



**Universidade de Aveiro**  
**2016**

Departamento de Química

**Nuno Alexandre  
Costa Matos**

**Otimização de pastas de moagem no fabrico de  
corantes – Corporação Industrial do Norte, S.A.**



**Universidade de Aveiro**  
**2016**

Departamento de Química

**Nuno Alexandre  
Costa Matos**

**Otimização de pastas de moagem no fabrico de  
corantes – Corporação Industrial do Norte, S.A.**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia, realizada sob a orientação científica do Eng.º Pedro Cruz, Diretor de Produção na Corporação Industrial do Norte, S.A. (CIN) e coorientação do Doutor João António Baptista Pereira de Oliveira, Professor Associado do Departamento de Química da Universidade de Aveiro.

## **o júri**

presidente

**Francisco Avelino da Silva Freitas**

Professor auxiliar – Departamento de Química - Universidade de Aveiro – fsilva@ua.pt

**Pedro Miguel de Fernandes Cruz**

Coordenador de Projetos Industriais – CIN – Corporação Industrial do Norte –

Pedro.Cruz@cin.pt

**Paula Alexandrina de Aguiar Pereira Marques**

Investigador Principal – Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade de Aveiro – paulam@ua.pt

## **Agradecimentos**

Quero agradecer em primeiro lugar aos meus familiares pelo apoio incondicional, estiveram sempre disponíveis para me ajudar, especialmente os meus pais por me terem possibilitado estes anos de formação com muitos sacrifícios e à minha namorada por toda a paciência e apoio demonstrado.

Agradeço profundamente à Eng.<sup>a</sup> Joana Monteiro, e ao Eng.<sup>o</sup> Pedro Cruz por todos os conselhos, orientação e motivação dada ao longo do trabalho realizado e pela confiança depositada em todo o meu trabalho. Um agradecimento especial ao meu orientador académico, Prof. João Oliveira, por todos os conselhos e apoio prestado.

Ao staff do Laboratório de Inspeção Final, um sincero obrigado por terem sido bastante prestáveis, ajudaram muito no tratamento dos resultados obtidos.

Um grande obrigado também a toda equipa de produção desde o Encarregado (Sr. Mário Lopes) até aos operadores dos moinhos (Sr. Ricardo Calobra e Sr. Joaquim Moreira)

Agradeço a todos os meus amigos que de certa forma me ajudaram a chegar a esta etapa muito desejada, pois sem eles também não teria sido possível.

A todos um sincero obrigado.

**palavras-chave**

Pasta corantes, otimização, variáveis chave, processo de moagem controlado, redução de tempo.

**Resumo**

No presente trabalho propõe-se a otimização das condições de operação no fabrico de pastas corantes. Este trabalho demonstrará as condições de fabrico iniciais das pastas e as condições de operação atuais, conseguidas através do estudo realizado e das melhorias implementadas.

Foram identificadas e testadas as variáveis chave em diferentes condições: o caudal de operação, reajuste de formulação, processamento das pastas corantes em diferentes moinhos, impacto dos tempos de espera entre etapas e utilização de tanques refrigerados. Posteriormente foi analisado o impacto do seu estudo.

Atualmente o processo de moagem das pastas está controlado, com melhorias significativas, comprovadas pelo indicador de bem à primeira (indicador global de qualidade), tendo este sofrido um incremento de 13%, face ao ano anterior. Verificou-se uma grande redução no tempo de moagem, em cerca de 18%, de uma das pastas mais críticas (FFFFF BBBB) o que traduz ganhos monetários e operacionais bastante relevantes.

Desta forma o projeto proposto foi realizado com sucesso, uma vez que foram cumpridos os objetivos, no prazo estabelecido.

**keywords**

Paste colorants, optimization, key variables, controlled grinding process, time reduction.

**abstract**

The purpose of this work stands with the optimization of the operation conditions in the manufacturing of colorants. This work shows the initial conditions of the production, as well as the current conditions effected by the improvements that were implemented and the study that was executed.

There were identified and tested key variables in different conditions: the liquid flow of the operation, formulation readjustment, the paste colorant processes in different mills, the impacts that waiting times have between steps and the utilization of refrigerated tanks. It was analyzed the impact of these variables posteriorly.

The process of grinding the paste colorants is currently controlled with significant improvements, approved by the global quality indicator (first run yield), having, with that, an increase of 13%, in regards to last year. It was verified that the grinding process time had a considerable reduction, of about 18%, in one of the most critical paste colorants (FFFFFF BBBB), which translate to large monetary and operational gains.

This way the project assigned was a success since the objectives were fulfilled in the established time.

# Índice

1. Introdução .....	1
1.1 Grupo CIN .....	1
2. Enquadramento teórico .....	5
2.1. Componentes de uma tinta: .....	6
2.1.1. Veículo Fixo .....	6
2.1.2. Pigmentos.....	6
2.1.3. Cargas .....	8
2.1.4. Solventes e Diluentes .....	8
2.1.5. Aditivos.....	9
2.2. Processo de fabrico .....	10
2.3. Equipamento .....	12
3. Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes .....	15
3.1. Dispersão.....	15
3.2. Moagem .....	16
3.2.1. Moagem por passagens .....	19
3.2.2. Moagem com recirculação .....	20
4. Metodologia .....	21
4.2. Determinação do grau de dispersão.....	21
4.3. Controlo da força corante .....	22
5. Resultados e Discussão .....	26
5.2. Produto FFFFF BBBB.....	26
5.2.2. Efeito da variação de caudal .....	27
5.2.3. Efeito do reajuste da ordem de introdução de matérias-primas.....	30
5.2.4. Efeito da utilização de tanques refrigerados .....	33
5.2.5. Efeito da alteração do moinho .....	35
5.2.6. Outros parâmetros.....	35
5.3. Produtos FFFFF VVVV; FFFFF ZZZZ; FFFF IIII .....	35
5.3.2. Efeito do tempo de espera entre etapas do processo .....	36
5.3.2.1. FFFFF VVVV.....	36
5.2.1.2. FFFFF ZZZZ .....	39
5.2.1.3. FFFFF IIII.....	42
5.4. Produtos FFFFF AAAA; FFFFF OOOO; FFFFF RRRR.....	45
5.4.2. FFFFF AAAA .....	45

5.4.3. FFFFF OOOO .....	48
5.4.4. FFFFF RRRR .....	50
5.5. Plano de Intervenção Preventiva nos moinhos.....	53
6. Conclusões e Perspetivas futuras.....	56
7. Bibliografia .....	58
Anexos.....	60
Anexo A: Produto FFFFF BBBB .....	62
Anexo B: Produto FFFFF VVVV .....	72
Anexo C: Produto FFFFF ZZZZ.....	75
Anexo D: Produto FFFFF IIII .....	76
Anexo E: Produto FFFFF AAAA .....	78
Anexo F: Produto FFFFF OOOO .....	80
Anexo H: Produto FFFFF RRRR .....	82
Anexo I: Exemplos de Cálculo .....	84
Anexo J: Folha de registo das intervenções preventivas nos moinhos.....	85



## Índice de Figuras

Figura 1 – Organização da unidade de produção da fábrica CIN na Maia. ....	1
Figura 2- Presença do grupo CIN nos vários mercados mundiais. Adaptado de (CIN COATINGS).....	2
Figura 3- Marcas do Grupo CIN. ....	3
Figura 4- Constituintes de uma tinta. Adaptado de (Nogueira, 2009).....	5
Figura 5 – Estruturas pigmentares. ....	7
Figura 6- Diagrama geral do fabrico de tintas. Adaptado de (CIN, 2015) .....	10
Figura 7- Esquema que ilustra o objetivo da dispersão. Adaptado (Nogueira, 2009) .....	11
Figura 8- Exemplos de moinhos de cuba horizontal utilizados no fabrico de tintas. Adaptado de (Harbs, 2014).....	12
Figura 9 – Etapas de fabrico com a área de intervenção do projeto. ....	13
Figura 10- Relação entre o disco e as dimensões da cuba ideais. Adaptado de (Nogueira, 2009)..	16
Figura 11- Problema de floculação detetado num pigmento laranja. Adaptado de (CIN, 2015). ...	18
Figura 12 – Modo de operação por passagens. Adaptado de (NETZSCH, 2010). ....	19
Figura 13 – Modo de operação por recirculação. Adaptado de (NETZSCH, 2010). ....	20
Figura 14- Régua de Hegman .....	22
Figura 15- Sequência utilizada para determinação dos parâmetros controlados. ....	24
Figura 16 – Gráfico que demonstra a evolução da força corante ao longo do tempo de moagem, para os 4 <sup>º</sup> ensaios iniciais. Os 2 primeiros ensaios foram realizados com a bomba a 1498 rpm e os 2 últimos com a bomba a 1000 rpm. ....	27
Figura 17 - Gráfico que demonstra a evolução do grau de moagem ao longo do tempo de operação, para os 4 primeiros ensaios. Os 2 primeiros ensaios foram realizados com a bomba a 1498 rpm e os 2 últimos com a bomba a 1000 rpm. ....	28
Figura 18 – Gráfico que demonstra todos os ensaios realizados, para avaliar a evolução da força corante ao longo do tempo de moagem. ....	29
Figura 19 - Gráfico que demonstra todos os ensaios realizados, para avaliar a evolução do grau de moagem ao longo do tempo de operação.....	29
Figura 20 - Gráfico onde se observa o consumo energético ao longo do tempo dos ensaios. ....	30
Figura 21 – Comparação entre os ensaios utilizando tanque com refrigeração e sem refrigeração, avaliando a evolução do grau de moagem. ....	33
Figura 22 - Comparação entre os ensaios utilizando tanque com refrigeração e sem refrigeração, avaliando a evolução da força corante. ....	34
Figura 23 - Comparação entre os ensaios utilizando tanque com refrigeração e sem refrigeração, avaliando a evolução o consumo energético do moinho. ....	34
Figura 24 – Gráfico que demonstra a variação da força corante ao longo do tempo de moagem. ....	37
Figura 25 - Gráfico que demonstra a variação do grau de moagem ao longo do tempo de moagem. ....	37
Figura 26 - Gráfico que demonstra o consumo energético ao longo do tempo de moagem.....	38
Figura 27 - Gráfico que indica a evolução da força corante ao longo do tempo de moagem.....	40
Figura 28 - Gráfico que indica a evolução do grau de moagem ao longo do tempo de moagem. ...	40
Figura 29 – Gráfico que indica a evolução o consumo energético em função do tempo de moagem. ....	41
Figura 30 – Gráfico que demonstra o crescimento do parâmetro força corante ao longo da etapa de moagem. ....	42

Figura 31 - Gráfico que demonstra o crescimento do parâmetro grau de moagem ao longo da etapa de moagem. ....	43
Figura 32 - Gráfico que demonstra o consumo energético ao longo da etapa de moagem. ....	43
Figura 33 – Gráfico que demonstra a variação do grau de moagem por passagem. ....	46
Figura 34 - Gráfico que demonstra a variação da força corante por passagem. ....	46
Figura 35 – Gráfico que demonstra a caudal utilizado em cada passagem. ....	46
Figura 36 – Gráfico que permite avaliar a variação do grau de moagem por cada passagem realizada. ....	48
Figura 37 - Gráfico que permite avaliar a variação da força corante por cada passagem realizada. ....	49
Figura 38 - Gráfico que permite avaliar a variação do caudal de operação em cada passagem realizada. ....	49
Figura 39 - Gráfico que permite avaliar a variação do grau de moagem por cada passagem realizada. ....	51
Figura 40 - Gráfico que permite avaliar a variação da força corante por cada passagem realizada. ....	51
Figura 41 - Gráfico que permite avaliar a variação do caudal de operação por cada passagem realizada. ....	52
Figura 42 – Tamiz totalmente obstruído. ....	54
Figura 43 - Comparação entre um disco novo e um disco rejeitado. ....	54
Figura 44 - Avaliação do estado da cuba. ....	55
Figura 45 - Exemplo da folha de registo de intervenção nos moinhos. ....	85

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Dados obtidos nos 4 ensaios realizados, pode-se observar o tempo necessário para atingir os requisitos, o tempo que esteve a moer, as rotações da bomba selecionadas e as equações das retas obtidas para a evolução da força corante, onde a variável “y” representa a força corante e a variável “x” o tempo de moagem. ....	28
Tabela 2 – Quadro resumo dos ensaios realizados, onde se observa o tempo de moagem de cada ensaio, as rotações da bomba utilizadas, e as respectivas retas de evolução da força corante onde a variável “y” representa a força corante e a variável “x” o tempo de moagem, no caso do consumo energético a variável “y” é referente ao consumo energético e o “x” o tempo de moagem. ....	31
Tabela 3 – Comparação dos ensaios realizados, na pasta FFFFF BBBB, utilizando as rotações da bomba a 1000 rpm e a 1498 rpm.....	32
Tabela 4- Quadro resumo de todos os benefícios operacionais e monetários resultantes das ações de melhoria para esta pasta de moagem (FFFFF BBBB). ....	32
Tabela 5 – Quadro que demonstra a comparação entre os ensaios com refrigeração e sem refrigeração, de forma a observar qual é o modo de operação mais vantajoso, na pasta FFFFF BBBB. ....	35
Tabela 6 – Apresentação das retas relativas ao consumo energético para a pasta de moagem FFFFF VVVV, em função do tempo de moagem onde a variável “y” representa o consumo energético e a variável “x” o tempo de moagem. ....	39
Tabela 7 - Apresentação do tempo de moagem e das retas relativas ao consumo energético, para os 2 ensaios realizados para a pasta de moagem FFFFF ZZZZ, onde a variável “y” representa o consumo energético e a variável “x” o tempo de moagem.....	41
Tabela 8 – Quadro resumo, que mostra o consumo médio de energia para cada ensaio realizado, bem como o tempo despendido em cada, onde a variável “y” representa o consumo energético e a variável “x” o tempo de moagem.....	44
Tabela 9 – Quadro onde se encontra os caudais médios, o número de passagens e tempo estimado para cada ensaio. ....	47
Tabela 10 - Quadro com os caudais médios, o número de passagens e tempo estimado para cada ensaio da pasta de moagem FFFFF OOOO. ....	50
Tabela 11 – Quadro onde se visualiza os caudais médios, o número de passagens e tempo estimado para cada ensaio. ....	53
Tabela 12 – Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.....	62
<i>Tabela 13 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFFF BBBB. ....</i>	<i>62</i>
Tabela 14 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.....	63
Tabela 15 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFFF BBBB. ....	63
Tabela 16 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.....	64
Tabela 17 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFFF BBBB. ....	64

Tabela 18 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 4º ensaio.....	65
Tabela 19 - Dados recolhidos durante o 4º ensaio do produto FFFFF BBBB. ....	65
Tabela 20 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 5º ensaio.....	66
Tabela 21 - Dados recolhidos durante o 5º ensaio do produto FFFFF BBBB. ....	66
Tabela 22 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 6º ensaio.....	67
Tabela 23 - Dados recolhidos durante o 6º ensaio do produto FFFFF BBBB. ....	67
Tabela 24 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 7º ensaio.....	68
Tabela 25 - Dados recolhidos durante o 7º ensaio do produto FFFFF BBBB. ....	68
Tabela 26 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 8º ensaio.....	69
Tabela 27 - Dados recolhidos durante o 8º ensaio do produto FFFFF BBBB. ....	69
Tabela 28 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 9º ensaio.....	70
Tabela 29 - Dados recolhidos durante o 9º ensaio do produto FFFFF BBBB. ....	70
Tabela 30 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 10º ensaio.....	71
Tabela 31 - Dados recolhidos durante o 10º ensaio do produto FFFFF BBBB. ....	71
Tabela 32 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 11º ensaio.....	71
Tabela 33 - Dados recolhidos durante o 11º ensaio do produto FFFFF BBBB. ....	71
Tabela 34 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.....	72
Tabela 35 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFFF VVVV. ....	72
Tabela 36 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.....	73
Tabela 37 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFFF VVVV. ....	73
Tabela 38 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.....	74
Tabela 39 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFFF VVVV. ....	74
Tabela 40 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 4º ensaio.....	74
Tabela 41 - Dados recolhidos durante o 4º ensaio do produto FFFFF VVVV. ....	74
Tabela 42 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.....	75
Tabela 43 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFFF ZZZZ.....	75
Tabela 44 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.....	75
Tabela 45 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFFF ZZZZ.....	75
Tabela 46 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.....	76
Tabela 47 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFFF IIII. ....	76

Tabela 48 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.....	77
Tabela 49 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFF IIII. ....	77
Tabela 50 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.....	77
Tabela 51 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFF IIII. ....	77
Tabela 52 - Características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.....	78
Tabela 53 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFF AAAA. ....	78
Tabela 54 - Características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.....	78
Tabela 55 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFF AAAA. ....	78
Tabela 56 - Características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.....	79
Tabela 57 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFF AAAA. ....	79
Tabela 58 - Características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.....	80
Tabela 59 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFF OOOO.....	80
Tabela 60 - Características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.....	80
Tabela 61 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFF OOOO.....	80
Tabela 62 - Características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.....	81
Tabela 63 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFF OOOO.....	81
Tabela 64 - Características do produto e equipamento utilizado no 4º ensaio.....	81
Tabela 65 - Dados recolhidos durante o 4º ensaio do produto FFFF OOOO.....	81
Tabela 66 - Características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.....	82
Tabela 67 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFF RRRR. ....	82
Tabela 68 - Características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.....	82
Tabela 69 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFF RRRR. ....	82
Tabela 70 - Características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.....	83
Tabela 71 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFF RRRR. ....	83

## Índice de Equações

<b>Eq. (1)</b> Tempo de residência.....	17
<b>Eq. (2)</b> Força Corante.....	179

## 1. Introdução

No âmbito do projeto de dissertação do Mestrado em Biotecnologia da Universidade de Aveiro, foi realizado um projeto na empresa CIN- Corporação Industrial do Norte, S.A. com o tema *Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes*. O projeto decorreu durante 9 meses no setor de produção da empresa.

### 1.1 Grupo CIN

A CIN tem mais de 90 anos de história e de experiência no mercado das tintas e vernizes sendo considerada uma referência no campo da investigação, conseguindo assim ser líder nos mercados onde está presente, pela criação de novas tendências. A história do grupo CIN começa no ano de 1917. Nesta altura o grupo era conhecido por Companhia Industrial do Norte, SARL e tinha presença nos mercados relativos à produção de óleos, sabões, velas, tintas e vernizes. Em 1926, passa a designar-se como CIN-Corporação Industrial do Norte, especializando-se no fabrico de tintas e vernizes. Atualmente a empresa possui duas unidades de fabrico em Portugal. Uma dedica-se, exclusivamente, ao fabrico de tintas em pó, e a outra fábrica produz tintas líquidas e vernizes. Esta última unidade situa-se na Maia e divide-se em seis setores (Figura 1).

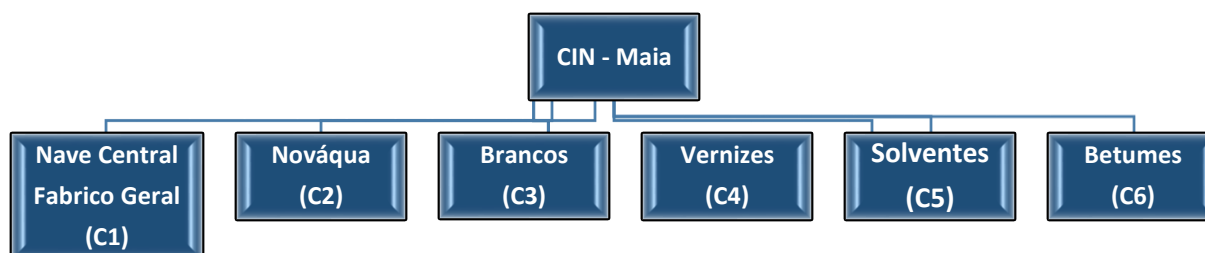


Figura 1 – Organização da unidade de produção da fábrica CIN na Maia.

O grupo CIN é um dos grandes representantes do mercado das tintas e vernizes, sendo líder de mercado nacional desde 1992 e líder do mercado ibérico desde 1995. O grupo possui tripla certificação QSA: ISO 9001 (Qualidade), ISO 14 001 (Gestão Ambiental), OSHAS 18001 (Gestão da Saúde e Segurança Ocupacional) (CIN COATINGS).

As empresas do grupo fornecem tintas e serviços a um vasto e numeroso leque de clientes. A estratégia do grupo passa por intervir apenas nos mercados onde possui as competências ideais para garantir uma posição de líder. O que torna o grupo mais forte é, ter o foco numa identidade comum, no conhecimento técnico e no talento, garantindo assim uma vantagem competitiva para todos os parceiros. No total o grupo CIN possui 7 fábricas em 2 continentes (Europa e África); 3 centros de Investigação e Desenvolvimento, mais de 100 lojas, mais de 1000 colaboradores como se verifica na Figura 2 (CIN COATINGS).



*Figura 2- Presença do grupo CIN nos vários mercados mundiais. Adaptado de (CIN COATINGS).*

A empresa principal do grupo é a CIN- Corporação Industrial do Norte, S.A., que tem como principal atividade a produção e comercialização de tintas e vernizes. Estas principais atividades dividem-se em vários segmentos de mercado como:

- I. Decorativos: segmento vocacionado para a construção e reparação no sector da construção civil. Este sector possui a maior percentagem de vendas da empresa.
- II. Indústria: este segmento divide-se em duas partes. Uma destinada para tintas líquidas de base solvente e aquosa para as indústrias de madeira, metal, plásticos, vidro e repintura de veículos industriais, a outra área é constituída por tintas em pó comercializadas com as marcas MEGADUR e IBERCOAT, e tem como destino os mercados de arquitetura, aplicações industriais, utilizações domésticas, componentes automóveis e mobiliário metálico.

- III. Revestimentos de proteção: este segmento destina-se à proteção anticorrosiva de estruturas e equipamentos de aço e betão quando expostos a condições agressivas, bem como à proteção passiva ao fogo e ao revestimento de pavimentos industriais e comerciais.
- IV. Construção Civil: segmento, muito relacionado com o anterior, mas tem como grande função fornecer os melhores revestimentos, adequados à localização e ao tipo de material que estarão em contato. Portanto, não é um segmento tão vocacionado na proteção mas sim no revestimento, em geral.

As marcas conhecidas do grupo são: Celliose, CIN Angola, Artilin, Nitin, Sotinco, Monopol, Pinturas CIN Canarias e Barnices Valentine, cujos símbolos estão ilustrados na Figura 3.



Figura 3- Marcas do Grupo CIN.

Os grandes objetivos do grupo CIN são:

- ❖ Fornecer as melhores soluções acompanhadas da melhor equipa do mercado das tintas;
- ❖ Manter os clientes satisfeitos e continuar como primeira escolha oferecendo produtos e serviços de qualidade e inovadores;
- ❖ Procurar sempre o crescimento, passando por aumentar a quota de mercado, a rentabilidade, melhoria contínua do conhecimento e pela eficiência dos processos de negócio e conduzir o negócio com integridade, respeito pela lei e pelo ambiente.



- ❖ Reforçar a sua posição no mercado das tintas, intervindo de forma decisiva na consolidação em curso. Irá intervir nos mercados para ser capaz de atingir uma posição de liderança.

O crescimento do grupo está centrado num processo de consolidação orgânica e de aquisições. O grupo CIN congratula-se de ser a única empresa portuguesa deste ramo industrial, a pertencer ao CEPE (Conselho Europeu de Fabricantes de Tintas). (CIN COATINGS; CIN; Pinto, 2014).

