



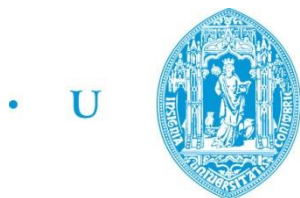
UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Ana Filipa Oliveira Paulo

DESAFIOS DO REGULAMENTO REACH: O
CASO DO BÓRAX DECAHIDRATADO NO
PROCESSO DE NEUTRALIZAÇÃO DURANTE A
DECAPAGEM QUÍMICA

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial orientada pelo Professor Doutor Cristóvão Silva e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

setembro de 2022



• U • C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Desafios do regulamento REACH: o caso do Bórax Decahidratado no processo de neutralização durante a decapagem química

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Challenges of REACH legislation: Sodium tetraborate decahydrate case in the neutralisation process during chemical pickling

Autor

Ana Filipa Oliveira Paulo

Orientador

Professor Doutor Cristóvão Silva

Júri

Presidente	Professora Doutora Vanessa Sofia Melo Magalhães Professora Auxiliar convidada da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Luís Miguel D. F. Ferreira Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor Cristóvão Silva Professor Associado da Universidade de Coimbra
Orientador	Professor Doutor Cristóvão Silva Professor Associado da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



**Fapricela-Indústria de
Trefilaria, S.A.**

Coimbra, setembro, 2022

“The important thing is not to stop questioning. Curiosity has its own reason
for existence.”

Albert Einstein

Agradecimentos

Este trabalho representa o final de uma fase espetacular, cheia de boas memórias bem como de experiências incríveis.

Um enorme agradecimento aos meus pais. Sem eles nada disto seria possível. Obrigada por toda a educação e apoio que me deram e pela oportunidade de frequentar a Universidade de Coimbra. Sem nunca me esquecer do meu irmão, que também teve o seu lugar.

Às amigas que Coimbra me deu a oportunidade de fazer. Desempenharam um papel importante no meu percurso académico.

À Fapricela S.A., agradecer pela oportunidade e por me ter acolhido. Obrigada por todos os ensinamentos que me foram passados pelos colegas.

Agradecer também a todos os professores que passaram pelo meu percurso académico, desde a licenciatura até ao mestrado.

Ao meu orientador e ao Professor Manuel Vicente, um grande obrigada por todas as indicações e ajuda que me deram para que fosse possível a realização deste trabalho.

A Coimbra, “Não te digo adeus porque te levo sempre comigo”.

Resumo

O presente trabalho surge pela necessidade de a Fapricela S.A. encontrar um produto substituto para utilizar na etapa da neutralização, da decapagem química uma vez que esta teme que este produto possa vir a ser restringido ou limitado pelo regulamento REACH. Sendo a decapagem química uma fase de elevada importância para a produção da Fapricela S.A., torna-se imprescindível que todas as suas etapas possam ser devidamente realizadas. Quase toda a matéria-prima passa pela decapagem química, devido à oxidação que esta ganha por estar guardada ao ar livre. A etapa da neutralização é importante uma vez que ajuda na proteção contra a oxidação e prepara a matéria-prima para a trefilagem (lubrificação).

O regulamento REACH controla as substâncias químicas que podem ter riscos para a saúde humana e para o meio ambiente. É utilizado para avaliar todos os perigos inerentes do uso de uma determinada substância química, para que a sua utilização seja feita de forma segura e, caso tal não aconteça, limitar ou até mesmo restringir a sua utilização.

Para a realização deste trabalho de investigação foi utilizado um método experimental de forma a testar produtos substitutos para utilizar na neutralização. Para isso, foram controlados aspetos e variáveis com o produto utilizado atualmente e com dois produtos substitutos. Os aspetos em estudo foram as variáveis consideradas mais importantes nas características do produto final.

De uma forma geral, este trabalho consistiu na realização de ensaios para controlo da qualidade, de modo a ser possível a observação de mudanças nas variáveis que colocassem em risco a qualidade do produto final. Através de ensaios de tração e corrosão, obtiveram-se vários aspetos importantes de controlar, que irão ser analisados ao longo do trabalho.

Desta forma, espera-se que seja possível auxiliar a Fapricela S.A. na escolha de produtos que possam substituir o Bórax Decahidratado.

Palavras-chave: REACH, Bórax, Neutralizante, Decapagem Química, Controlo de Qualidade

Abstract

The present work arises from the need for Fapricela S.A. find a substitute product to use in the neutralisation step of chemical pickling, because it is feared that the current product that is used may be restricted or limited by REACH regulation. Chemical pickling is a highly important phase for the production of Fapricela S.A., so it is essential that all its steps can be properly carried out. Almost all the raw material goes through chemical pickling, due to the oxidation that it gains from being stored in the open air. The neutralization step is important because it helps protect against oxidation and prepares the raw material for drawing (lubrication).

This regulation controls chemical substances that can have risks to human health and the environment. It is used to evaluate all the inherent dangers of the use of a certain chemical substance, so that its use is done in a safe way and, if this does not happen, limit or even restrict its use.

To carry out this investigation, an experimental method was used to test substitute products for neutralisation. For this, some aspects and variables were controlled with the currently used product and two substitute products. The aspects under study were the variables considered most important in the characteristics of the final product.

In general, this work consisted of carrying out tests for quality control, to observe if there were changes in the variables that could change the quality of the final product. Through tensile and corrosion tests, several important aspects to control were obtained, which will be analysed along the work.

Overall, it is expected to be possible to help Fapricela S.A. in choosing products that can replace Borax Decahydrate.

Keywords REACH, Borax, Neutralising, Chemical Pickling, Quality Control

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
Simbologia e Siglas	xv
Simbologia.....	xv
Siglas	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Metodologia de investigação	3
1.4. Estrutura da dissertação	3
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	5
2.1. Legislação comunitária- Regulamento REACH.....	5
2.2. Enquadramento com o problema da empresa	7
2.3. Ensaio Realizados	8
3. CASO DE ESTUDO	10
3.1. Apresentação da empresa.....	10
3.1.1. História	10
3.2. Descrição do processo de fabrico	11
4. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO.....	18
4.1. Introdução ao problema	18
4.2. Controlo das variáveis	19
4.2.1. Temperatura à saída da fieira.....	19
4.2.2. Potência consumida	20
4.2.3. Ensaio de corrosão.....	20
4.2.4. Ensaio de tração.....	22
4.3. Análise das variáveis	24
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	25
5.1. Temperatura à saída da fieira.....	26
5.2. Potência consumida por motor	29
5.3. Potência total consumida	31
5.4. Ensaio de Corrosão	32
5.5. Ensaio de tração	34
5.5.1. Resistência mecânica.....	34
5.5.2. Força máxima	37
5.5.3. Alongamento	39
5.5.4. Limite elástico	41
5.6. Discussão de resultados	44
6. CONCLUSÕES.....	48
REFERÊNCIAS	50

ANEXO A	52
ANEXO B	53
ANEXO C	54
APÊNDICE A	55
APÊNDICE B	56
APÊNDICE C	57
APÊNDICE D	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1-Riscos do Bórax Decahidratado (ECHA-Informação da substância, s.d.)	8
Figura 3.1-Parque de matéria-prima (Fapricela S.A.)	11
Figura 3.2-Processo de laminagem a quente	12
Figura 3.3-Layout da secção da decapagem química	12
Figura 3.4-Exemplo de medição de concentração.....	13
Figura 3.5-Metodologia de transporte dos rolos de fio máquina.....	14
Figura 3.6-Estrutura inicial.....	14
Figura 3.7- Constituição da trefiladora (adaptado de (Wright, 2011)).....	16
Figura 3.8- Caracterização de uma fieira (adaptado de (Wright, 2011)).....	16
Figura 3.9-Cordão de 7 fios (Fapricela S.A.)	17
Figura 4.1-Posicionamento do pirómetro-vista de cima (Fapricela S.A.).....	19
Figura 4.2-Posicionamento do pirómetro-vista de frente (Fapricela S.A.)	19
Figura 4.3-Recipiente cilíndrico do ensaio de corrosão (Fapricela S.A.).....	21
Figura 4.4-Fecho do recipiente (Fapricela S.A.)	21
Figura 4.5-Registador e controlador da temperatura (Fapricela S.A.)	22
Figura 4.6-Exemplo de uma rotura do ensaio de corrosão (Fapricela S.A.)	22
Figura 4.7-Extensómetro colocado na amostra (Fapricela S.A.).....	23
Figura 4.8-Exemplo de curva que traduz o comportamento (adaptado de (Soares, 2010))	23
Figura 5.1-Diagrama de extremos e quartis da temperatura à saída da fieira	27
Figura 5.2-Histogramas de cada produto relativos à temperatura à saída da fieira.....	27
Figura 5.3-Diagrama de extremos e quartis relativos à potência por motor.....	30
Figura 5.4-Histogramas de cada produto relativos à potência por motor.....	30
Figura 5.5-Diagrama de extremos e quartis relativos aos ensaios de corrosão	32
Figura 5.6-Histogramas de cada produto relativos aos ensaios de corrosão	33
Figura 5.7-Diagrama de extremos e quartis da resistência mecânica.....	35
Figura 5.8-Histogramas de cada produto relativos à resistência mecânica	35
Figura 5.9-Diagrama de extremos e quartis da força máxima.....	37
Figura 5.10-Histogramas de cada produto relativos à força máxima	38
Figura 5.11-Diagrama de extremos e quartis do alongamento	39
Figura 5.12-Histogramas de cada produto relativos ao alongamento	40

Figura 5.13-Diagrama de extremos e quartis relativos ao limite elástico	42
Figura 5.14-Histogramas de cada produto relativos ao limite elástico	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1-Dimensão das amostras	26
Tabela 5.2-Resumo dos resultados e decisões para a temperatura à saída da feira.....	29
Tabela 5.3-Valores da potência total consumida.....	31
Tabela 5.4-Resumo dos resultados e decisões para os ensaios de corrosão	34
Tabela 5.5-Resumo dos resultados e decisões para a resistência mecânica	37
Tabela 5.6-Resumo dos resultados e decisões para a força máxima	39
Tabela 5.7-Resumo dos resultados e decisões para o alongamento	41
Tabela 5.8-Resumo dos resultados e decisões para o limite elástico	44
Tabela 5.9-Decisões tomadas para todas as variáveis	45
Tabela 5.10-Decisões relativas a cada produto	47

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ – Bórax Decahidratado

HCl – Ácido Clorídrico

NH_4SCN – Tiocianato de amónio

Siglas

UE – União Europeia

EEE – Espaço Económico Europeu

ECHA – European Chemicals Agency

REACH – Registration, Evaluation, Authorization of Chemicals

CE – Comissão Europeia

SVHC – Substance of very concern

CRE – Classificação, Rotulagem e Embalagem

CMR – Carcinogénico, Mutagénico e Reprotóxico

PBT – Persistentes, Bioacumuláveis e Tóxicos

mPmB – Muito Persistentes e Muito Bioacumuláveis

1. INTRODUÇÃO

Num mundo onde cada vez mais se procura pela qualidade e excelência, torna-se bastante importante satisfazer todos os intervenientes envolvidos na produção de bens ou serviços.

O presente relatório, realizado no âmbito de um estágio curricular na empresa Fapricela S.A., tem como objetivo a apresentação de um produto substituto para o Bórax Decahidratado, atualmente utilizado no processo de decapagem química, operação que integra o processo de fabrico da empresa que se dedica à trefilagem de aço para produção de vários produtos acabados. A procura por um produto substituto deve-se à possível limitação regulamentar que poderá haver no uso do Bórax Decahidratado. Esta limitação enquadra-se no regulamento REACH (*Registration, Evaluation, Authorization of Chemicals*), que poderá, a médio prazo, acionar um mecanismo de restrição deste neutralizante necessário para a decapagem química.

Sendo o setor de atividade da trefilaria um setor utilizado para a produção de vários produtos usados em pontes, viadutos e edifícios, entre outros, é necessário que haja um elevado cuidado no seu controlo. Desta forma, é também objetivo desta tese passar pela vertente do controlo de qualidade. O controlo de qualidade é um fator integrante que vai desde a matéria-prima até ao produto final, devido à sua elevada importância.

O propósito desta tese passa pela junção das duas ideias referidas anteriormente, isto é, utilizando os processos de controlo de qualidade, identificar possíveis produtos substitutos para o Bórax Decahidratado ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$).

Neste capítulo, é apresentado um breve enquadramento, seguido dos objetivos e da metodologia utilizada durante todo o trabalho.

1.1. Enquadramento

Perante a crescente preocupação com o meio ambiente, bem como do bem-estar dos operadores e do aumento de preocupação também por parte dos clientes em relação aos produtos utilizados nos processos de fabrico dos seus fornecedores, as organizações

precisam de estar preparadas para eventuais problemas que possam surgir e assim conseguir agir de forma rápida.

A Fapricela S.A., empresa onde decorreu o estágio curricular subjacente ao presente trabalho, dedica-se à produção de arame para o fabrico de outros produtos, como redes, molas, cordão de pré-esforço, entre outros. Neste trabalho, apenas irá ter-se em conta a produção de cordão para pré-esforço de baixa relaxação. Estes obtêm-se através do processo de trefilagem de fio máquina de alto carbono, ou seja, liga de ferro com aproximadamente 0,8% de carbono. O carbono é o elemento mais importante na constituição das ligas nos aços uma vez que este aumenta a dureza e a resistência dos mesmos (Soares, 2010). No processo de trefilagem, ocorre uma deformação a frio que conduz a uma diminuição do diâmetro do fio máquina. No entanto, para que seja possível deformar o fio de alto carbono a frio, é necessário que haja um tratamento prévio da sua superfície. Ao tratamento em questão dá-se o nome de decapagem química, tendo um lugar com alta importância no processo de fabrico do cordão de aço. É numa das etapas da decapagem química, na neutralização, que entra a questão do regulamento REACH, uma vez que este regulamento pode vir a restringir ou limitar o produto atualmente utilizado para a neutralização. Resumidamente, o regulamento REACH controla a produção e/ou importação de substâncias químicas, tendo em conta os riscos que estas substâncias podem ter para a saúde humana e para o ambiente.

Encontra-se, ao longo deste trabalho, um enquadramento teórico acerca do regulamento REACH e uma descrição mais detalhada do processo de decapagem química.

1.2. Objetivos

Este trabalho de investigação pretende, através de um caso de estudo na empresa Fapricela S.A., a realização de testes a produtos substitutos para o produto atualmente utilizado numa das etapas da decapagem química, que é um produto tóxico prejudicial à saúde humana.

