminuição do diâmetro do retentor com a temperatura. Após a colocação do retentor a cabeça onde estava montado teve de ser desmontada devido a uma folga, como tal não foi possível chegar a uma conclusão sobre este material.

No último teste a ser realizado usou-se cordões de empanque, de material G-Spezial 6560, em substituição dos retentores (anexo D.4). Foi alterada a caixa do retentor de modo a acomodar os cordões de empanque como demonstrado nas figuras 5.1 e 5.2.



Figura 5.1 - Caixa com o cordão de empanque



Figura 5.2 - Caixa alterada para o cordão de empanque

Este último teste foi o que obteve melhores resultados, em que o primeiro cordão de empanque foi colocado a 19/05/2015 e foi verificada a sua condição a 18/11/2016, onde se confirmou que o retentor estava em ótimas condições e não havia fugas de óleo. O cordão de empanque foi posteriormente retirado na revisão geral no fim desse mesmo ano. Quando este foi desmontado verificou-se que o cordão de empanque estava em perfeito estado ao ponto de o cordão ser reutilizado para outras funções.

Na tabela 5.2 pode verificar-se os custos dos retentores testados, verificando que além do melhor funcionamento o cordão de empanque é o que tem o melhor preço em relação aos outros materiais.

Tabela 5.2 - Preços dos materiais dos retentores

<b>Material retentor</b>	<b>Custo unitário (normal)</b>	<b>Custo unitário (reforçado)</b>	<b>Total de uma SPM</b>
<b>Teflon</b>	€21,00	€28,00	€980,00
<b>Viton</b>	€50,24	€82,37	€2 476,6
<b>Teflon grafitado</b>	€47,86	€59,15	€2 196,16
<b>Cordão de empanque</b>	€19,00	€19,00	€836,00

### 5.1.3 – Teste a *o'rings*

Juntamente com o estudo dos retentores também se efetuou uma análise dos *o'rings* (anexo E) de modo a diminuir as fugas de vapor existentes nos rolos. Inicialmente eram utilizados *o'rings* do material Viton, contudo, estes não tinham o desempenho necessário para evitar as fugas de vapor.

Um dos materiais a ser testado foi o Ecoflas em que foram instalados quatro *o'rings* em quatro rolos diferentes numa máquina. O resultado deste teste foi negativo, visto a temperatura de serviço utilizada ter danificado os *o'rings*, fazendo com que estes perdessem elasticidade e por sua vez não vedassem o vapor de água havendo assim fugas.

Optou-se por testar uns *o'rings* de um material que resistisse uma maior temperatura de serviço, como o Kalrez 6375. Este material demonstrou uma boa prestação, mas tem a desvantagem do seu valor de aquisição ser elevado. Assim, decidiu-se continuar a testar *o'rings* de outros materiais de modo a obter uma boa qualidade/preço e que permitissem a adequada vedação dos rolos.

Por fim encontrou-se um material em que a sua relação qualidade/preço era favorável e a vedação dos rolos era positiva. O material escolhido foi o Aflas, sendo mais barato do que o material anterior. Estes *o'rings* demonstraram uma boa vedação diminuindo o número de fugas de vapor dos rolos.

As figuras 5.3 e 5.4 mostram algumas das falhas ocorridas nos testes feitos dos *o'rings* do material de Ecoflas.



Figura 5.3 - *O'ring* desfeito



Figura 5.4 - *O'ring* rasgado

Na tabela 5.3 pode verificar-se os custos dos *o'rings* testados, verificando que o material de Aflas, além de ter um funcionamento positivo também tem um custo favorável.

Tabela 5.3 - Preços dos materiais dos *o'rings*

Material <i>o'ring</i>	Custo unitário (normal)	Custo unitário (reforçado)	Total de uma SPM
Viton	€1,20	€1,90	€58,40
Ecoflax	€115,00	€175,00	€5 540,00
Kalrez 6375	€179,89	€341,04	€9 204,36
Aflas	€4,74	€7,15	€227,84

## 5.2 - Revisão da SPM

Durante a elaboração da presente tese foi possível acompanhar a revisão geral de uma das SPMs. Esta foi toda desmontada e foram colocados materiais novos em várias partes da máquina. As zonas de maior interesse no estudo foi a zona dos rolos do *spinning* onde foram desmontados, arranjados e colocados novos materiais, tais como vedantes e *o'rings*.

Os materiais colocados nos rolos desta SPM:

- Vedante: cordão de empanque com caixa modificada;
- O'rings: Aflas.

Foram colocados em todos os rolos, quentes, frios e reforçados, sendo possível acompanhar o tempo de vida de cada material instalado. Desde o dia de início do funcionamento foram registados todos os arranques e paragens da máquina, contabilizando o número de horas de funcionamento da mesma, figura 5.5

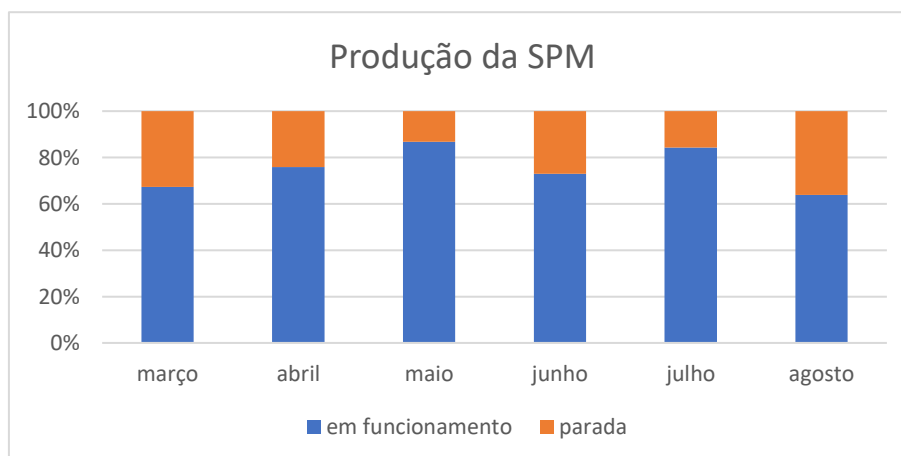


Figura 5.5 - Contabilização de tempo de produção da SPM

Um dos problemas verificados após a desmontagem dos rolos de *spinning* foi a acumulação de óleo entre a cabeça e os rolos, como se verifica na figura 5.6. Tal como foi referido anteriormente, seria desejável a utilização de rolamentos de grafite ou cerâmicos, que não precisassem de lubrificação, de modo a evitar a utilização de óleo. Contudo, esses rolamentos não existem nas dimensões dos que estão a ser atualmente instalados no sistema mecânico em estudo.



Figura 5.6 - Acumulação de óleo na cabeça devido a fuga

### 5.3 – Testes realizados

De modo a verificar se os rolamentos estavam dimensionados corretamente foi necessário identificar as cargas a que estes estavam sujeitos. Uma forma de calcular a carga é medindo a tensão que as fitas exercem nos rolos; para conseguir saber esse valor foram propostos vários testes de modo a obter o valor de tensão das fitas.

O primeiro teste a ser efetuado implicava a utilização de um tensiómetro, existente na Fisipe S.A., um equipamento utilizado para medir a tensão das fitas do percursor de carbono. Este teste ficou sem efeito devido a o aparelho apenas medir tensão em fitas com menos de 50 000 filamentos e, nas máquinas de produção de fibra acrílica, as fitas têm mais de 70 000 filamentos.

Na figura 5.7 observa-se o tensiómetro que se tentou utilizar para a medição da tensão das fitas. Este material não consegue medir a quantidade necessária de filamentos.



Figura 5.7 - Tensiómetro existente na fábrica

O segundo teste proposto foi a medição da flecha do rolo da SPM quando as fitas passam nestes. Para esse efeito, foi construída uma estrutura na qual se apoiaram dois comparadores, um na vertical e outro na horizontal, os quais foram colocados quando a máquina trabalhava sem as fitas. Depois foram passadas as fitas e foi medido o deslocamento do rolo; de seguida, através de simulação numérica, foram calculadas as forças a que os rolamentos estão sujeitos.

O rolo escolhido foi o 2S13 pois é um dos rolos quentes que se situa a meio da SPM. A SPM a ser testada foi a que foi intervencionada durante a revisão geral, em que os componentes em estudo era todos novos (rolamentos, *o'rings* e retentores).