## 2. Enquadramento teórico

Estima-se que as primeiras pinturas tenham sido feitas há mais de 20000 anos. Há registos de pinturas alusivas a animais e atividades de caça, realizadas pelos povos trogloditas, que se encontravam nas cavernas. Como é óbvio, ao longo das décadas houve uma crescente evolução na utilização dos materiais que conseguiam pintar. As tintas sempre foram utilizadas para a decoração, para proteção e para aumentar o tempo de vida de bens e objetos. No nosso quotidiano, contactamos a todo o momento com esta realidade (Nogueira, 2009). Uma tinta, segundo a Norma Portuguesa NP41, é uma composição pigmentada líquida, pastosa ou sólida que quando é aplicada em camada fina sobre uma superfície apropriada, no estado em que é fornecida ou após a diluição, dispersão em produtos voláteis ou fusão, é convertível ao fim de certo tempo numa película sólida, corada e opaca. Uma tinta depende do local onde se pretende aplicar, deve preencher vários requisitos, como ter um tempo de proteção longo na superfície onde foi aplicada, ter baixa toxicidade, apresentar alta estabilidade de cor. Existem ainda outros fatores importantes, por exemplo no caso de ser aplicada no exterior, apresentar boa resistência à intempérie. (PRA, 2011).

Uma tinta pode ter na sua composição um grande número de componentes, sendo os principais constituintes os pigmentos, cargas, veículo fixo e aditivos (estes fazem parte do extrato seco de uma tinta). Existe ainda o veículo volátil que pode ser um solvente, um aditivo ou um diluente, ou ainda uma mistura de todos (Figura 4).

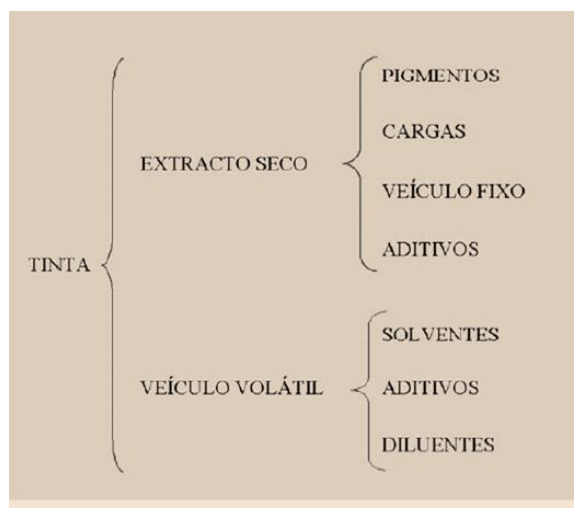


Figura 4- Constituintes de uma tinta. Adaptado de (Nogueira, 2009)

Cada um destes componentes apresenta características que têm como objetivo melhorar as propriedades da tinta. É importante realçar, que cada um destes componentes não atua de forma independente, mas sim de um modo físico e químico combinado com os restantes constituintes presentes na mistura (Nogueira, 2009; Alua, 2012).

## 2.1. Componentes de uma tinta:

### 2.1.1. Veículo Fixo

O veículo fixo é o conjunto de componentes das tintas, vernizes ou produtos similares que permitem a formação de uma película sólida.

Assim sendo, o veículo fixo é o responsável pela agregação dos vários constituintes da tinta e ainda pela atribuição de determinadas propriedades como por exemplo: propriedades mecânicas, resistência à radiação UV, etc. (Alua, 2012).

O veículo fixo é constituído por óleos e resinas e as suas características são determinadas pela natureza dessas resinas. (Nogueira, 2009).

### 2.1.2. Pigmentos

Os pigmentos definem-se como substâncias sólidas, finamente divididas, que são praticamente insolúveis no veículo. Os pigmentos são usados na preparação de tintas com o objetivo de conceder cor, opacidade ou outras características especiais como por exemplo propriedades anticorrosivas. Geralmente, quando introduzimos pigmentos numa mistura, temos como principal objetivo proporcionar a alteração das propriedades óticas (Gardner & Sward, 1962).

As características dos pigmentos obtêm-se devido à combinação de dois efeitos: a absorção e a difração da luz visível. A cor do pigmento é determinada, essencialmente, pela absorção da luz e é influenciada pela estrutura química do pigmento, ao passo que a opacidade advém da difração e está relacionada com o índice de refração (Winkler, 2012).

Além da importância de assegurar estas propriedades óticas para as tintas, é também necessário que o pigmento seja capaz de suportar variações do meio e manter-se inalterável. Deve ser compatível com o meio ambiente, não ser nocivo, ter um custo justo relativamente

aos preços dos materiais em que vão ser incorporados e por fim permitir que as propriedades desejadas (como o brilho, resistência ao calor, etc.) se manifestem (Lowe *et al*, 1997).

Quimicamente os pigmentos dividem-se em orgânicos e inorgânicos. Os inorgânicos são pigmentos em que a molécula é constituída por um sal metálico de um ácido inorgânico ou por óxido metálico. Os pigmentos orgânicos são aqueles cuja molécula é orgânica (Alua, 2012).

O uso de pigmentos inorgânicos tem vindo a ser reduzido sobretudo por razões de Higiene e Segurança e, portanto é um tema que tem sido estudado de forma a encontrar soluções que consigam ultrapassar, eficientemente, estas questões.

Os pigmentos inorgânicos são utilizados não só para conferir cor mas também para fornecer à tinta outras propriedades como capacidade da tinta apresentar um comportamento anti estático e anti corrosivo, entre outros. Por outro lado os pigmentos orgânicos servem principalmente para conferir cor. (Nogueira, 2009; Stoey & Freitag, 2011).

Relativamente à forma como os pigmentos se podem apresentar, existem três formatos distintos. Podem apresentar uma forma amorfa, esférica ou cristalina (Figura 5). Neste último formato podem aparecer diferentes estruturas como a cúbica, hexagonal, entre outros dependendo do pigmento em questão.

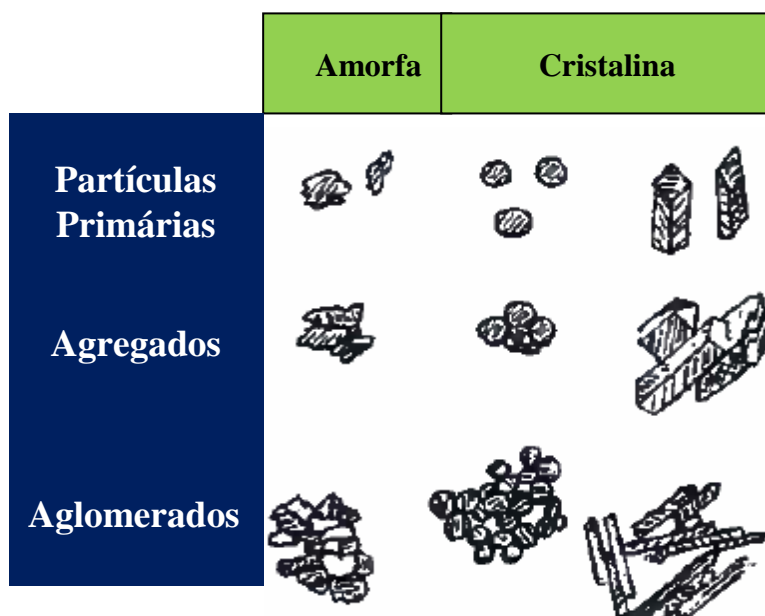


Figura 5 – Estruturas pigmentares.

A forma dos pigmentos está relacionada com as propriedades reológicas e com a facilidade de conseguir uma dispersão eficaz. Estas características podem afetar o brilho.

Grande parte dos pigmentos apresentam uma forma cristalina com diferentes estruturas, são exemplos dos pigmentos utilizados dióxido de titânio, negro de fumo e vanádio de bismuto. Estas são um dos fatores que dificultam diretamente a eficiência da dispersão, pois as tensões de corte provocadas pelo dispersor podem não ser suficientes para romper as ligações químicas presentes na estrutura cristalina, e assim não se consegue reduzir o tamanho da partícula (PRA, 2011).

### 2.1.3. Cargas

As cargas podem ser definidas como substâncias que, sob a forma de partículas mais ou menos finas, com fraco poder de cobertura, insolúveis nos veículos, têm como função modificar algumas propriedades como por exemplo: brilho, resistividade química, sedimentação, viscosidade, etc. As substâncias mais conhecidas e utilizadas para estes fins são: carbonato de cálcio, barita, talco (silicatos), caulino, pó de sílica, entre outros (Nogueira, 2009).

### 2.1.4. Solventes e Diluentes

Um solvente é um líquido volátil nas condições normais de pressão e temperatura e tem capacidade de dissolver o veículo fixo de tintas. Os solventes influenciam muitas características das tintas a nível de estabilidade e aplicabilidade. Os tipos de solventes mais comuns são os hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, as cetonas, os ésteres, os álcoois, os éteres, os glicóis, etc.

Um diluente é também um líquido volátil, pode ser parcial ou totalmente miscível com o veículo e tem como função reduzir a viscosidade. A água (no caso de tintas aquosas) é considerada um diluente, uma vez que serve para ajustar viscosidade e o teor de sólidos em volume, mas não tem capacidade de dissolver o veículo fixo.

É importante garantir, para os três casos, a compatibilidade quer entre solventes, quer entre solventes e resinas. (CIN, 2015).

#### 2.1.5. Aditivos

De acordo com a norma portuguesa NP41, os aditivos são substâncias incorporadas em pequenas percentagens nas tintas com o propósito de alterar, acentuadamente, determinadas características (Lowe *et al*, 1997).

Os aditivos encontram-se agrupados por funções e não por composições químicas ou por aspetos físicos, isto porque a escolha de um determinado aditivo é feita considerando apenas a sua função. É necessário no entanto ter em conta que podem ocorrer reações secundárias e assim modificar a obtenção dos resultados expetáveis (Nogueira, 2009; Gil, 2013).

Existe um vasto número de aditivos conhecidos, geralmente agrupados por:

- **Bactericidas** - este aditivo serve para evitar a formação de colónias de bactérias. São usados em produtos de base aquosa, pois é quando existe maior probabilidade de contaminação (ex: acetato polivinílico);
- **Secantes** – são utilizados para secar ou para otimizar o processo de secagem, melhorando a eficácia dos produtos quando aplicados (ex: naftanatos);
- **Anti pele** – servem para prevenir a formação de peles no decurso do fabrico e no produto embalado (ex: butanona-oxima);
- **Estabilizadores do comportamento dos revestimentos expostos à luz solar** – este tipo de aditivos é importante para tornar a tinta, depois de aplicada, mais resistente às intempéries, e permitindo que esta continue estável durante mais tempo e que não apresente debilidades.
- **Dispersantes** – aditivos usados para facilitar a dispersão (sal de amónio carboxílico);
- **Molhantes** – responsáveis pelo poder de molhagem dos pigmentos e cargas facilitando a sua dispersão, uma vez que diminui a tensão interfacial entre a fase sólida e a fase líquida (ex: glicerina);
- **Anti sedimento** – servem para prevenir a sedimentação quer durante o fabrico, quer no produto acabado (ex: silicatos);
- **Anti espuma** – estes aditivos ajudam a prevenir a formação de espuma. São mais utilizados em produto de base aquosa (ex: propileno glicol).

## 2.2. Processo de fabrico

Globalmente o fabrico de uma tinta passa pelas seguintes fases: pesagem, pré mistura, dispersão, moagem, acabamento, filtração e enchimento (Figura 6).

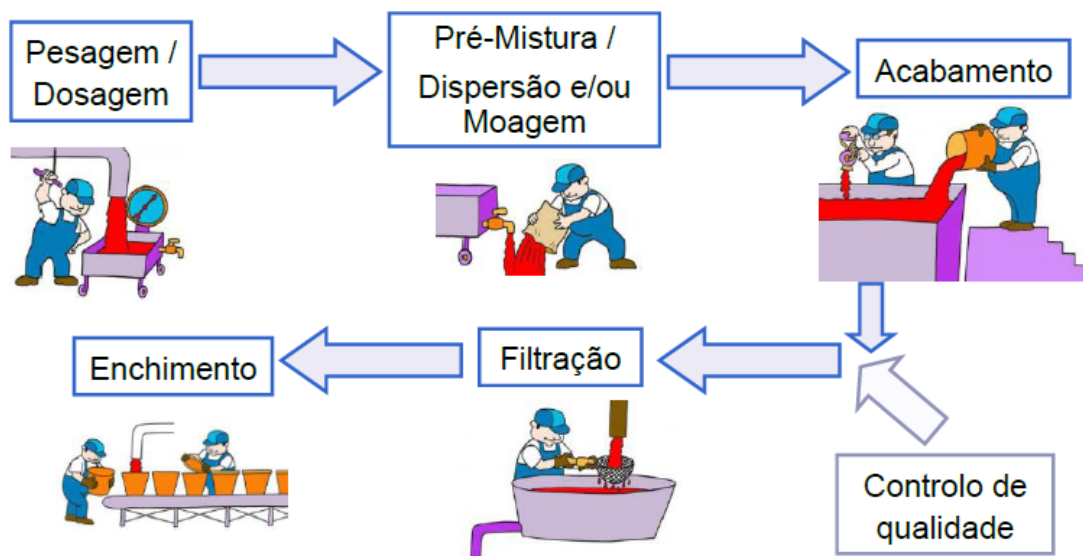


Figura 6- Diagrama geral do fabrico de tintas. Adaptado de (CIN, 2015)

Este trabalho centra-se, principalmente, na otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes. No fabrico de pastas corantes, os fatores de custo mais importantes são a dispersão, a moagem e as matérias-primas. Existe uma necessidade de estudar, exaustivamente, todos os tipos de dispersores e moinhos para conhecer os problemas e posteriormente tentar solucioná-los, bem como a formulação e o processo de fabrico.

Com as operações de dispersão e moagem pretende-se obter uma suspensão de pigmento num veículo, onde as partículas de pigmentos estão separadas entre si e a suspensão encontra-se estabilizada. Os pigmentos passam por três fases: desintegração, dispersão e molhagem.

Durante a 1ª fase pretende-se desfazer os aglomerados presentes. Caso não se realize esta fase, não se consegue estabilizar a mistura, como consequência pode ocorrer floculação. Na fase de dispersão o objetivo é separar as partículas primárias dos agregados mais pequenos, pretendendo vencer as forças de atração superficial que tendem a mantê-las unidas (PRA, 2011).

A molhagem consiste na capacidade que o ligante apresenta para aderir à superfície do pigmento, ou seja, molhagem por contacto. Assim, ocorre a substituição na interface pigmento/ar por uma interface pigmento/veículo (Figura 7).

A capacidade de molhagem dos pigmentos é variável e é dependente quer da sua natureza química, quer do tipo de veículo da tinta. Os pigmentos podem apresentar comportamentos hidrofílicos, neutros ou hidrofóbicos. Pigmentos hidrofílicos têm afinidade com a água, o que traduz uma dispersibilidade elevada em meio aquoso, como é o caso dos pigmentos inorgânicos. Enquanto os pigmentos hidrofóbicos apresentam melhores resultados de dispersibilidade em meio solvente, como é o caso dos pigmentos orgânicos.

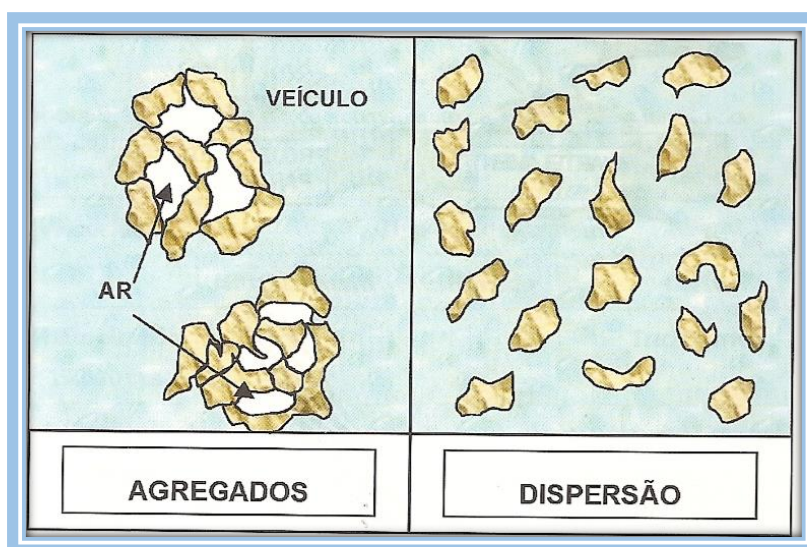


Figura 7- Esquema que ilustra o objetivo da dispersão. Adaptado (Nogueira, 2009)

Em teoria, o processo de dispersão atinge o objetivo quando se consegue obter cada partícula de pigmento separada das restantes e esta se encontra completamente envolvida pelo veículo. Por isso, uma boa dispersão facilita a molhagem e à medida que a molhagem ocorre, a dispersão torna-se mais eficaz. A dispersão provoca uma diminuição do tamanho de partícula. Esta redução do tamanho das partículas tem como consequência um aumento da área específica porque a área superficial aumenta para a mesma massa de pigmento, considerando o volume total. Com o aumento da área superficial, consegue promover-se um maior contato entre a superfície do pigmento e o meio envolvente. O que tem como benefícios uma melhor incorporação do molhante e, posteriormente um melhor desenvolvimento das características do produto. (CIN, 2015).



O nível de desagregação do pigmento afeta diretamente as seguintes propriedades da tinta:

- Tonalidade;
- Poder de cobertura;
- Força Corante;

### 2.3. Equipamento

O equipamento de moagem utilizado, na Corporação Industrial do Norte (CIN) é maioritariamente constituído por dispersores e moinhos de esferas de cuba horizontal (Figura 8).



Figura 8- Exemplos de moinhos de cuba horizontal utilizados no fabrico de tintas. Adaptado de (Harbs, 2014)

Este tipo de moinhos possui uma bomba que permite regular a velocidade com que a pasta entra no moinho. O material da cuba é, normalmente, em aço inoxidável, sendo esta envolvida numa camisa de arrefecimento. No interior tem um agitador que é composto por um eixo e vários discos equidistantes (moinho da esquerda na Figura 8), ou possui um sistema de pinos de moagem (moinho da direita na Figura 8). Relativamente à forma dos discos, existem imensas, mas os objetivos são sempre os mesmos, ou seja, diminuir o escoamento demasiado direto da pasta de moagem para a saída e aumentar o tempo de residência dentro da cuba, bem como conseguir projetar as esferas contra as paredes do moinho e assim produzir efeitos de corte e martelamento. Os moinhos podem trabalhar por recirculação, ou por passagens (O+B, 2006), (NETZSCH, 2010).

A razão para se utilizar moinhos de esferas com a cuba horizontal em detrimento das cubas verticais, é o facto de ser possível colocar um maior volume de esferas (85% a 90 % volume

das esferas) e assim conseguir uma moagem mais eficiente, além de ser possível trabalhar com pastas mais viscosas. Em termos de manutenção este tipo de moinhos são mais fáceis de limpar e são mais eficazes a nível de arrefecimento (Nogueira, 2009).

Como já foi referido, este tipo de moinhos consegue obter resultados mais eficientes, sendo assim, é muito importante garantir uma pré mistura correta, de forma a desfazer os aglomerados de partículas. Geralmente, a pré mistura demora cerca de 40 minutos (este tempo depende do tipo de produto), o que permite obter o melhor desempenho da pasta de moagem. Além deste pormenor, também é essencial garantir que o tanque de alimentação ao moinho, esteja sempre, caso seja possível, sob agitação constante para a mistura permanecer sempre homogénea, e não devem ser utilizados tubos de descarga muito compridos, pois, teoricamente, quanto maior o comprimento maior será a pressão dentro da câmara de moagem, devido ao atrito da pasta nas paredes dos tubos (Nogueira, 2009; Ferreira, 2008; Alua, 2012; Harbs, 2014).

Em relação ao material das esferas, estas podem ser de vidro, aço de alta densidade, cerâmica, óxido de zircónio, entre outros. O material das esferas influencia a eficiência do processo de moagem, isto é, esferas com maior densidade conseguem uma moagem melhor porque a energia cinética das esferas é proporcional à sua massa. Relativamente ao tamanho, quanto menor o diâmetro das esferas menor será o tamanho das partículas após a moagem. No entanto, se os aglomerados forem muito superiores em relação ao tamanho das esferas, estas não conseguem obter a eficácia pretendida. O tipo de esferas escolhido deve preencher alguns requisitos, tais como, ter uma dureza elevada, para garantir uma resistência mecânica elevada, a superfície das esferas deve ser lisa, não ter porosidade e devem ter baixo poder abrasivo para evitar um grande desgaste do material do moinho. (Winkler, 2012; CIN, 2015; Multiesferas, 2015).

Por fim, depois de realizar a dispersão e moagem restam as fases de acabamento, filtração e enchimento. Na fase de acabamento podem adicionar-se alguns veículos suplementares e aditivos para ajustar características (Figura 9).

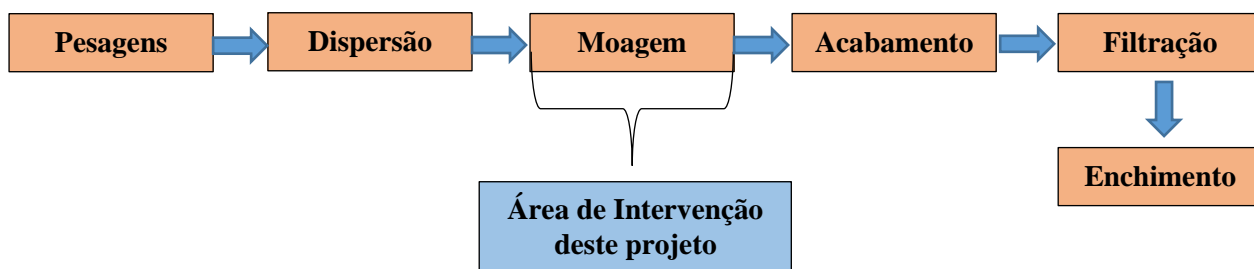


Figura 9 – Etapas de fabrico com a área de intervenção do projeto.

É importante que a adição seja realizada sob agitação constante. Depois de concluído o fabrico da tinta, o produto é controlado. Por fim, a filtração e o enchimento só acontecem depois do lote de fabrico estar devidamente aprovado pelo Laboratório de Inspeção Final (Nogueira, 2009; CIN, 2015).

### **3. Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes**

Neste capítulo serão apresentados os objetivos do trabalho bem como aspetos importantes que devem ser seguidos com atenção de forma a tornar o processo mais eficiente.

Os objetivos do presente trabalho são:

- Diagnosticar a situação atual;
- Identificar variáveis chave do processo;
- Realizar ensaios industriais alterando as variáveis chave do processo;
- Normalização do processo e criação de modos operatórios detalhados;

No fabrico de corantes os maiores cuidados devem residir na pré mistura, dispersão, moagem, pois nestas fases acontecem os passos chave para se obter o produto desejado.

#### 3.1. Dispersão

Na dispersão, deve começar-se por verificar se o equipamento é o mais adequado, de forma a conseguir uma elevada eficiência, para desfazer os aglomerados. É importante garantir que o disco e tanque apresentem dimensões compatíveis, pois caso contrário, não são criadas as forças e velocidades ótimas que garantam uma perfeita dispersão (Nogueira, 2009). Estas dimensões são, mais especificamente, ter um diâmetro de tanque  $\frac{2}{3}$  superior ao diâmetro do disco, e ter o disco a uma distância do fundo do tanque  $\frac{1}{2}$  a 1 vezes o diâmetro do disco (Figura 10). O tanque deve ser cilíndrico e ter um fundo côncavo e não plano, caso seja de fundo plano não deve ter arestas pois só assim são eliminadas as zonas mortas durante a dispersão. Se estes parâmetros não forem cumpridos não serão atingidas as velocidades ótimas, pois o vortex não é o ideal e não se consegue proporcionar as forças de corte necessárias para a obtenção de partículas de tamanho reduzido.