A motivação para a realização deste trabalho de investigação surge com a necessidade de manter o bem-estar dos operadores bem como da necessidade de tranquilizar os clientes em relação ao produto utilizado na decapagem química.

Este trabalho de investigação irá procurar controlar vários aspetos relacionados com cada produto substituto que poderá vir a ser utilizado como, por exemplo, a temperatura

do fio à saída de uma feira e a potência consumida. Em termos de produto final, serão realizados ensaios de tração, que darão valores importantes como força de rotura, limite elástico e alongamento, e ensaios de corrosão às amostras que foram retiradas de cada rolo de produto final.

1.3. Metodologia de investigação

A metodologia de investigação consistiu na utilização de um método experimental, de observação e de testes e foi utilizado um horizonte temporal transversal, visto que o trabalho de investigação tem a duração de cinco meses (duração do estágio curricular).

Em relação aos procedimentos de recolha e análise de dados, os dados foram recolhidos ao longo do estágio, tendo-se realizado ensaios ao produto acabado produzido com o produto atual e os dois produtos substitutos selecionados para teste. Esses valores dos ensaios foram colocados automaticamente no software da empresa. Os ensaios realizados estarão explicados mais especificamente no capítulo da metodologia

De seguida, trataram-se os dados no Microsoft Excel e no software *Rstudio*, realizando análises estatísticas, de modo a verificar se os produtos de teste serão adequados para substituir o Bórx Decahidratado, sem colocar em causa a qualidade final do produto.

Foi também feita uma pequena comparação de preços dos produtos, algo que também é importante de se avaliar.

1.4. Estrutura da dissertação

O presente documento encontra-se estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma pequena contextualização e enquadramento do trabalho em questão, expondo os objetivos da investigação, a metodologia de investigação que foi usada para os conseguir atingir os objetivos e, por último, a estrutura deste documento.

De seguida, é apresentada no segundo capítulo, enquadramento teórico que dará a entender melhor o regulamento REACH e de que forma este tem implicação na Fapricela S.A..

No terceiro capítulo, é feita uma apresentação da empresa em estudo, passando por um contexto histórico. É também descrito o processo de fabrico da empresa em questão.

No quarto capítulo, é apresentada a metodologia de investigação seguida no trabalho, com uma introdução ao problema e descrição dos ensaios realizados.

O quinto capítulo descreve os resultados que foram obtidos após todos os ensaios e os dados avaliados.

Por último, no sexto capítulo, são apresentadas as conclusões e oportunidades/sugestões para trabalhos futuros.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O presente capítulo apresenta um enquadramento teórico acerca do regulamento REACH, de forma a entender a sua origem e o seu objetivo. De seguida, encontra-se descrito de que forma o regulamento REACH poderá vir a ter influência na Fapricela S.A. e uma breve explicação dos ensaios que foram realizados para o trabalho de investigação.

2.1. Legislação comunitária- Regulamento REACH

A regulamentação aplicada a nível da UE e/ou EEE apresenta elevada importância para a Fapricela S.A. uma vez que esta se encontra inserida nesse espaço geográfico, tendo de cumprir escrupulosamente a legislação em vigor para se manter no mercado. Um dos regulamentos particularmente relevante para a Fapricela S.A. é o regulamento REACH, uma vez que nos seus processos esta empresa recorre a vários produtos químicos.

No dia um de junho de 2007, entrou em vigor o Regulamento (CE) n°1907/2006, relativamente ao Registo, Avaliação, Autorização e Restrição de substâncias químicas, mais conhecido como regulamento REACH (ECHA-Compreender o Regulamento REACH, s.d.).

De forma a haver uma entidade responsável pela aplicação do regulamento REACH, foi criada também a Agência Europeia dos Produtos Químicos, a ECHA (Agência Portuguesa do Ambiente, s.d.). Esta trabalha com o objetivo de garantir uma utilização segura dos produtos químicos, isto é, promove a aplicação da legislação na EU, que é relativa aos produtos químicos, em prol da saúde humana e da proteção do ambiente (União Europeia-Agência Europeia de Produtos Químicos (ECHA), s.d.).

Sendo assim, as empresas necessitam de identificar e gerir todos os riscos que estão associados às substâncias que fabricam e comercializam na UE. Isto é, as substâncias químicas que são produzidas e/ou importadas dentro da UE e do EEE, em quantidades iguais ou superiores a uma tonelada por ano, necessitam de ser registadas, de forma obrigatória na base de dados da ECHA. Esta faz a sua avaliação e pode negar ou restringir a sua utilização. O que se pretende com este registo e avaliação é que a cadeia de abastecimento de um determinado produto possua todas as informações detalhadas da substância química, mais

propriamente a informação de segurança. Deste modo, dá-se a conhecer todas as propriedades das substâncias químicas, sabendo que alguma delas vão acarretar uma maior atenção devido aos riscos que representam para a saúde humana e para o ambiente. Caso esses riscos não sejam possíveis de gerir, a ECHA tem o poder de proibir a sua utilização, tornando-a dependente de uma autorização prévia (Regulamento (CE) nº1907/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho de 18 de dezembro de 2006).

A existência do regulamento não tem como objetivo criar dificuldades económicas às empresas, mas sim tornar o dia a dia laboral mais seguro, preocupar-se com a saúde do trabalhador e obedecer a aspetos ambientais que são cada vez mais importantes, uma vez que estamos numa era com cada vez mais problemas ambientais à vista de todos. Desta forma, é possível considerar a ECHA como uma ferramenta que contribui para o bom funcionamento do mercado interno bem como para a inovação e competitividade da indústria química europeia, uma vez que incentiva a indústria a desenvolver alternativas mais seguras (ECHA-Acerca da ECHA, s.d.).

Em relação ao regulamento REACH, este possui quatro etapas fundamentais para a sua aplicação. São essas etapas o registo, a avaliação, a autorização e a restrição.

Relativamente ao registo, as empresas devem ter informações sobre as propriedades e utilização das substâncias que produzem ou importam em quantidades superiores a uma tonelada por ano. De seguida, comunicam essas informações à ECHA através de um dossiê de registo, sendo o seu princípio “uma substância, um registo” (Regulamento REACH-Registo, s.d.).

Estes dossiês são carregados numa base de dados, sendo esta a maior do mundo e, desse modo, extremamente valiosa. Nesta base de dados estão as substâncias químicas, incluindo as suas propriedades, características e forma segura de usar. Deste modo, contribui para aumentar o nível de cuidados ao usar uma determinada substância química (ECHA's approach to transparency).

Após o registo, vem a avaliação. A ECHA e os Estados-Membros avaliam as informações contidas no dossiê de registo, de forma a tornar claro se existem substâncias que sejam um risco para a saúde humana ou para o meio ambiente. Se as informações contidas no dossiê não forem suficientes, a ECHA vê-se no direito de solicitar mais informações (Regulamento REACH-Avaliação, s.d.)

A seguir vem a autorização. Esta etapa tem o objetivo de garantir que as substâncias que provocarem mais preocupações, SHVC, são progressivamente substituídas por substâncias ou tecnologias que aportem menos riscos. De acordo com o site da ECHA (Regulamento REACH-Avaliação, s.d.), são consideradas como SHVC:



- Substâncias que preencham os critérios de classificação como cancerígenas, mutagénicas ou tóxicas para a reprodução (CMR) da categoria 1A ou 1B, em conformidade com o Regulamento CRE.
- Substâncias que sejam persistentes, bioacumuláveis e tóxicas (PBT) ou muito persistentes e muito bioacumuláveis (mPmB) de acordo com o anexo XIII do REACH.
- Substâncias identificadas caso a caso que suscitem um nível de preocupação equivalente ao das substâncias CMR ou PBT/mPmB.

Por último, vem a restrição e esta serve basicamente como uma ferramenta de proteção para a saúde humana e para o meio ambiente. A restrição normalmente é utilizada para restringir ou limitar a utilização de uma certa substância química (Regulamento REACH-Restrição, s.d.).


2.2. Enquadramento com o problema da empresa

Tendo em conta o regulamento REACH, o problema para a Fapricela S.A. surge num dos processos mais importantes para a sua produção, a decapagem química, mais propriamente na etapa da neutralização. É na etapa da neutralização que é utilizado o Bórax Decahidratado, a substância química em causa. Depois de estudos realizados pela empresa Fapricela S.A., deu-se conta que existem vários produtos químicos que contém boratos e que estão em risco de se tornarem restritos ou limitados, como se pode ver na lista apresentada no website da ECHA (ECHA-Lista de substâncias que suscitam elevada preocupação candidatas a autorização, s.d.). Dessa forma, a empresa iniciou um estudo para que fosse possível encontrar produtos substitutos, uma vez que temem que o Bórax Decahidratado possa vir a ser restringido devido às informações que a ECHA possui, visto que este produto pode prejudicar a fertilidade ou causar danos aos fetos e causar graves irritações oculares. De seguida, encontra-se na Figura 2.1, retirada do site da ECHA (ECHA-Informação da substância, s.d.), os riscos do Bórax Decahidratado.

Sodium tetraborate decahydrate

Substance identity EC / List no.: 603-411-9 CAS no.: 1303-96-4 Mol. formula: <i>No image available</i>	Hazard classification & labelling  Danger! According to the classification provided by companies to ECHA in CLP notifications this substance may damage fertility or the unborn child and causes serious eye irritation. At least one company has indicated that the substance classification is affected by impurities or additives.	Properties of concern  Some data submitters indicate they consider this substance as Toxic to Reproduction
---	--	---

The InfoCard summarises the non-confidential data on substances as held in the databases of the European Chemicals Agency (ECHA), including data provided by third parties. The InfoCard is automatically generated. Information requirements under different legislative frameworks may therefore not be up-to-date or complete. Substance manufacturers and importers are responsible for consulting official publications. This InfoCard is covered by the ECHA Legal Disclaimer.

 **ECHA**
EUROPEAN CHEMICALS AGENCY

about INFOCARD - Last updated: 06/05/2022

Figura 2.1-Riscos do Bórax Decahidratado (ECHA-Informação da substância, s.d.)

Posto isto, não é certo que o Bórax Decahidratado vá ser restringido ou limitado, no entanto, a empresa prefere já estar preparada para o caso de acontecer. E assim surgiu este trabalho de investigação.

2.3. Ensaios Realizados

Ao longo do projeto, foram realizados ensaios para que fosse possível obter os dados necessários para uma tomada de decisão informada sobre a possível substituição do Borax Decahidratado. Esses ensaios foram ensaios de tração e ensaios de corrosão sob tensão.

Em relação ao ensaio de corrosão, este tem o objetivo de avaliar o comportamento do material à corrosão. O intuito destes ensaios é simular, de uma forma mais drástica, os fatores externos que irão existir, isto é, exposição a ácidos e sais, chuva, humidade, entre outros. O ensaio de corrosão na Fapricela S.A. é realizado com uma solução de tiocianato de amónio (NH_4SCN) e a amostra é colocada submersa nessa solução, a uma temperatura de 50°C. Durante o ensaio, a amostra está também exposta a uma força contínua que tem o valor de 80% da força máxima obtida no ensaio de tração. O ensaio poderá ter a duração de horas ou dias, dependendo do material que está a ser analisado e este acaba quando a amostra parte.

Já o ensaio de tração é utilizado para saber mais características do material como força máxima, alongamento, limite elástico, o módulo, tensão de rotura, entre outros. Na Fapricela S.A., este ensaio é realizado à matéria-prima, ao material trefilado e ao produto

final. A amostra é colocada na máquina de tração e presa nas mordanças. No caso do cordão de 7 fios, é colocado o extensómetro que medirá o alongamento. A zona da mordança inferior, durante o ensaio, está parada enquanto a mordança superior sobe, fazendo força até a amostra partir.

No capítulo quatro estará descrito mais detalhadamente a preparação de cada ensaio.

3. CASO DE ESTUDO

Este capítulo apresenta uma breve descrição da empresa onde a investigação foi desenvolvida, a Fapricela S.A., seguida da sua história e a descrição do processo de fabrico em causa.

3.1. Apresentação da empresa

A Fapricela S.A. dedica a sua atividade ao fabrico de arame, utilizado para produção de vários produtos dentro da empresa, através da trefilagem.

A Fapricela S.A. tem a sua sede localizada na freguesia de Ançã, concelho de Cantanhede, distrito de Coimbra.

As suas instalações ocupam uma área coberta de 90000 m² sendo que a de terrenos é de 200000 m², possuindo de cerca de 350 funcionários, o que faz com que seja uma das maiores empregadoras da região centro.

A empresa dedica-se maioritariamente à exportação sendo que, atualmente, mais de 80% da sua produção é destinada aos mercados externos, distribuídos por mais de 85 países nos 5 continentes.

3.1.1. História

A Fapricela-Indústria de Trefilaria, S.A., empresa de cariz familiar, foi fundada em 1977, pelo Sr. António Madeira Teixeira. Inicialmente, a sua atividade era direcionada essencialmente para o fabrico de pregos de construção. No entanto, com o passar dos anos e com a sua progressiva valorização no mercado, começaram a ser integrados novos produtos na sua atividade, resultado das sucessivas mudanças e exigências do mercado.

Em 1986, surgiu a necessidade do fabrico de um novo produto, as Redes Elásticas, Zincadas e Plastificadas e a Rede Nó (rede ovelheira), utilizada para vedação de propriedades ou limitação do terreno para o gado. No ano seguinte, 1987, começaram a fabricar Malha eletrossoldada. Inicialmente, era fabricada em rolos com varões até 5mm, mas, devido à forte implementação do produto, foi essencial aumentar a sua espessura até 12mm, em painéis, de forma a responder às mais variadas exigências.

A constante mudança no setor ferroviário, com a implementação de comboios de alta velocidade e dos metros de superfície, conduziu à necessidade de utilizar travessas Pré e Pós-Tensadas. Desta forma, em 2001, a Fapricela-Indústria de Trefilaria, S.A., tornou-se pioneira no fabrico deste material no mercado nacional, evitando assim a sua importação. No mesmo ano, começou também a produzir um novo produto que se destina ao fabrico de molas.

No entanto, foi em 1995, no decurso de um programa de investimentos iniciados, que a empresa teve o seu maior e mais importante impulso, altura em que desenvolveu o fabrico de produtos de alta resistência, nomeadamente o Arame de Aço para Pré e Pós-Esforço de baixa relaxação, que se destina ao fabrico de vigotas e de elementos pré-fabricados. Começou também ainda a ser fabricado o cordão de Aço para Pré e Pós-Esforço de baixa relaxação, podendo ser de superfície lisa, oleada ou plastificada, destinado à utilização no fabrico de pontes, viadutos, depósitos, ancoragens, silos e edifícios. Tornou-se assim, a primeira empresa em Portugal a produzir cordão para pré e pós-esforço de baixa relaxação.