Nas figuras 5.8 e 5.9 é identificada a disposição dos comparadores de modo a medir o deslocamento vertical e horizontal do rolo de *spinning*.



Figura 5.8 - Disposição dos comparadores (vista frontal)



Figura 5.9 - Disposição dos comparadores (vista lateral)

Uma das grandes dificuldades da realização deste teste foi a condição de elevada temperatura a que estão sujeitos os materiais. Como mostra a figura 5.10, consegue-se verificar que as temperaturas de serviço são elevadas, cerca de 168°C, o que dificultou a utilização dos materiais a serem utilizados em condições de segurança.



Figura 5.10 - Temperatura de serviço dos rolos do *spinning*

Na tabela 5.4 é possível observar os valores medidos pelos comparadores, horizontal e vertical, antes e depois da passagem das fitas nos rolos. De modo a calcular o deslocamento que os rolos de *spinning* sofrem aquando da passagem das fitas, efetuou-se a diferença entre os valores iniciais e finais indicados pelos comparadores.

Para se conseguir ver o deslocamento do rolo foi colocado um valor no comparador em vazio de modo a conseguir obter o valor após o rolo estar sujeito à tensão das fitas. Posteriormente foi feita a diferença entre o valor em vazio e o valor com as fitas, como verificado na tabela 5.5.

Tabela 5.4 - Resultados do teste da medição da flecha do rolo com comparadores

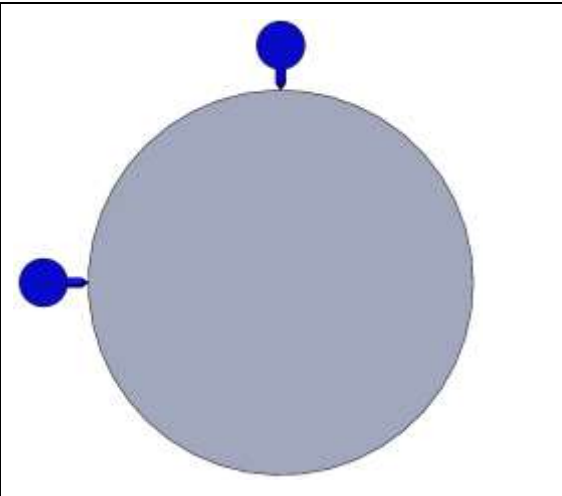
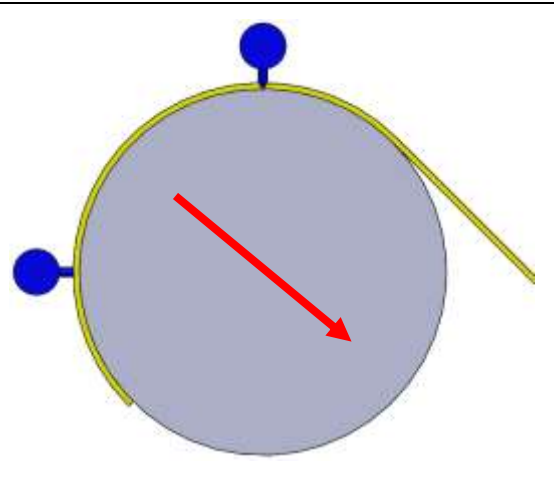
			
Em vazio (valor médio)		Com fitas (Valor médio)	
Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
0,75 mm	1,47 mm	0,25 mm	1,12 mm

Tabela 5.5 - Deslocamento da flecha do rolo de *spinning*

	Vertical	Horizontal
Deslocamento	0,50 mm	0,35 mm

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi utilizado o Método de Elementos Finitos, mais concretamente o programa *SolidWorks Simulation*, de modo a calcular as reações nos apoios dos rolamentos, através dos valores obtidos no teste da medição dos deslocamentos com os comparadores. Foi também possível obter valores de tensão a que o veio está sujeito nos pontos onde os rolamentos estão apoiados. Com estes valores foi possível comparar os resultados obtidos com os rolamentos utilizados, verificando se estes estão bem dimensionados.

Na figura 6.1 é possível ver a modelação do veio e do rolo, assim como as condições iniciais deste estudo, onde foram aplicados os deslocamentos na ponta do rolo (0.5 mm e 0.35 mm), nos locais onde foi feita a medição com os comparadores, adicionalmente, são visíveis as restrições ao movimento introduzidas nos dois locais onde estão colocados os rolamentos, de modo a calcular as reações nesses apoios.

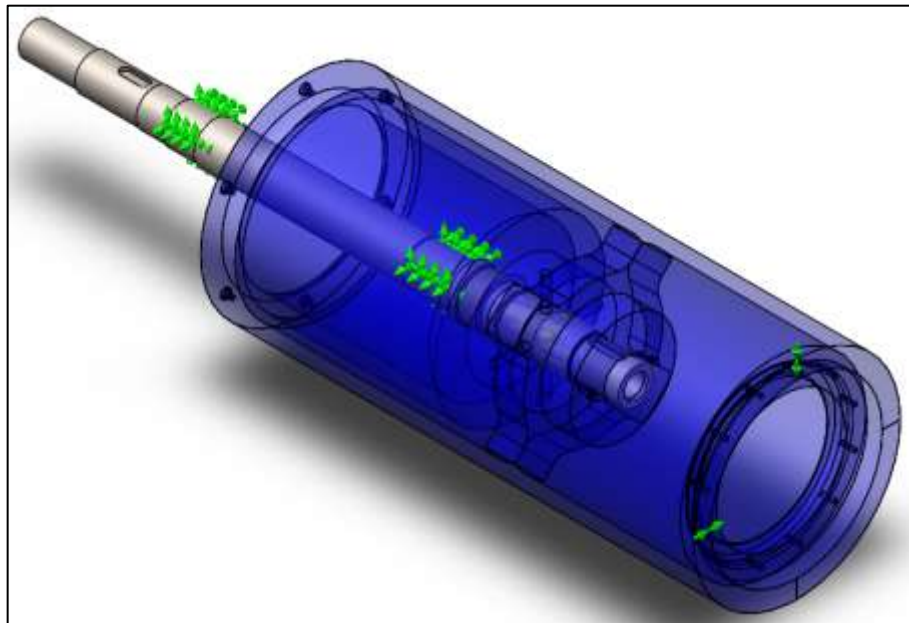


Figura 6.1 - Condições iniciais aplicadas

É possível observar na figura 6.2 a tensão máxima induzida no veio com todas as condições definidas (258 MPa). No anexo G pode verificar-se, em maior detalhe, as diferentes tensões no veio.