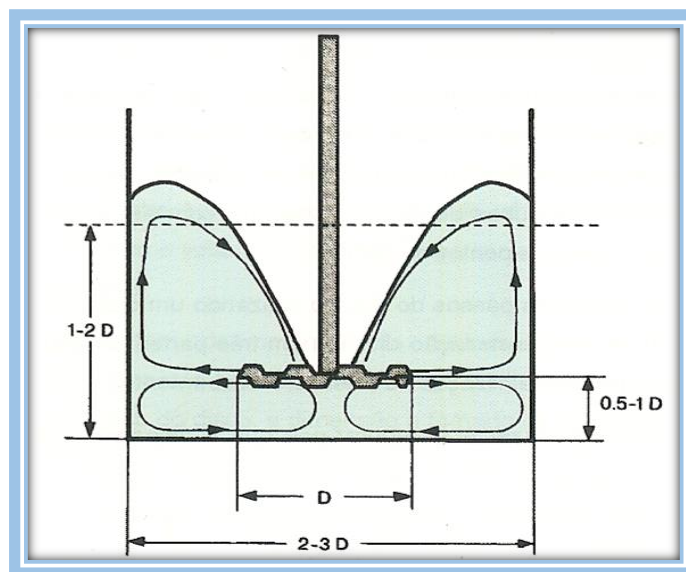


Figura 10- Relação entre o disco e as dimensões da cuba ideais. Adaptado de (Nogueira, 2009)

Como se pode verificar, as etapas para o fabrico de uma tinta estão associadas a processos físicos. Na moagem, os efeitos mais eficientes são os efeitos de impacto (compressão) e de corte (cisalhamento). No dispersor os efeitos de impacto são quase nulos, sendo o efeito predominante o de corte.

A dispersão requer muitos cuidados, pois uma má dispersão irá ter impacto nas fases posteriores. A adição das matérias-primas deve seguir as etapas definidas na formulação, incluindo todas as indicações que a área técnica aconselha. Deve-se adicionar as matérias-primas com agitação lenta, e deve ser introduzido no ponto mais alto do vortex de forma a ser imediatamente incorporado na mistura. Uma boa pré mistura é bastante importante, uma vez que, se tal não acontece podem criar-se agregados em zonas mortas, não sendo possível garantir uma pasta homogénea. Se este passo não for respeitado, o tempo necessário para a moagem pode aumentar até 4 a 5 vezes.

### 3.2. Moagem

No interior da cuba do moinho também devemos garantir certas condições. A principal é ter uma velocidade periférica ótima, de maneira a permitir que as esferas tenham o maior número de impactos possível durante o funcionamento do moinho. Portanto, deve-se ter em consideração o efeito da velocidade de agitação no interior do moinho, para assegurar as boas características da tinta. A velocidade de agitação relaciona-se diretamente com o diâmetro da cuba e é a partir do tamanho da cuba que se chega a uma condição ideal. Também é importante, nesta fase, ter um caudal adequado, uma vez que este se relaciona

com o tempo de residência, visto que o quociente entre o volume da cuba e o caudal de operação permite obter o tempo de residência (Equação 1). Portanto um caudal elevado reduz o tempo de residência da pasta dentro do moinho e não deixa a moagem acontecer eficazmente. Um caudal muito baixo aumenta bastante o tempo de residência, e por consequência aumenta o tempo de moagem, o que traduz um gasto energético desnecessário.

$$\tau = \frac{V(L)}{q(L/h)} \quad \text{Eq. (1)}$$

A Eq (1) traduz o tempo de residência ( $\tau$ ), onde V representa o volume da cuba e q representa o caudal de operação.

Também é importante, garantir uma boa moagem, verificando o volume, tipo e diâmetro de esferas dentro da cuba, bem como o controlo dos parâmetros densidade e viscosidade da pasta à entrada do moinho.

Os sistemas de dispersão que resultam das fases de dispersão e moagem tendem a ser altamente instáveis, pois a fase sólida e a fase líquida têm tendência para se separarem. Por isso, é recomendado estabilizar estes sistemas com ajuda de aditivos dispersantes e assim evitar que ocorra a separação de fases.

Os principais problemas verificados, quando não se consegue estabilizar eficazmente os sistemas de dispersão, são a floculação e a sedimentação, acontecendo esta já numa fase de repouso na embalagem da tinta ou no próprio tanque de fabrico.

A floculação é o mecanismo pelo qual duas ou mais partículas se juntam e formam aglomerados, o que afeta a qualidade da cor e diminui a força corante (Figura 11). A sedimentação depende sobretudo da densidade, do tamanho e morfologia das partículas sólidas, nomeadamente cargas e pigmentos, e da diferença de densidade entre a fase contínua e da fase dispersa (CIN, 2015).



*Figura 11- Problema de floculação detetado num pigmento laranja. Adaptado de (CIN, 2015).*

A nível de controlo, realizado pelo Laboratório de Inspeção Final (LIF), estes produtos são sujeitos ao controlo de determinados parâmetros que asseguram a qualidade do produto, que irá posteriormente para o mercado. Os parâmetros, rigorosamente, controlados são: a viscosidade, força corante, densidade, diâmetro de partículas, cor, aspeto físico e compatibilidade corante. Este controlo é específico para este tipo de produtos.

A viscosidade é a resistência oposta ao deslocamento relativo de duas camadas infinitamente finas e infinitamente vizinhas de um fluido que se escoam de uma forma estritamente laminar. Com outras condições de escoamento dizemos que a viscosidade é aparente e referimo-la como consistência. No caso específico dos produtos em estudo, a viscosidade medida, é a viscosidade de Brookfield. Com este tipo de viscosímetros o gradiente de velocidade não é o mesmo para todos os pontos do rotor. Assim, para um fluido não newtoniano, o resultado não é exatamente a viscosidade a um gradiente de velocidade conhecido, mas sim uma viscosidade aparente.

A cor é um parâmetro controlado visualmente e por espectrofotometria quando aplicada, em paralelo, uma amostra e um padrão definido (Nogueira, 2009).

Outro parâmetro controlado é a força corante, esta é a forma de quantificar a capacidade que uma matéria colorida tem de fazer sobressair a sua própria cor, quando se apresenta misturada com outras cores ou branco. O que permite a cor sobressair é o coeficiente de absorção (K) de cada pasta corante, pois quanto maior o coeficiente maior é a facilidade deste se sobressair na mistura. A força corante está relacionada com a absorção e é sempre referente a ensaios comparativos entre a amostra e um padrão previamente definido. O

resultado de força corante é uma percentagem relativa à refletância (S) obtida pela leitura no espectrofotómetro, que demonstra a diferença entre a amostra e o padrão a seguinte equação demonstra como é realizado o cálculo no espectrofotómetro (Gardner & Sward, 1962; Koleske, 1972).

$$Força\ Corante = \frac{\left(\frac{K}{S}\right)_{amostra}}{\left(\frac{K}{S}\right)_{padr\tilde{a}o}} \times 100 \quad Eq. (2)$$

Relativamente aos outros parâmetros analisados, nomeadamente, a densidade é determinada com o densímetro. Por fim, o grau de dispersão é o ensaio utilizado após as fases de dispersão e moagem que permite constatar se essas fases foram eficazes.

O trabalho realizado irá incidir, maioritariamente, no controlo intermédio da força corante e no grau de moagem. Estes parâmetros estão, intimamente, relacionados porque quanto menor o diâmetro das partículas maior será a força corante. Portanto pretende-se saber quais as variáveis que afetam estes parâmetros, estudar as possíveis interações e consequentemente otimizar o processo de fabrico de pastas de moagem.

### 3.2.1. Moagem por passagens

Na figura a seguir apresentada (Figuras 12), observa-se um dos dois modos de operação utilizados neste trabalho.

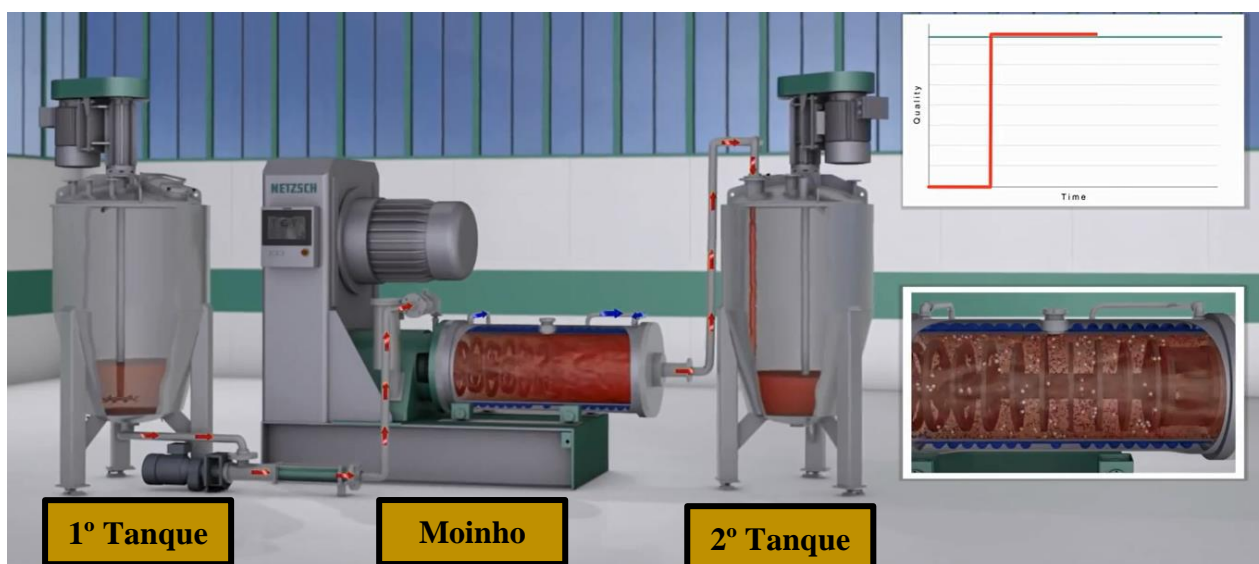


Figura 12 – Modo de operação por passagens. Adaptado de (NETZSCH, 2010).



Quando o processo de moagem é por passagens (Figura 12), inicia-se a moagem bombeando para o moinho o produto do tanque inicial, a pasta de moagem sofre tensões de martelamento e de cisalhamento, passando posteriormente para um segundo tanque. O número de passagens é definido até se atingir as especificações estabelecidas para cada pasta de moagem, normalmente é quando se atinge o grau de moagem pretendido. Teoricamente, a pasta de moagem que passa no moinho, sai com as mesmas características para o tanque seguinte, de forma a garantir estas condições deve-se manter os tanques, quer o inicial, quer o tanque seguinte, sob agitação, tendo assim, uma mistura homogénea.

Durante este trabalho, no modo de operação por passagens não foi possível, realizar a etapa de moagem mantendo os tanques sob agitação, devido à escassez de agitadores.

### 3.2.2. Moagem com recirculação

Na Figura 13 está exemplificado, o modo de operação por recirculação.

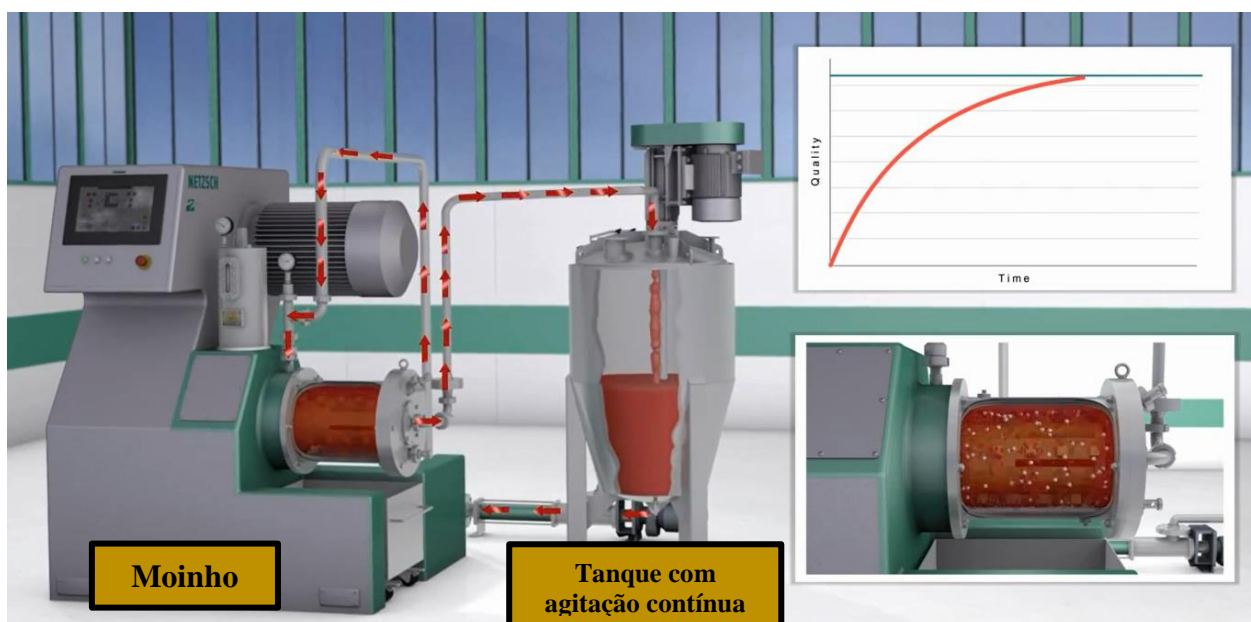


Figura 13 – Modo de operação por recirculação. Adaptado de (NETZSCH, 2010).

Neste tipo de moagem, só se utiliza um tanque, pois o conceito de trabalhar por recirculação é reduzir a mão-de-obra e o gasto de recursos, como por exemplo usar menos tanques. Mas o controlo da evolução da pasta de moagem deve ser acompanhado com maior rigor, ao contrário do modo de operação por passagens, ao longo do tempo as características da pasta de moagem estão sempre em evolução, até atingir o seu limite. Esse limite pode ser demasiado alto, considerando as especificações estabelecidas *à priori*.

## 4. Metodologia

A metodologia utilizada foi definida em parceria com o Centro de Investigação e Desenvolvimento da CIN.

Relativamente ao controlo realizado, como foi referido no capítulo anterior, o trabalho foca-se sobretudo no controlo do grau de dispersão e da força corante. Para conseguir realizar todo o controlo necessário para obter os resultados pretendidos foram utilizados os seguintes materiais:

➤ Materiais e Equipamentos:

- Recipiente de amostra;
- Espátula;
- Cronómetro;
- Régua de Hegman;
- Estufa “*Ventil – Line*”;
- Aplicador espiral de 100 µm;
- Carta de Aplicação “*Leneta CO. Formato 2DX*”;
- Balança com precisão de 0,01g “*Mettler PM 4600 Dλ*”;
- Agitador tipo “*Red Devil*”;
- Espectrofotómetro “*X-Rite Ci 4200 UV*”;
- Software “*Largo Synergy Q3*”.

### 4.2. Determinação do grau de dispersão

Para a determinação do grau de dispersão, foi seguida a norma NP EN ISO 1524. Esta permite verificar se os agregados foram reduzidos para o tamanho desejado. O teste consiste em verter uma pequena quantidade de amostra na extremidade mais profunda da régua de Hegman (Figura 14). Depois com a rasoura, arrastar a amostra de forma rápida e perpendicularmente à régua. Por fim, deve-se observar o mais rápido possível a régua, para determinar o grau de finura da amostra. A leitura é quando se verifica uma aparência predominantemente granulosa que contenha 5 a 10 partículas e assim estima-se o valor do

grau de moagem. O resultado desta leitura varia de 0 a 8 Hegman, a escala de Hegman (HEG), tem uma conversão, caso se pretenda, para micrómetros.

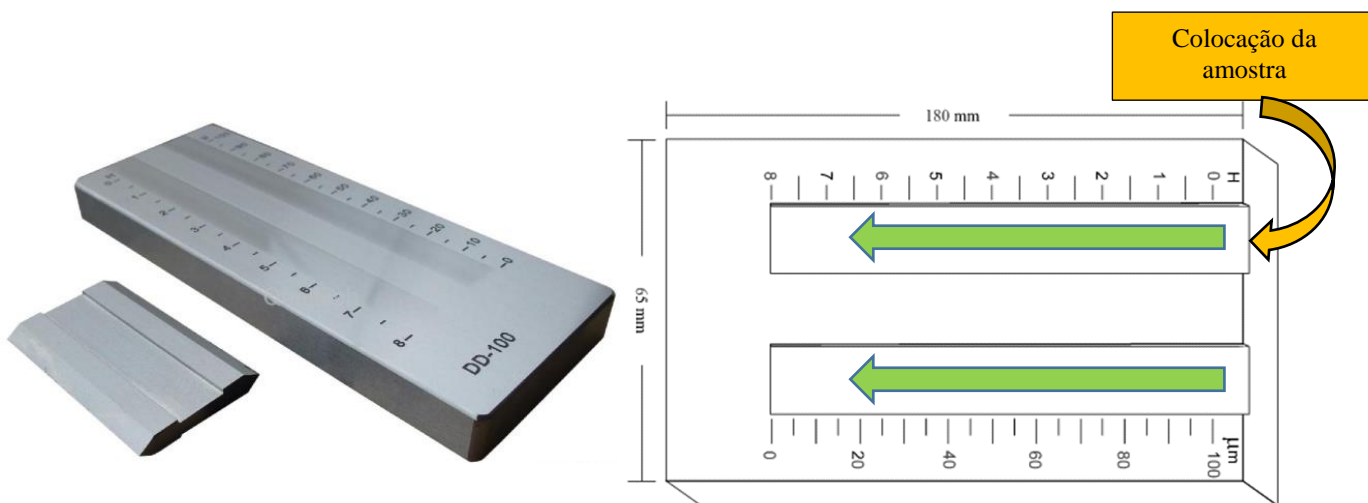


Figura 14- Régua de Hegman

#### 4.3. Controlo da força corante

O controlo da força corante realiza-se tendo como base a norma interna NCIN007. Esta norma sofreu uma ligeira adaptação, para tornar o processo de controlo mais rápido e, também para não ser necessário a recolha de amostras com volumes elevados, pois assim contribuiria muito para o aumento das perdas de produto. De um modo geral, o método de leitura da força corante, consiste em pesar uma base para misturar com amostra em estudo numa proporção de 95:5, respetivamente, o método é idêntico para o padrão. De seguida aplica-se a mistura numa carta e coloca-se na estufa durante 30 minutos para depois realizar a leitura no espectrofotómetro. O resultado desejado é de 100% com uma margem de erro de 2%, ou seja, o resultado pode ser entre 98% a 102%.

Para conseguir determinar os parâmetros pretendidos são necessários os seguintes materiais e equipamentos.

Quando o modo de operação é por passagens, a recolha de amostras é menor, sendo recolhida uma amostra por cada passagem. Neste caso, a recolha de amostra pode ser do tanque final, ou da corrente de saída uma vez que não existe mistura de produto com diferentes tempos de moagem.

Quando o modo de operação é por recirculação a recolha de amostras é realizada de hora a hora, tendo esta estratégia como objetivo recolher informação da evolução dos parâmetros analisados o mais aprofundada possível. Neste modo de operação a amostra é sempre

recolhida do tanque, e não da corrente de saída, para garantir que todo o lote se encontra das especificações.

Na figura seguinte (Figura 15) pode observar-se, de um modo geral, a sequência realizada para se obter os parâmetros avaliados neste trabalho.

**1. Recolha da Amostra**

**Grau de Dispersão**



**Força Corante**

**2. Leitura do Grau de Dispersão**



**3. Juntar a pasta corante a uma base**



**4. Aplicar a Carta (100 µm)**



**5. Colocar na estufa a 50° C durante 30 minutos**



**6. Leitura da Força Corante no espectrofotómetro**



Figura 15- Sequência utilizada para determinação dos parâmetros controlados.



## 5. Resultados e Discussão

Para obter os resultados a seguir apresentados, foram realizados diversos ensaios industriais. Todas as modificações tiveram como objetivo identificar as variáveis chave do processo de moagem e foram escolhidas aquelas que industrialmente eram possíveis de manipular. O facto de os ensaios serem realizados a nível industrial impossibilita a alteração de determinados parâmetros, uma vez que implicavam grande mão-de-obra e atraso nos prazos de entrega de vários produtos.

Em ambiente industrial foram realizados os seguintes ensaios:

- Alterar o caudal de funcionamento do moinho, para verificar a influência do tempo de residência no processo;
- Fabricar determinados produtos em diferentes moinhos;
- Reajustar a ordem de adição das matérias-primas;
- Trabalhar com o tanque refrigerado;
- Avaliar a influência dos tempos de espera entre etapas do processo de moagem.

A velocidade periférica (rotação do veio) nos moinhos já estava otimizada pelo fabricante dos moinhos, portanto esse fator, já se encontra de acordo com aquilo que a produção pretende.

No que respeita à carga, tipo e diâmetro de esferas não foi possível experimentar em fábrica a influência destes fatores, devido à curta duração do projeto e à logística inerente.

Convém ressaltar que foram acompanhados ensaios de outras pastas de moagem mas apenas foram consideradas, neste momento, aquelas que tenham no mínimo 2 ensaios acompanhados.

Seguidamente regista-se os resultados obtidos para os diferentes produtos em estudo.

### 5.2. Produto FFFFF BBBB

Este produto é considerado pela produção como o mais crítico. É a pasta corante mais fabricada na Nave Central e a que representa um maior tempo de processamento no moinho. Foi neste produto onde se realizaram mais estudos. Todos os resultados apresentados correspondem a ensaios realizados por recirculação e no mesmo moinho.

5.2.2. Efeito da variação de caudal

Inicialmente, decidiu-se observar o efeito do caudal no tempo de moagem. Foram realizados no total 11 ensaios com lotes de fabrico de 869,565 kg (717,462 L).

A primeira parte do projeto tinha como objetivo diagnosticar a situação inicial, por isso partiu-se de um tempo aproximado de 26 horas, informação fornecida pela produção.

De seguida, fez-se o acompanhamento de dois fabricos com as condições normalmente utilizadas, ou seja, rotações da bomba no máximo (1498 rpm) de forma a incrementar o máximo caudal possível, e foi obtido um tempo médio de 28 horas de fabrico. Realizaram-se mais dois ensaios variando as rotações da bomba para 1000 rpm com o propósito de aumentar o tempo de residência, o tempo de moagem médio foi de 26 horas (Figura 16 e 17) A diferença de 1498 rpm para 1000 rpm são sensivelmente 200 kg/h, uma vez que as rotações máximas correspondem a um caudal mássico, aproximadamente, de 750 kg/h e a 1000 rpm a 550 kg/h. Se avaliarmos o tempo de residência isto significa, sensivelmente, um incremento de 30 segundos dentro da câmara de moagem.