Em junho de 2007, a Fapricela S.A. adquiriu a empresa Ibermetais Indústria de Trefilagem, S.A., fundada em 1971, tendo sede na freguesia de Freamunde, concelho de Paços de Ferreira, que está direcionada para a trefilagem de aços maciços (não ligados), de baixo teor de carbono (arames crus e recozidos), sendo de salientar que 65% da sua produção se destina à exportação. Desta forma, criou-se então o Grupo Fapricela Indústria.

3.2. Descrição do processo de fabrico

O processo de fabrico do produto analisado neste trabalho começa com a matéria-prima utilizada na Fapricela S.A., o fio máquina (Figura 3.1).



Figura 3.1-Parque de matéria-prima (Fapricela S.A.)

Este, é proveniente de siderurgias, onde o minério é fundido num alto forno. No interior do alto forno, inserem-se camadas sucessivas e alternadas de coque, de minério de ferro e fundente, dando-se o nome de ferro gusa ao ferro resultante. De seguida, efetua-se o vazamento do material, que forma lingotes à medida que arrefece. Depois, os lingotes sofrem um processo de laminagem a quente (Figura 3.2), originando assim os rolos de fio-máquina. Todos os rolos de fio-máquina proveniente da mesma fornada, diz-se que pertencem ao mesmo vazamento. Todos os rolos do mesmo vazamento possuem as mesmas propriedades.



Figura 3.2-Processo de laminagem a quente

Quando a matéria-prima chega à empresa, esta é guardada no exterior e entra em contacto com o ar e água da chuva, criando uma camada de óxidos na superfície metálica, ao qual se dá o nome de “carepa”.

O objetivo da decapagem química é remover todos esses óxidos de ferro e a oxidação da superfície do arame. Após essa remoção, o arame é fosfatado e depois trefilado. Descrevendo o processo da decapagem química, este possui 3 fases principais: a decapagem, a fosfatação e a neutralização. Na Figura 3.3, está representado o layout da secção da decapagem química.

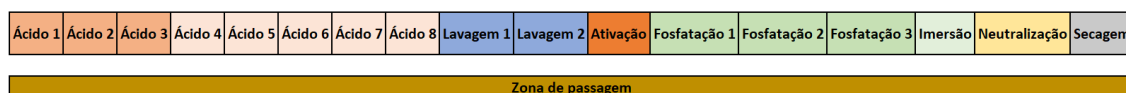


Figura 3.3-Layout da secção da decapagem química

Neste processo, existem algumas variáveis que são controladas. Essas variáveis são as seguintes:

- Concentração do ácido e/ou reagentes (Figura 3.4);

- Temperatura;
- Tempo de imersão;



Figura 3.4-Exemplo de medição de concentração

Todo o processo da decapagem química tem uma metodologia a ser seguida. A matéria-prima é transporta desde o parque da matéria-prima até ao suporte do rolo de fio máquina existente na secção da decapagem (Estrutura inicial) que se encontra na Figura 3.6, através do empilhador. De seguida, a ponte rolante transporta o rolo pelas tinas necessárias, e esse processo estará explicado mais abaixo neste capítulo. Após passar por todas as etapas necessárias, a ponte rolante coloca o rolo na estrutura final e depois este é transportado pelo empilhador para o espaço de fábrica. Esta metodologia encontra-se representada na Figura 3.5.

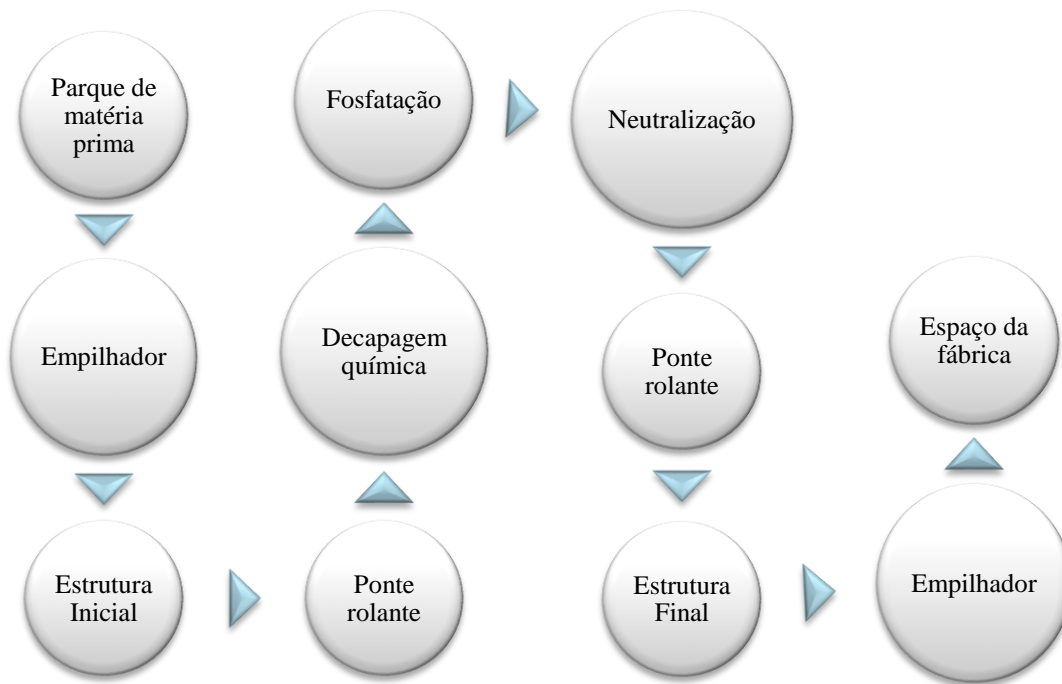


Figura 3.5-Metodologia de transporte dos rolos de fio máquina



Figura 3.6-Estrutura inicial

De seguida, descreve-se todo o processo desde a chegada da bobine à secção da decapagem química até à sua secagem e a sua trefilagem.

Na decapagem química, o fio máquina é mergulhado em tinas que contêm ácido clorídrico (HCl) e o ferro presente na superfície do arame agregar-se-á ao cloro e formará cloreto de ferro, ficando assim a superfície limpa. Na Fapricela S.A., a zona da decapagem química possui 8 tinas de ácido clorídrico, dividindo-se em dois grupos. As primeiras três tinas destinam-se a arame de médio carbono, utilizado para as molas. As restantes 5 são utilizadas para decapar quimicamente fio máquina de alto teor em carbono. Sendo assim, o rolo de fio máquina é colocado na tina de ácido 4 com uma solução de HCl durante 240 segundos. Ao final desse tempo, passa para a tina de ácido 5, ficando colocado por 360

segundos. Da tina de ácido 5 passará para a tina de ácido que estiver livre entre as tinas de ácido 6, 7 ou 8, durante 1560 segundos. A concentração da solução é um dos fatores que influencia a velocidade da decapagem.

De seguida, o fio máquina passa por uma tina onde é feita uma lavagem com fortes jatos de pressão de água, para tirar o excesso de ácido, com duração de 55 segundos. Após esta fase, é feita uma imersão no banho de ativação, durante 20 segundos. Este banho de ativação serve para que a camada de fosfato de zinco que se irá formar na etapa da fosfatação cresça de forma mais organizada, garantindo assim uma melhor lubrificação.

De forma a poder haver uma redução do diâmetro do arame do rolo de fio máquina através de um processo de deformação a frio, é necessário que haja uma boa lubrificação da superfície do arame. Sendo assim, após o banho de ativação, o fio máquina é mergulhado no banho de fosfatação (410 segundos), onde se irá formar uma camada de cristal de fosfato de zinco na superfície do arame. Desta forma, assegura-se uma lubrificação eficaz para o processo de trefilagem. Depois da fosfatação, é feita uma imersão muito rápida do rolo de fio máquina numa tina que apenas contém água. Como os banhos anteriores são ácidos, é necessário haver um banho de neutralização (180 segundos) de forma a eliminar os resíduos de ácido. Este banho neutraliza então o resto de ácido fosfórico que possa haver na superfície do rolo de fio máquina e ajuda também a proteger o produto final de possível oxidação e/ou corrosão.

Por último, é feita uma secagem de todos os rolos durante 150 segundos, terminando aqui todo o processo de decapagem química. Desta forma, o rolo encontra-se pronto para poder ser trefilado.

A trefilagem é realizada em máquinas de trefilar que possuem várias feiras consecutivas, que irão reduzir o diâmetro do fio. O número de feiras depende do diâmetro inicial e o diâmetro pretendido. Na máquina trefiladora, o fio máquina é puxado e passa pela caixa de pó de sabão, onde ganha mais uma camada de lubrificação. Logo de seguida, passa pelo porta-feiras, onde se encontra a feira. Depois deste passo, o fio máquina vai sendo enrolado no bloco e assim sucessivamente (Figura 3.7).

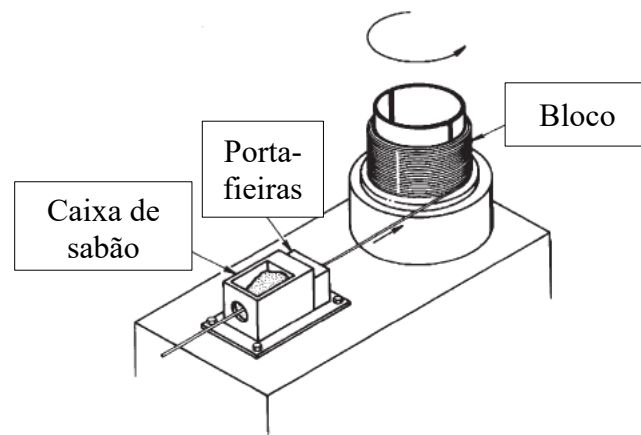


Figura 3.7- Constituição da trefiladora (adaptado de (Wright, 2011))

O fio máquina ao ser trefilado, aumenta a resistência mecânica e diminui a sua ductilidade. São as fieiras que permitem a diminuição do diâmetro do arame. Uma fieira, normalmente, é constituída por um núcleo em carboneto de tungsténio que está inserido numa carcaça de aço ao carbono, de forma a evitar a sua fratura, uma vez que o núcleo fica sujeito a elevadas tensões de tração (Figura 3.8).

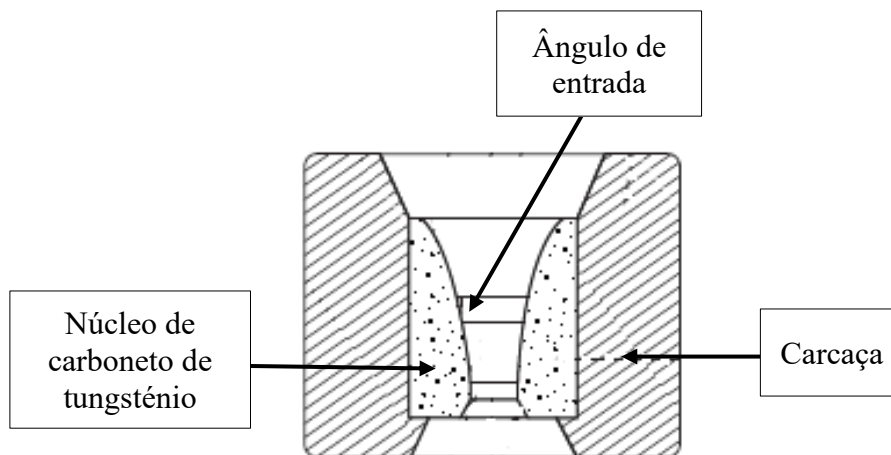


Figura 3.8- Caracterização de uma fieira (adaptado de (Wright, 2011))

No processo de trefilagem existem aspetos que é necessário controlar. Esses aspetos são:

- O número de fieiras necessárias para atingir o diâmetro pretendido;
- A velocidade de trefilagem;
- A temperatura do arame;
- A lubrificação (pó de sabão juntamente com a camada de fosfato de zinco).

Devido à lubrificação, quando o fio está a ser puxado através da fieira, as suas superfícies não se tocam. Caso isso aconteça, a fieira rebenta e o arame terá de ir para a sucata.

Após serem trefiladas as bobines necessárias para fazer o cordão, estas são inseridas na máquina cableadora que é a máquina que faz o cordão, enrolando os periféricos à volta da alma. No total são necessárias 7 bobines de trefilado pois, tal como o nome indica, cada cordão é constituído por 7 fios. Dos 7 fios, 6 são periféricos e estes estão à volta da alma, que é o arame do meio e tem um diâmetro superior aos periféricos (Figura 3.9).

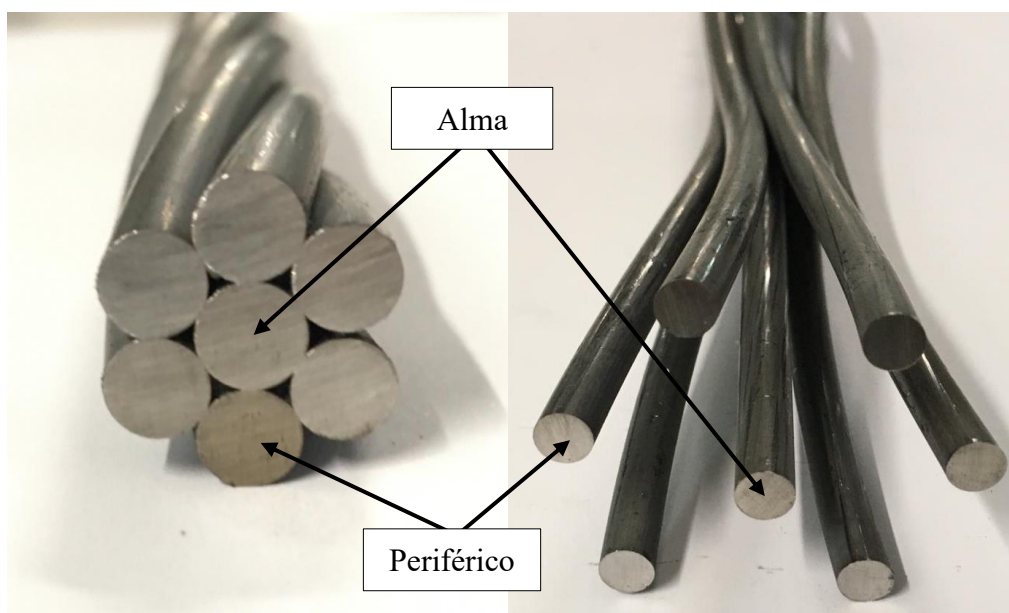


Figura 3.9-Cordão de 7 fios (Fapricela S.A.)