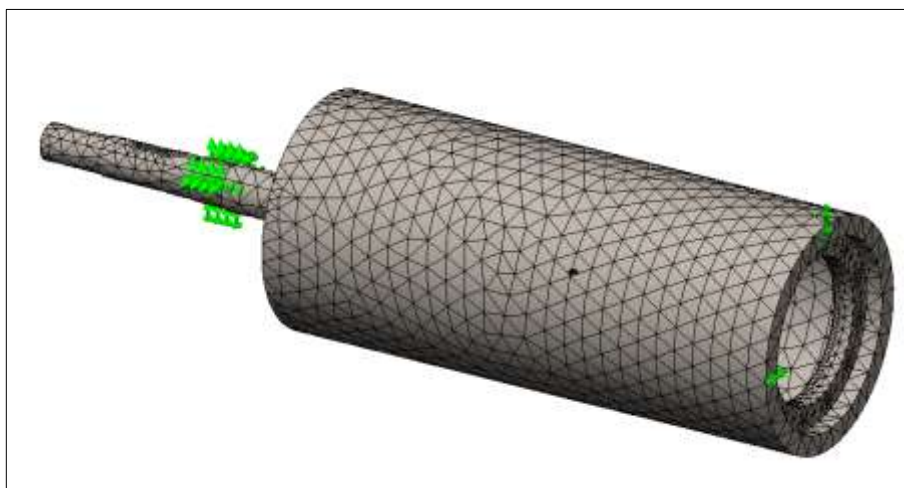


Figura 6.2 - Malha de elementos finitos

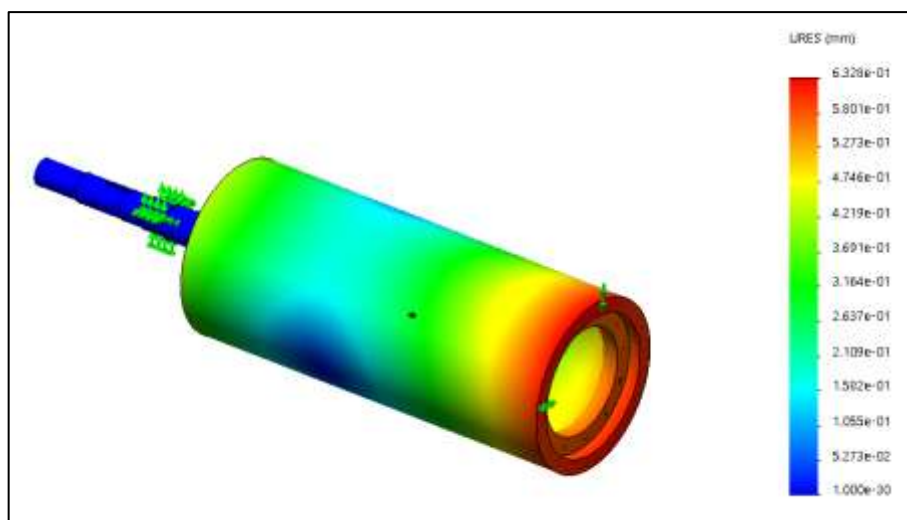


Figura 6.3 - Deslocamentos no rolo

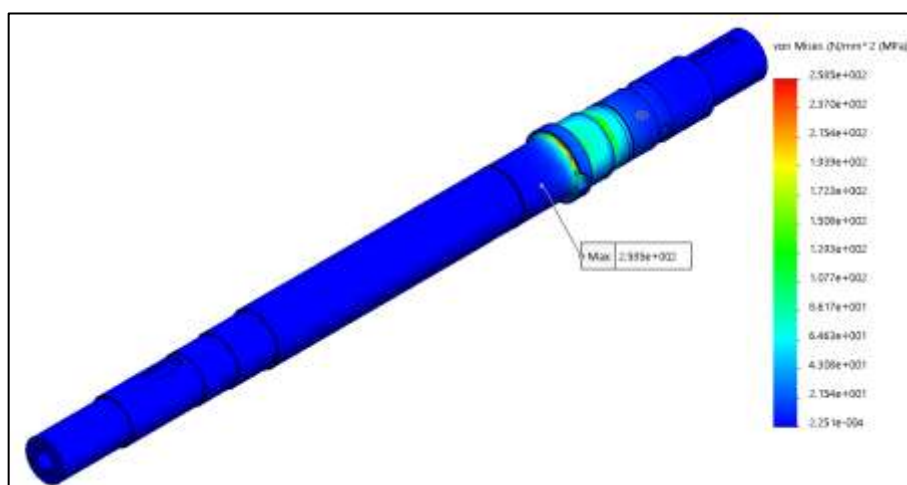


Figura 6.4 - Tensão máxima no veio

Com o auxílio da ferramenta de simulação do *SolidWorks Simulation* verificou-se que a tensão máxima era de 258,5 MPa, representada na figura 6.4. Visto que o material utilizado é o 36CrNiMo6, e que este tem uma tensão de cedência de 800 MPa, é notório que a tensão calculada não ultrapassa os limites da tensão de cedência do material (anexo F). Simultaneamente, não se esperam quaisquer problemas de fadiga no veio, uma vez que, até ao momento, nunca ocorreu a sua fratura em serviço.

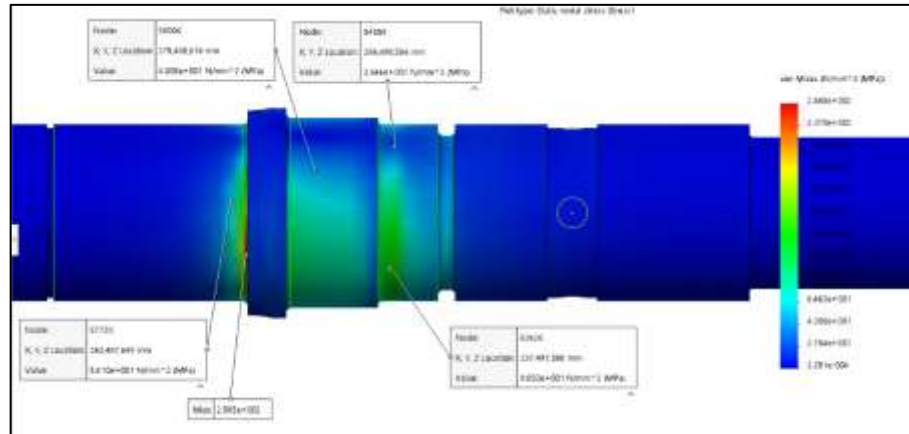


Figura 6.5 - Pormenor da tensão máxima

Com as figuras 6.6 e 6.7 pode verificar-se os valores das reações nos apoios dos rolamentos, tanto nos rolamentos traseiros como nos dianteiros. Na figura 6.8 estão discriminados os diferentes tipos de rolamentos utilizados nos rolos de *spinning*. Comparando os valores das definições dos rolamentos (anexo H e Tabela 6.1) com os valores apresentados nas figuras 6.6 e 6.7 (13.7 N e 2.76 kN), conclui-se que estes estão sobredimensionados e cumprem os requisitos de funcionamento da máquina.

Desta forma, poder-se-ia pensar em redesenhar o veio, os rolos e os rolamentos, de modo a diminuir a dimensão dos rolamentos utilizados (70x125 e 100x180), permitindo a utilização de rolamentos de grafite, cerâmicos, híbridos ou selados, de menor dimensão, evitando-se a utilização de óleo de lubrificação.

Tabela 6.1 - Cargas dinâmicas dos rolamentos (anexo H)