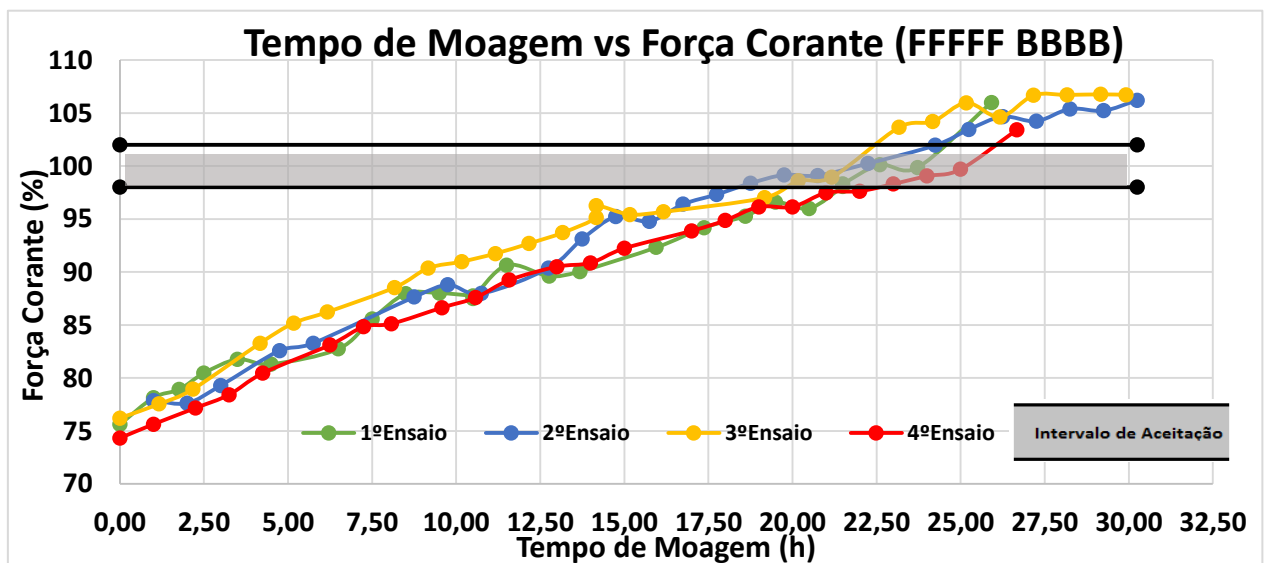


Figura 16 – Gráfico que demonstra a evolução da força corante ao longo do tempo de moagem, para os 4º ensaios iniciais. Os 2 primeiros ensaios foram realizados com a bomba a 1498 rpm e os 2 últimos com a bomba a 1000 rpm.



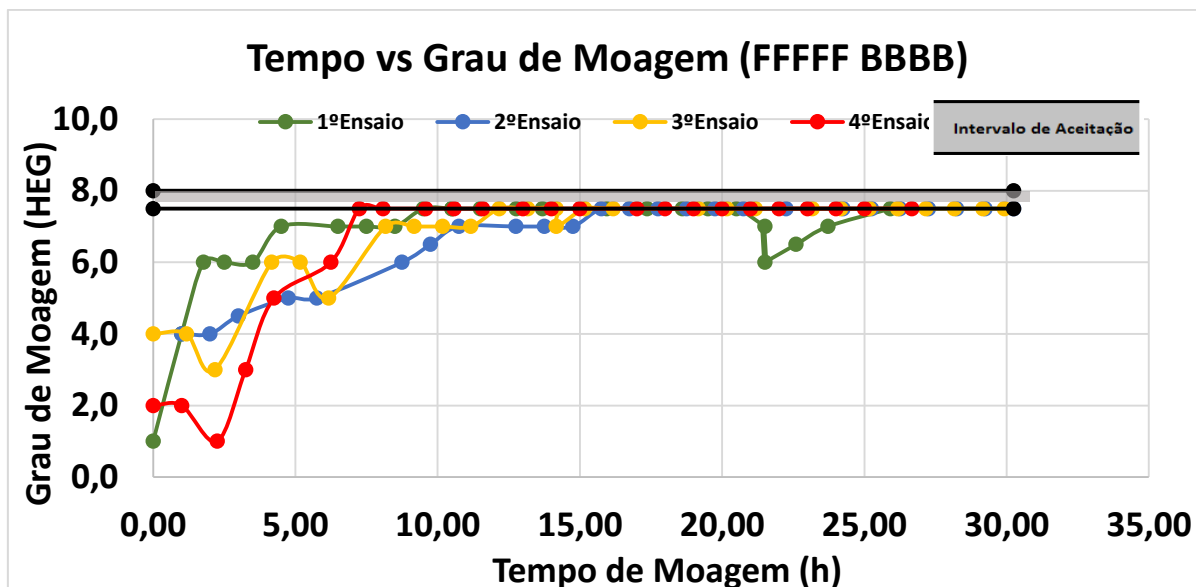


Figura 17 - Gráfico que demonstra a evolução do grau de moagem ao longo do tempo de operação, para os 4 primeiros ensaios. Os 2 primeiros ensaios foram realizados com a bomba a 1498 rpm e os 2 últimos com a bomba a 1000 rpm.

A seguinte tabela (Tabela 1) mostra o tempo total de processamento do produto no moinho, as rotações de alimentação da bomba e o tempo em que se devia ter parado o processo de moagem.

Tabela 1 – Dados obtidos nos 4 ensaios realizados, pode-se observar o tempo necessário para atingir os requisitos, o tempo que esteve a moer, as rotações da bomba selecionadas e as equações das retas obtidas para a evolução da força corante, onde a variável “y” representa a força corante e a variável “x” o tempo de moagem.

Ensaio (FFFFF BBBB)	Tempo para obter Força Corante e Grau Moagem (h)	Rotações da Bomba (rpm)	Equação das retas Força Corante
1	26	1498	$y = 0,99x + 77,33$
2	30	1498	$y = 1,00x + 77,98$
3	25	1000	$y = 1,00x + 79,31$
4	27	1000	$y = 1,01x + 76,11$

Como se pode verificar, através do declive das retas que mostram a evolução da força corante dos ensaios realizados, a 1000 rpm observa-se um incremento maior, do que quando trabalhamos com as rotações máximas e em consequência um tempo de processamento no moinho menor.

Esta observação colocou em dúvida o estado mecânico do moinho, pois segundo as informações do fabricante, o moinho foi dimensionado para funcionar com sistema de alto débito de caudal e por isso era de esperar que o processo de moagem tivesse melhores resultados com as condições sugeridas pelo fabricante.

Face aos resultados verificados, realizou-se uma revisão profunda do moinho, e detetaram-se vários problemas mecânicos, o que obrigou à troca de algumas peças do equipamento. Depois desta manutenção corretiva, houve o acompanhamento de mais 7 ensaios. Os resultados estão apresentados nas Figuras 18, 19 e 20.

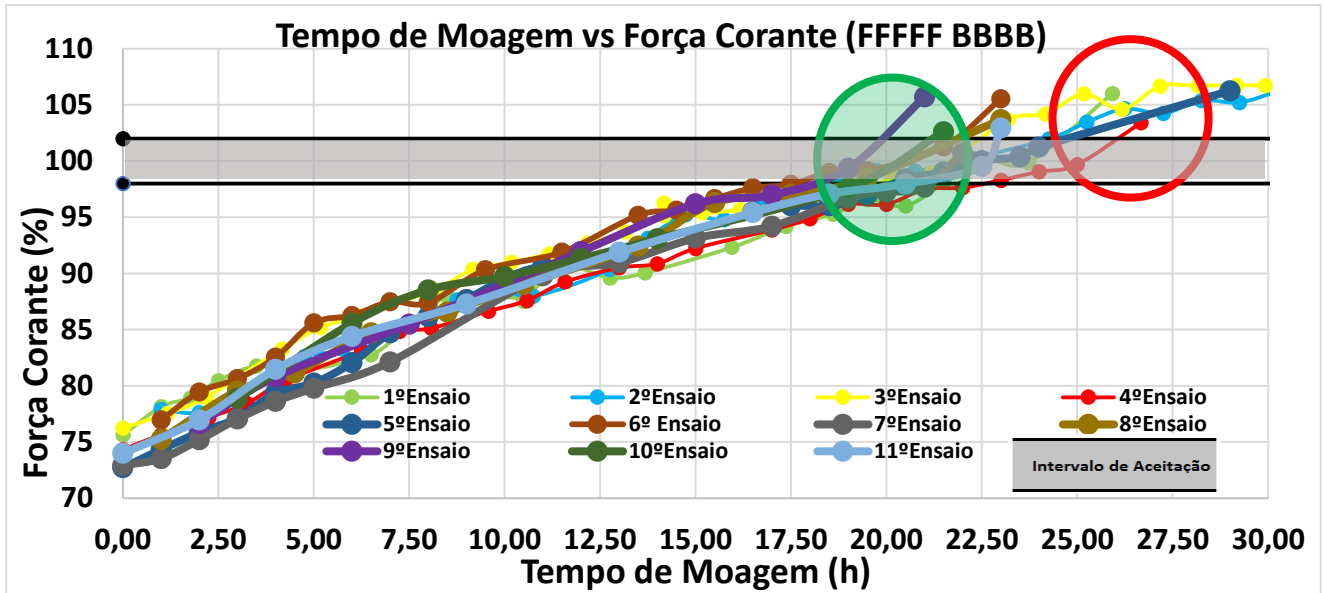


Figura 18 – Gráfico que demonstra todos os ensaios realizados, para avaliar a evolução da força corante ao longo do tempo de moagem.

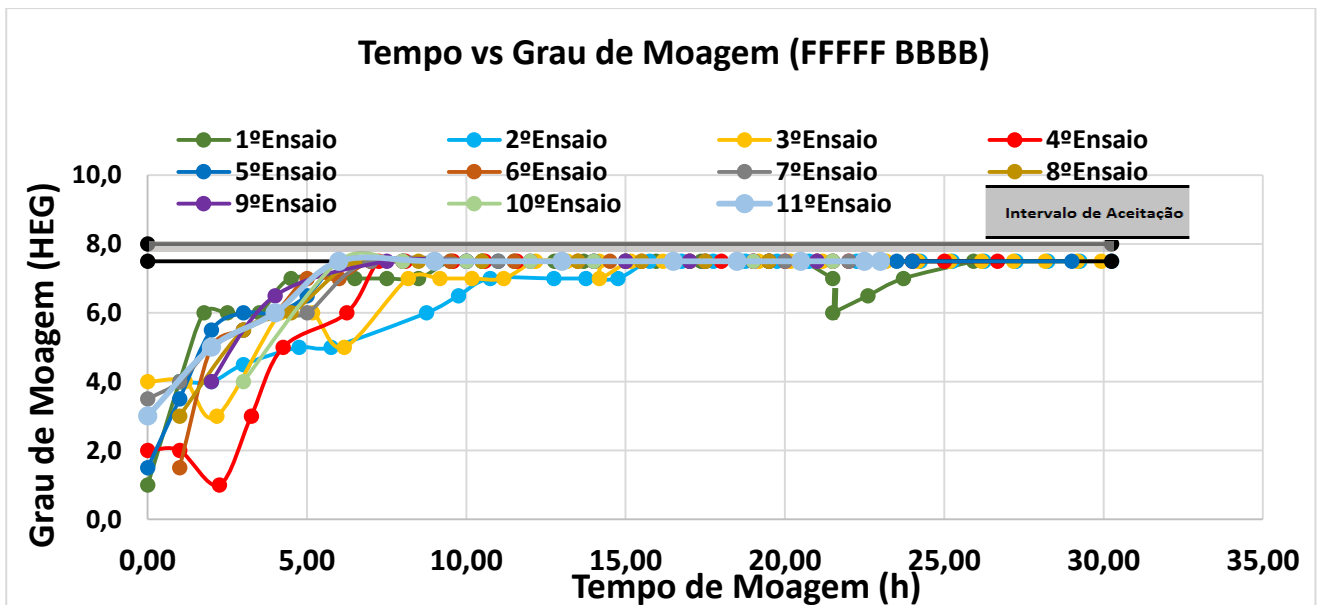


Figura 19 - Gráfico que demonstra todos os ensaios realizados, para avaliar a evolução do grau de moagem ao longo do tempo de operação.

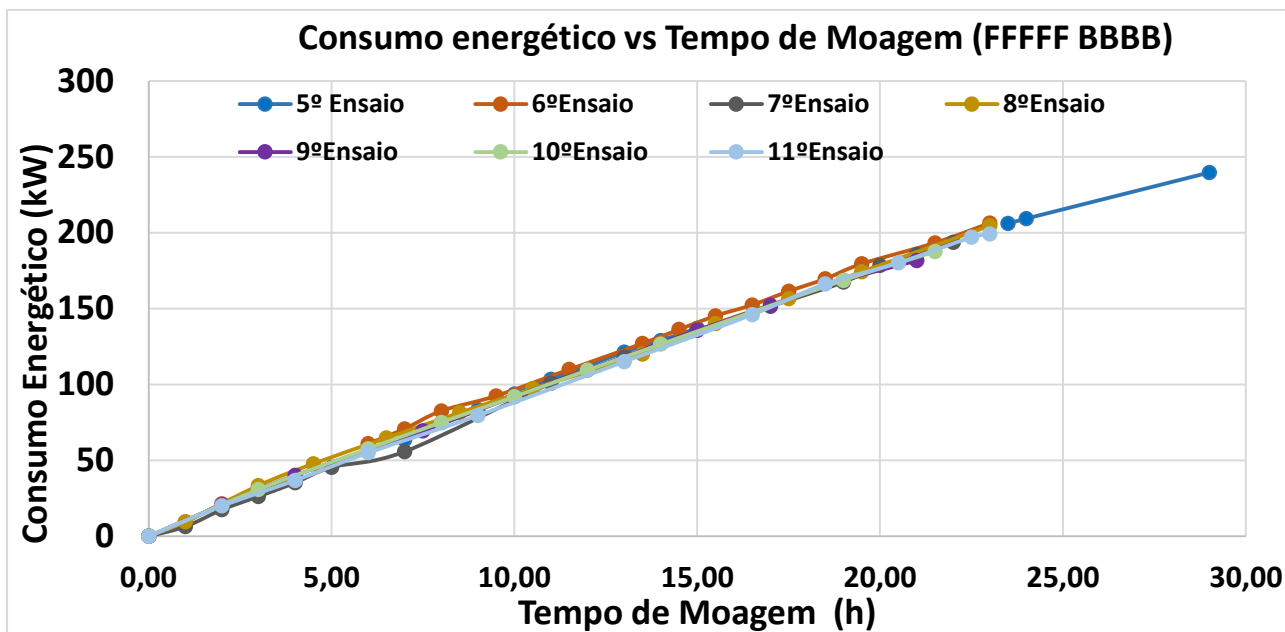


Figura 20 - Gráfico onde se observa o consumo energético ao longo do tempo dos ensaios.

Como se pode verificar na Figura 18, a variação da força corante em relação ao tempo de moagem sofreu grandes alterações. A partir do momento em que se realizou a manutenção no moinho, foi verificada uma maior eficiência nesta etapa, pois atingem-se mais rapidamente as especificações pretendidas.

### 5.2.3. Efeito do reajuste da ordem de introdução de matérias-primas

A partir do 6º ensaio, também se optou por fazer um reajuste na formulação. Inicialmente, após a fase de moagem era acrescentada uma determinada quantidade de solvente, com o objetivo de acertar certos parâmetros da pasta de moagem e também para limpar o equipamento. Com esta opção pretendia-se após a dispersão baixar a viscosidade inicial da pasta, de forma a facilitar o arranque da moagem, e tentar colocar os valores de massa volúmica no final da moagem de acordo com as especificações estabelecidas. O que se verificava era que a força corante e o grau de moagem da pasta estavam de acordo com a especificação, mas a massa volúmica estava sempre acima do limite o que obrigava a mais tempo de processamento para poder desconcentrar de acordado com a especificação. Portanto, ficou decidido que a quantidade de solvente indicada na formulação passava a entrar logo após a etapa de dispersão.

A diferença de resultados é significativa e reproduzível, tal como se verifica na Figura 18. As zonas dos gráficos rodeadas pelo círculo verde mostram que houve uma grande evolução

relativamente aos primeiros quatro ensaios (círculo vermelho). Estas melhorias são resultado das várias ações executadas. Como exemplo temos as melhorias mecânicas realizadas no equipamento de moagem, a alteração da ordem de entrada de determinadas matérias-primas e um controlo mais rigoroso da evolução de vários parâmetros, controlo este que não estava a ser eficaz no passado.

Ao nível do grau de moagem (Figura 19) não são observadas grandes diferenças, pois para todos os ensaios foram sempre necessárias aproximadamente 6 horas de moagem para atingir o objetivo (7,5 Hegman), com exceção do 1º ensaio em que foi observada uma regressão da moagem, devido a um longo tempo de paragem da moagem.

Para se fazer uma avaliação mais detalhada, observou-se as equações das retas para cada ensaio, referentes à evolução da força corante ao longo do tempo de moagem. Esses resultados estão na tabela 2 a seguir apresentada, onde se pode verificar que a partir do 6º ensaio o número de horas necessário para atingir as especificações estabelecidas decresceu. São ainda apresentados os resultados dos tempos de moagem para cada ensaio. Iniciou-se também o controlo do consumo energético, pois com a experiência deste trabalho, percebeu-se que através deste controlo conseguimos ter uma melhor perceção da performance do moinho, e em caso de problemas mecânicos, podem ser mais rapidamente detetados (Figura 19).

Tabela 2 – Quadro resumo dos ensaios realizados, onde se observa o tempo de moagem de cada ensaio, as rotações da bomba utilizadas, e as respetivas retas de evolução da força corante onde a variável “y” representa a força corante e a variável “x” o tempo de moagem, no caso do consumo energético a variável “y” é referente ao consumo energético e o “x” o tempo de moagem.

Ensaio (FFFFF BBBB)	Tempo de Moagem (h)	Rotações da Bomba (rpm)	Equação das retas de evolução da força corante	Equação das retas de evolução de Consumo energético
1	26,0	1498	$y = 0,99x + 77,33$	
2	30,0	1498	$y = 1,00x + 77,98$	
3	30,0	1000	$y = 1,00x + 79,31$	
4	27,0	1000	$y = 1,01x + 76,11$	
5	29,0	1000	$y = 1,13x + 75,30$	$y = 8,32x + 8,40$
6	23,0	1000	$y = 1,16x + 78,17$	$y = 8,96x + 4,67$
7	22,0	1000	$y = 1,24x + 73,44$	$y = 8,92x - 0,65$
8	23,0	1498	$y = 1,13x + 75,99$	$y = 8,74x + 4,60$
9	21,0	1498	$y = 1,31x + 75,32$	$y = 8,67x + 3,74$
10	21,5	1498	$y = 1,13x + 77,75$	$y = 8,66x + 4,16$
11	23,0	1498	$y = 1,13x + 75,99$	$y = 8,69x + 1,90$

Na Tabela 3, pode-se concluir que as melhorias implementadas permitiram descartar a variável caudal, por não ter impacto no tempo de moagem necessário para atingir os requisitos pretendidos, a evolução da força corante quer utilizando um caudal, quer outro, não é observada nenhuma diferença significativa.

A diferença, mais visível, é no consumo energético, ao diminuir o caudal aumenta-se o tempo de residência da pasta de moagem dentro do moinho, obrigando o fornecimento de mais energia ao equipamento.

*Tabela 3 – Comparação dos ensaios realizados, na pasta FFFFF BBBB, utilizando as rotações da bomba a 1000 rpm e a 1498 rpm.*

<b>Rotações da Bomba (rpm)</b>	1000	1498
<b>Média da evolução da força corante (%)</b>	1,18	1,18
<b>Média do consumo energético (kW)</b>	8,73	8,69

Fazendo um balanço a todas as melhorias realizadas pode-se verificar os ganhos monetários e de ocupação de equipamento, ou seja, que se precisamos de menos tempo para moer um produto, temos o equipamento disponível mais rapidamente para outros fabricos.

Por isso na seguinte tabela são apresentados todos os ganhos já verificados.

*Tabela 4- Quadro resumo de todos os benefícios operacionais e monetários resultantes das ações de melhoria para esta pasta de moagem (FFFFF BBBB).*

<b>Custo horário de produção (€)</b>	7,20	
<b>Horas de trabalho diárias (h)</b>	17	
<b>Ano</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
<b>Dias de trabalho</b>	245	240
<b>Tempo médio de fabrico (h)</b>	28,3	23,2
<b>Nº de fabricos possíveis</b>	152	182
<b>Custo da moagem em cada fabrico (€)</b>	204	167

Analisando a Tabela 4, comparando o ano 2015 com 2016 existem diferenças significativas. Se for considerado apenas o fabrico desta pasta de moagem (FFFFF BBBB) avaliando o tempo de moagem atual temos uma redução de 18% em relação ao ano anterior permitindo:

- Reduzir o custo de moagem em cada fabrico;
- Aumentar o número de fabricos.

Sabendo o custo horário da etapa de moagem (7,20 €), obtém-se uma redução no custo de moagem de cerca de 40 euros por cada fabrico. A poupança também é refletida no custo do Controlo de Qualidade. O incremento do indicador bem à primeira diminui a necessidade de segundas amostras. O custo de cada nova amostra tem um custo associado de 60 euros.

Para ter uma melhor noção dos ganhos conseguidos, no ano de 2015 foram realizados 38 fabricos deste produto e com os dados obtidos corresponde a um custo aproximado de 7.752 euros. Com os resultados atuais para realizar 38 fabricos com lotes idênticos haveria um gasto associado à moagem de 6.346 euros, ou seja uma diferença de aproximadamente 1.406 euros.

#### 5.2.4. Efeito da utilização de tanques refrigerados

Equacionou-se a hipótese de realizar a etapa de moagem utilizando tanques com refrigeração. Esta decisão podia traduzir uma melhor eficiência nesta etapa. Pretendia-se observar as vantagens e desvantagens de operar com tanque refrigerado. Os ensaios foram efetuados com lotes de 326 kg, os resultados destes ensaios estão apresentados nas seguintes figuras (Figuras 21, 22 e 23).

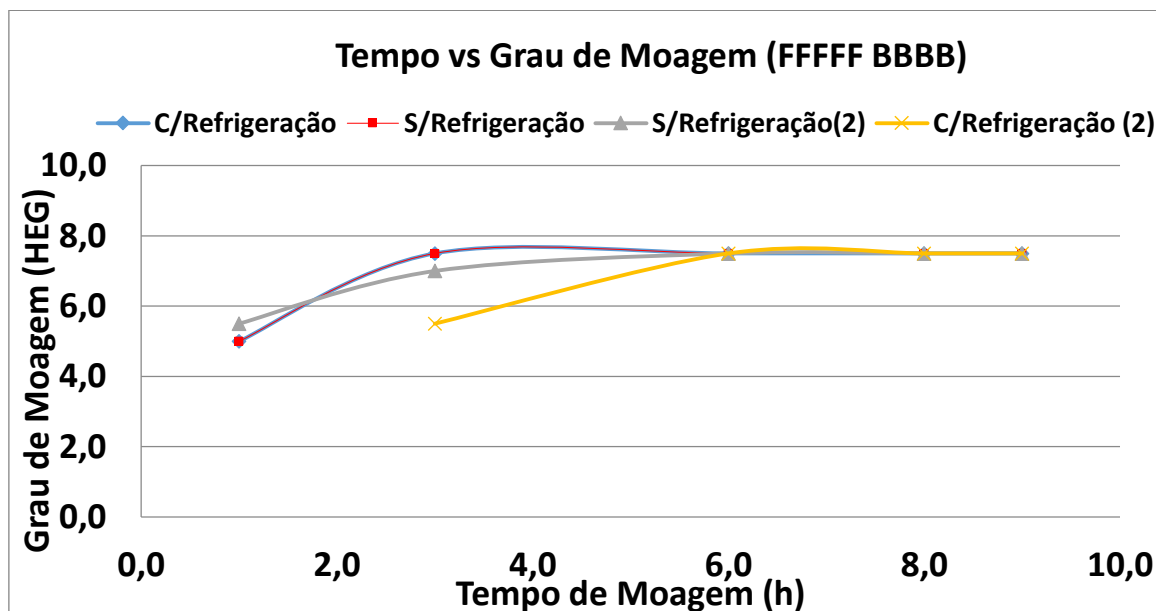


Figura 21 – Comparação entre os ensaios utilizando tanque com refrigeração e sem refrigeração, avaliando a evolução do grau de moagem.