O processo de trefilagem, tem como consequência o aumento das tensões internas do arame. Desse modo, é necessário que o cordão passe por um processo de estabilização. Este é um processo termomecânico de envelhecimento e consiste na aplicação de uma força de tração ao mesmo tempo que sofre um aquecimento de aproximadamente 400°C. O objetivo deste tratamento é eliminar as tensões que surgiram durante o processo de trefilagem, aumentando a tensão de rotura do cordão.

4. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

A metodologia de investigação mostra o caminho feito desde a formulação do problema até à apresentação dos resultados, de acordo com os objetivos que foram definidos inicialmente.

No presente capítulo, irá ser apresentado a forma como o projeto se desenvolveu ao longo do estágio curricular.

4.1. Introdução ao problema

A Fapricela S.A., ao temer que, devido ao regulamento REACH, o produto que é atualmente utilizado para a neutralização venha a ser restringido ou limitado futuramente, realizou um estudo de mercado para os possíveis produtos substitutos, antes do estágio curricular ter início.

Relativamente aos produtos substitutos, estes foram dois, cujos nomes são Bonderlube CC 1113, da Henkel e Gardolube SC 6202, da Chemetall. Ambos os produtos são lubrificantes. O Bonderlube CC 1113 é um banho de alta tecnologia, composto por uma solução de componentes minerais alcalinos. Este é utilizado para substituir os banhos com boratos para a trefilagem e proporciona um resultado mais homogéneo. Já em relação ao Gardolube SC 6202, é composto por uma combinação de sal e lubrificante, de forma a facilitar a deformação de aço a frio. É um produto sem boratos, à base de sabão.

Após o início do estágio, foi importante definir que variáveis eram importantes para o trabalho de investigação e também selecionar um vazamento de fio-máquina para que tivessem a mesmas propriedades. Dessa forma, as variáveis que foram definidas foram:

- A temperatura do fio à saída de uma fieira.
- A potência consumida pela máquina trefiladora.
- Duração do ensaio de corrosão.
- Valores obtidos nos ensaios de tração (força máxima, alongamento, limite elástico e resistência mecânica).

De seguida, descreve-se o modo como as variáveis foram controladas e os ensaios preparados. De realçar que ambos os ensaios, quer o de tração quer o de corrosão são

realizados no laboratório de qualidade da empresa. Durante o processo de fabrico são retiradas amostras de todas as bobinas produzidas para a realização dos ensaios, de forma a verificar se passam no controlo de qualidade.

4.2. Controlo das variáveis

4.2.1. Temperatura à saída da fieira

A medição da temperatura à saída da fieira torna-se um dos aspetos mais importantes uma vez que esta está relacionada com o atrito existente entre o fio máquina e o interior da fieira. Sendo assim, através desta medição, é possível saber se a lubrificação é boa e quanto mais baixa a temperatura, menos atrito, o que significa que a lubrificação é melhor.

Para ser possível medir a temperatura do fio à saída de uma fieira, foi necessário realizar a montagem de um pirómetro com suporte magnético, de forma que este ficasse preso e estável dentro da máquina trefiladora. Na Figura 4.1 e na Figura 4.2, encontra-se como ficou posicionado o pirómetro dentro da máquina trefiladora.



Figura 4.1-Posicionamento do pirómetro-vista de cima (Fapricela S.A.)



Figura 4.2-Posicionamento do pirómetro-vista de frente (Fapricela S.A.)

O pirômetro é ligado a uma fonte de alimentação e também a um cabo “interface homem-máquina”, que faz a ligação entre o pirômetro e o computador. Desta forma, os dados são apresentados no monitor de um computador através do software X, sendo depois transferidos para o Microsoft Excel. Encontra-se no Apêndice A, um excerto da folha de Excel que contém os dados que foram posteriormente tratados de forma a serem importados pelo *Rstudio* para análise da temperatura, por exemplo, no caso do Bórax Decahidratado. Realizou-se do mesmo modo para os dois produtos substitutos.

A medição da temperatura é contínua, tendo apenas interrupção quando a máquina trefiladora para devido a algum problema ou pela troca de bobines, quando esta já está completa. Para a realização dos testes de hipóteses no *Rstudio*, apenas foram excluídos os valores de temperaturas de quando a máquina trefiladora estava parada visto que nestas alturas a temperatura era baixa uma vez que não estava a haver fricção este o fio máquina e a fieira.

4.2.2. Potência consumida

Relativamente à potência consumida pela máquina trefiladora, apesar de esta possuir um display que apresentava a potência consumida por cada motor, não era possível efetuar a transferência desses dados. Dessa forma, decidiu-se estabelecer um intervalo de tempo e registar os valores de 15 em 15 minutos. No Apêndice B, encontra-se um excerto da folha de Excel dos dados relativos à potência consumida por motor, com o produto atual, que sofreu posteriormente tratamento. Para todos os produtos, realizou-se sempre do mesmo modo. Em relação à potência total consumida pela máquina, registou-se o valor do quadro elétrico no início da medição da temperatura e no final, obtendo assim a potência total consumida, aproximadamente, uma vez que mesmo quando a máquina estava parada, estaria sempre a consumir, de alguma forma, uma certa potência.

4.2.3. Ensaio de corrosão

Como já foi dito anteriormente, o ensaio de corrosão serve para simular os fatores externos aos quais os materiais poderão estar sujeitos.

O ensaio de corrosão é um ensaio complexo, que exige alguma preparação das amostras que irão ser utilizadas. Para este ensaio, o comprimento das amostras deve estar compreendido entre 1,20 metros e 1,30 metros. O cordão de 7 fios deve ser aberto e limpo com solvente, de modo a garantir que não existem quaisquer resíduos que possam comprometer o ensaio. De seguida volta a fechar-se a amostra e prepara-se a mesma com silicone e mangas termo retrátil, para que não haja fuga da solução durante o ensaio. Deve preparar-se uma solução de NH_4SCN que consiste em adicionar 800 ml de água destilada com 200 gramas de NH_4SCN , deixando-se aquecer até aos 50°C. Enquanto a solução aquece, coloca-se a amostra no recipiente cilíndrico (Figura 4.3).



Figura 4.3-Recipiente cilíndrico do ensaio de corrosão (Fapricela S.A.)

O recipiente é fechado na zona onde está colocada a manga como é possível observar na Figura 4.4. É necessário que fique bem fechado para, juntamente com o silicone e a manga termo retrátil colocada na amostra, evitar fugas da solução de NH_4SCN .



Figura 4.4-Fecho do recipiente (Fapricela S.A.)

Após estar fechado, são colocadas cunhas em cada ponta da amostra para que seja possível aplicar a força necessária, sem que a amostra saia do lugar. A força é aplicada através de um macaco hidráulico (80% da força máxima do ensaio de tração). Quando a temperatura atinge os 50°C, coloca-se a solução dentro do recipiente cilíndrico. A força e a

temperatura são controladas por uma sonda cada uma, ligadas ao registor e ao controlo da temperatura, que se encontram na Figura 4.5



Figura 4.5-Registor e controlador da temperatura (Fapricela S.A.)

Deve controlar-se a temperatura de modo que esta se mantenha em, aproximadamente, 50°C e a força em 80% da força máxima. Quando a amostra parte (Figura 4.6), para-se o registor, efetua-se a passagem de dados para o computador e faz-se a limpeza do recipiente. No Apêndice C, encontra-se parte da folha de Excel onde estão os dados relativos aos ensaios de corrosão realizados com o produto atual, como forma de exemplo. Também foi feito da mesma forma para os produtos substitutos.



Figura 4.6-Exemplo de uma rotura do ensaio de corrosão (Fapricela S.A.)

4.2.4. Ensaio de tração

O ensaio de tração é um ensaio mais simples que o da corrosão uma vez que não exige qualquer preparação das amostras.

Quando as amostras chegam ao laboratório de qualidade, para realizar o ensaio de tração, apenas é necessário fazer uma verificação geométrica. Essa verificação consiste em medir e

pesar a amostra, medir o passo e medir o diâmetro dos 7 fios do cordão (alma e periféricos). De seguida coloca-se na máquina de tração, mete-se o extensómetro e inicia-se o ensaio (Figura 4.7). A dada altura retira-se o extensómetro e continua o ensaio, até a amostra de cordão partir. Todos os valores obtidos neste ensaio são automaticamente transferidos para o programa da empresa, o LCQ, de onde foram extraídos os dados para o Microsoft Excel de forma a ser possível a sua análise (Apêndice D). Basicamente, o ensaio de tração consiste na fixação duma amostra pelas extremidades e na aplicação de um esforço de tração em máquinas apropriadas. Estas máquinas registam a curva que traduz o comportamento da amostra perante o esforço.

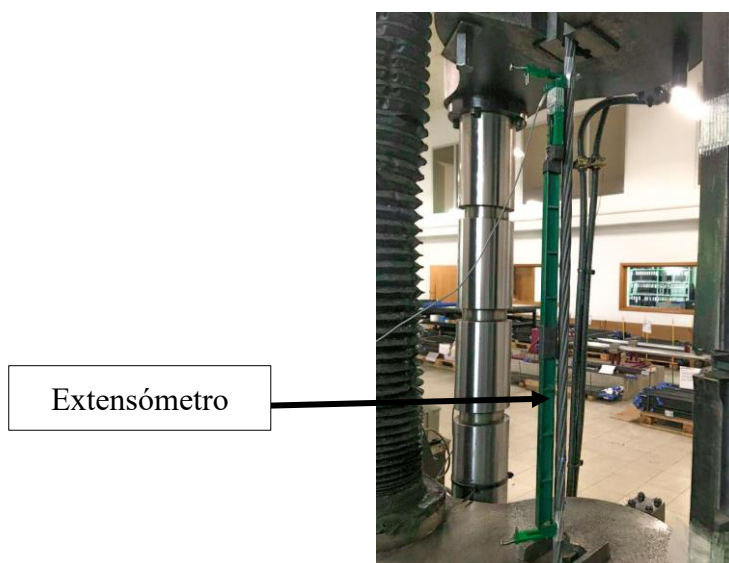


Figura 4.7-Extensómetro colocado na amostra (Fapricela S.A.)

De seguida, na Figura 4.8, apresenta-se o exemplo de uma curva que traduz o comportamento.

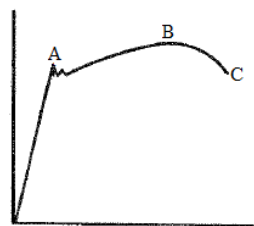


Figura 4.8-Exemplo de curva que traduz o comportamento (adaptado de (Soares, 2010))

Considerando que no eixo das abcissas está representada a evolução do alongamento e no eixo das ordenadas a evolução da força aplicada. Como explica (Soares, 2010), até ao ponto A, a amostra sofre alongamento de forma proporcional à força. Se pararmos o ensaio nesta zona, o

comprimento da amostra volta ao original, dizendo-se que nesta zona sofreu uma deformação elástica. Ao passar o ponto A, diz-se que sofreu uma deformação plástica, uma vez que não retorna ao original. Ao aumentar o comprimento da amostra, dá-se uma diminuição da secção. Ao atingir o ponto B, atingiu-se o valor máximo da força, ocorrendo um estrangulamento da amostra. De seguida, o alongamento continua a aumentar até chegar ao ponto C, ponto onde se dá a rotura da amostra.

Através do ensaio de tração, são retirados os dados para as variáveis da resistência mecânica, força máxima, alongamento e limite elástico.

A resistência mecânica (N/mm^2) corresponde à resistência que o material tem à força que é aplicada sobre ele. A força máxima (kN) equivale ao valor máximo de força obtido até à rotura do material. Já o alongamento, que é dado em percentagem, é a deformação do material até à rotura e, para o caso do cordão, existe um mínimo de 3,5%. Por último, o limite elástico (kN), tal como o nome indica, é o limite até onde o material tem elasticidade, ou seja, é a zona onde o material passa de elástico a plástico. Por exemplo, ao realizar um ensaio de tração, caso se pare o ensaio após passar o limite elástico, a amostra já não volta à sua forma original.

4.3. Análise das variáveis

Para analisar todas as variáveis necessárias, foram utilizados o Microsoft Excel para a criação de bases de dados a ser posteriormente analisada estatisticamente via software *Rstudio*. Foi construído código R para efetuar a análise estatística requerida. Todos os dados foram introduzidos em folhas de Excel e organizados de modo a que o *Rstudio* os conseguisse importar para, posteriormente, realizar o seu tratamento.

Estabeleceu-se que a melhor forma de efetuar a análise estatística pretendida seria a realização de testes de comparação de médias e análise de variância ANOVA. Naturalmente que, em todos os casos, é anteriormente efetuada a estatística descritiva referente às amostras recolhidas.

Por último, efetuou-se uma pequena comparação entre os preços de cada produto, que é um aspeto que seria importante analisar mais profundamente caso se soubessem as quantidades que seriam necessárias dos produtos substitutos.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

No presente capítulo irão ser apresentados os resultados obtidos de todas as variáveis medidas, os quais são baseados nas amostras recolhidas e posteriormente tratadas estatisticamente com recurso ao *Rstudio*.

Como em qualquer análise deste tipo, fez-se inicialmente um breve resumo das amostras, no contexto da estatística descritiva, antes de executar a inferência estatística, a qual, no nosso caso, passa pela realização de testes paramétricos.

O objetivo da análise de variância ANOVA, quando utilizada no contexto deste trabalho, é comparar os valores médios (m_1 , m_2 e m_3 são as médias em análise) das variáveis subjacentes às três amostras recolhidas. Encontra-se, na equação número 1, a equação utilizada para realizar a vária análise de variância ANOVA.

$$\begin{cases} H_0: m_1 = m_2 = m_3 \\ H_1: \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

Já os testes de comparação de duas médias (para todos os pares formados pelos três produtos) podem escrever-se, a título de exemplo para as variáveis 1 e 2, como se encontra descrito na equação número 2.

$$\begin{cases} H_0: m_1 = m_2 \\ H_1: \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

Tem-se, naturalmente, em atenção, que a realização de um teste de comparação de médias exige a realização prévia de um teste de comparação de variâncias, que se encontra descrito na equação número 3.

$$\begin{cases} H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \\ H_1: \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

Este teste serve para comparar as variabilidades (dispersões) das variáveis em estudo e, também, para fornecer informação para a correta realização do teste de comparação de médias.