Rolamento	Carga dinâmica básica [kN]
Nu 214	137
22213	198
22313	357

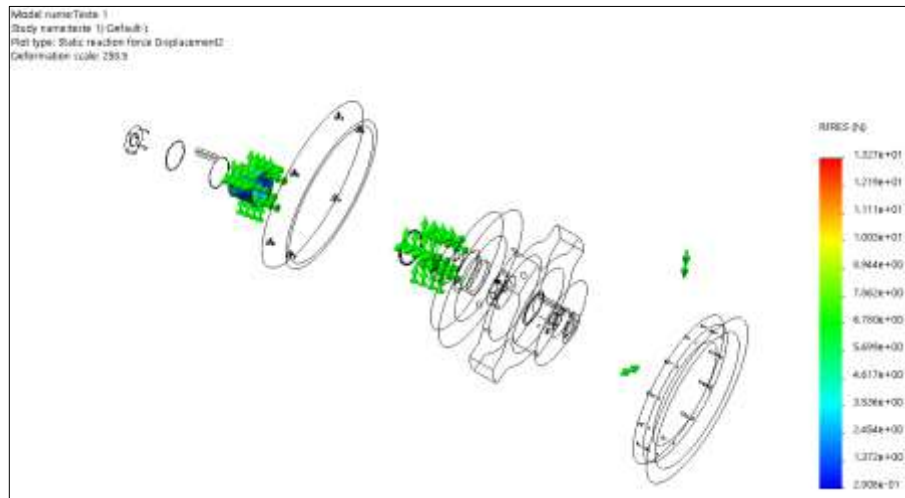


Figura 6.6 - Reação no apoio traseiro dos rolamentos

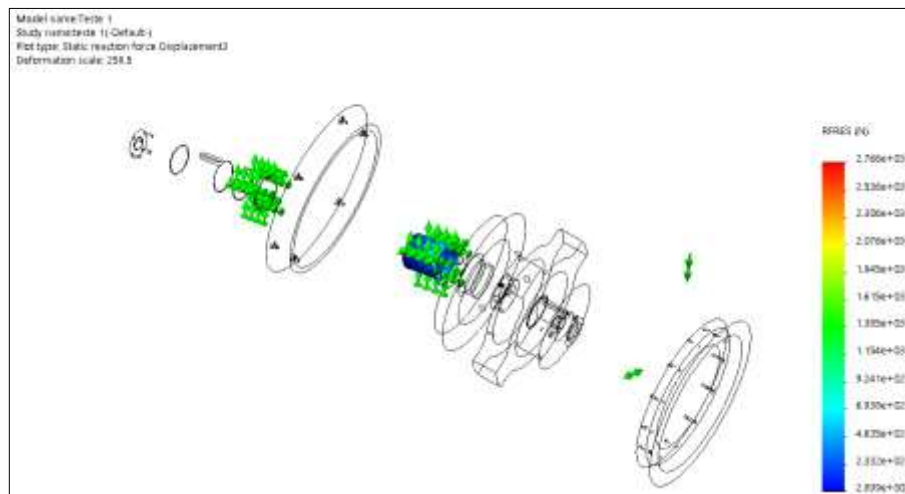


Figura 6.7 - Reação no apoio dianteiro dos rolamentos

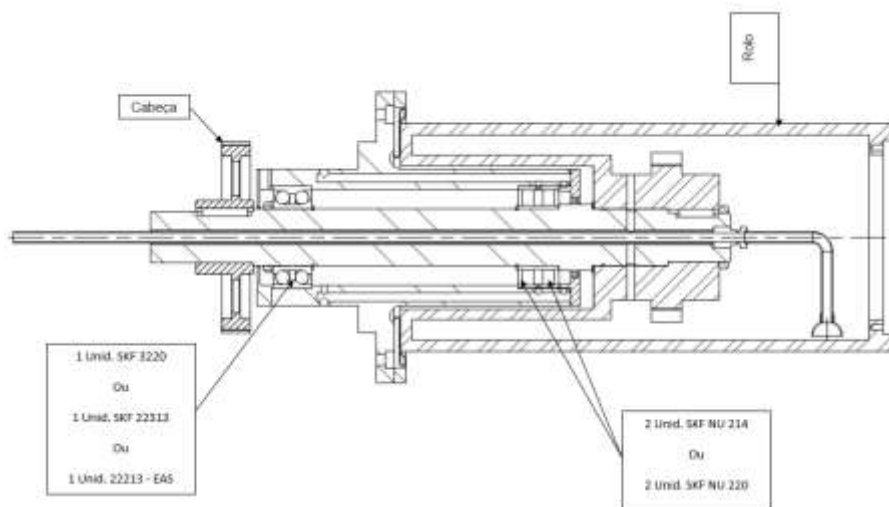


Figura 6.8 - Rolamentos utilizados nos rolos de *spinning* (adaptado) [14]

Simultaneamente, fez-se o estudo das tensões induzidas no veio para a condição de deslocamento imposto na extremidade do rolo igual a 1.1 mm e admitindo que o veio era solicitado em consequência (Fig. 6.9). Como se pode ver na Figura 6.10, os valores de tensão são muito mais elevados (508.3 MPa), aproximando-se da tensão de cedência do material (fator de segurança de 1.57) e podendo colocar em questão a resistência à fadiga do veio. Não obstante, esta situação difere da situação crítica de condição de folga máxima, uma vez que o deslocamento de 1.1 mm verificado na extremidade do rolo é obtido devido a desgaste dos casquilhos ou deficiente funcionamento dos rolamentos, o que não implica uma condição de deformação do veio semelhante à descrita na Fig. 6.11. Não obstante, é importante manter os valores de deslocamento dos rolos controlados e assegurar uma deformação limitada do veio.

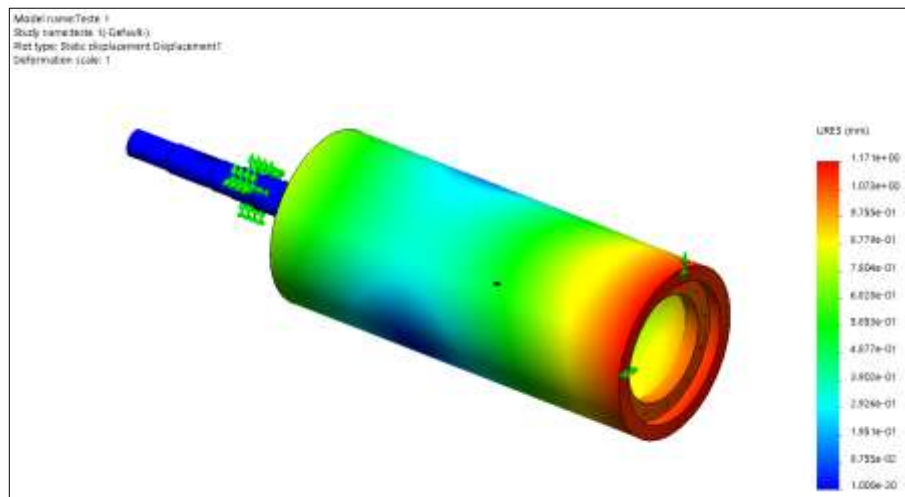


Figura 6.9 - Deslocamento do rolo de *spinning*

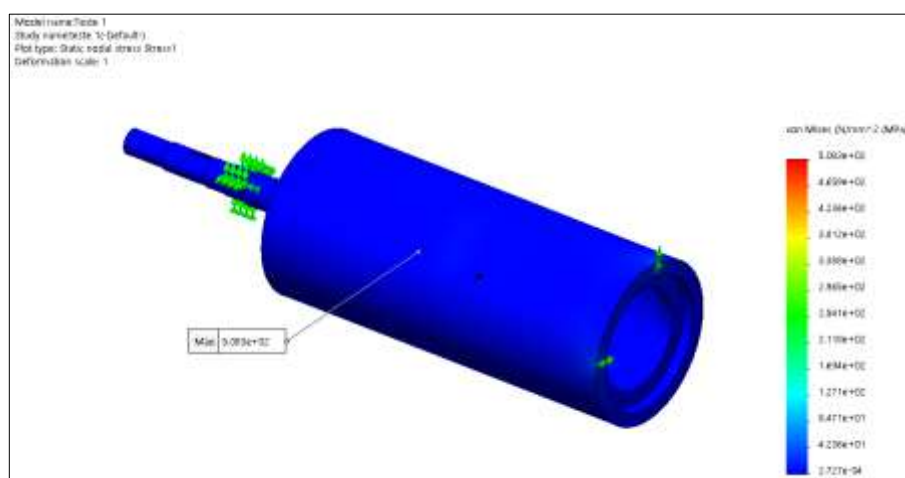


Figura 6.10 – Tensão máxima no rolo de *spinning*

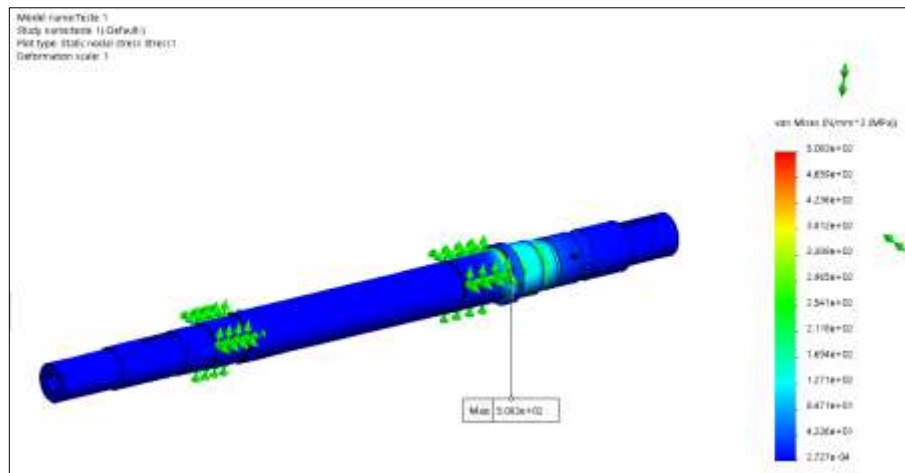


Figura 6.11 - Tensão máxima no veio

## CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A principal finalidade desta dissertação consistiu no estudo de um caso de falha dos rolos de *spinning* da produção de fibras acrílicas. Foi estudado o seu funcionamento bem como os componentes que contém; também foram analisadas as várias falhas que estavam associadas aos rolos de *spinning* e foram procuradas soluções para estas falhas.