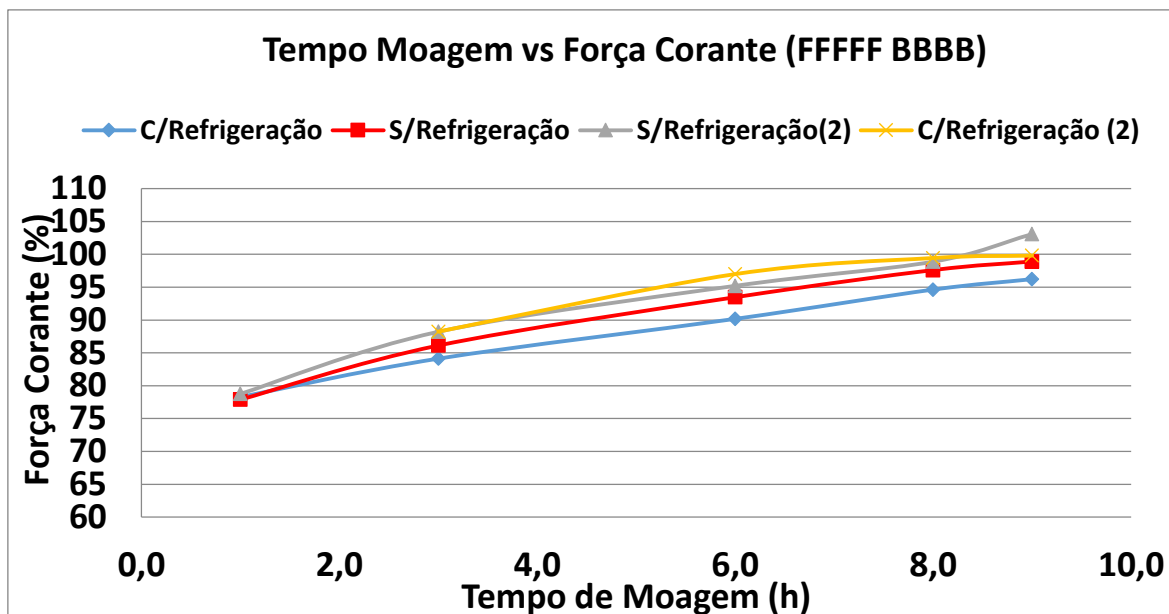


Figura 22 - Comparação entre os ensaios utilizando tanque com refrigeração e sem refrigeração, avaliando a evolução da força corante.

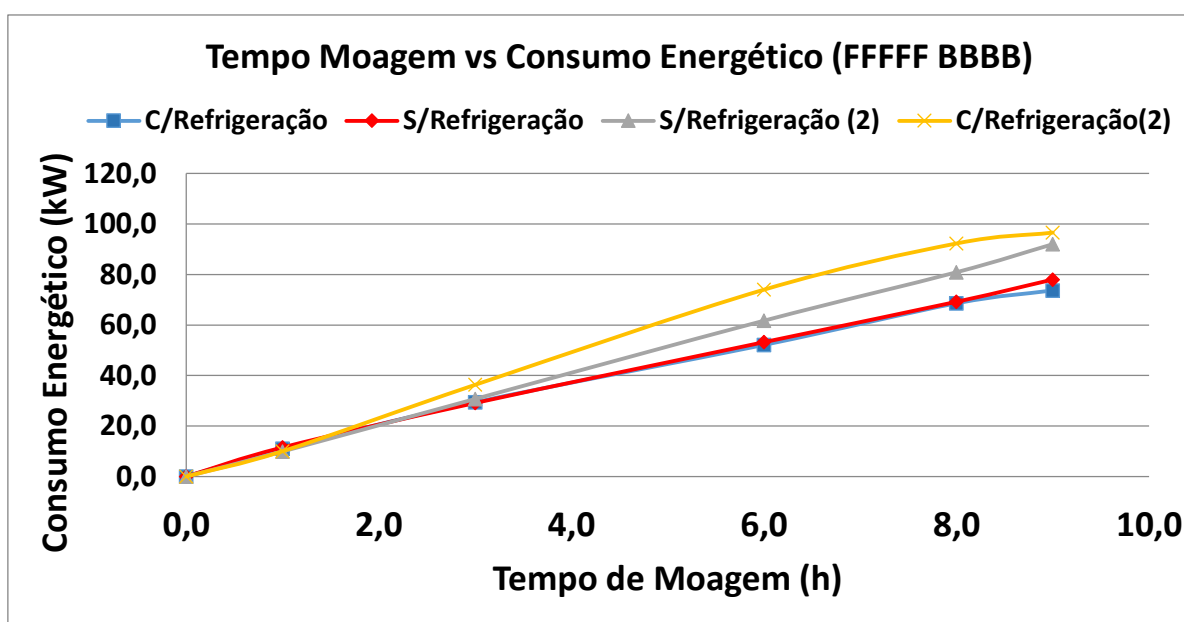


Figura 23 - Comparação entre os ensaios utilizando tanque com refrigeração e sem refrigeração, avaliando a evolução o consumo energético do moinho.

Pela análise das Figura 21, 22 e 23, pode observar-se que os ensaios com e sem refrigeração permitiram constatar que não existe vantagem significativa em utilizar o tanque refrigerado. Graficamente, o comportamento dos parâmetros avaliados é idêntico. A diferença observada encontra-se apenas no consumo energético do moinho dos segundos ensaios com e sem refrigeração, onde o consumo energético foi superior aos dois primeiros ensaios. Isto deveu-

se à manutenção preventiva realizada no intervalo destes ensaios, o moinho foi inspecionado e carregado com esferas novas, trabalhando de forma mais eficiente.

Na Tabela 5 estão quantificados os resultados referentes à média da evolução da força corante e do consumo energético e do tempo de moagem.

*Tabela 5 – Quadro que demonstra a comparação entre os ensaios com refrigeração e sem refrigeração, de forma a observar qual é o modo de operação mais vantajoso, na pasta FFFFF BBBB.*

	Com refrigeração	Sem refrigeração
<b>Tempo de Moagem (h)</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
<b>Média da evolução da força corante (%)</b>	<b>2,22</b>	<b>2,56</b>
<b>Média do consumo energético (kW)</b>	<b>8,16</b>	<b>8,48</b>

Portanto, avaliando os resultados obtidos observa-se que os ensaios sem refrigeração foram aqueles que tiveram melhores valores no que respeita à evolução da força corante. E também foram aqueles que gastaram mais energia em média. O tempo de moagem em todos os ensaios foi o mesmo, conclui-se que para o lote de fabrico em causa não existem vantagens significativas para começar a pensar utilizar no processo de moagem tanques refrigerados.

#### 5.2.5. Efeito da alteração do moinho

Foi estudado ainda a capacidade de outros moinhos conseguirem realizar a etapa de moagem para este produto, e nenhum obteve sucesso. Dessa experiência, apenas um moinho conseguiu colocar a pasta de moagem de acordo as especificações, mas foram precisas cerca de 45 horas para atingir o objetivo, e o lote máximo com que o moinho pode operar foi três vezes menor que o lote normalmente fabricado.

#### 5.2.6. Outros parâmetros

Neste momento falta verificar a influência da carga, tipo e diâmetro de esferas, processo que está em curso, para tirar melhores conclusões acerca do processo de otimização desta pasta moagem.

### 5.3. Produtos FFFFF VVVV; FFFFF ZZZZ; FFFF IIII

Os resultados apresentados neste subcapítulo são referentes a três produtos. A razão de os ter colocado juntos, deve-se às suas características físico-químicas. Possuem viscosidades, no início, muito baixas, apresentando massas volúmicas muito idênticas à da água mas à medida que a moagem ocorre começam a ficar com viscosidades muito maiores. Isto



acontece porque o tamanho de partículas diminui, aumentando de área contacto das partículas com o meio envolvente, permitindo assim uma absorção de óleo elevada, o que torna o produto mais viscoso.

Nestes produtos, existe o problema da aglomeração de partículas após dispersão, o que provoca sedimentação. Isto acontece porque são fases altamente instáveis e os pigmentos tendem a aglomerar-se após a dispersão, idealmente deve-se acabar a etapa de dispersão e iniciar de imediato o processo de moagem.

### 5.3.2. Efeito do tempo de espera entre etapas do processo

#### 5.3.2.1. FFFFF VVVV

Começando por apresentar os resultados obtidos para a pasta FFFFF VVVV, foram realizados 4 ensaios. Fabricaram-se lotes diferentes (937,50 kg; 781,25 kg; 703,126 kg), por razões estratégicas de planeamento e porque foi observado que nos lotes maiores a dispersão não era eficaz, uma vez que o tanque ficava muito cheio, e não permitia a criação de forças de corte eficazes. Relativamente às condições de operação, foram utilizadas sempre as mesmas, ou seja, caudal máximo e rotações do veio máximas. O facto de não ter sido experimentado trabalhar com caudais menores, deve-se às características iniciais da pasta de moagem. Como é uma pasta muito fluida de início e, existem grandes probabilidades de ocorrer sedimentação é importante garantir que toda a pasta passa no moinho o mais rápido possível, para promover a estabilização e total molhagem das partículas. As figuras 24 a 26 a seguir apresentadas mostram a evolução dos parâmetros força corante, grau de moagem e consumo de energético ao longo do tempo de moagem.

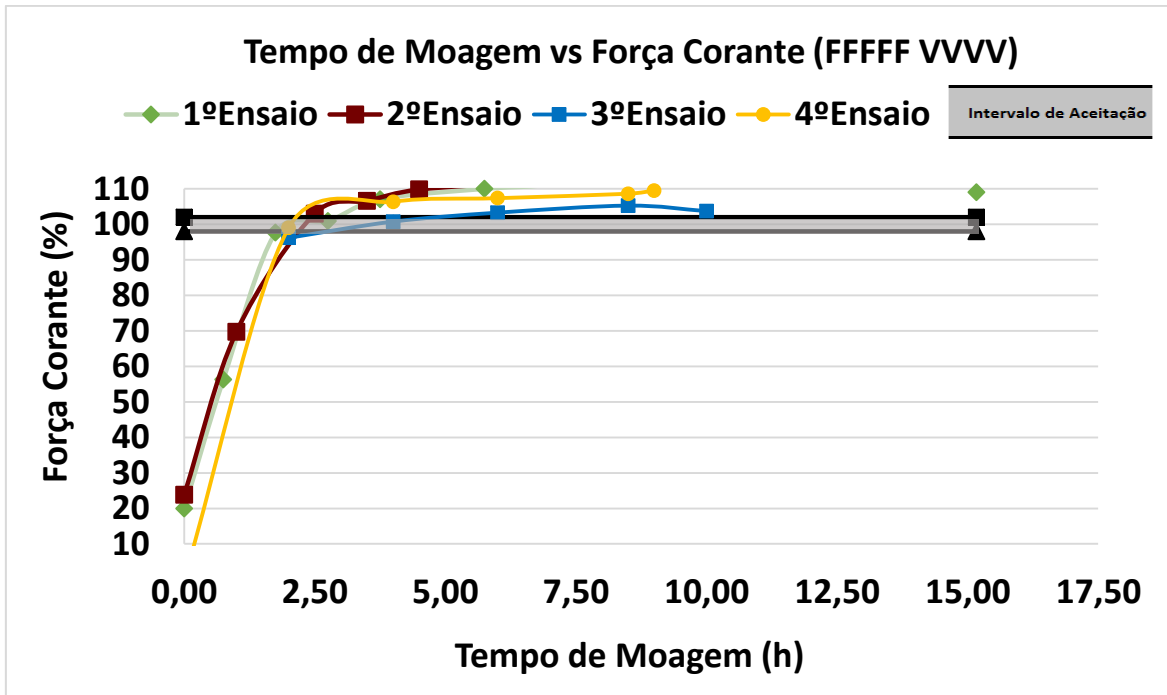


Figura 24 – Gráfico que demonstra a variação da força corante ao longo do tempo de moagem.

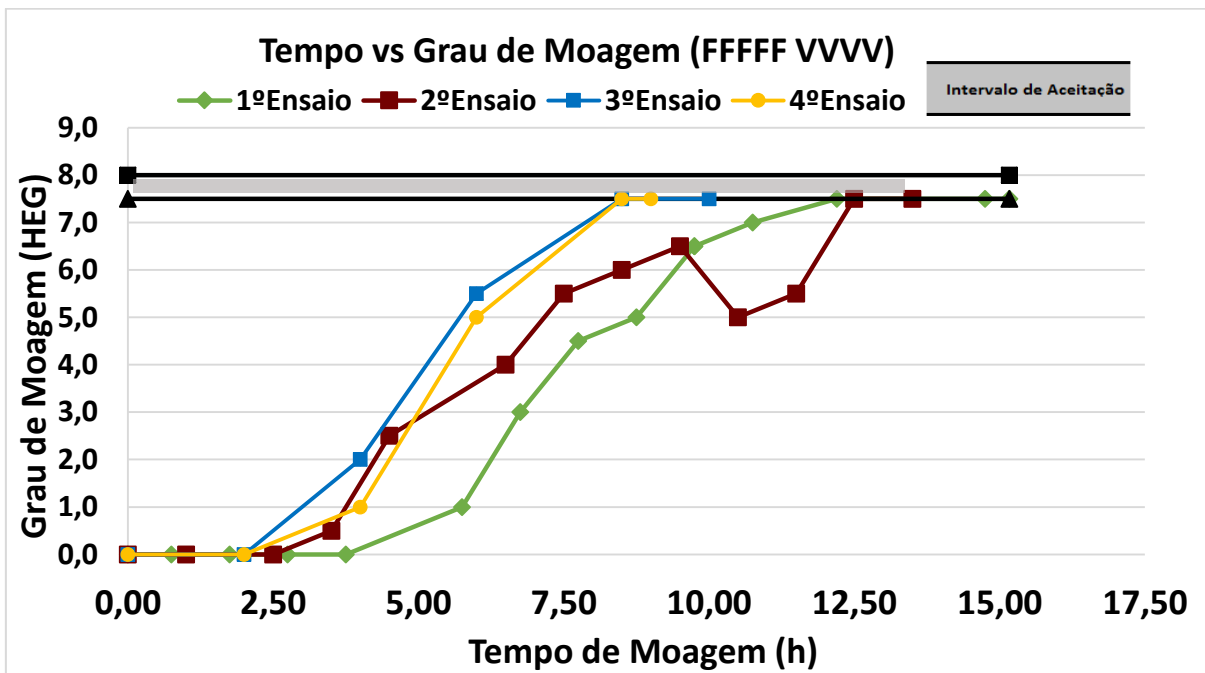


Figura 25 - Gráfico que demonstra a variação do grau de moagem ao longo do tempo de moagem.

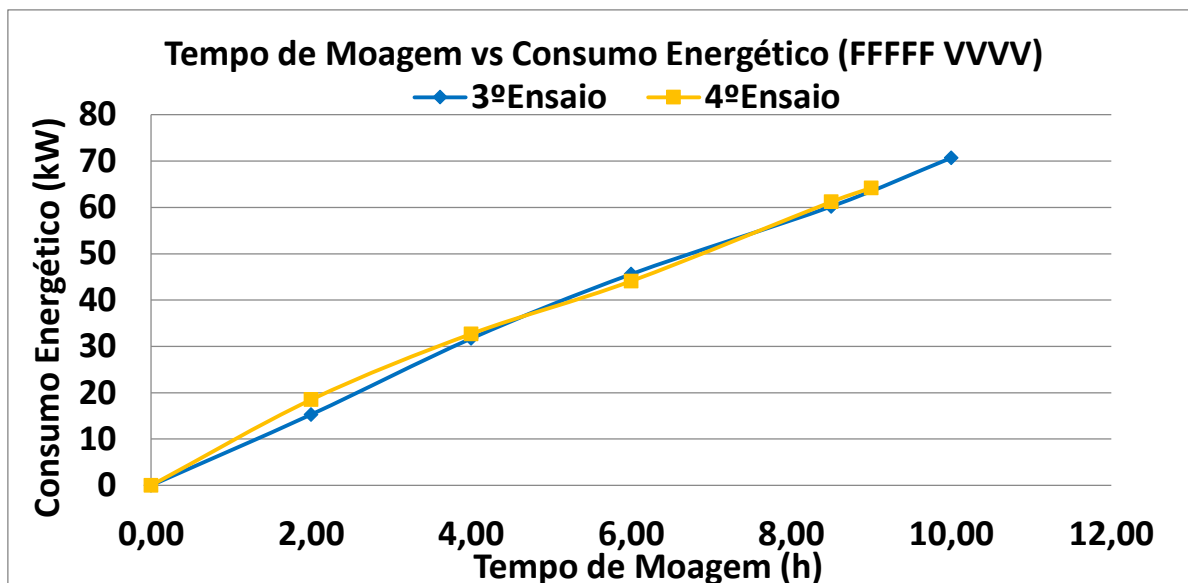


Figura 26 - Gráfico que demonstra o consumo energético ao longo do tempo de moagem.

Pela análise das Figuras 24, 25 e 26 pode constatar-se que para lotes diferentes são necessários tempos de moagem diferentes, o que seria de esperar pois quanto menor o tamanho do lote de fabrico, mantendo as mesmas condições de operação, menor terá de ser o tempo de moagem, porque o número de ciclos no moinho é maior.

Outro aspeto interessante observado através das Figuras 24 e 25 é o facto de o valor de força corante desejado de ser atingido antes do grau de moagem pretendido. Este acontecimento foi surpreendente, e aconteceu independentemente do lote de fabrico utilizado. Era de esperar que só se atingisse a força corante especificada quando o tamanho de partícula já estivesse na gama pretendida, uma vez que quanto menor a partícula maior será a força corante da pasta de moagem.

Com estes resultados, pode-se equacionar um reajuste de formulação, reduzindo a percentagem de pigmento de forma a ter o comportamento da pasta moagem de acordo com o ideal. A forma atual não permite ter o indicador de bem à primeira deste produto a 100%, porque para se obter o grau de moagem pretendido é ultrapassada a especificação da força corante. Adicionalmente, este ajuste pode refletir-se na redução do custo da formulação, pois o custo do pigmento tem um peso significativo no total de formulação.

Tabela 6 – Apresentação das retas relativas ao consumo energético para a pasta de moagem FFFFF VVVV, em função do tempo de moagem onde a variável “y” representa o consumo energético e a variável “x” o tempo de moagem.

FFFFF VVVV	Tempo de moagem (h)	Consumo energético (kW)
3º Ensaio	10	$y = 7,01x + 1,59$
4º Ensaio	9	$y = 6,94x + 2,69$

Atualmente a trabalhar com o lote de 703,126 kg são necessárias cerca de 10 horas de moagem para colocar todos os parâmetros em conformidade com as especificações estabelecidas. O consumo energético é em média 6,98 kW/h (Tabela 6). É baixo comparativamente ao produto FFFFF BBBB (8,69 kW/h), de acordo com a especificação do fabricante do equipamento, esta diferença está diretamente relacionada com as propriedades iniciais da pasta. Quanto menor a viscosidade, menor será o consumo energético médio.

#### 5.2.1.2. FFFFF ZZZZ

Nesta pasta de moagem foram realizados 2 ensaios, com lotes de fabrico iguais (818,33 kg), mas com condições de operação diferentes. No primeiro ensaio houve um longo tempo de espera entre a dispersão e a etapa de moagem, o que fez com que nas primeiras horas de operação de moagem não se conseguisse manter o caudal. O moinho parava por excesso de pressão no interior da câmara de moagem. Só a partir do momento que a molhagem das partículas foi conseguida é que se tornou possível colocar o moinho nas rotações máximas da bomba.

No segundo ensaio, não houve tempo de espera entre a dispersão e a moagem o que permitiu desde logo trabalhar a um caudal elevado, sem paragens por excesso de pressão. As rotações da bomba foram 1000 rpm o que corresponde a um caudal de cerca de 550 kg/h.

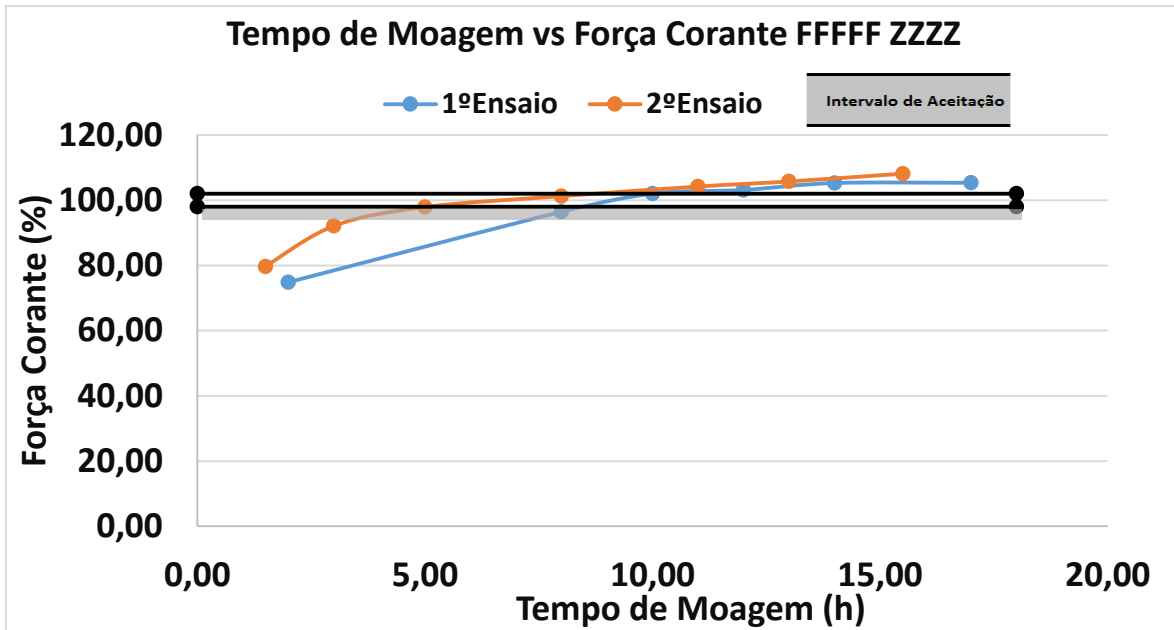


Figura 27 - Gráfico que indica a evolução da força corante ao longo do tempo de moagem.