É importante salientar que nem todas as amostras das variáveis estudadas possuem a mesma dimensão, estando estas contidas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1-Dimensão das amostras

<i>Variável</i>	<i>Dimensão da amostra (n)</i>
<i>Temperatura à saída da fieira</i>	1286
<i>Potência por motor</i>	9
<i>Ensaio de corrosão</i>	6
<i>Resistência mecânica</i>	7
<i>Força máxima</i>	7
<i>Alongamento</i>	7
<i>Limite Elástico</i>	7

É de notar que a variável da temperatura é que possui uma dimensão da amostra superior, uma vez que foi uma medição contínua durante um dia inteiro. Em relação às outras variáveis, foram realizados ensaios a cada bobine produzida a partir do vazamento selecionado, daí ter uma dimensão de amostra baixa.

Por facilidade de escrita, o produto atual é o produto 1, o produto da Henkel é o produto 2 e, por último, o produto da Chemetall é o produto 3.

5.1. Temperatura à saída da fieira

Relativamente à temperatura à saída da fieira, é possível observar na Figura 5.1 os diagramas de extremos e quartis onde se vê que o produto 2 e o produto 3 possuem medianas muito próximas. Também é possível notar que a amostra do produto da Henkel apresenta alguns *outliers*, o que significa que existem valores que são significativamente diferentes dos restantes.

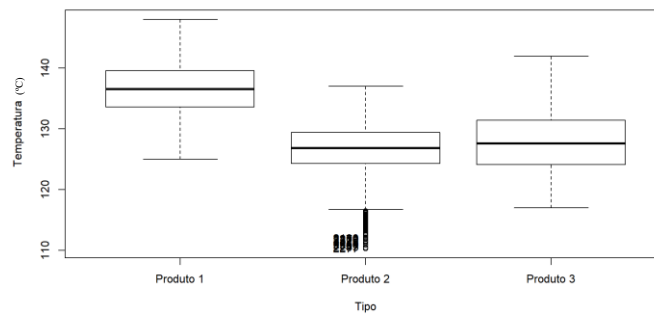


Figura 5.1-Diagrama de extremos e quartis da temperatura à saída da feira

É possível observar nos histogramas seguintes, na Figura 5.2, que os valores relativos ao produto 2, são assimétricos à esquerda, o que causa os *outliers* que foram possíveis observar no diagrama de extremos e quartis anterior.

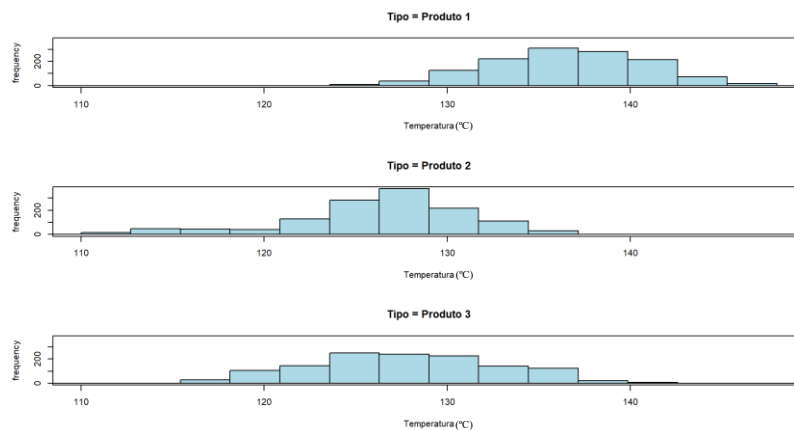


Figura 5.2-Histogramas de cada produto relativos à temperatura à saída da feira

Em relação ao valor de médias, se se tratasse de uma amostra de dimensão reduzida, a existência de *outliers* poderia fazer diferir bastante a média da mediana. Como não se trata de uma amostra reduzida ($n=1286$), não afetará de forma significativa o valor da média. Após calcular o valor da média das amostras das temperaturas de cada produto, é possível concluir que o produto 2 e o produto 3 possuem valores médios muito aproximados, $127,7025^{\circ}\text{C}$ e $126,2810^{\circ}\text{C}$, respetivamente. Já o produto que é usado atualmente, possui um valor de média da amostra de temperaturas de $136,5085^{\circ}\text{C}$. Sendo assim, é possível concluir, numa primeira análise apenas baseada na observação das médias amostrais, que neste aspeto o produto atual é o pior.

Para consubstanciar a conjectura anteriormente referida, realizaram-se testes de hipóteses para a comparação de médias entre os produtos das populações que geraram as amostras recolhidas.

ANOVA

Através da análise de variância ANOVA, foi possível comparar as 3 médias dos 3 produtos simultaneamente.

Obteve-se um p-valor inferior a 2×10^{-16} , ou seja, é inferior ao nível de significância standard de 0,05 logo, rejeita-se a hipótese H_0 . Sendo assim, não é possível afirmar que todas as médias são próximas, ou seja, não se pode afirmar que é indiferente qual produto se usa. Encontra-se no Anexo A, um exemplo do output obtido no *Rstudio* onde é retirado o p-valor que resulta da análise de variância ANOVA. O output que foi obtido é igual para todas as restantes variantes, na análise de variância ANOVA, com os respetivos valores de casa análise.

Posto isto, realizaram-se testes de hipóteses para comparação das médias dos três produtos, par a par.

Produto 1 Vs. Produto 2

Após a realização dos testes de hipóteses (comparação de médias e de variâncias) para comparar o produto 1 com o produto 2, obteve-se em ambos um p-valor inferior a 0,05 logo rejeita-se a hipótese H_0 para os dois testes. Sendo assim, conclui-se que existe muita variabilidade entre os dois produtos e que não é possível considerar que, em termos médios, é indiferente usar um produto ou outro.

Encontra-se no Anexo B e no Anexo C um exemplo de output que foi obtido, no *Rstudio*, após a realização dos testes de hipóteses para comparação de variâncias e médias, de onde se retira o p-valor de cada comparação. Tal como acontece com a análise de variância ANOVA, o output obtido nos testes de hipóteses para comparação de variâncias e médias é o mesmo para as restantes variáveis, tendo como diferença os valores neles contido.

Produto 1 Vs. Produto 3

Concluídos os testes de hipóteses para comparação de médias e de variâncias para os produtos em questão, obtiveram-se valores de p-valor inferior a 0,05 logo rejeita-se a hipótese H_0 para os dois testes. Dessa forma, conclui-se o mesmo dos testes de hipótese para comparação de médias e variâncias do ponto anterior.

Produto 2 Vs. Produto 3

Por último, comparam-se os dois produtos substitutos entre si.

Como se obtiveram valores de p-valor inferiores a 0,05 em ambos os testes, conclui-se que existem variabilidades diferentes entre produtos e que não é possível considerar indiferente, em termos médios, a utilização de um produto ou de outro. No entanto, no teste de variâncias, o p-valor obtido foi muito superior aos dos testes realizados nos outros pares. O valor obtido foi de 0,02957, o que significa que se rejeita H_0 ao nível 5% mas que se poderia aceitar a um nível um pouco mais baixo e, ainda assim, habitual. Encontra-se, de facto, numa região onde não se rejeita ou aceita claramente a igualdade de variâncias (querendo esclarecer melhor esta decisão, seria aconselhável recolher uma amostra maior). Sendo este nível de significância observado (p-valor) o valor mais próximo de 0,05 obtido até ao momento, pode-se considerar que em termos de variabilidade, este é o par mais próximo.

De seguida, encontra-se na Tabela 5.2 um resumo com os p-valores obtidos e as decisões tomadas para a variável em questão.

Tabela 5.2-Resumo dos resultados e decisões para a temperatura à saída da feira

	<i>Teste</i>	<i>p-valor</i>	<i>Aceita-se H_0</i>	<i>Rejeita-se H_0</i>
<i>P1-P2</i>	média	$2,200 \times 10^{-16}$		X
	variância	$1,818 \times 10^{-7}$		X
<i>P1-P3</i>	média	$2,200 \times 10^{-16}$		X
	variância	$1,623 \times 10^{-13}$		X
<i>P2-P3</i>	média	$6,427 \times 10^{-13}$		X
	variância	$2,957 \times 10^{-2}$		X

5.2. Potência consumida por motor

Em relação à potência consumida por motor, numa primeira análise, observa-se na Figura 5.3 os diagramas de extremos e quartis onde é possível concluir que todos os produtos possuem medianas diferentes, apesar de próximas. É de referir que os valores de

outliers que existem são valores pertencentes ao primeiro motor e ao último, que possuíam sempre uma potência mais baixa em relação aos motores do meio. Dá-se conta também que o produto da Chemetall possui uma grande variação de valores de potência.

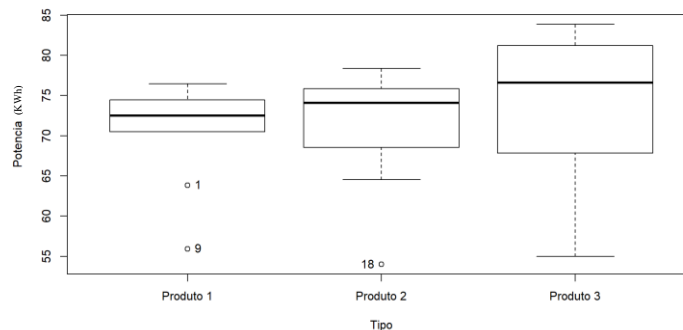


Figura 5.3-Diagrama de extremos e quartis relativos à potência por motor

Na Figura 5.4 que contém os histogramas, é possível observar que todos os produtos possuem uma grande variação de valores. Essa variação pode dever-se ao facto de serem valores instantâneos. Como os valores só eram medidos de 15 em 15 minutos, pode ter afetado os resultados pois poderia ser numa altura que a máquina trefiladora estaria a começar o processo ou a terminar, influenciando os valores.

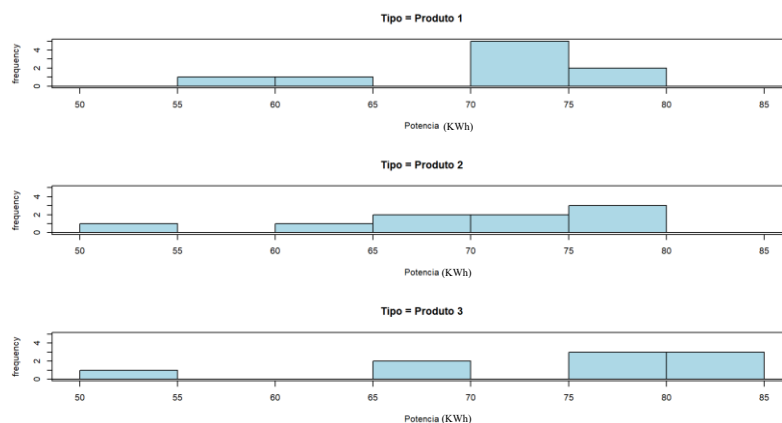


Figura 5.4-Histogramas de cada produto relativos à potência por motor

Em termos de médias amostrais, estas são todas muito próximas, no entanto as médias do produto 1 e do produto 2 são aproximadamente iguais, 70,46 KWh e 70,73 KWh, respetivamente. É possível distinguir o produto 3, uma vez que a média do consumo com este produto é superior aos outros dois. Desta forma, indica que com este produto o consumo energético seria superior relativamente ao produto 1 e ao produto 2.

ANOVA

Em relação ao teste de análise de variância ANOVA, obteve-se um p-valor igual a 0,585, o que significa que se aceita a hipótese nula de igualdade de médias das populações de onde foram retiradas as três amostras correspondentes aos 3 produtos. Dessa forma, como se pode assumir que os três produtos são semelhantes em termos médios pela análise de variância ANOVA, não seria preciso realizar nenhum teste de hipóteses de comparação de médias par a par. Todavia, para analisar a robustez dos p-valores, foram feitos os testes de comparação de médias, par a par, e obteve-se o resultado esperado: aceitar todas as hipóteses H_0 de igualdade de médias para todos os pares de produtos.

Sendo assim, é possível concluir que em termos de potências por motor, não existe qualquer diferença, em termos médios, entre os produtos.

5.3. Potência total consumida

Por último, em termos de potência total consumida, como foi dito anteriormente, foi registado o valor do quadro elétrico respetivo à máquina trefiladora em questão, no início da medição da temperatura e no final. Dessa forma, obtiveram-se os valores descritos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3-Valores da potência total consumida

<i>Produto</i>	<i>Potência total consumida</i>
<i>Produto 1</i>	2085 KWh
<i>Produto 2</i>	2043 KWh
<i>Produto 3</i>	2462 KWh

Através dos resultados obtidos, dá-se conta que o produto 2 e o produto 1 possuem praticamente o mesmo valor em termos de consumo energético total. Sendo assim, o produto 2 seria o melhor substituto neste aspeto, uma vez que o produto 3 possui um consumo energético superior em relação ao produto 1 e ao produto 2.

No entanto, como a medição da potência se trata de valores retirados durante um intervalo de tempo, é possível que isso afete a sua medição. O ideal seria a empresa arranjar uma maneira de poder medir as potências, quer por motor quer total, de forma contínua, tal como aconteceu com a temperatura. Dessa forma, os dados seriam mais fiáveis uma vez que desta forma seria possível saber ao certo os seus consumos.

5.4. Ensaio de Corrosão

O ensaio de corrosão também é uma das variáveis mais importantes. Através da duração do ensaio de corrosão, é possível tirar conclusões acerca da lubrificação. Caso o ensaio de corrosão tenha uma baixa duração, pode significar que o arame possui microfissuras resultantes do atrito entre o fio-máquina e a feira, devido a uma má lubrificação.

Através dos diagramas de extremos e quartis da Figura 5.5 é possível observar que a mediana do produto 1 e do produto 3 estão próximas. Dessa maneira, seria de considerar que o produto 3 seria o melhor. No entanto, o produto 2 possui tempos de ensaio superiores, que neste caso seria a melhor opção devido ao que foi dito anteriormente. Existem *outliers* no produto 2 e no produto 3 que correspondem a valores significativamente diferentes dos restantes apresentados na amostra.