As falhas foram enumeradas e foram investigados quais os componentes associados a essas falhas. Chegou-se à conclusão de que as principais falhas existentes eram fugas de óleo, fugas de vapor e folgas excessivas, estando estas relacionadas com os vedantes e rolamentos.

Para evitar fugas de óleo ponderou-se duas alterações de projeto, a primeira seria alterar o tipo de vedantes utilizados e, a segunda retirar a lubrificação a óleo da zona das fugas. Para tal foram estudados vários tipos de retentores, assim como vários tipos de rolamentos.

Os vedantes utilizados na zona do óleo são os retentores. Estes foram estudados de modo a obter um material que suportasse as condições de trabalho dos rolos de *spinning*, pois os retentores usados anteriormente não aguentavam estas condições. A melhor opção encontrada foi a substituição dos retentores por cordões de empanque, pois estes suportam as altas temperaturas da produção de fibras acrílicas. Ao longo do estudo foi feita uma revisão geral de uma das SPMs, foram montados os novos cordões de empanque e foi verificado que estes aguentavam as altas temperaturas não havendo até ao momento fugas de óleo nos rolos de *spinning*, sendo esta uma implementação de uma solução testada com sucesso.

A alternativa de substituir os rolamentos foi inconclusiva devido às dimensões dos rolos de *spinning*. A proposta obtida foi substituir os rolamentos existentes por rolamentos sem a necessidade de lubrificação constante, como rolamentos de cerâmica, selados ou de grafite. Todas estas alternativas ficaram sem efeito pois nenhum dos fabricantes contactados possuía este tipo de rolamentos que aguentasse as condições de trabalho e que possuísse as dimensões necessárias.

A solução ideal seria o uso de rolamentos de grafite com as dimensões requeridas pois este tipo de rolamentos são os que melhor resistem às temperaturas sem a necessidade de lubrificação, eliminando assim a necessidade de óleo na zona onde ocorrem as fugas de óleo e, eliminando também a necessidade de vedantes.

A outra solução proposta seria verificar a viabilidade de redesenhar o veio e os rolos, de modo a ter rolamentos de menor dimensão, grafitados, e, desta forma, sem necessidade de lubrificação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

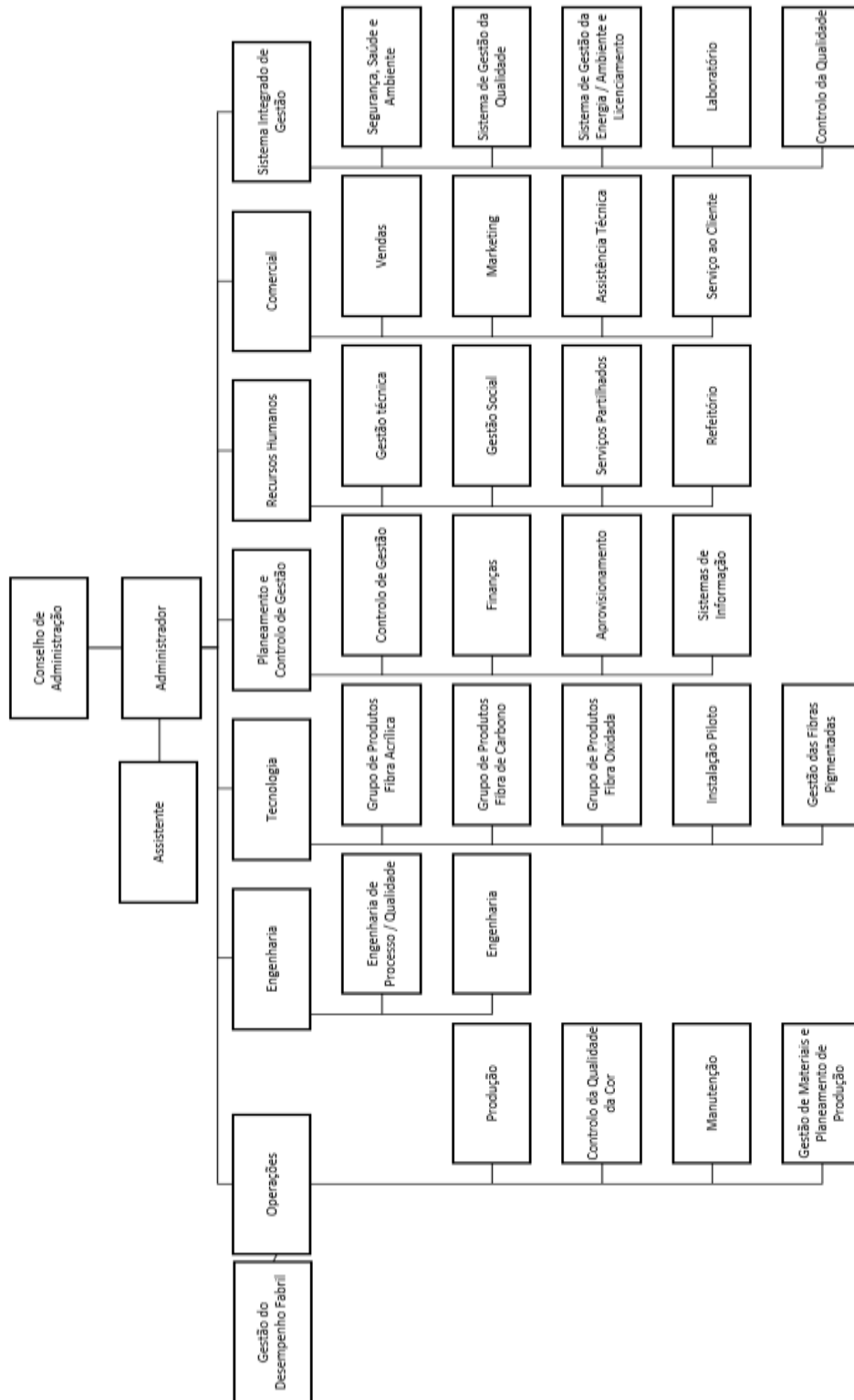
- [1] CIRFS, PRESS RELEASE, Information on man-made fibres: latest publication from cirfs,  
[https://www.cirfs.org/application/files/4015/1240/5094/2017\\_11\\_30\\_CIRFS\\_Yearbookpress\\_release.pdf](https://www.cirfs.org/application/files/4015/1240/5094/2017_11_30_CIRFS_Yearbookpress_release.pdf) (Consultado a 24 de janeiro de 2018)
- [2] Araújo, M. & Castro, E.M.M. 1987. Manual de Engenharia Têxtil, vol. 1. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian
- [3] <http://www.ebah.pt/content/ABAAABPMUAF/rolamento> (consultado a 20 de abril de 2018)
- [4] [https://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/47218/mod\\_resource/content/0/CD-rom/Estudo/Mecanica/E\\_-\\_Rolamentos/frame\\_2.htm](https://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/47218/mod_resource/content/0/CD-rom/Estudo/Mecanica/E_-_Rolamentos/frame_2.htm) (consultado a 20 de abril de 2018)
- [5] <http://www.nsk.com.br/o-que-e-um-rolamento-152.htm> (consultado a 20 de abril de 2018)
- [6] <http://www.edmotors.com.br/2017/12/07/freudenberg-corteco-comemora-os-85-anos-do-retentor-simmerring-e-investe-em-tecnologias-sustentaveis/> consultado a 20 de abril de 2018)
- [7] [balconistas.com/2017/08/29/soobre-retentor/](http://balconistas.com/2017/08/29/soobre-retentor/) (consultado a 20 de abril de 2018)
- [8] <http://www.hipress.com.br/upload/catalogo/MANUALDEORING5700.pdf> manual do *o'ring* parker seals Catálogo 5700 BR Maio 1997 (consultado a 20 de abril de 2018)
- [9] [www.zbfix.com.br/nossos-produtos/anel-oring/](http://www.zbfix.com.br/nossos-produtos/anel-oring/) (consultado a 20 de abril de 2018)
- [10] <http://www.easternseals.co.uk/shop/epdm-70-o-rings-bs201-to-bs284/> (consultado a 10 de setembro de 2018)
- [11] <http://www.imposeal.pt/produtos/empanques> (consultados a 10 de setembro de 2018)
- [12] [http://www.rolitubo.pt/produtos.php?id\\_categoria=9&id\\_subcategoria=50](http://www.rolitubo.pt/produtos.php?id_categoria=9&id_subcategoria=50) (consultado a 10 de setembro de 2018)
- [13] Fisipe S.A., <http://www.fisipe.pt/> (Consultado a 24 de janeiro de 2018)
- [14] Manual A – Manual de operações (Fisipe S.A)
- [15] Durango, D., Influência da temperatura, velocidade e força no desgaste e no coeficiente de atrito de materiais para válvulas e sedes de válvulas de motores flex-fuel, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Doutorado de Engenharia

Mecânica de Projeto e Fabricação, 2016

[16] EN 13306

[17] Viegas, G., Levantamento, identificação e classificação de dados para a gestão da manutenção numa empresa industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, 2014

# ANEXO A - ORGANOGRAMA DA EMPRESA



## ANEXO B – EMAIL DE CONTACTO COM O FORNECEDOR

**De:** [REDACTED]  
**Enviado:** quarta-feira, [REDACTED] 2015 17:04  
**Para:** [REDACTED]  
**Assunto:** RE: Alternative bearings without lubrication.