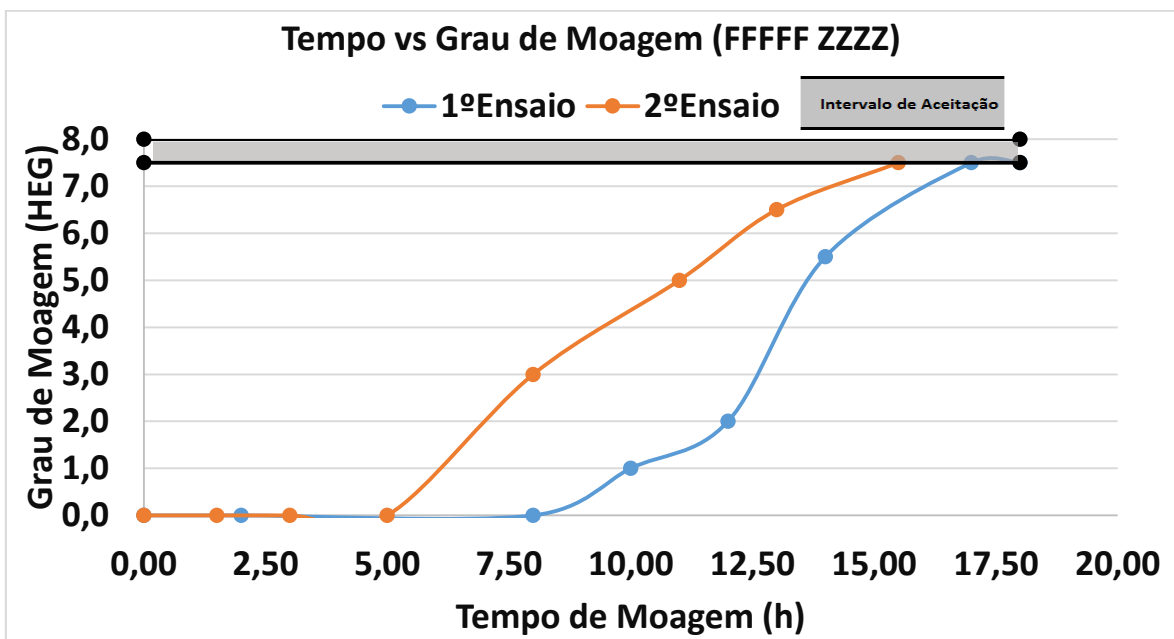


Figura 28 - Gráfico que indica a evolução do grau de moagem ao longo do tempo de moagem.

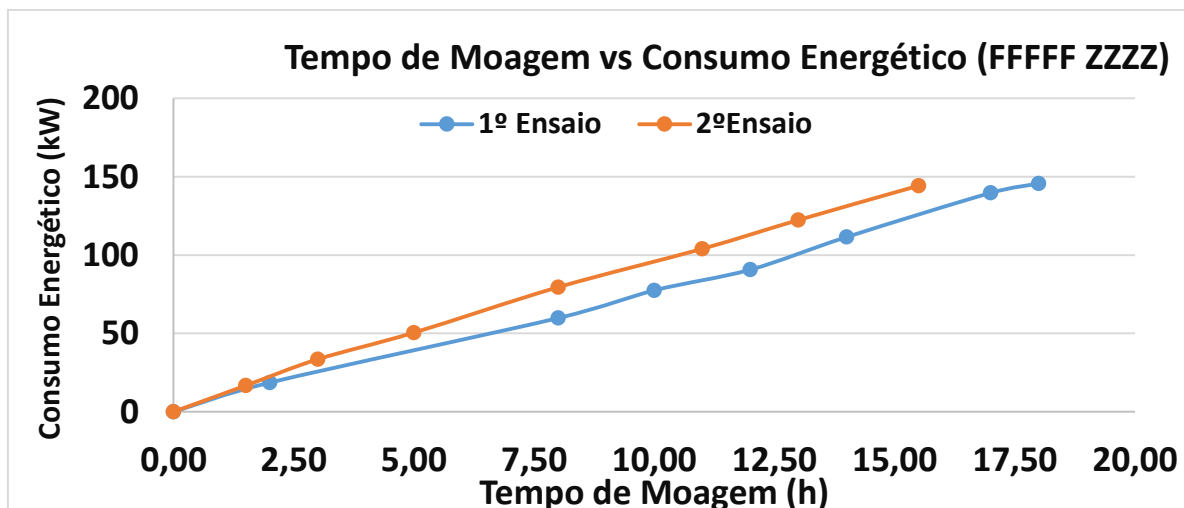


Figura 29 – Gráfico que indica a evolução o consumo energético em função do tempo de moagem.

Através da análise das Figuras 27, 28 e 29 verifica-se que houve um desvio significativo entre os dois ensaios. Isto deve-se, ao longo tempo de espera da pasta de moagem para entrar em moinho no primeiro ensaio.

À semelhança da pasta FFFFF VVVV, também se atinge primeiro o valor de força corante e posteriormente o grau de moagem. O mesmo raciocínio pode ser aplicado, o ajuste da fórmula poderá ser altamente vantajoso para a CIN.

Tabela 7 - Apresentação do tempo de moagem e das retas relativas ao consumo energético, para os 2 ensaios realizados para a pasta de moagem FFFFF ZZZZ, onde a variável “y” representa o consumo energético e a variável “x” o tempo de moagem.

FFFFF ZZZZ	Tempo de Moagem (h)	Consumo energético (kW)
1º Ensaio	18,0	$y = 8,05x - 1,07$
2º Ensaio	15,5	$y = 9,18x + 3,42$

Atualmente o tempo necessário de processamento em moinho desta pasta rondará as 15 horas, desde que não haja tempo de espera entre etapas. A espera entre as duas etapas de fabrico provocam impacto imediato e ineficiências quantificáveis tais como:

- Aumento da duração da moagem;
- Aumento do consumo energético;
- Necessidade de intervenção humana.

Se o moinho não trabalhar continuamente e se não existirem tempos de espera entre etapas de fabrico também tem impacto no consumo energético, como se pode verificar nas retas referentes ao consumo energético (Tabela 7) o 2º ensaio apresenta um consumo médio distinto 2º ensaio.

### 5.2.1.3. FFFFF IIII

Os seguintes resultados correspondem a 3 ensaios, sendo o primeiro um fabrico de 857,144 kg e os restantes de 571,428 kg. As condições de operação foram iguais em todos os ensaios, sendo como habitual as rotações máximas da bomba (1498 rpm) e do veio (1059 rpm). O motivo pelo qual se alterou o lote de fabrico é o mesmo apresentado, anteriormente, para a pasta de moagem FFFFF VVVV, ou seja por razões estratégicas de planeamento e para melhorar a eficácia da dispersão, facilitando assim a etapa seguinte, a moagem.

As figuras a seguir apresentadas demonstram a evolução dos parâmetros força corante, grau de moagem e consumo energético, que foram monitorizados ao longo do processo de moagem.

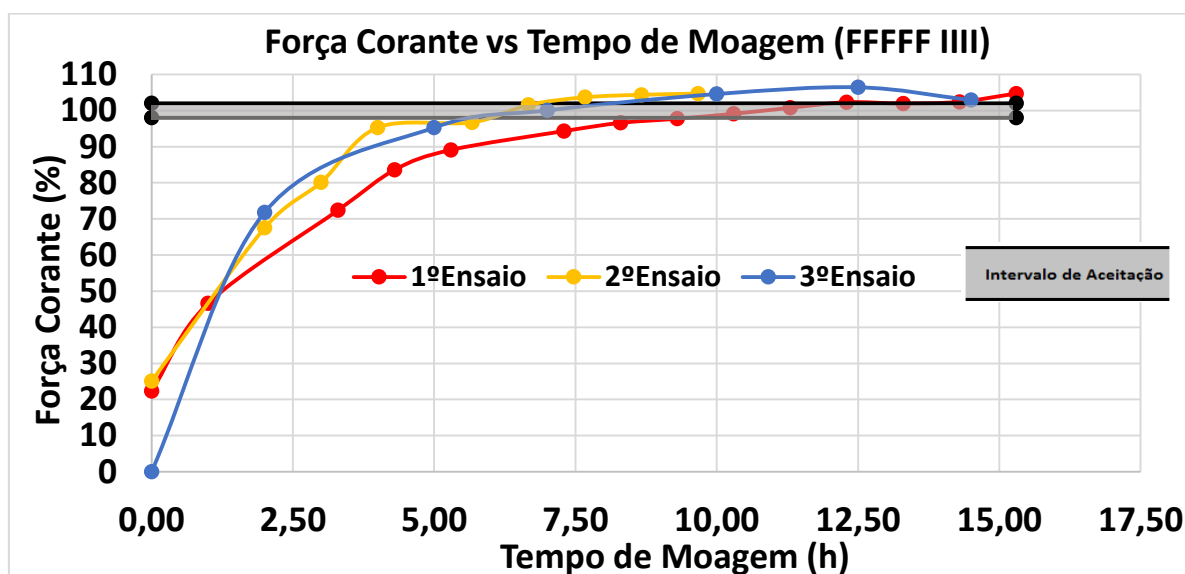


Figura 30 – Gráfico que demonstra o crescimento do parâmetro força corante ao longo da etapa de moagem.

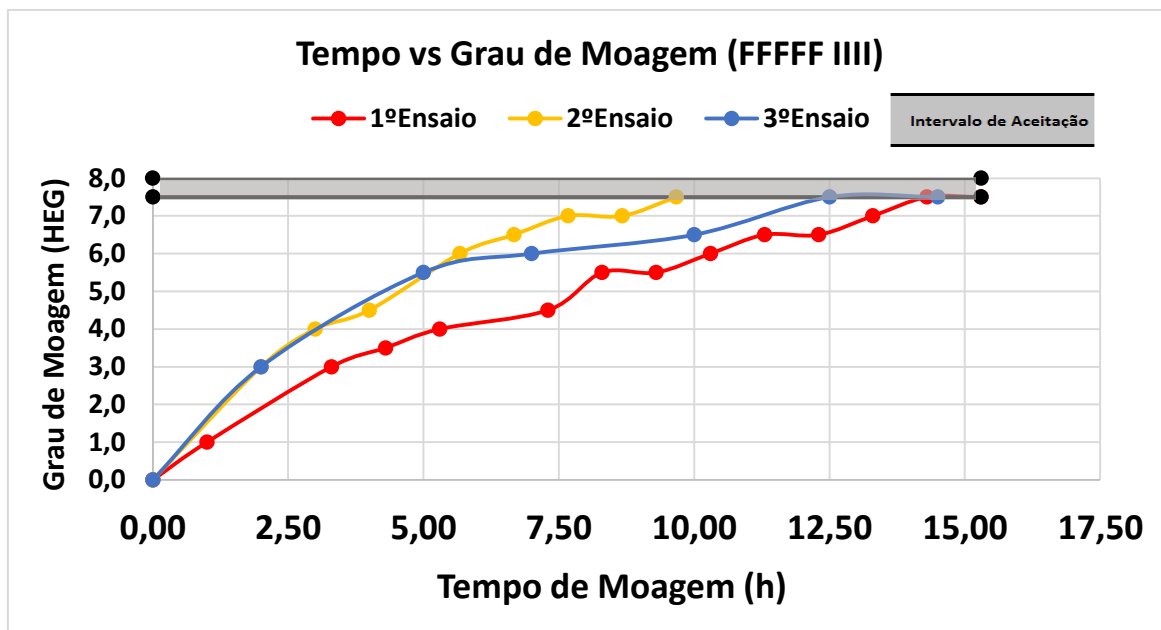


Figura 31 - Gráfico que demonstra o crescimento do parâmetro grau de moagem ao longo da etapa de moagem.

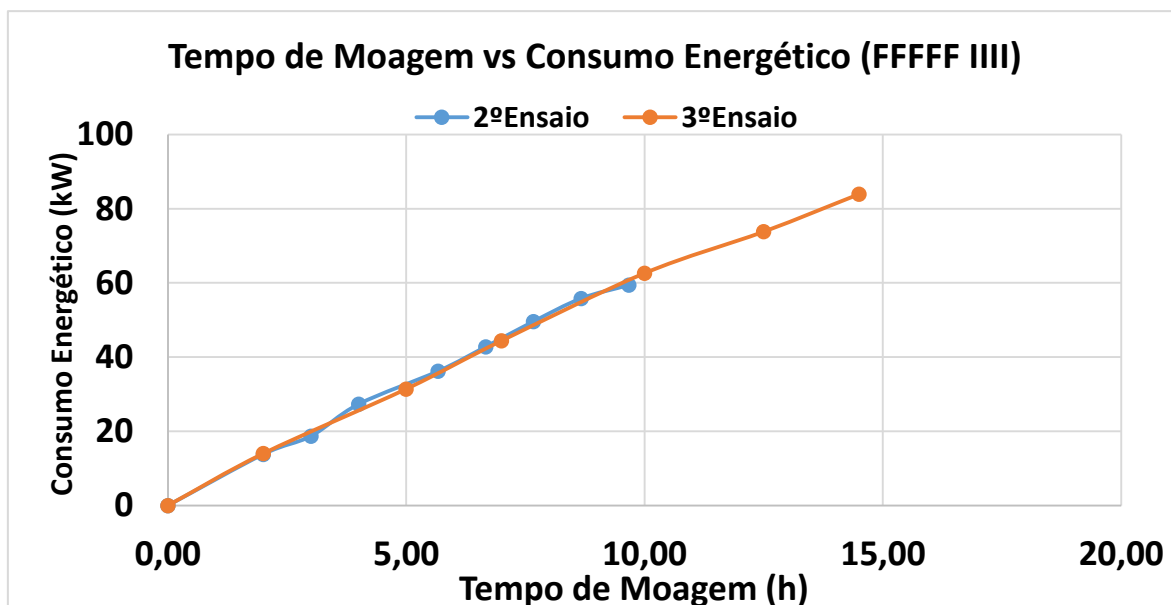


Figura 32 - Gráfico que demonstra o consumo energético ao longo da etapa de moagem.

Analisando as Figuras 30, 31 e 32 podemos concluir que com o lote de 857,144 kg são necessárias cerca de 15 horas de moagem para atingir os valores pretendidos, mas quando se utiliza o lote mais pequeno o tempo necessário reduz-se para cerca de 10 horas. Nas Figuras 29 e 30 observa-se uma ligeira diferença entre o 2º e 3º ensaio.



A diferença poderá ter origem no tempo de espera do produto para entrar em moinho. O 3º ensaio esteve um tempo significativo de espera o que teve impacto na evolução de determinadas propriedades da pasta.

Mais uma vez, verifica-se que foi atingido o valor pretendido de força corante antes de se ter chegado ao grau de moagem especificado. Como já foi referido, a solução para este acontecimento, poderá ser um reajuste da formulação, reduzindo a percentagem de pigmento introduzida na formulação. Quando se atinge o grau de moagem de 7,5 Hegman, o valor de força corante já ultrapassou a especificação máxima de 102%.

Na Tabela 8 está quantificado o valor do consumo energético médio para o 2º e 3º ensaio, bem como o tempo de moagem para cada ensaio.

*Tabela 8 – Quadro resumo, que mostra o consumo médio de energia para cada ensaio realizado, bem como o tempo despendido em cada, onde a variável “y” representa o consumo energético e a variável “x” o tempo de moagem.*

FFFFF IIII	Tempo de moagem (h)	Consumo energético (kW)
2º Ensaio	10,0	$y = 6,25x + 0,87$
3º Ensaio	12,5	$y = 5,79x + 2,10$

Através da Tabela 8 pode confirmar-se que no 3º ensaio houve um tempo de espera significativo para iniciar o processo de moagem, uma vez que o consumo médio de energia foi inferior em comparação com o 2º ensaio. Esta situação deve-se à sedimentação formada, o que torna a pasta de moagem muito líquida na superfície ficando um grande depósito de partículas no fundo do tanque. Este acontecimento já foi observado no 1º ensaio da pasta FFFFF ZZZZ, e o comportamento energético foi idêntico.

Por isso, mais uma vez, se confirma a importância de garantir uma boa gestão operacional de forma, a cumprir a sequência de etapas de fabrico sem tempos de espera elevados entre os vários processos de fabrico.

#### 5.4. Produtos FFFFF AAAA; FFFFF OOOO; FFFFF RRRR

Neste subcapítulo estarão agrupadas as seguintes pastas FFFFF AAAA, FFFFF OOOO e FFFFF RRRR, devido ao seu modo de fabrico e aos problemas comuns que apresentam.

As pastas têm o mesmo modo de operação, ou seja, são processadas em moinho por passagens. Neste tipo de operação não existe agitação. Os problemas também são idênticos e estão relacionados com a grande dificuldade em reproduzir para diferentes ensaios as mesmas condições de operação, atualmente o caudal é regulado de forma manual e depende da sensibilidade do operador a escolha do caudal de operação. Esta situação, obviamente, não é ideal para o fabrico de pastas, pois pretende-se que exista um modo de operação, padrão, independentemente do operador que está a trabalhar naquele momento. Este problema vai ser identificado nos resultados apresentados a seguir.

A nível de planeamento de fabricos, na CIN, os moinhos são divididos por tipo de produto, ou por cor. Por isso, as pastas de moagem aqui apresentadas são sempre processadas nos mesmos equipamentos. Poderão existir alterações em situações extremas, que não ocorreram durante o projeto

##### 5.4.2. FFFFF AAAA

No total para esta pasta foram realizados 3 ensaios, sempre com o mesmo lote de fabrico, 1538,461 kg. Com as condições atuais, esta pasta exige no mínimo 2 passagens de forma a garantir a estabilidade e não deve ser processada mais de 3 vezes no moinho, pois já foi observada existência de desvios de cor, o que não é desejável.

Nas seguintes figuras (33 a 35) podem-se avaliar todos os parâmetros estudados e verificar o caudal de operação utilizado.

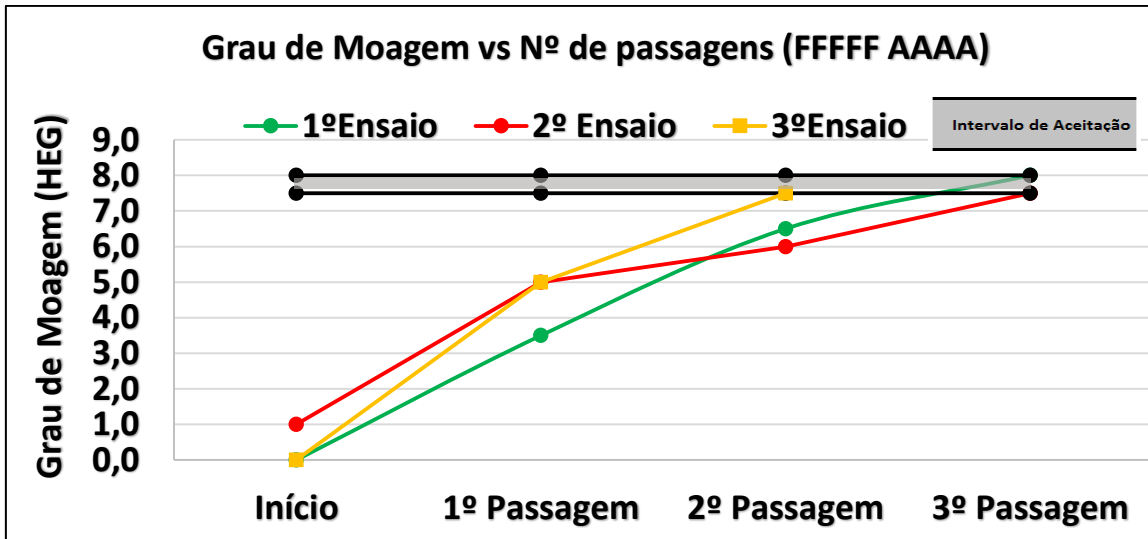


Figura 33 – Gráfico que demonstra a variação do grau de moagem por passagem.

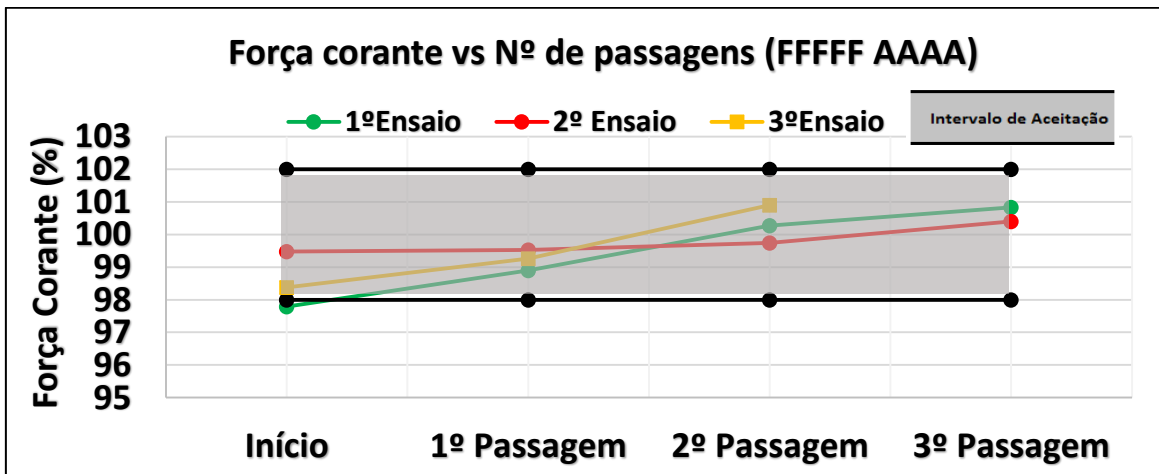


Figura 34 - Gráfico que demonstra a variação da força corante por passagem.

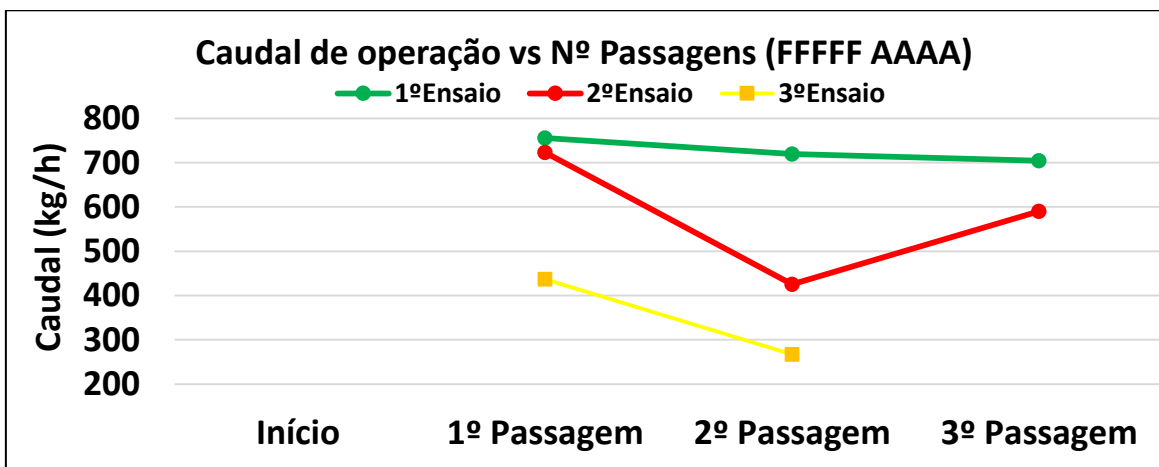


Figura 35 – Gráfico que demonstra a caudal utilizado em cada passagem.

Depois da análise das Figuras 33, 34 e 35 pode constatar-se que as condições de operação não foram as mesmas, uma vez que foram utilizados diferentes caudais. A alteração do caudal afeta o tempo de residência da pasta dentro da câmara de moagem. Este fator é relevante, pois um caudal baixo poderá significar demasiado tempo de residência do produto dentro do moinho ou um caudal elevado que não permite tempo suficiente para as esferas colidirem com a pasta e exercer as forças de martelamento e corte essenciais. Em suma utilizar caudais muito baixos ou muito altos não é bom para a eficiência do processo de moagem.