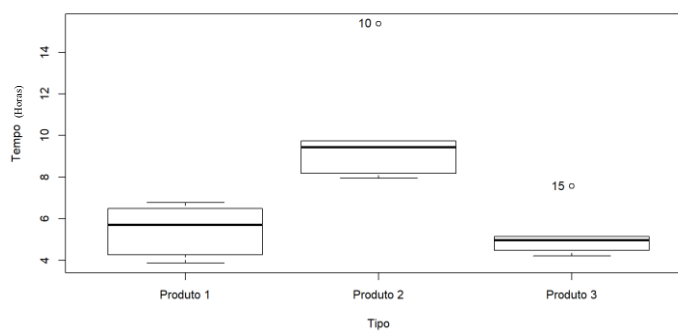


Figura 5.5-Diagrama de extremos e quartis relativos aos ensaios de corrosão

Observado a Figura 5.6 que possui os histogramas de cada produto relativo à duração dos ensaios de corrosão, vê-se que existe realmente um valor no produto 2 bastante superior, ou seja, houve um ensaio que durou mais do que os restantes. No produto 3 também houve um ensaio com uma duração diferente, no entanto não existe tanta discrepância como aconteceu com o produto 2 (ambos os referidos ensaios correspondem aos dois *outliers* que foram referidos anteriormente).

Confirma-se que o produto 1 e o produto 3 são mais próximos, mas não quer dizer que seja a melhor opção uma vez que é importante que os ensaios tenham uma duração elevada. Dessa forma, o produto 2 seria a melhor opção.

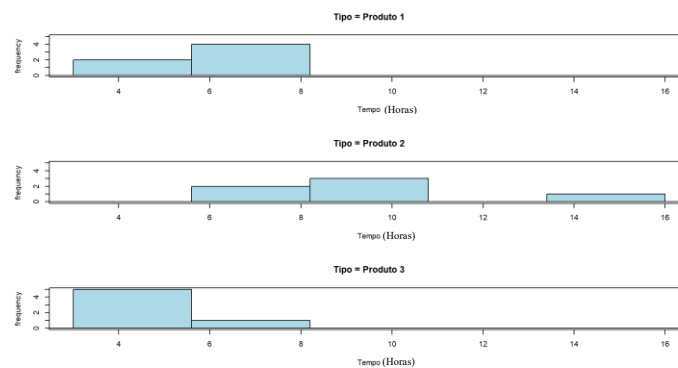


Figura 5.6-Histogramas de cada produto relativos aos ensaios de corrosão

Em relação ao valor das médias das amostras, como era de esperar, o produto 1 e o produto 3 possuem médias próximas, 5,46 horas e 5,22 horas, respetivamente. Já o produto 2, possui um valor de média que é cerca do dobro dos outros (10,01 horas), que pode ter sido provocado por um ensaio que teve uma duração superior a 15 horas.

ANOVA

Ao realizar o teste de análise de variância ANOVA, obteve-se um p-valor de 0,00056 sendo, claramente, inferior ao nível de significância standard de 5%. Logo, rejeita-se que todas as médias das populações subjacentes possam ser iguais.

Realizaram-se então testes de hipóteses de comparação de médias par a par, para confirmar o que seria melhor.

Produto 1 Vs. Produto 2

Ao realizar os testes de hipóteses para comparação de variâncias e de médias, obteve-se um p-valor superior a 0,05 para a comparação de variâncias e, sendo assim, aceita-se a hipótese H_0 , o que indica que têm a mesma variabilidade no processo. Já para o teste de hipótese para as médias, este indica que se deve rejeitar a hipótese H_0 , pois o seu p-valor é inferior a 0,05. Conclui-se assim que não se pode considerar que os dois produtos têm médias iguais.

Produto 1 Vs. Produto 3

Em relação ao produto 1 e produto 3, pode-se considerar que possuem a variabilidade de processo próxima e as médias semelhantes pois os p-valores dos dois testes

deram valor superior ao nível de significância padrão de 0,05. Dessa forma, o produto 3 será, neste aspeto, uma opção a ter em conta para substituição do produto 1.

Produto 2 Vs. Produto 3

Neste caso, os resultados foram iguais aos do primeiro ponto. Isto é, aceitar H_0 para o teste de comparação de variâncias e rejeitar a hipótese nula para o de comparação de médias.

No caso dos ensaios de corrosão, apesar do produto 3 ser o que possui resultados mais próximos do produto 1, que é o produto atual, não seria a escolha indicada. Nos ensaios de corrosão querem-se durações altas, uma vez que isso pode significar uma boa lubrificação do material. Ou seja, quanto maior a duração, melhor foi a lubrificação. Dessa forma, considera-se que o produto 2 é o melhor nesta variável, apesar da proximidade existente entre o produto 1 e o produto 3.

Na Tabela 5.4 encontra-se um resumo dos resultados dos p-valores e as decisões tomadas.

Tabela 5.4-Resumo dos resultados e decisões para os ensaios de corrosão

	<i>Teste</i>	<i>p-valor</i>	<i>Aceita-se H_0</i>	<i>Rejeita-se H_0</i>
<i>P1-P2</i>	média	$3,71 \times 10^{-3}$		X
	variância	0,0816	X	
<i>P1-P3</i>	média	0,7341	X	
	variância	0,9544	X	
<i>P2-P3</i>	média	$2,765 \times 10^{-3}$		X
	variância	0,0956	X	

5.5. Ensaios de tração

5.5.1. Resistência mecânica

Relativamente à resistência mecânica, já foi dito anteriormente que esta aumenta com o processo de trefilagem.

É possível observar através dos diagramas de extremos e quartis contidos na Figura 5.7, que as amostras dos três produtos possuem medianas diferentes.

O produto 2 apresenta uma grande assimetria, o que pode indicar que os dados podem não ser normalmente distribuídos. O ideal seria ter mais valores, no entanto, como se trata de um dos produtos substituto, tal não é possível.

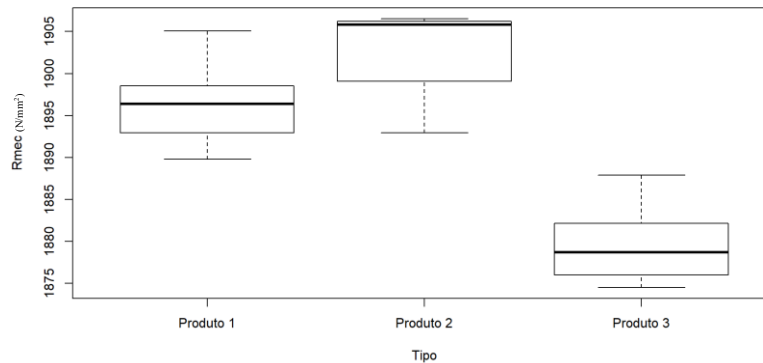


Figura 5.7-Diagrama de extremos e quartis da resistência mecânica

Nos histogramas que se encontram na Figura 5.8, é possível observar que o produto 3 é o que possui valores mais baixos de resistência mecânica. Apesar do produto 1 e do produto 2 apresentarem valores na amostra mais elevados, é possível dar conta de que o produto 2 possui valores mais elevado em relação ao produto 1.

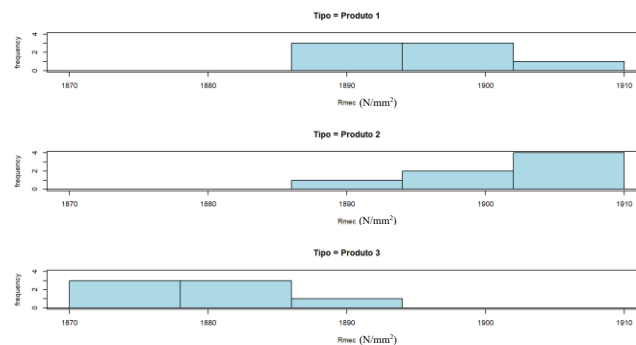


Figura 5.8-Histogramas de cada produto relativos à resistência mecânica

Em termos de médias das amostras, são todas aproximadas tendo elas os seguintes valores: produto 1 tem $1896,3 \text{ N/mm}^2$; produto 2 tem 1902 N/mm^2 , 3; por último, produto 3 tem $1879,6 \text{ N/mm}^2$. O ideal, será o que tem os valores mais elevados, ou seja, o produto 2.

ANOVA

No final da análise de variância ANOVA, obteve-se um p-valor muito inferior a 0,05, sendo ele $5,51 \times 10^{-7}$, logo rejeita-se a hipótese nula. Sendo assim, não é possível

assumir que as médias das populações subjacentes são iguais, ou seja, não podemos assumir que é indiferente usar qualquer um dos produtos. De seguida, irão ser apresentados os testes de hipóteses de comparação de médias e de variâncias realizados par a par.

Produto 1 Vs. Produto 2

Após os testes de hipótese de comparação de variâncias e de médias, obtiveram-se p-valores superiores a 0,05, ou seja, aceita-se a hipótese H_0 de igualdade para a média e para a variância. Sendo assim, o produto 1 e o produto 2 possuem a mesma variabilidade no processo, uma vez que se aceita a hipótese H_0 para o teste da variância. Como no teste da média também se aceita a hipótese nula, significa que o produto 1 e o produto 2 em termos médios desta característica são aproximadamente iguais.

Produto 1 Vs. Produto 3

Da mesma maneira que foi feito para o produto 1 e produto 2, também se fez para o produto 1 com o produto 3.

Neste caso, obteve-se um p-valor de 0,9636 para o teste da variância. Dessa forma, aceita-se claramente H_0 , mostrando que estes produtos possuem a mesma variabilidade. Já no caso do teste de hipótese para a média, o p-valor é inferior ao nível de significância fixado, logo rejeita-se H_0 , o que significa que não é possível assumir que os dois produtos são semelhantes no que respeita à média desta característica. No entanto, como o produto 3 possui um valor de média mais baixo, significa que este é pior em relação ao produto 1.

Produto 2 Vs. Produto 3

Concluídos os testes, tal como aconteceu no caso anterior, aceita-se a hipótese H_0 para o teste de hipóteses para comparação de variância, com um p-valor de 0,8766. Sendo assim, aceita-se que possuam a sua variabilidade de processo semelhantes. Em relação ao teste de hipóteses para comparação de médias, rejeita-se H_0 , uma vez que o p-valor é inferior a 0,05. Como o valor da média do produto 2 é superior, o produto 3 é novamente o pior.

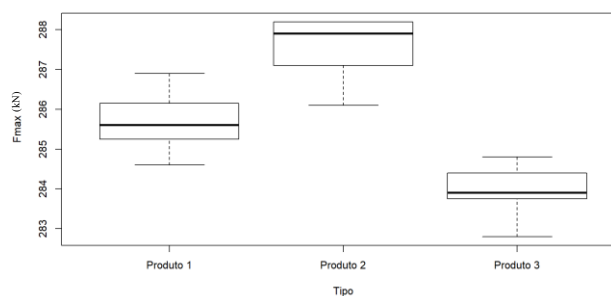
Apresenta-se de seguida na Tabela 5.5 um resumo dos testes de hipóteses par a par para a resistência mecânica.

Tabela 5.5-Resumo dos resultados e decisões para a resistência mecânica

	<i>Teste</i>	<i>p-valor</i>	<i>Aceita-se H₀</i>	<i>Rejeita-se H₀</i>
<i>P1-</i>	média	0,0564	X	
<i>P2</i>	variância	0,9127	X	
<i>P1-</i>	média	$5,1810 \times 10^{-5}$		X
<i>P3</i>	variância	0,9636	X	
<i>P2-</i>	média	$3,2970 \times 10^{-6}$		X
<i>P3</i>	variância	0,8766	X	

5.5.2. Força máxima

Em relação à força máxima, é possível observar na Figura 5.9 através dos diagramas de extremos e quartis seguinte que as medianas dos três produtos são diferentes. Tal como aconteceu na resistência mecânica, o produto 2 é o que possui valores mais elevados para a força máxima e o produto 3 os valores mais baixos. O produto atual, que é o produto 1, encontra-se com valores entre os do produto 2 e do produto 3, tudo isto no que respeita às amostras analisadas.

**Figura 5.9-Diagrama de extremos e quartis da força máxima**

Já através dos histogramas na Figura 5.10, é possível observar que a amostra do produto 1 possui alguma simetria, o que significa que os dados podem eventualmente ser normalmente distribuídos. Já o produto 2 e o produto 3 apresenta uma assimetria à esquerda, no entanto, o produto 2 apresenta uma assimetria à esquerda com valores mais elevados.

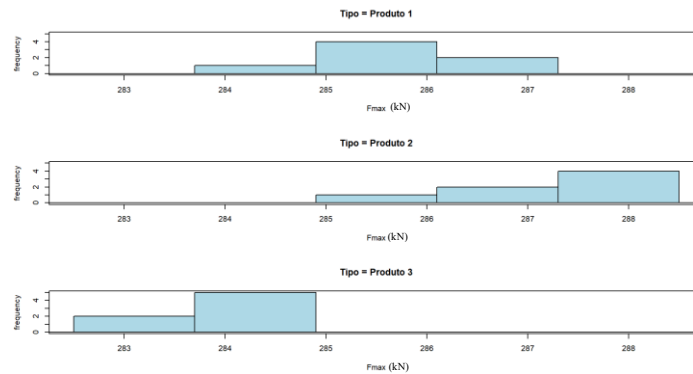


Figura 5.10-Histogramas de cada produto relativos à força máxima

Em relação aos valores das médias das amostras, todos possuem valores muito próximos. O produto 2 é o que possui valor mais alto, sendo ele 287,54 kN. Já o produto 1 e o produto 3 possuem valores próximos, 285,70 kN e 283,97 kN, respectivamente. Sendo assim, numa primeira análise, o produto 2 é considerado o melhor neste aspeto.

ANOVA

Após o teste de análise de variância ANOVA, obteve-se um p-valor de 0,000000385, o que significa que se rejeita H_0 . Sendo assim, não é possível afirmar que é indiferente, em termos médios, qual produto se usa.

Para esta variável, todos os testes de hipóteses para a comparação de variâncias e para a comparação de médias, para todos os 3 pares que se podem formar com os 3 produtos, resultaram na mesma decisão, decisão essa que é a rejeição da hipótese H_0 para a igualdade de médias e a aceitação da hipótese H_0 para a igualdade de variâncias. Conclui-se então que todos os produtos possuem uma variabilidade de processo muito semelhante, o que significa que o valor do seu desvio padrão é muito próximo.

Em resumo, apresenta-se na Tabela 5.6, os níveis de significância observados para todos os testes de comparação de médias e variâncias de todos os pares considerados.