Hello [REDACTED],

Thank you for your patience, I am unable to quote on this occasion. Due to the [REDACTED] combined with the challenging environment we do not feel we will be able to make an economical offer.

Due to the values we would also want to carry out proto type testing on this part which as these are not standard bearing sizes for us would be very costly.

Kind Regards,  
[REDACTED]

## ANEXO C – RETENTORES EM TESTE

RETENTORES ÓLEO				
	Fornecedor	Referência	Material	Custo Unit
Normais Ø110xØ85x12 mm (36 unids)	Parker (Hannifin Portugal)			
	ERIKS Bayern GmbH	85X110X12PS-SEAL	Gylon black	■
	Freudenberg - Sealing Technologies			
	Vedantes do Porto			■
	Vedantes do Porto / SIMRIT	85x110x12 BASL VITON CFW	VITON SIMRIT	
	BRT Group (Ball, Roller & Transmission Bearings Ltd)	BABVISL 85 x 120 x 8 (75Fpm595)	Aço DIN 1624 com revestimento em fluorelastómero de 75 Shore A de dureza (75 FKM 595)	■
	EPIDOR	DR102SP 85x110x12	(PTFE+FV+MOS2+ Aflas)	■
	DuPont			
	SKF Portugal			
	FTL Seals	HN 2390	Teflon	■
	ElringKlinger	RWDR 85x110x10 HN2390	Teflon	■
Tecsflow	T7351C.85	Teflon + Grafite	■	

Estudo dos modos de falha de rolos de uma linha de produção de fibras acrílicas

Reforçados Ø140xØ110x12 mm (8 unids)	Parker (Hannifin Portugal)			
	ERIKS Bayern GmbH	110X140X12PS-SEAL	Gylon black	■
	Freudenberg - Sealing Technologies			
	Vedantes do Porto			■
	Vedantes do Porto / SIMRIT	110x140x12 BASL VITON CFW	VITON SIMRIT	
	BRT Group (Ball, Roller & Transmission Bearings Ltd)			■
	EPIDOR	DR102SP 110x140x12	(PTFE+FV+MOS2+ Aflas)	■
	DuPont			
	SKF Portugal			
	FTL Seals	HN 2390	Teflon	■
	EiringKlinger	RWDR 110x140x12 HN2390	Teflon	■
	Tecsflow	T7351C.110	Teflon	■
<b>Solução Alternativa</b>	Vedantes do Porto / SIMRIT	Anéis de cordão de empanque, material "G-Spezial 6560"	G-Spezial 6560	■

Normais: 36 unids Ø110 x Ø85 x 12 mm  
 Reforçados: 8 unids Ø140 x Ø110 x 12 mm

## ANEXO D – REGISTOS DE TESTE

## D.1 - Retentor de Teflon

FISIPE

FR-GPM-51

DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO

**REGISTO DE TESTE / ENSAIO DA MANUTENÇÃO**MANUTENÇÃO  C  E  I x MEQUIPAMENTO *Máquina de Spinning* ■■■■

Nº S P | 0 ■■■■

EQUIPAMENTO SAP ■■■■ S P M ■ - ■

<b>OBJECTIVO(S)</b>	
Teste de 4 retentores cabeças normais e 3 retentores cabeças reforçadas, fornecidos pela empresa "■■■■■".	
<b>DESCRIÇÃO</b>	
Retentores totalmente em PTFE (ECOFLON 1) com formato R01-AF.	
Máquina ■■■■	
4 retentores (110x85x12) (Custo/Unid.: ■■■■) instalados ■■■■ ■■■■ ■■■■ ■■■■ (03/02/2015)	
2 retentores (140x110x12) (Custo/Unid.: ■■■■) instalados ■■■■ ■■■■ (03/02/2015)	
Máquina ■■■■	
1 retentor (140x110x12) (Custo/Unid.: ■■■■) instalados ■■■■ (05/02/2015) -> fuga (12/03/2015 -> retirado a (13/03/2015)	
INICIADO / A INICIAR EM	0 3 / 0 2 / 1 5 PRAZO
PROPONENTE(S) ■■■■	RESPONSÁVEL ■■■■
<b>OBSERVAÇÕES</b>	
(Foram aplicados novos O'rings em Kalrez, fornecidos Tecsflo, nestes rolos e foram também substituídos os casquilhos.)	
Resultados:	
Máq ■■■■ / ■■■■ / Inst. 05/02/2015 / Fuga 12/03/2015 / <b>Retirado 13/03/2015</b>	
Máq ■■■■ / ■■■■ / Inst. 03/02/2015 / Fuga 02/04/2015 / <b>Retirado 08/04/2015</b>	
Máq ■■■■ / ■■■■ / Inst. 03/02/2015 / Fuga 02/04/2015 / <b>Retirado 07/04/2015 (Foi danificado o O'ring em Kalrez e foi substituído por um em Viton.)</b>	
Máq ■■■■ / ■■■■ / Inst. 03/02/2015 / Fuga 02/04/2015 / <b>Retirado 08/04/2015</b>	
Máq ■■■■ / ■■■■ / Inst. 03/02/2015 / Fuga 02/04/2015 / <b>Retirado 08/04/2015</b>	
Máq ■■■■ / ■■■■ / Inst. 03/02/2015 / Fuga 13/03/2015 / <b>Retirado 07/04/2015</b>	
Máq ■■■■ / ■■■■ / Inst. 03/02/2015 / Fuga 12/03/2015 / <b>Retirado 26/11/2015</b>	
PEDIDO POR	RECEBIDO / REGISTADO NO G. P. M.
■■■■■ ■■■■	■■■■■ TESTE Nº 0 4 / 1 5 ■■■■
ELABORADO RELATÓRIO FINAL POR	INÍCIO DA DIVULGAÇÃO EM
■■■■■	■■■■■

## D.2 - Retentor de Viton

FISIPE

FR-GPM-51

DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO

### REGISTO DE TESTE / ENSAIO DA MANUTENÇÃO

MANUTENÇÃO  C  E  I  M

EQUIPAMENTO *Máquina de Spinning* ■

Nº

EQUIPAMENTO SAP     S P M - ■

<p><b>OBJECTIVO(S)</b></p> <p>Teste de 3 retentores cabeças normais e 3 retentores cabeças reforçadas, fornecidos pela empresa ■ através " ■".</p>	
<p><b>DESCRIÇÃO</b></p> <p>Retentores em VITON da ■ referências:                  85x110x12 BASL VITON CFW                  110x140x12 BASL VITON CFW                  Estes retentores foram instalados na máquina ■ no dia 28/04/2015 nos rolos:                  ■, ■, ■, ■, ■, ■                  ■ -&gt; (desmontado a 11/11/2015)                  ■ -&gt; (desmontado a 03/12/2015)</p>	
<p>INICIADO / A INICIAR EM <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="5"/> PRAZO</p>	
<p>PROPONENTE(S) ■</p>	<p>RESPONSÁVEL ■</p>
<p><b>OBSERVAÇÕES</b></p> <p>(Nestes conjuntos foram nontados o-rings em VITON que normalmente são usados e foi aplicado MOLYCOTE 111 na parede interna e lábio dos retentores.)</p>	
<p>PEDIDO POR</p> <p><input type="text"/></p>	<p>RECEBIDO / REGISTADO NO G. P. M.</p> <p><input type="text"/> TESTE Nº <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="9"/> / <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="5"/> ■</p>
<p>ELABORADO RELATÓRIO FINAL POR</p> <p><input type="text"/></p>	<p>INÍCIO DA DIVULGAÇÃO EM</p> <p><input type="text"/></p>