Também se observou que durante o fabrico o caudal também varia. Esta variação é explicada pela alteração das propriedades da pasta de moagem. A redução do tamanho de partícula, aumenta a taxa de absorção, o que traduz um aumento na viscosidade do produto. A bomba de alimentação do moinho mostrou-se incapaz de manter o caudal. O caudal diminuiu e o tempo de residência aumentou.

Como se pode verificar, só foram necessárias 2 passagens, quando se trabalhou com o caudal mais baixo, ou seja, com tempos de residência superiores, mas foi o ensaio mais lento.

O que nos leva para outro problema, nestes casos, é melhor o fabrico que gasta menos recursos, nomeadamente, tanques novos e mão-de-obra, ou aquele que é mais rápido.

Na Tabela 9 é possível verificar a relação entre caudal e o número de passagens associadas a cada fabrico. Através do caudal médio e o lote de fabrico foi possível estimar o tempo de fabrico utilizado.

*Tabela 9 – Quadro onde se encontra os caudais médios, o número de passagens e tempo estimado para cada ensaio.*

FFFF AAAA	Nº Passagens	Caudal médio (kg/h)	Tempo de residência médio (min)	Tempo médio por passagem (h)	Tempo total de fabrico (h)
1º Ensaio	3	726,37	2,72	2,12	6,35
2º Ensaio	3	579,69	3,41	2,65	7,96
3º Ensaio	2	351,86	5,62	4,37	8,74

A Tabela 9 permite ter a ideia que talvez seja possível ter fabricos com 2 passagens e demorando tempos idênticos ou até melhores que os fabricos que necessitaram de 3 passagens. Portanto existe margem para aumentar o caudal de operação, e assim possivelmente chegar a um de tempo ótimo de operação e gastar menos recursos. Na Tabela 9 não estão contabilizados os tempos de troca de tanques mas foi assumido que esse tempo

é idêntico em todos os ensaios. A grande dificuldade é encontrar a forma de facilmente chegar ao caudal desejado.

Portanto no futuro é essencial encontrar a maneira de controlar e de chegar rapidamente ao caudal de operação desejado, sendo que primeiro será necessário definir qual o valor mais indicado para trabalhar considerando todos os fatores associados ao processo de moagem.

#### 5.4.3. FFFFF OOOO

Nesta pasta foram, ao todo, acompanhados 4 ensaios, com lotes de fabrico de 1525,426 kg cada um. Tal como na pasta estudada anteriormente, o grande problema é a dificuldade em estabelecer um caudal de operação que seja facilmente implementado, independentemente, do operador ou ensaio.

Os resultados obtidos estão apresentados nas seguintes figuras (36 a 38). É possível tirar conclusões da evolução dos parâmetros avaliados para cada passagem e assim ajustar determinadas condições de operação de maneira a ter o maior número de benefícios, mantendo a qualidade do produto mas com menos perdas de tempo.

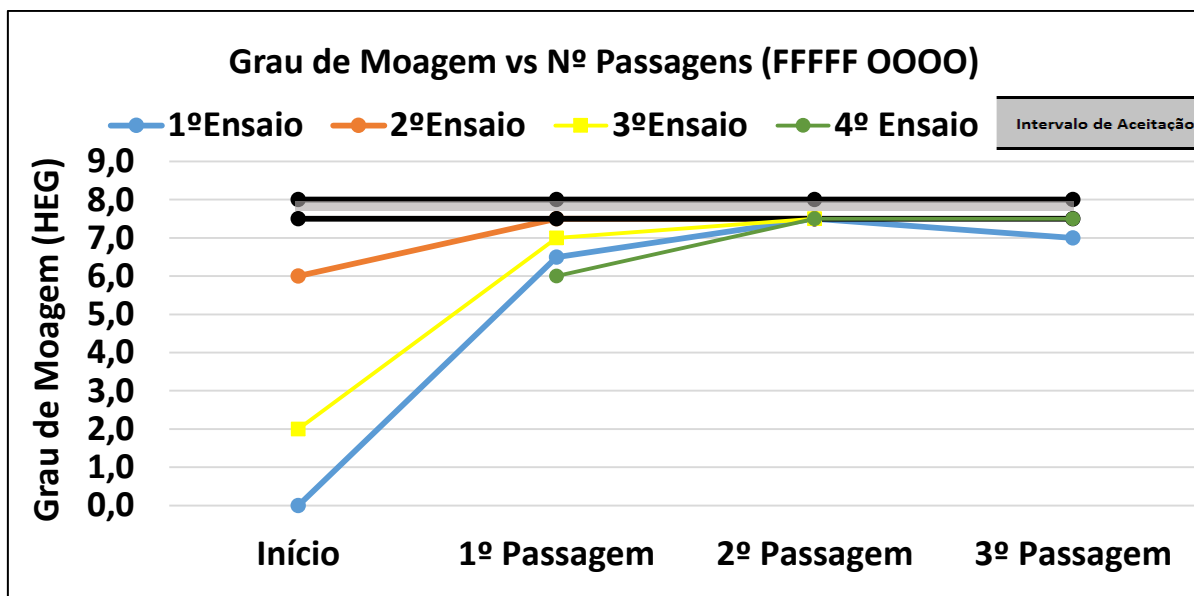


Figura 36 – Gráfico que permite avaliar a variação do grau de moagem por cada passagem realizada.

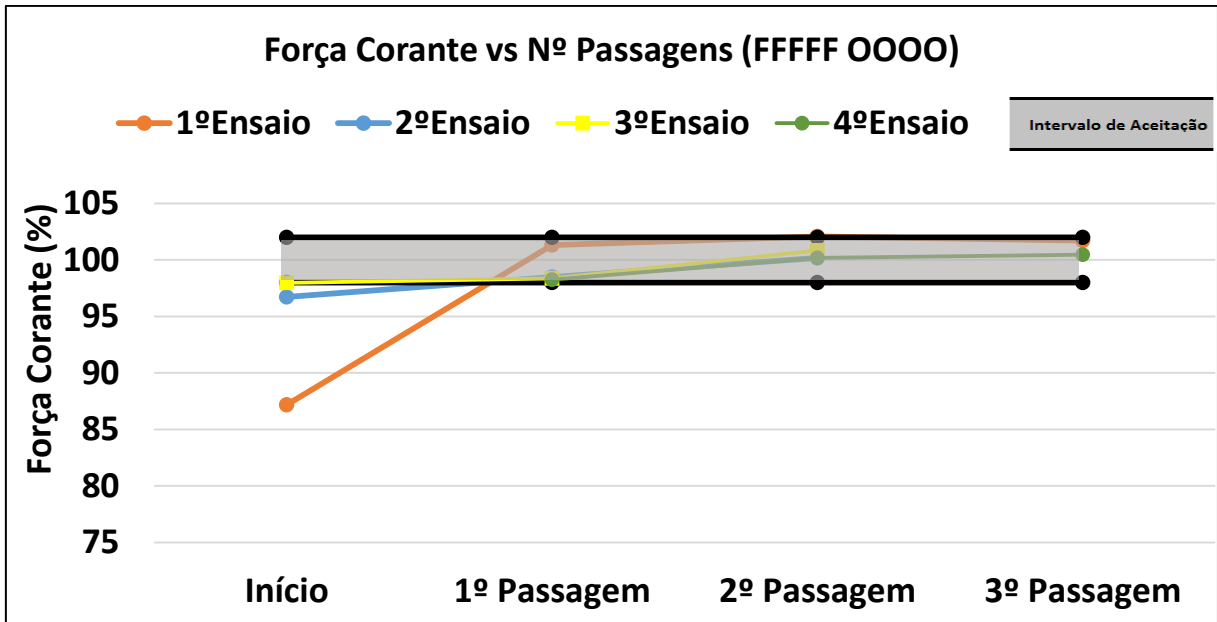


Figura 37 - Gráfico que permite avaliar a variação da força corante por cada passagem realizada.

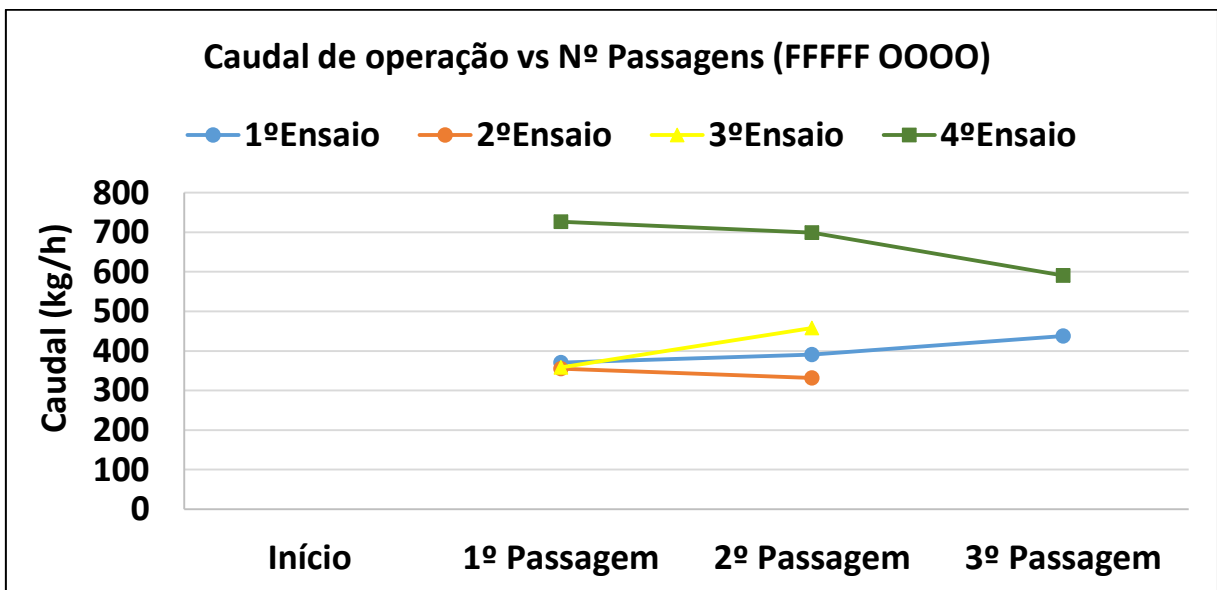


Figura 38 - Gráfico que permite avaliar a variação do caudal de operação em cada passagem realizada.

Pela análise das Figuras 36, 37 e 38 verifica-se que as dificuldades apresentadas se confirmam, pois não existe uniformidade no caudal de operação utilizado de passagem em passagem e também nos diferentes ensaios realizados. Normalmente, o número de passagens varia entre 2 a 3, sendo que o 1º ensaio, na segunda passagem devia ter sido parado, uma vez que já se encontrava de acordo com as especificações. No entanto, talvez por uma incorreta leitura do grau de moagem, foi realizada mais uma passagem. No 4º ensaio também era possível ter dado apenas 2 passagens mas neste caso, isto está relacionado com a boa

dispersão realizada, uma vez que o grau de moagem inicial era 6,0 Hegman, Aqui comprova-se a importância de garantir uma boa dispersão, pois apesar de ter sido utilizado um caudal bastante elevado comparado com os restantes ensaios, era possível realizar apenas 2 passagens, porque se partiu de um grau de moagem bastante alto. Nesta pasta não existem problemas em atingir os valores de força corante especificados, até porque em todos os ensaios não foi preciso nenhum tipo de correção neste parâmetro.

A Tabela 10 apresenta as condições de operação, com os dados dos caudais médios, e o tempo de residência associado, o número de passagens necessárias e por fim o tempo estimado de fabrico.

*Tabela 10 - Quadro com os caudais médios, o número de passagens e tempo estimado para cada ensaio da pasta de moagem FFFFF OOOO.*

<b>FFFF OOOO</b>	<b>Nº passagens</b>	<b>Caudal médio (kg/h)</b>	<b>Tempo de residência médio (min)</b>	<b>Tempo médio por passagem (h)</b>	<b>Tempo total de fabrico (h)</b>
<b>1º Ensaio</b>	<b>3</b>	<b>399,69</b>	<b>4,08</b>	<b>3,82</b>	<b>11,45</b>
<b>2º Ensaio</b>	<b>2</b>	<b>343,23</b>	<b>4,75</b>	<b>4,44</b>	<b>8,89</b>
<b>3º Ensaio</b>	<b>2</b>	<b>408,07</b>	<b>3,99</b>	<b>3,74</b>	<b>7,48</b>
<b>4º Ensaio</b>	<b>3</b>	<b>672,07</b>	<b>2,43</b>	<b>2,27</b>	<b>6,81</b>

A Tabela 10 permite constatar que o ensaio mais rápido foi o que precisou de mais passagens, o que parece um pouco contraditório, No entanto, o facto de se partir de uma etapa de dispersão muito eficaz, já se está a reduzir o tempo de moagem necessário.

Comprova-se que é possível realizar fabricos desta pasta de moagem, em cerca de 7 horas desde que a dispersão seja eficiente. A definição do caudal operação ótimo poderá traduzir em benefícios operativos e monetários.

#### 5.4.4. FFFFF RRRR

Relativamente ao último produto deste subcapítulo, foram realizados 3 ensaios, sendo que os 2 primeiros no total tinham 800 kg cada e o último ensaio era de 1000 kg. Mais uma vez, não foi possível manter as condições de operação inter-ensaios nem intra-ensaios, pelas mesmas razões anteriormente explicadas.

Os resultados dos 3 ensaios acompanhados serão a seguir apresentados, de forma a que através da sua análise, resulte uma solução para contornar os problemas já detetados e assim melhorar o fabrico deste tipo de produto.

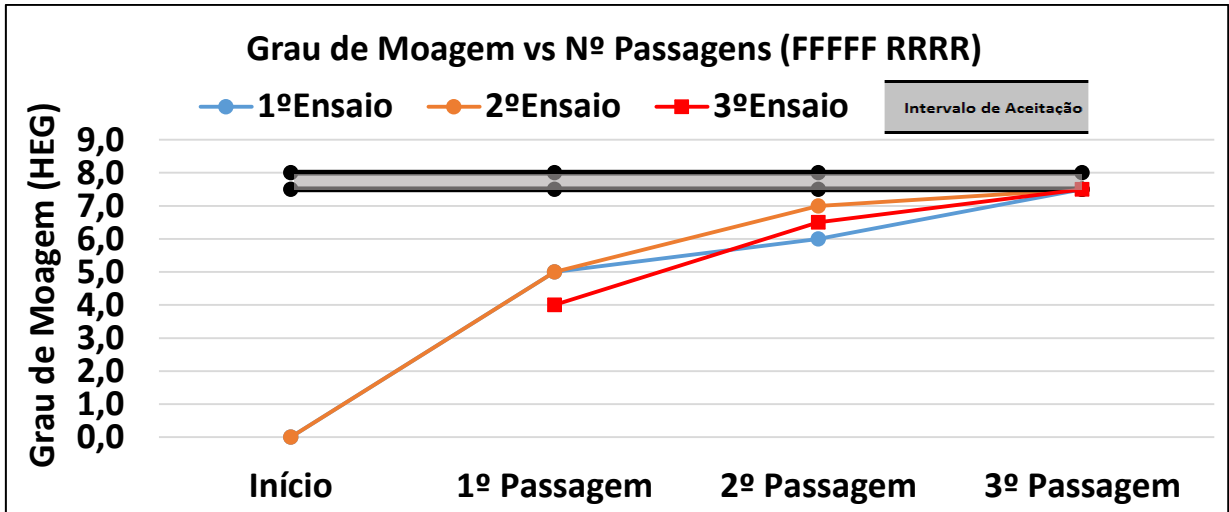


Figura 39 - Gráfico que permite avaliar a variação do grau de moagem por cada passagem realizada.

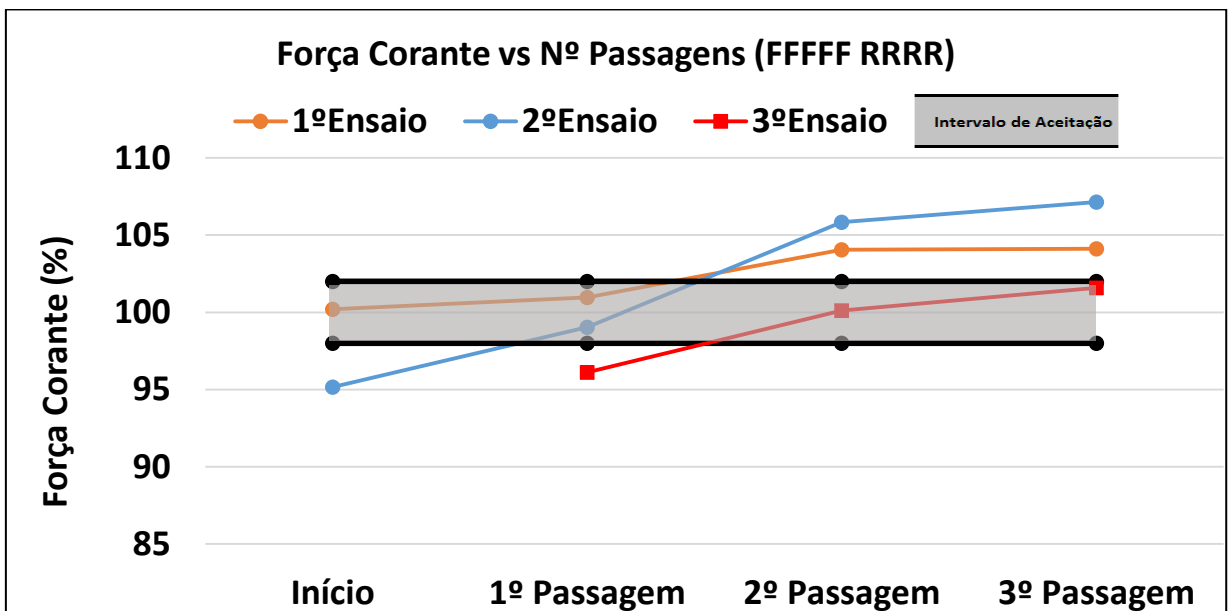


Figura 40 - Gráfico que permite avaliar a variação da força corante por cada passagem realizada.



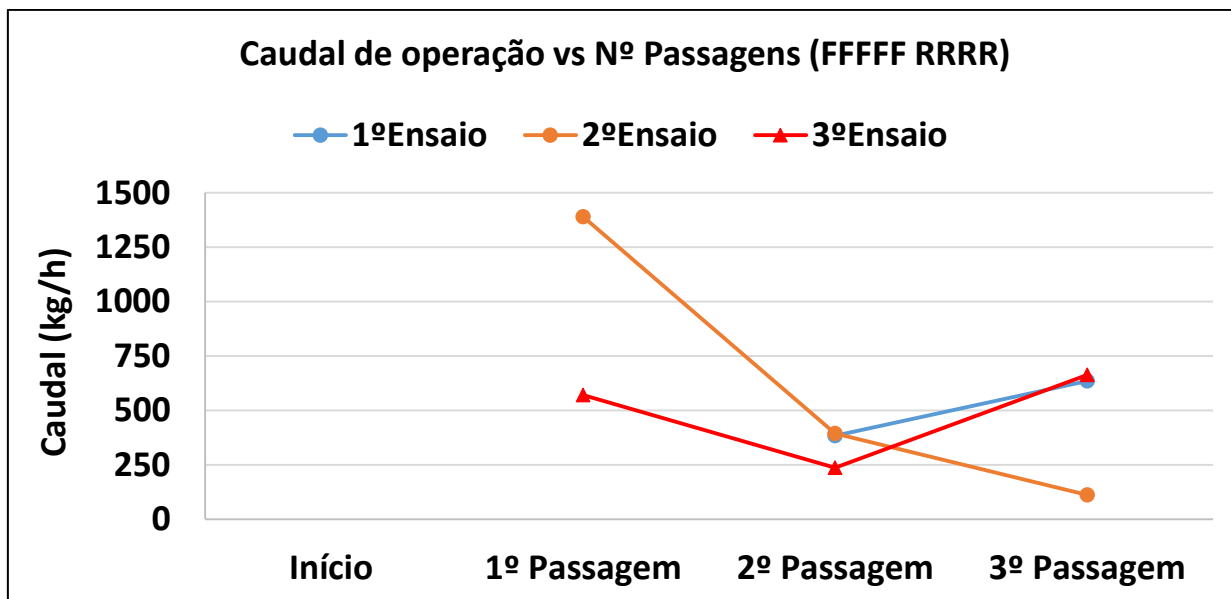


Figura 41 - Gráfico que permite avaliar a variação do caudal de operação por cada passagem realizada.

Para atingir as especificações avaliadas pelo Laboratório de Inspeção Final, em todos os ensaios foram necessárias 3 passagens, mesmo variando o lote de fabrico. Pode verificar-se pelas Figuras 39, 40 e 41 que a única diferença observada entre os ensaios é que utilizando um lote maior a força corante ficou dentro dos limites especificados, e assim não foi necessária nenhuma correção. Nos ensaios com lote de 800 kg mesmo utilizando caudais altos, a força corante ficou acima do limite superior, e foi preciso proceder à diluição para colocar de acordo com as especificações.

Tal como nas pastas anteriormente referenciadas (pastas FFFFF AAAA, FFFFF OOOO) esta tem um comportamento reológico semelhante, na medida em que fica mais viscosa à medida que é processada pelo moinho. Este facto é observado, através do caudal de operação que tem tendência a diminuir a cada passagem, significando que existe mais resistência ao movimento por parte da pasta de moagem.

Tal como nos ensaios anteriores a dificuldade na reprodução das condições de operação, é um desafio que fará parte do processo contínuo de otimização.

Na tabela apresentada a seguir (Tabela 11), encontram-se os caudais médios de cada ensaio, e o tempo da etapa de moagem, estimado a partir do caudal e do número de passagens realizadas.

Tabela 11 – Quadro onde se visualiza os caudais médios, o número de passagens e tempo estimado para cada ensaio.

FFFF RRRR	Nº passagens	Caudal médio (kg/h)	Tempo de residência médio (min)	Tempo médio por passagem (h)	Tempo total de fabrico (h)
1º Ensaio	3	509,31	2,06	1,57	4,71
2º Ensaio	3	631,41	1,66	1,27	3,80
3º Ensaio	3	489,83	2,15	2,04	6,12

Como se pode observar pela Tabela 11 os ensaios mais rápidos foram, os 2 primeiros. Mas no entanto seria possível diminuir mais o tempo de operação, uma vez que nestes 2 ensaios a força corante fica acima dos limites, devido a um tempo de residência superior em relação aquilo que era necessário. Isto é aplicável para o caso de lotes com 800 kg. No último ensaio, como só foi realizado uma única vez com o lote de 1000 kg não existe termo de comparação para saber se o caudal utilizado é o mais indicado ou se é possível melhorar mais a operação.

#### 5.5. Plano de Intervenção Preventiva nos moinhos

Durante este trabalho foi notado que a manutenção dos moinhos podia ser melhorada. Para isso definiu-se o número de horas entre intervenções de manutenção, onde se realiza a inspeção e verificação do moinho de forma a manter as condições de moagem otimizadas. Poderá haver por vezes necessidade de realizar manutenções corretivas quando existem problemas que impeçam realizar o fabrico de algum produto. Foi também elaborada uma folha padrão de acompanhamento de intervenções para registar todas as ocorrências relevantes. No caso de se detetar um problema recorrente, será facilmente identificado e será pensada a sua solução. Os parâmetros avaliados, são as peças consideradas como consumíveis, ou seja, discos, carga de esferas e tamiz. Também é realizada uma apreciação sobre o estado da cuba, pois em caso de rotura pode entrar líquido de refrigeração para a tinta e dar origem a uma contaminação. Nas figuras a seguir apresentadas estão alguns problemas detetados durante as intervenções realizadas.