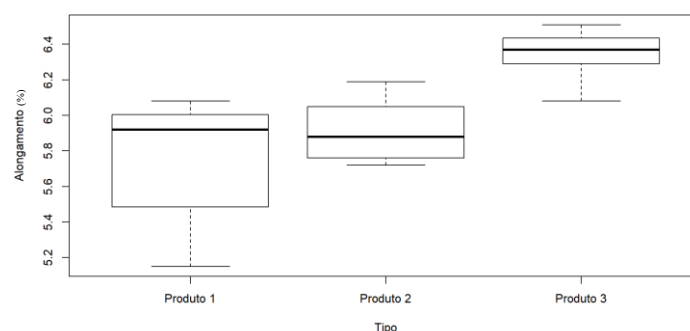
Tabela 5.6-Resumo dos resultados e decisões para a força máxima

	<i>Teste</i>	<i>p-valor</i>	<i>Aceita-se H_0</i>	<i>Rejeita-se H_0</i>
<i>P1-P2</i>	média	$1,1 \times 10^{-3}$		X
	variância	0,957	X	
<i>P1-P3</i>	média	$1,059 \times 10^{-3}$		X
	variância	0,6453	X	
<i>P2-P3</i>	média	$1,138 \times 10^{-6}$		X
	variância	0,6841	X	

Através dos valores do p-valor, é possível observar que o maior p-valor nos testes de comparação das médias, é o do produto 1 com o produto 2. Logo, é o que está mais perto de ser verdade. Então, o produto 2 volta a ser o mais próximo das características do produto 1, apesar de, estatisticamente, não se poder concluir a igualdade de médias.

5.5.3. Alongamento

Relativamente ao alongamento, é possível ver nos diagramas de extremos e quartis da Figura 5.11, que o produto 1 e o produto 2 possuem medianas muito próximas. No entanto, o produto 1 possui um valor mínimo muito baixo, o que pode alterar resultados. O produto 3 é o produto que possui valores do alongamento mais elevados.

**Figura 5.11-Diagrama de extremos e quartis do alongamento**

Nos histogramas da Figura 5.12, é possível ver que existem valores no produto 1 aparentemente diferentes dos restantes como já tinha sido possível aferir no diagrama anterior. Apesar disso, os valores de medida de tendência central são mais próximos entre o

produto 1 e o produto 2, o que significa que com a utilização do produto 2 é possível obter características semelhantes às características que se obtêm com o produto atual.

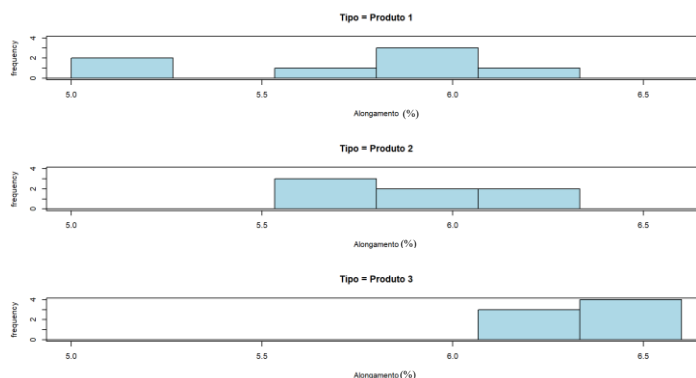


Figura 5.12-Histogramas de cada produto relativos ao alongamento

Em relação ao valor das médias das amostras, o produto 1 e o produto 2 são os produtos com as médias mais próximas, sendo 5,7328% e 5,9157%, respetivamente. No entanto, o produto 3 é o que possui valores mais elevados. Sendo o objetivo do trabalho encontrar um produto que tenha os mesmos resultados ou melhores do que o produto atual, é possível considerar, nesta análise prévia apenas baseada na observação das amostras, que neste aspeto quer o produto 2 quer o produto 3 cumprem esse objetivo.

ANOVA

No final da análise de variância ANOVA para esta variável, obteve-se um p-valor muito inferior a 0,05 logo, rejeita-se a hipótese nula. Sendo assim, não é possível assumir que as médias das populações em questão são iguais, ou seja, não é possível assumir que é indiferente usar qualquer um dos produtos.

De seguida, irá inferir-se acerca das populações subjacentes, realizando testes de comparação de médias, para todos os pares de variáveis.

Produto 1 Vs. Produto 2

Após realizar os testes para esta variável, obteve-se um p-valor para o teste de hipótese de comparação de médias e de variâncias superior ao nível de significância 0,05, o que significa que se aceita H_0 . Dessa forma, indica que as características do produto 1 e do produto 2 são muito parecidas em termos médios e possuem variabilidades do processo próximas.

Produto 1 Vs. Produto 3

Já para o produto 1 e o produto 3, conclui-se que não são semelhantes, uma vez que se rejeita H_0 para os testes de hipóteses de comparações de médias e de variâncias. No entanto, não quer dizer que o produto 3 seja uma má opção, uma vez que este possui valores superiores. Ao possuir valores superiores e diferentes, já era de esperar que o teste de hipótese desse este resultado. No entanto, para tomar uma decisão, é preciso ter em conta que podem existir limites para o produto em termos desta característica.

Produto 2 Vs. Produto 3

Por último, o produto 2 e o produto 3, possuem a mesma variabilidade de processo, uma vez que se aceita H_0 no teste referente às variâncias. Já no teste de comparação das médias, rejeita-se H_0 , ou seja, os produtos são diferentes no que diz respeito a esta medida de tendência central. No entanto, como já foi dito anteriormente, o produto 3 tem valores de alongamento mais elevados, o que pode causar este resultado já que o produto 1 e o produto 2 são parecidos.

De seguida encontra-se na Tabela 5.7 um resumo com os p-valores obtidos em todos os ensaios e as decisões tomadas.

Tabela 5.7-Resumo dos resultados e decisões para o alongamento

	<i>Teste</i>	<i>p-valor</i>	<i>Aceita-se H_0</i>	<i>Rejeita-se H_0</i>
<i>P1-P2</i>	média	0,2927	X	
	variância	0,126	X	
<i>P1-P3</i>	média	$5,186 \times 10^{-3}$		X
	variância	$2,826 \times 10^{-2}$		X
<i>P2-P3</i>	média	$6,081 \times 10^{-4}$		X
	variância	0,4471	X	

5.5.4. Limite elástico

Relativamente ao limite elástico, observa-se na Figura 5.13 através dos diagramas de extremos e quartis, construído a partir das amostras, que o produto 1 é o produto que possui valores mais elevados do limite elástico. De seguida, encontra-se o produto 2, apresentando um *outlier*. O produto 3 é o que possui valores mais baixos, sendo

possível observar que apresenta uma dispersão de valores na amostra muito elevada (com as consequências que isso acarreta em termos de sua utilização), uma vez que o seu mínimo e o seu máximo são muito distantes. As medianas dos três produtos são diferentes, no entanto o que se encontra mais próximo é o produto 2.

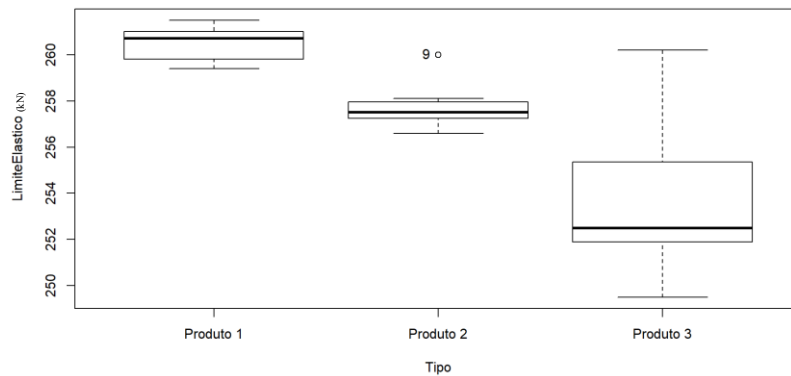


Figura 5.13-Diagrama de extremos e quartis relativos ao limite elástico

Tendo em conta os histogramas da Figura 5.14, é possível observar que o produto 3 possui valores muito dispersos, o que não dá garantias. Já o produto 1 e o produto 2 encontram-se muito próximos e com resultados regulares e superiores ao produto 3.

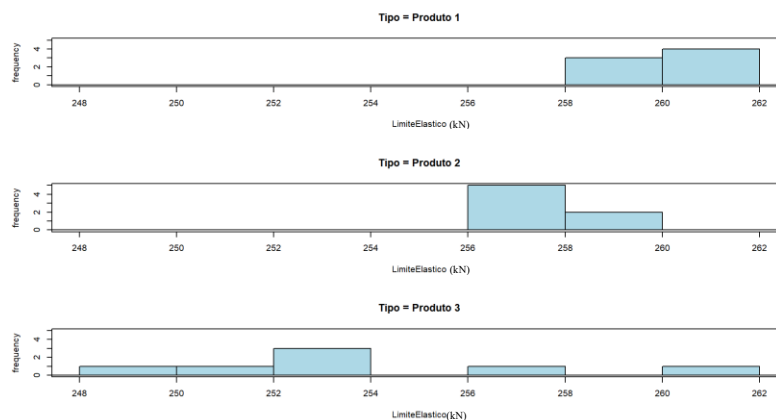


Figura 5.14-Histogramas de cada produto relativos ao limite elástico

Em termos de médias das amostras, o produto 1 (260,4571 kN) é mais próximo do produto 2 (257,7857 kN) do que do produto 3 (253,8143 kN), o que indica que o produto 2 seria o melhor.

ANOVA

De forma a validar as conjeturas realizadas na fase da estatística descritiva, depois de realizar a análise de variância ANOVA, obteve-se um p-valor de 0,000113 o que significa que se rejeita a hipótese H_0 . Sendo assim, não é possível afirmar que, em termos

médios, a utilização de qualquer um dos produtos é indiferente. Portanto, realiza-se uma análise para comparação de médias das variáveis em causa par a par.

Produto 1 Vs. Produto 2

Realizando os testes para o produto 1 e o produto 2, obteve-se um p-valor de 0,4749 para o teste de comparação de variâncias, logo aceita-se H_0 . Dessa forma, é possível concluir que o produto 1 e o produto 2 não possuem variabilidades de processo diferentes. Já no teste de comparação das médias recusa-se H_0 , o que indica que não é indiferente usar um produto ou o outro.

Produto 1 Vs. Produto 3

Como era de esperar, nos testes de hipótese para o produto 1 e o produto 3, obtiveram-se p-valores inferiores a 0,05 quer para a comparação de médias quer para a comparação de variâncias. Sendo assim, rejeita-se a hipótese H_0 para os dois testes. Logo, não possuem a mesma variabilidade nem se torna indiferente, em termos médios, a utilização de um produto ao outro.

Produto 2 Vs. Produto 3

Tal como aconteceu anteriormente, os resultados obtidos nestes testes resultaram em decisões iguais ao caso anterior. Sendo assim, não é indiferente utilizar o produto 2 ou o produto 3 uma vez que as suas médias não podem ser consideradas aproximadamente iguais e as suas variâncias não são também iguais, o que significa que têm uma variabilidade significativamente diferente.

Em resumo, apresenta-se na Tabela 5.8, os p-valores obtidos para todos os testes de comparação de médias e variâncias de todos os pares considerados e respetivas decisões.

Tabela 5.8-Resumo dos resultados e decisões para o limite elástico

	<i>Teste</i>	<i>p-valor</i>	<i>Aceita-se H_0</i>	<i>Rejeita-se H_0</i>
<i>P1-P2</i>	média	$2,135 \times 10^{-4}$		X
	variância	0,4795	X	
<i>P1-P3</i>	média	$2,488 \times 10^{-3}$		X
	variância	0,0193		X
<i>P2-P3</i>	média	0,0271		X
	variância	0,0100		X

5.6. Discussão de resultados

Finalizados todos os testes estatísticos, pode-se agora analisar conjuntamente os resultados. Ao rever todos os testes de hipóteses realizados, espera-se que seja possível concluir qual dos produtos substitutos seria uma melhor opção.

É de salientar que, de acordo com os objetivos do trabalho de investigação, o ideal seria encontrar um produto com que fosse possível obter os mesmos resultados ou até melhores. Desse modo, poderá haver casos em que o produto mais parecido ao atual não será a melhor escolha visto que o outro produto substituto poderá possuir valores mais elevados na variável em questão. Dessa forma, não basta analisar só os testes de comparação de médias e variâncias, mas também o contexto em que está inserido.

Segue-se de seguida na Tabela 5.9, um resumo onde está assinalado com um “✓” quando é verificada estatisticamente a igualdade de parâmetros (média ou variância) e com “✗” quando as conclusões estatísticas levam à decisão contrária.

Tabela 5.9-Decisões tomadas para todas as variáveis

		<i>ANOVA</i>	<i>P1-P2</i>	<i>P1-P3</i>	<i>P2-P3</i>
<i>Temperatura</i>	Variâncias semelhantes		x	x	x
	Médias semelhantes	x	x	x	x
<i>Pot/motor</i>	Variâncias semelhantes		✓	✓	✓
	Médias semelhantes	✓	✓	✓	✓
<i>Corrosão</i>	Variâncias semelhantes		✓	✓	✓
	Médias semelhantes	x	x	✓	x
<i>Resistência Mecânica</i>	Variâncias semelhantes		✓	✓	✓
	Médias semelhantes	x	✓	x	x
<i>Força Máxima</i>	Variâncias semelhantes		✓	✓	✓
	Médias semelhantes	x	x	x	x
<i>Alongamento</i>	Variâncias semelhantes		✓	x	✓
	Médias semelhantes	x	✓	x	x
<i>Limite Elástico</i>	Variâncias semelhantes		✓	x	x
	Médias semelhantes	x	x	x	x

Quando se efetuam testes de comparação de médias par a par, nos casos em que se rejeita a hipótese nula de igualdade de médias, será importante saber qual das duas médias populacionais é superior. Para tal, basta observar as médias amostrais e a que for superior corresponderá também na população a uma média superior.

Posto isto, através da tabela anterior, é possível observar que todos os testes de hipóteses de comparação de médias e variâncias deram p-valores inferiores ao nível de significância standard, para a variável da temperatura. Isto significa que a comparação terá de ser feita através do valor das médias.

Como já foi dito anteriormente, através da temperatura é possível averiguar se o fio-máquina possui uma boa lubrificação. Isto porque o neutralizante deve ajudar na lubrificação juntamente com o pó de sabão presente nas trefiladoras. Sendo assim, quanto melhor for a lubrificação, menor vai ser o atrito entre o fio-máquina e a fieira, resultando em temperaturas mais baixas. Sendo assim, o melhor produto é o produto 2, o produto da Henkel, com uma média de 126,28°C.