## D.3 - Retentor de Teflon grafitado

FISIPE		FR-GPM-51	
DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO			
<b>REGISTO DE TESTE / ENSAIO DA MANUTENÇÃO</b>			
EQUIPAMENTO <i>Máquina de Spinning</i> ■		MANUTENÇÃO <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> M	
EQUIPAMENTO SAP <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> S P M - ■		Nº <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
<b>OBJECTIVO(S)</b>			
Teste de 3 retentores cabeças normais, fornecidos pela empresa ■■■■■			
<b>DESCRIÇÃO</b>			
Retentores fabricados pela ■■■■■ referência 85x110x12PS-SEAL. Retentor com caixa metálica e lábio em teflon grafitado.			
Estes retentores foram instalados na máquina ■ no dia 14/05/2015, nos rolos: ■ ■ ■ ■			
<b>( ■■■ -&gt; Foi desmontada a cabeça devido a folga em 29/10/2015)</b>			
INICIADO / A INICIAR EM		1 4 0 5 1 5 PRAZO	
PROPONENTE(S) ■■■■■		RESPONSÁVEL ■■■■■	
<b>OBSERVAÇÕES</b>			
(Nestes conjuntos foram nontados os o'rings em VITON que normalmente são usados)			
PEDIDO POR		RECEBIDO / REGISTADO NO G. P. M.	
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TESTE Nº 1 0 / 1 5 ■■■■■	
ELABORADO RELATÓRIO FINAL POR		INÍCIO DA DIVULGAÇÃO EM	
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	

## D.4 - Retentor com cordão de empanque


FISIPE

FR-GPM-51

DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO

### REGISTO DE TESTE / ENSAIO DA MANUTENÇÃO

MANUTENÇÃO  C  E  I  M  
 EQUIPAMENTO *Máquina de Spinning* ■ N°        
 EQUIPAMENTO SAP       S P M - ■

<b>OBJECTIVO(S)</b>	
Teste de uma solução alternativa ao uso de retentores numa cabeça MRC. _____ _____ _____ _____ _____	
<b>DESCRIÇÃO</b>	
Anéis de cordão de empanque no material "G-Spezial 6560" fornecidos pela <span style="background-color: black; color: black;">██████████</span> Foram montados dois anéis numa tampa alterada, à qual foi adicionado um anel de fixação fabricado na oficina. Esta tampa foi montada no rolo <span style="background-color: black; color: black;">██████</span> na Máquina <span style="background-color: black; color: black;">■</span> no dia 19/05/2015.	
	
INICIADO / A INICIAR EM	1 9 0 5   5 1 5 PRAZO
PROPONENTE(S) <span style="background-color: black; color: black;">██████████</span>	RESPONSÁVEL <span style="background-color: black; color: black;">██████████</span>
<b>OBSERVAÇÕES</b>	
(A cabeça foi montada na máquina neste dia.) _____ _____ _____ _____ _____	
PEDIDO POR	RECEBIDO / REGISTADO NO G. P. M.
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TESTE N° 1 1 / 1 5 <span style="background-color: black; color: black;">██████████</span>
ELABORADO RELATÓRIO FINAL POR	INÍCIO DA DIVULGAÇÃO EM
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> _____

## ANEXO E – O'RINGS EM TESTE

## O'RINGS VAPOR

	Fornecedor	Referência	Material base	Dureza [Shore A]	Tensile strenght [N/mm <sup>2</sup> ]	Elongation at break [%]
Normais Ø60 x 5,3 mm (36 unids)	Actual	Viton	Viton	70	13	170
	Engebrites	Kalrez K-332/Spectrum	Kalrez	75	15,16	160
	Hidralveda	Perlast G75B	Kalrez	79	19,2	160
	Soc Rolamentos (Epidor)	Kalrez Spectrum 7075	Kalrez	75	17,91	160
	Safic Alcan (Dupont)	Kalrez 6375	Kalrez	75	15,16	160
	ERIKS (Dupont)	Kalrez 6375	Kalrez	75	15,16	160
	Tecsflow	Kalrez 0876	Kalrez	75	11	115
	PSP Global	TFE/P 80	AFLAS	80	13,79	150
	Atlantic Rubber	332 EPDM	EPDM	68	14,1	267
	Marco Rubber	L1000 80	AFLAS	79	12,57	205
	Vedantes do Porto & Empresa Alemã					
	Vedantes do Porto	ORING 59,69X5,33 ECOFLAS	ECOFLAS			
Reforçados Ø89 x 5,3 mm (8 unids)	Actual	Viton	Viton	70	13	170
	Engebrites	Kalrez K-332/Spectrum	Kalrez	75	15,16	160
	Hidralveda	Perlast G75B	Kalrez	79	19,2	160
	Soc Rolamentos (Epidor)	Kalrez Spectrum 7075	Kalrez	75	17,91	160
	Safic Alcan (Dupont)	Kalrez 6375	Kalrez	75	15,16	160
	ERIKS (Dupont)	Kalrez 6375	Kalrez	75	15,16	160
	Tecsflow	Kalrez 0876	Kalrez	75	11	115
	PSP Global	TFE/P 80	AFLAS	80	13,79	150
	Atlantic Rubber	332 EPDM	EPDM	68	14,1	267
	Marco Rubber	L1000 80	AFLAS	79	12,57	205
	Vedantes do Porto & Empresa Alemã					
	Vedantes do Porto	ORING 88,27X5,33 ECOFLAS	ECOFLAS			

Normais: 36 unids Ø60 x 5,3 mm

Reforçados: 8 unids Ø89 x 5,3 mm

## ANEXO F – PROPRIEDADES DO AÇO 34CRNIMO6

### Material specification sheet

#### Saarstahl - 34CrNiMo6

Material No:	Former brand name:	International steel grades:
1.6582	Monix 15	BS: 817M40, 816M40 AFNOR: 34CrNiMo8, 35NCD6 SAE: 4337, 4340

**Material group:** Steel for quenching and tempering according to DIN EN 10083

<b>Chemical composition:</b> (Typical analysis in %)	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	other
	0,34	0,25	0,50	1,50	0,25	1,55	(Pb)

**Application:** Heat treatable steel for high strained automotive and motor construction components with a typical tensile strength range of 1000 - 1300 N/mm<sup>2</sup>.

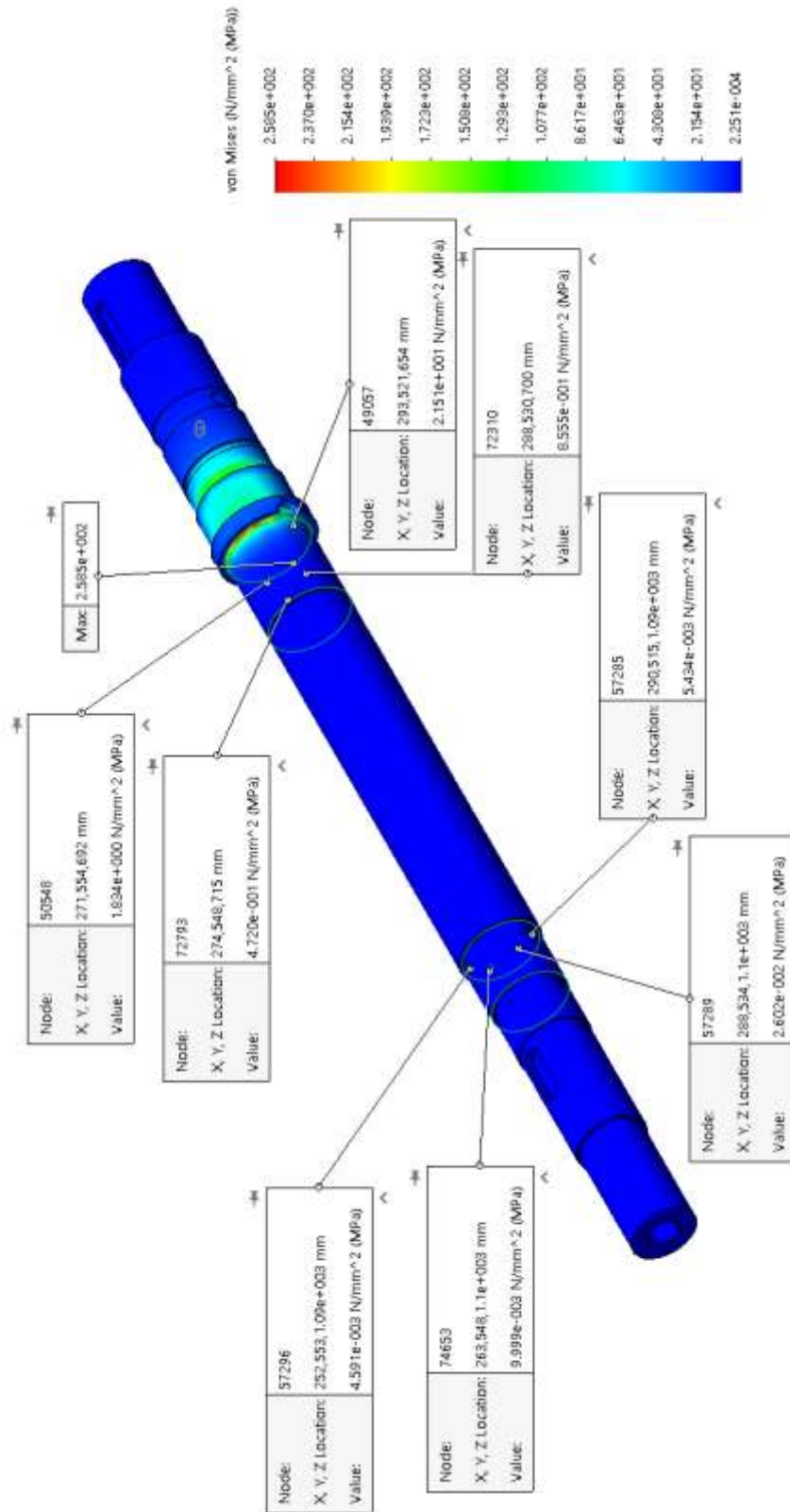
<b>Hot forming and heat treatment:</b>	Forging or hot rolling:	1100 - 850°C
	Normalising:	850 - 880°C/air
	Soft annealing:	650 - 680°C/furnace
	Hardening:	830 - 860°C/oil
	Tempering:	540 - 660°C/air

**Mechanical Properties:** Treated for cold shearability +S: See condition A  
Soft annealed +A: max. 248 HB

Quenched and tempered, +QT:

Diameter d [mm]	< 16	>16 – 40	>40 – 100	>100 – 160	>160 – 250
Thickness t [mm]	< 8	8<t<20	20<t<60	60<t<100	100<t<160
0,2% proof stress R <sub>0,2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	min. 1000	min. 900	min. 800	min. 700	min. 600
Tensile strength R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	1200 - 1400	1100 - 1300	1000 - 1200	900 - 1100	800 - 950
Fracture elongation A <sub>5</sub> [%]	min. 9	min. 10	min. 11	min. 12	min. 13
Reduction of area Z [%]	min. 40	min. 45	min. 50	min. 55	min. 55
Notch impact energy ISO-V [J]	min. 35	min. 45	min. 45	min. 45	min. 45

# ANEXO G – TENSÃO NO VEIO



## ANEXO H – PROPRIEDADES DOS ROLAMENTOS

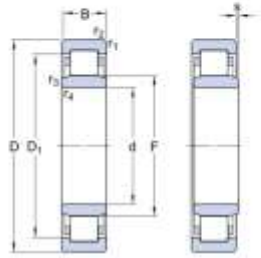
SKF

### H.1 – SKF NU 214

► **NU 214 ECP**

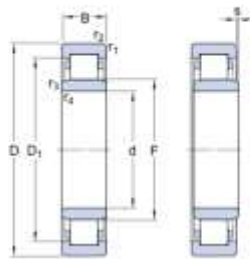
Popular item  
SKF Explorer

**Dimensões**



d	70	mm
D	125	mm
B	24	mm
D <sub>1</sub>	≈ 108.3	mm
F	83.5	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 1.5	mm
r <sub>4</sub>	min. 1.5	mm
s	max. 1.2	mm

**Dimensions**



**Dados de cálculo**

Classificação de carga dinâmica básica	C	137	kN
Classificação de carga estática básica	C <sub>0</sub>	137	kN
Limite de carga de fadiga	P <sub>0</sub>	18	kN
Velocidade de referência		6000	r/min
Velocidade-limite		6300	r/min
Fator de cálculo	k <sub>v</sub>	0.15	

**Calculation data**

Cálculo de carga: Valor limite	e	0.2
Cálculo de carga: Fator de cálculo	Y	0.6

**Massa**

Massa do rolamento		1.14	kg
--------------------	--	------	----

**Produtos apropriados**

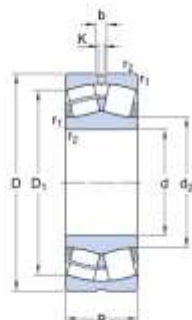
Anel de encosto		<a href="#">HJ 214 EC</a>
-----------------	--	---------------------------

## H.2 – SKF 22213

### ► 22213 E

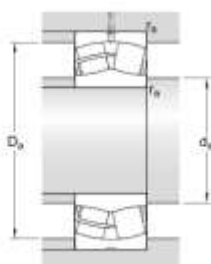
Popular item  
SKF Explorer

#### Dimensões



d	65	mm
D	120	mm
B	31	mm
d <sub>2</sub>	= 80.1	mm
D <sub>1</sub>	= 106	mm
b	6	mm
K	3	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 1.5	mm

#### Dimensões do encosto



d <sub>a</sub>	min. 74	mm
D <sub>a</sub>	max. 111	mm
r <sub>a</sub>	max. 1.5	mm

#### Dados de cálculo

Classificação de carga dinâmica básica	C	198	kN
Classificação de carga estática básica	C <sub>0</sub>	216	kN
Limite de carga de fadiga	P <sub>e</sub>	24	kN
Velocidade de referência		5000	r/min
Velocidade-limite		7000	r/min
Fator de cálculo	e	0.24	
Fator de cálculo	Y <sub>1</sub>	2.8	
Fator de cálculo	Y <sub>2</sub>	4.2	
Fator de cálculo	Y <sub>3</sub>	2.8	

#### Massa

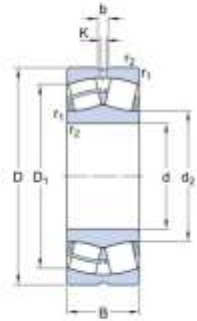
Massa		1.55	kg
-------	--	------	----

## H.3 – SKF 22313

### ► 22313 E

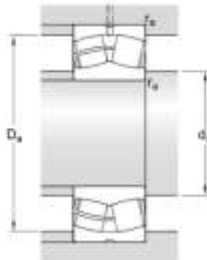
Popular item  
SKF Explorer

#### Dimensões



d	65	mm
D	140	mm
B	48	mm
d <sub>2</sub>	≈ 81.6	mm
D <sub>1</sub>	≈ 118	mm
b	8.3	mm
K	4.5	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 2.1	mm

#### Dimensões do encosto



d <sub>a</sub>	min. 77	mm
D <sub>sa</sub>	max. 128	mm
r <sub>a</sub>	max. 2	mm

#### Dados de cálculo

Classificação de carga dinâmica básica	C	357	kN
Classificação de carga estática básica	C <sub>0</sub>	360	kN
Limite de carga de fadiga	P <sub>0</sub>	38	kN
Velocidade de referência		3800	r/min
Velocidade-limite		5000	r/min
Fator de cálculo	e	0.35	
Fator de cálculo	Y <sub>1</sub>	1.9	
Fator de cálculo	Y <sub>2</sub>	2.9	
Fator de cálculo	Y <sub>s</sub>	1.8	

#### Massa

Massa		3.75	kg
-------	--	------	----