Relativamente à potência por motor, é possível concluir que os três produtos são aproximadamente iguais uma vez que na análise de variância ANOVA se aceitou a hipótese H_0 . No entanto, como o valor das potências é tirado num certo intervalo de tempo, pode afetar os resultados. Em relação à potência total consumida, como já foi dito anteriormente, o produto 2 é o melhor, pois tem um valor total inferior.

É possível também observar na tabela que na variável da corrosão, o produto mais próximo do produto atual, é o produto 3, uma vez que através dos testes de hipóteses de comparação de médias e variâncias, é possível assumir que têm a mesma variabilidade e médias próximas. No entanto, como já foi dito anteriormente, este é um ensaio importante onde os resultados superiores serão os melhores. Sendo assim, o produto 2 torna-se o melhor em termos de resultados em vez do produto 3, que era o mais parecido ao atual.

Já para a resistência mecânica, o produto que é mais parecido com o produto atual é o produto 2 visto que possuem variâncias e médias aproximadas, de acordo com os testes de hipóteses de comparação de médias e variâncias. Posto isto, o melhor produto para esta variável é o produto 2.

De seguida, para a força máxima, através dos testes de hipóteses para comparação de médias e variâncias é possível concluir que os três produtos possuem variabilidades semelhantes. Dessa forma, conclui-se, através das médias que o melhor produto é o 2 uma vez que este é o que possui a média mais elevada.

Em relação ao alongamento, o produto que mais se assemelha ao produto atual é o produto 2, conclusão possível de tirar através dos testes de hipóteses de comparação de médias e variâncias. No entanto, o produto 3 possui uma média de valores de alongamento superior, logo seria o melhor produto.

A última variável é o limite elástico, onde é possível concluir, através dos testes de hipóteses de comparação de médias e variâncias, que o produto 1 e o produto 2 possuem variabilidade de processo próximas. No entanto, através dos valores das médias, é possível

saber que o produto atual é o que possui valores mais altos. Desse modo, nesta variável, o produto 1 é o melhor.

Encontra-se na Tabela 5.10, um resumo com as decisões finais tomadas, de forma a ser mais fácil a sua percepção. Está assinalado com “✓” na coluna que corresponde à melhor opção na variável em questão.

Tabela 5.10-Decisões relativas a cada produto

	<i>Produto 1</i>	<i>Produto 2</i>	<i>Produto 3</i>
<i>Temperatura</i>		✓	
<i>Potência</i>		✓	
<i>Corrosão</i>		✓	
<i>Resistência Mecânica</i>		✓	
<i>Força Máxima</i>		✓	
<i>Alongamento</i>			✓
<i>Limite Elástico</i>	✓		

Em suma, analisando todas as decisões, é possível aferir que o produto 2 é o melhor em cinco variáveis num total de sete. Sendo assim, é possível considerar que o melhor produto substituto após as análises estatísticas é o produto 2.

Outro aspeto importante de se avaliar seria o preço do produto e a quantidade utilizada por ano. Acerca do produto atual, sabe-se que no ano de 2021 foram utilizados cerca de 30000 Kg. A última compra deste produto foi feita a custar 4,61€/Kg. Já o produto 2 custou 3,75€/Kg e o produto 3 custou 4,51€/Kg. Tirando conclusões apenas comparando preços, o produto 2 seria novamente o melhor visto ser o mais barato. No entanto, seria necessária uma avaliação em termos de quantidades necessárias para poder ser feita uma comparação mais concreta.

6. CONCLUSÕES

Com o regulamento REACH, surgem novas questões para várias empresas, como é o caso da Fapricela S.A.. O regulamento REACH tem o poder de restringir a utilização de algumas substâncias químicas. Desse modo, surgiu este trabalho de investigação, que teve como objetivo encontrar um produto substituto que contribuísse para um produto final com as mesmas características que possuem atualmente com a utilização do Bórax Decahidratado, no processo da decapagem química, uma etapa muito importante na empresa.

Consequentemente, foram identificadas quais as características importantes para a tomada de decisão acerca dos produtos substitutos. Deste modo, este trabalho de investigação teve como intuito a recolha de dados e posterior análise para ser possível comparar as características obtidas no produto final.

De forma a cumprir o objetivo, foi necessário realizar medições de temperaturas numa máquina trefiladora e ensaios no laboratório de controlo de qualidade. O controlo de qualidade teve um papel importante na caracterização dos produtos substitutos uma vez que através destes ensaios eram retirados dados importantes para ajudar na decisão da escolha do novo produto. Através do controlo de qualidade, foi possível relacionar as características de todos os produtos de forma a poder tirar uma conclusão.

Para recolher os dados, recorreram-se a processos diferentes desde recolha contínua de valores de temperatura, fotografias da potência consumida e realização de ensaios de corrosão e de tração. Posteriormente, fez-se uma análise dos dados recolhidos que passou pela utilização do Microsoft Excel e do software *Rstudio*.

A análise de dados consistiu na análise de variância ANOVA, para comparar todos os produtos entre si e realização de testes de hipóteses de comparação de médias e variâncias comparando par a par, quando necessário. Deste modo, foi possível aferir quais produtos eram parecidos e cumpriram com o objetivo do projeto: encontrar um produto substituto que permitisse que o produto final (cordão de 7 fios) tivesse as mesmas características ou melhores do que tem com o produto atualmente utilizado no processo da decapagem química.

Ao longo da recolha de dados foram surgindo alguns problemas, principalmente com a recolha dos dados relativos à potência consumida uma vez que não havia um modo de conseguir medir a potência de forma contínua, sabendo ao certo o seu consumo. Outro problema foi também a dimensão das amostras, isto é, deveriam ser realizados mais ensaios e durante mais tempo, possuindo assim um tamanho de amostra mais elevado. Desta forma, os resultados seriam mais fiáveis.

Apesar dos contratempos, foi possível obter um produto que permitia que o produto final tivesse as mesmas características e, em alguns casos, melhores ainda do que atualmente.

Se a empresa continuar com o estudo em questão, seria interessante a existência de um modo de medição contínuo da potência, pois tornaria a sua recolha mais fácil e mais concreta. Outra sugestão seria utilizar os produtos substitutos durante mais tempo, permitindo assim a realização de mais ensaios, mais controlo de variáveis e tornaria possível uma avaliação mais profunda em relação à quantidade que seria necessário consumir, relacionando com o preço de cada produto. Desse modo, seria possível, por exemplo, ao final de um mês com cada produto, calcular qual ficaria mais barato.

Em suma, todas as empresas devem estar preparadas para obstáculos que possam surgir no mundo industrial. Neste caso, a Fapricela S.A. já se está a precaver caso o regulamento REACH venha a afetar o seu funcionamento.

REFERÊNCIAS

- Agência Portuguesa do Ambiente.* (s.d.). Obtido em 7 de março de 2022, de <https://apambiente.pt/prevencao-e-gestao-de-riscos/registo-avaliacao-autorizacao-e-restricao-reach>
- ECHA.* (s.d.). Obtido em 12 de maio de 2022, de ECHA's approach to transparency: <https://echa.europa.eu/pt/about-us/the-way-we-work/procedures-and-policies/transparency>
- ECHA-Acerca da ECHA.* (s.d.). Obtido em 15 de março de 2022, de <https://echa.europa.eu/pt/about-us>
- ECHA-Compreender o Regulamento REACH.* (s.d.). Obtido em 30 de março de 2022, de <https://echa.europa.eu/pt/regulations/reach/understanding-reach>
- ECHA-Infomação da substância.* (s.d.). Obtido em 4 de abril de 2022, de <https://echa.europa.eu/pt/substance-information/-/substanceinfo/100.129.152>
- ECHA-Lista de substâncias que suscitam elevada preocupação candidatas a autorização.* (s.d.). Obtido em 30 de março de 2022, de https://echa.europa.eu/pt/candidate-list-table?p_p_id=disslists_WAR_disslistsportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&_disslists_WAR_disslistsportlet_javax.portlet.action=searchDissLists
- Regulamento (CE) nº1907/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho de 18 de dezembro de 2006. (s.d.). Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia.
- Regulamento REACH-Autorização.* (s.d.). Obtido em 16 de março de 2022, de <https://echa.europa.eu/pt/substances-of-very-high-concern-identification-explained>
- Regulamento REACH-Avaliação.* (s.d.). Obtido em 16 de março de 2022, de <https://echa.europa.eu/pt/regulations/reach/evaluation>
- Regulamento REACH-Registo.* (s.d.). Obtido em 16 de março de 2022, de <https://echa.europa.eu/pt/regulations/reach/registration>
- Regulamento REACH-Restrição.* (s.d.). Obtido em 16 de março de 2022, de <https://echa.europa.eu/pt/regulations/reach/restriction>
- Soares, P. (2010). *Aços: Características e Tratamentos*. 6ª Edição, Publindustria.

União Europeia-Agência Europeia de Produtos Químicos (ECHA). (s.d.). Obtido em fevereiro de 2022, de <https://apambiente.pt/prevencao-e-gestao-de-riscos/registo-avaliacao-autorizacao-e-restricao-reach>

Wright, R. N. (2011). *Wire Technology: Process Engineering and Metallurgy*. 1ª Edição, Butterworth-Heinemann.

ANEXO A

```
Console Background Jobs x
```

R 3.4.3 · C:/Users/Ana Filipa/Desktop/ESTÁGIO/Testes de Hipóteses/Testes R/

```
> #Análise de Variância (comparação das 3 médias simultaneamente)
> modelo <- aov(Temperatura ~ Tipo, data=Temp)
> summary(modelo)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tipo	2	78946	39473	1763	<2e-16	***
Residuals	3855	86329	22			

```
---
```


ANEXO B

```
Console | Background Jobs x
R 3.4.3 · C:/Users/Ana Filipa/Desktop/ESTÁGIO/Testes de Hipóteses/Testes R/
> #comparação de variâncias num par (neste caso Produto 1 Vs. Produto 2)
> var.test(Temp12 ~ Tipo12, data = Temp, alternative = "two.sided")

F test to compare two variances

data: Temp12 by Tipo12
F = 0.74703, num df = 1285, denom df = 1285, p-value = 0.0000001818
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.6696202 0.8333982
sample estimates:
ratio of variances
 0.7470343
```

ANEXO C

```
Console Background Jobs x
R 3.4.3 · C:/Users/Ana Filipa/Desktop/ESTÁGIO/Testes de Hipóteses/Testes R/
> #comparaçãoo de médias num par (neste caso Produto 1 Vs. Produto 2) (colocar
  TRUE se p-valor do teste anterior for >0.05)
> t.test (Temp12 ~ Tipo12, var.equal=FALSE, data = Temp)

welch Two Sample t-test

data: Temp12 by Tipo12
t = 57.414, df = 2517.2, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 9.878144 10.576755
sample estimates:
mean in group Produto 1 mean in group Produto 2
      136.5085              126.2810
```

APÊNDICE A

The screenshot displays the Microsoft Excel interface. The ribbon is set to 'Base', showing options for 'Colar' (Paste) and 'Área de Transferência' (Transfer Area). The font settings are 'Calibri', size '11'. The active cell is H6. The data table is as follows:

	A	E	F	G	H	I	J	K
1		Bórax Decahidratdo						
2		Time	°C					
3		11:51:35	130,1					
4		11:51:45	129,8					
5		11:51:55	126,7					
6		11:52:05	128,8					
7		11:52:15	131,4					
8		11:52:25	133,9					
9		11:52:35	139,3					
10		11:52:45	132,5					
11		11:52:55	134,7					
12		11:53:05	138,2					
13		11:53:15	140,2					
14		11:53:25	142,1					
15		11:53:35	146,6					
16		11:53:45	140,9					
17		11:53:55	135					
18		11:54:05	139,3					
19		11:54:15	139,5					
20		11:54:25	135,8					
21		11:54:35	134,4					
22		11:54:45	140,1					
23		11:54:55	129,6					
24		11:55:05	134,9					

The bottom of the window shows the status bar with 'Pronto' and 'Acessibilidade: investigue'.

APÊNDICE B

19ª medição	20ª medição	21ª medição	22ª medição	23ª medição	24ª medição	25ª medição	Média/motor
61,908	61,1688	66,4884	64,2048	72,3756	59,8356	59,7564	63,85896
78,408	68,31	73,3524	76,89	81,444	72,006	68,1252	75,660816
61,6308	70,3428	76,4544	82,632	83,6748	68,574	71,5968	72,510768
75,8472	72,4812	81,8796	78,3816	81,8268	73,4052	70,3956	76,454928
62,0664	65,6172	80,7444	77,8932	88,5588	76,23	75,7416	72,974352
63,1752	67,9536	77,8668	65,9472	69,7752	66,7392	70,6992	71,893008
75,0684	74,9892	82,5	76,1772	73,0884	70,5012	66,924	74,449584
72,0852	66,3564	74,382	69,4716	73,062	75,7152	71,478	70,491168
56,5884	46,8732	54,3576	60,2184	58,8588	61,2612	57,2748	55,922592
60,6936	59,43828	66,81312	65,20404	68,28624	62,49276	61,23348	

APÊNDICE C

A	B	C	D	E	F	G
	Vazamento	Nº Amostra	Média Força Máx (kN)	Data/Hora Início	Data/Hora Fim	Tempo Total
	111911	1	285,3	03/04/2022 23:19	04/04/2022 03:11	03:52
	111911	2	285,3	04/04/2022 16:02	04/04/2022 20:18	04:16
	111911	3	285,3	05/04/2022 12:11	05/04/2022 17:53	05:42
	111911	4	284,6	06/04/2022 11:19	06/04/2022 17:48	06:29
	111911	5	284,6	07/04/2022 12:14	07/04/2022 16:15	06:46
	111911	6	284,6	08/04/2022 10:34	08/04/2022 19:00	05:41

APÊNDICE D

A	B	C	H	I	J	K	L	M	P	
	Vazamento	Nº Série	Secção real	Passo	Flecha	Força Máxima (kN)	N/mm ²	LE 0,1% (KN)	Agt (%)	Ep (K
	111911	70664	150,5986	244	3	284,6	1889,792	258,1	5,74	19
	111911	70665	150,8706	244	3	286,7	1900,304	260	5,88	19
	111911	70666	150,3621	244	3	285,2	1896,755	257,5	6,19	19
	111911	70667	150,6015	244	3	285,6	1896,396	257,4	6,19	19
	111911	70668	150,8207	244	3	285,6	1893,639	256,6	5,91	19
	111911	70669	150,5965	244	3	286,9	1905,091	257,8	5,78	19
	111911	70670	150,7708	244	3	285,3	1892,276	257,1	5,72	19