*Figura 42 – Tamiz totalmente obstruído.*

A Figura 42 apresenta um tamiz totalmente obstruído, o que dificulta a passagem da tinta pelo moinho, criando uma pressão excessiva naquela zona e causando a deformação do tamiz e perda de esferas.



*Figura 43 - Comparação entre um disco novo e um disco rejeitado.*

Na Figura 43, estão presentes dois discos, o da esquerda apresenta um desgaste acentuado obrigando à sua substituição e o da direita é um disco novo. O critério de substituição foi fornecido pelo fabricante e está relacionado com a massa da peça.



*Figura 44 - Avaliação do estado da cuba.*

Na Figura 44 observa-se o estado de uma cuba. Verifica-se desgaste nos locais onde se encontram os discos, mas não existe nenhum ponto de possível rotura e por isso a avaliação é positiva. De uma forma geral, este plano de intervenção tem sido bastante positivo, requer mais mão-de-obra e uma melhor gestão dos fabricos, mas garante-se que os moinhos estão sempre em bom estado de funcionamento. O exemplar da folha de acompanhamento das intervenções realizadas encontra-se no Anexo J.

## 6. Conclusões e Perspetivas futuras

Com este trabalho foi possível sugerir melhorias quer operacionais, quer monetárias bem como recolher muitas informações do processo de moagem das várias pastas corantes fabricadas.

Durante o projeto foi possível reduzir o tempo de moagem da pasta FFFFF BBBB. Conseguiu-se uma redução em cerca de 5 horas de moagem, corresponde a menos 18% do tempo anteriormente necessário, o que tem associado, uma poupança monetária de aproximadamente 40 euros por fabrico, considerando a mesma quantidade fabricada. Esta melhoria deve-se sobretudo a reajuste de formulação, controlo mais rigoroso e garantia do bom estado do moinho. Ainda ficou provado que no moinho onde se realiza esta pasta o caudal não é uma variável com impacto significativo.

Relativamente às pastas FFFFF VVVV, FFFFF ZZZZ e FFFFF IIII foi verificado que os tempos de espera elevados entre as etapas de dispersão e moagem têm impacto relevante nos tempos de processamento. Constatou-se que existe uma oportunidade de alterar as percentagens de pigmento presentes nas formulações, uma vez que os valores de força corante estão a ultrapassar o limite máximo especificado, antes de se ter chegado ao grau de moagem pretendido, este tema está a ser desenvolvido com o Centro de Investigação e Desenvolvimento da CIN.

Apesar destas observações os tempos de moagem estão totalmente controlados e há conhecimento detalhado de todo o processo.

Para as pastas processadas por passagens, FFFFF AAAA, FFFFF OOOO e FFFFF RRRR, existe dificuldade em reproduzir as mesmas condições de operação em diferentes fabricos e também existe um menor número de fabricos, o que atrasa o processo de otimização destes produtos. Portanto, neste momento, o desafio é de encontrar uma solução para garantir a reprodutibilidade das condições de operação que permita chegar ao rendimento máximo.

O projeto realizado teve impacto significativo, pode avaliar-se o indicador global da qualidade de todo o processo de fabrico, denominado de “bem à primeira”. No ano de 2015, este indicador estava com 67%, apesar de terem sido implementadas determinadas melhorias nesse ano, o resultado deste indicador é cumulativo, por isso é muito difícil verificar o impacto do trabalho em 2015. Mas observando o ano de 2016 entre os meses de Janeiro e Maio o indicador está em 80% o que significa uma melhoria de 13 % relacionada com o

trabalho realizado. Além do estudo desenvolvido a sensibilização da importância de certos fatores que têm impacto nos resultados, a implementação do plano de intervenção preventiva dos moinhos também se mostraram relevantes para a obtenção de melhores resultados.

Como perspectivas futuras pretende-se continuar a estudar o fabrico das pastas corantes.

Já está em curso o estudo de novos tipos de esferas de diferentes diâmetros e materiais.

Também é objetivo encontrar a solução para o problema de não conseguir reproduzir as mesmas condições de operação nos moinhos que funcionam por passagens e estudar o impacto etapa de dispersão na moagem.

Mais a longo prazo seria interessante alargar este processo de otimização a outras gamas de produtos, de forma a ter as várias etapas de fabrico em sintonia e com a evolução de todos os parâmetros monitorizada.

## 7. Bibliografia

- Alua, P. (2012). *Optimização da opacidade de tintas aquosas*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Engenharia Química, Lisboa.
- CIN. (2015). *Manual de Noções Básicas de Dispersão e Moagem*.
- CIN. (2015). *CIN*. Obtido em 16 de Outubro de 2015, de CIN: <http://www.cin.pt/portal/portal/user/anon/page/default.psml?categoryOID=6D808080808A80GC&contentid=&nl=pt>
- CIN COATINGS. (2015). *Factos breves sobre a empresa*. Obtido em 16 de Outubro de 2015, de CIN COATINGS: <http://www.cincoatings.com/portalc/portal/user/anon/page/sccquemusomosdet.psml?categoryOID=11898080808180GC&contentid=E788808480CO&nl=pt>
- Ferreira, R. (2008). *Estudo da compatibilidade de pastas de corantes com bases de tintas*. Tese de Mestrado, FEUP, Departamento de Engenharia Química, Porto.
- Gardner, H. A., & Sward, G. G. (1962). *Physical and Chemical Examination- Paints, Varnishes, Lacquers and Colors*. Maryland: Gardner Laboratory, INC.
- Gil, S. F. (2013). *Criação de uma base de dados destinada à formulação automática de cores para uma tinta de fachadas, aquosa e de formulação genérica, com uma gama nova de pastas corantes de base aquosa*. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Engenharia de Materiais.
- Harbs, E. T. (2014). *A moagem super fina em agitador- Um processo físico para a obtenção de nanopartículas*. NETZSCH.
- Koleske, J. V. (1972). *Paint & Coating Testing Manual*.
- Lowe, C., Webster, G., Kessel, S., & McDonald, I. (1997). *Chemistry & Technology for UV & EB Formulation for Coatings, Inks & Paints*. Londres: John Wiley & Sons.
- Multiesferas. (2015). *O que é o zirconio e porque ele é utilizado na moagem de pigmentos*. Obtido em 14 de Outubro de 2015, de Multiesferas: <http://www.multiesferas.com.br/post/o-que-e-zirconio-e-porque-ele-e-utilizado-na-moagem-de-pigmentos>

- NETZSCH. (2010). Manual “*Grinding & Dispersing*”. Selb.
- Nogueira, J. L. (2009). *Noções Básicas de Tintas e Vernizes Volume III*. Porto: Coleção ARCP.
- Nogueira, J. L. (2009). *Noções Básicas de Tintas e Vernizes Volume I*. Porto: Coleção ARCP.
- NP 41, (1982). "Norma Portuguesa para Tintas e Vernizes: Definições. Terminologias. Lisboa, Instituto Português da Qualidade.
- NP EN ISO 1524, (2007). "Norma Portuguesa para Tintas e Vernizes: Determinação do grau de finura de moagem. Lisboa, Instituto Português da Qualidade.
- Oliver +Batlle. (2006). Manual “*La Tecnología del color*”. Barcelona.
- Pinto, S. F. (2014). *Implementação de Metodologias Lean no Setor do enchimento*. Tese de Mestrado, FEUP, Engenharia Industrial e Gestão, Porto.
- Paint Research Association (PRA). (2011). *Paint Technology Manual Parte I*. Londres.
- Paint Research Association (PRA). (2011). *Paint Technology Manual Parte II*. Londres.
- Stoye, D., Freitag, W.(2001). *Paints, Coatings, Solvents*. New York, Wiley-VHC
- Winkler, J. (2012). *Dispersing Pigments and Fillers*. Hanover: VINCENTZ.



# Anexos



Anexo A: Produto FFFFF BBBB

Tabela 12 – Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.

<b>1º Ensaio</b>			
<b>Data</b>	06/out	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	1498
<b>Produto</b>	FFFFF BBBB	<b>Rotação do veio (rpm)</b>	1059
<b>Lote (kg)</b>	869,565	<b>Agitador (rpm)</b>	850
<b>Massa Volúmica (kg/L)</b>	1,212	<b>Moinho</b>	ML 31
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	10

Tabela 13 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFFF BBBB.

<b>Tempo de moagem (h)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Caudal (kg/h)</b>	<b>Tempo de residência (min)</b>
0,00	75,62	1,0		
1,00	78,14	4,0		
1,77	78,92	6,0		
2,50	80,46	6,0		
3,50	81,76	6,0		
4,50	81,31	7,0		
6,50	82,75	7,0		
7,50	85,56	7,0		
8,50	87,94	7,0		
9,50	88,01	7,5		
10,50	87,73	7,5		
10,50	87,51	7,5		
11,50	90,64	7,5		
12,77	89,61	7,5		
13,68	90,05	7,5		
15,95	92,32	7,5		
17,37	94,19	7,5		
18,60	95,27	7,5		
19,50	96,58	7,5		
20,50	96,00	7,5		
21,50	98,08	7,0		
21,50	98,31	6,0		
22,60	100,12	6,5		
23,72	99,86	7,0		
25,92	106,00	7,5		

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 14 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.

<b>2ºEnsaio</b>			
<b>Data</b>	16/out	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	1498
<b>Produto</b>	FFFFF BBBB	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	1059
<b>Lote (kg)</b>	869,565	<b>Agitador (rpm)</b>	850
<b>Massa Volúmica (kg/L)</b>	1,212	<b>Moinho</b>	ML 31
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	10

Tabela 15 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFFF BBBB.

<b>Tempo de moagem (h)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Caudal (kg/h)</b>	<b>Tempo de residência (min)</b>
1,00	77,87	4,0		
2,00	77,63	4,0		
3,00	79,29	4,5		
4,75	82,59	5,0		
5,75	83,28	5,0		
8,75	87,64	6,0		
9,75	88,80	6,5		
10,75	87,97	7,0		
12,75	90,37	7,0		
13,75	93,12	7,0		
14,75	95,23	7,0		
15,75	94,78	7,5		
16,75	96,40	7,5		
17,75	97,32	7,5		
18,75	98,37	7,5		
19,75	99,16	7,5		
20,75	99,11	7,5		
22,25	100,24	7,5		
24,25	101,96	7,5		
25,25	103,46	7,5		
26,25	104,66	7,5		
27,25	104,23	7,5		
28,25	105,39	7,5		
29,25	105,22	7,5		
30,25	106,21	7,5		

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 16 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.

<b>3ºEnsaio</b>			
<b>Data</b>	04/nov	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	1003
<b>Produto</b>	FFFFF BBBB	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	1059
<b>Lote (kg)</b>	869,565	<b>Agitador (rpm)</b>	850
<b>Massa Volúmica (kg/L)</b>	1,121	<b>Moinho</b>	ML 31
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	10

Tabela 17 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFFF BBBB.

<b>Tempo de moagem (h)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Caudal (kg/h)</b>	<b>Tempo de residência (min)</b>
0,00	76,22	4,0		
0,00	75,67*	5,0	523,43	1,40
1,17	77,55	4,0		
1,17	80,46*	6,0	734,78	1,00
2,17	78,94	3,0		
4,17	83,28	6,0		
4,17	85,36*	7,5	486,53	1,51
5,17	85,18	6,0		
6,17	86,22	5,0		
7,17	89,38*	6,0	517,04	1,42
8,17	88,54	7,0		
9,17	90,36	7,0		
10,17	90,98	7,0		
11,17	91,74	7,0		
12,17	92,69	7,5		
13,17	93,71	7,5		
14,17	95,13	7,5		
14,17	96,27	7,0		
15,17	95,42	7,5		
15,17	97,20*	7,5	495,56	1,48
16,17	95,68	7,5		
17,17	95,70	7,5		
19,17	97,01	7,5		
20,17	98,62	7,5		
20,17	100,11*	7,5	533,28	1,38
21,17	98,94	7,5		
23,17	103,65	7,5		
24,17	104,19	7,5		
25,17	105,97	7,5		
26,17	104,62	7,5		
27,17	106,67	7,5		
28,17	106,71	7,5		
29,17	106,76	7,5		
29,92	106,72	7,5		

\*Dados recolhidos à saída do moinho.

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 18 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 4º ensaio.

4º Ensaio			
Data	18/nov	Rotação da bomba (rpm)	1000
Produto	FFFFF BBBB	Rotação de veio (rpm)	1059
Lote (kg)	869,565	Agitador (rpm)	850
Massa volúmica (kg/L)	1,212	Moinho	ML 31
		Volume da Cuba (L)	10

Tabela 19 - Dados recolhidos durante o 4º ensaio do produto FFFFF BBBB.

Tempo de moagem (h)	Força Corante (%)	Grau de Moagem (HEG)	Caudal (kg/h)	Tempo de Residência (min)
0,00	74,33	2,0		
0,00	75,47*	5,0	440,78	1,65
1,00	75,64	2,0		
1,00	78,04*	5,0	464,58	1,57
2,25	77,17	1,0		
2,25	80,80*	6,0	484,06	1,50
3,25	78,42	3,0	469,46	1,55
4,25	80,45	5,0		
5,00	83,62*	7,5	430,75	1,69
6,25	83,12	6,0		
7,25	84,84	7,5		
8,08	85,12	7,5		
9,58	86,64	7,5	713,2	1,02
10,58	87,58	7,5		
11,58	89,24	7,5		
13,00	90,50	7,5		
13,00	92,00*	7,5	403,11	1,80
14,00	90,86	7,5		
15,00	92,23	7,5		
17,00	93,88	7,5		
18,00	94,87	7,5		
19,00	96,15	7,5		
20,00	96,15	7,5		
21,00	97,48	7,5		
22,00	97,63	7,5		
23,00	98,30	7,5		
24,00	99,06	7,5		
25,00	99,69	7,5		
26,67	103,41	7,5		

\*Dados recolhidos à saída do moinho.

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 20 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 5º ensaio.

5ºEnsaio			
Data	11/fev	Rotação da bomba (rpm)	1000
Produto	FFFFF BBBB	Rotação de veio (rpm)	1059
Lote (kg)	869,565	Agitador (rpm)	850
Massa volúmica (Kg/L)	1,212	Moinho	ML 31
		Volume da Cuba (L)	10

Tabela 21 - Dados recolhidos durante o 5º ensaio do produto FFFFF BBBB.

Tempo de moagem (h)	Grau de Moagem (HEG)	Força Corante (%)	Consumo Energético (kW)
0,00	1,5	72,70	0,0
1,00	3,5	74,32	
2,00	5,5	75,84	
3,00	6,0	77,11	
4,00	6,0	79,34	
5,00	6,5	80,24	
6,00	7,5	82,06	
7,00	7,5	84,71	63,5
8,00	7,5	86,16	75,0
9,00	7,5	87,68	83,4
10,00	7,5	89,52	93,7
11,00	7,5	90,65	103,3
13,00	7,5	91,49	121,3
14,00	7,5		129,0
15,00	7,5		137,0
16,50	7,5	95,49	
17,50	7,5	96,02	
18,50	7,5	96,02	
19,50	7,5	96,99	
20,50	7,5	98,42	
21,50	7,5	99,01	
22,50	7,5	100,05	
23,50	7,5	100,35	206,0
24,00	7,5	101,23	209,3
29,00	7,5	106,26	239,6

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 22 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 6º ensaio.

6º Ensaio			
Data	18/fev	Rotação da bomba (rpm)	1000
Produto	FFFFF BBBB	Rotação de veio (rpm)	1059
Lote (kg)	869,565	Agitador (rpm)	850
Massa volúmica (kg/L)	1,212	Moinho	ML 31
		Volume da Cuba (L)	10

Tabela 23 - Dados recolhidos durante o 6º ensaio do produto FFFFF BBBB.

Tempo de moagem (h)	Grau de Moagem (HEG)	Força Corante (%)	Consumo Energético (kW)
0			0,0
1,00	1,5	76,96	9,4
2,00	5,0	79,44	21,4
3,00	5,5	80,62	29,6
4,00	6,0	82,53	39,2
5,00	7,0	85,59	
6,00	7,0	86,26	61
7,00	7,5	87,47	70,8
8,00	7,5	87,38	82,6
9,50	7,5	90,32	92,5
11,50	7,5	91,90	109,9
13,50	7,5	95,18	127,0
14,50	7,5	95,61	136,2
15,50	7,5	96,66	145,2
16,50	7,5	97,61	152,4
17,50	7,5	97,93	161,4
18,50	7,5	98,99	169,6
19,50	7,5	99,12	179,5
21,50	7,5	101,26	193,3
23,00	7,5	105,53	206,3



## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 24 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 7º ensaio.

7ºEnsaio			
Data	19/fev	Rotação da bomba (rpm)	1000
Produto	FFFFF BBBB	Rotação de veio (rpm)	1059
Lote (kg)	869,565	Agitador (rpm)	850
Massa volúmica (kg/L)	1,212	Moinho	ML 31
		Volume da Cuba (L)	10

Tabela 25 - Dados recolhidos durante o 7º ensaio do produto FFFFF BBBB.

Tempo de moagem (h)	Grau de Moagem (HEG)	Força Corante (%)	Consumo Energético (kW)
0	3,5	72,92	0,0
1,00	4,0	73,52	6,4
2,00	5,0	75,19	17,5
3,00	5,5	77,04	26,3
4,00	6,0	78,61	35,2
5,00	6,0	79,79	45,5
7,00	7,5	82,12	55,8
11,00	7,5	89,77	100,8
13,00	7,5	90,94	118,0
15,00	7,5	93,14	135,8
17,00	7,5	94,20	151,5
19,00	7,5	96,7	167,4
20,00	7,5	97,24	178,4
21,00	7,5	97,68	185,6
22,00	7,5	100,7	193,6

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 26 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 8º ensaio.

8ºEnsaio			
Data	23/fev	Rotação da bomba (rpm)	1498
Produto	FFFFF BBBB	Rotação de veio (rpm)	1059
Lote (kg)	869,565	Agitador (rpm)	850
Massa volúmica (kg/L)	1,212	Moinho	ML 31
		Volume da Cuba (L)	10

Tabela 27 - Dados recolhidos durante o 8º ensaio do produto FFFFF BBBB.

Tempo de moagem (h)	Grau de Moagem (HEG)	Força Corante (%)	Consumo Energético (kW)
0			0,0
1,00	3,0	75,22	9,6
3,00	5,5	79,55	33,4
4,50	6,0	81,14	47,8
6,50	7,5	84,71	64,7
8,50	7,5	86,55	81,4
10,50	7,5	89,02	97,2
13,50	7,5	92,44	120,0
15,50	7,5	96,32	140,0
17,50	7,5	97,01	156,5
19,50	7,5	98,47	174,3
23,00	7,5	103,7	204,5

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 28 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 9º ensaio.

9ºEnsaio			
Data	25/fev	Rotação da bomba (rpm)	1498
Produto	FFFFF BBBB	Rotação de veio (rpm)	1059
Lote (kg)	869,565	Agitador (rpm)	850
Massa volúmica (kg/L)	1,212	Moinho	ML 31
		Volume da Cuba (L)	10

Tabela 29 - Dados recolhidos durante o 9º ensaio do produto FFFFF BBBB.

Tempo de moagem (h)	Grau de Moagem (HEG)	Força Corante (%)	Consumo Energético (kW)
0			0,0
2,00	4,0	76,61	20,7
4,00	6,5	80,79	40,1
7,50	7,5	85,49	69,5
10,00	7,5	89,03	92,1
12,00	7,5	91,94	109,6
15,00	7,5	96,20	135,7
17,00	7,5	96,98	152,0
19,00	7,5	99,35	168,6
21,00	7,5	102,54	181,6

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 30 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 10º ensaio.

<b>10º Ensaio</b>			
<b>Data</b>	26/fev	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	1498
<b>Produto</b>	FFFFF BBBB	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	1059
<b>Lote (kg)</b>	869,565	<b>Agitador (rpm)</b>	850
<b>Massa volúmica (kg/L)</b>	1,212	<b>Moinho</b>	ML 31
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	10

Tabela 31 - Dados recolhidos durante o 10º ensaio do produto FFFFF BBBB.

<b>Tempo de moagem (h)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Consumo Energético (kW)</b>
0			0,0
3,00	4,0	78,86	30,8
6,00	7,5	85,57	57,6
8,00	7,5	88,53	75,0
10,00	7,5	89,71	92,0
12,00	7,5	91,33	109,4
14,00	7,5	93,08	126,5
19,00	7,5	97,63	168,6
21,50	7,5	102,60	187,5

Tabela 32 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 11º ensaio.

<b>11º Ensaio</b>			
<b>Data</b>	29/fev	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	1498
<b>Produto</b>	FFFFF BBBB	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	1059
<b>Lote (kg)</b>	869,565	<b>Agitador (rpm)</b>	850
<b>Massa volúmica (kg/L)</b>	1,212	<b>Moinho</b>	ML 31
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	10

Tabela 33 - Dados recolhidos durante o 11º ensaio do produto FFFFF BBBB.

<b>Tempo de moagem (h)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Consumo Energético (kW)</b>
0	3,0	73,99	0,0
2,00	5,0	76,96	20,0
4,00	6,0	81,46	36,8
6,00	7,5	84,40	55,0
9,00	7,5	87,27	79,5
13,00	7,5	91,88	115,0
16,50	7,5	95,42	146,0
18,50	7,5	97,08	166,2
20,50	7,5	97,96	180,1
22,50	7,5	99,52	197,0
23,00	7,5	102,95	199,1

Anexo B: Produto FFFFF VVVV

Tabela 34 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.

1ºEnsaio			
Data	13/out	Rotação da bomba (rpm)	1498
Produto	FFFFFF VVVV	Rotação de veio (rpm)	1059
		Agitador (rpm)	700
Lote (kg)	937,50	Moinho	ML-31
Massa volúmica (kg/L)	1,137	Volume da Cuba (L)	10

Tabela 35 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFFF VVVV.

Tempo de moagem (h)	Força Corante (%)	Grau de Moagem (HEG)	Caudal (kg/h)	Tempo de Residência (min)
0,00	19,93	0		
0,75	56,30	0		
1,75	97,66	0		
2,75	100,90	0		
3,75	107,07	0		
5,75	109,97	1,0		
6,75	110,84	3,0		
7,75	112,92	4,5		
8,75	113,11	5,25		
9,75	112,49	6,5		
9,75	114,95	6,5		
10,75	118,09	7,0		
12,20	113,87	7,5		
14,75	115,28	7,5		
15,17	109,00	7,5		

Tabela 36 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.

<b>2ºEnsaio</b>			
<b>Data</b>	03/dez	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	<b>1498</b>
<b>Produto</b>	FFFFF VVVV	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	<b>1059</b>
<b>Lote (kg)</b>	781,25	<b>Agitador (rpm)</b>	<b>700</b>
<b>Massa volúmica (kg/L)</b>	1,137	<b>Moinho</b>	<b>ML-31</b>
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	<b>10</b>

Tabela 37 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFFF VVVV.

<b>Tempo de moagem (h)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Caudal (kg/h)</b>	<b>Tempo de Residência (min)</b>
0,00	23,86	0,0		
1,00	69,69	0,0		
1,00	107,06	4,5		
2,50	103,01	0,0		
3,50	106,60	0,5		
3,50	109,50	6,0		
4,50	109,78	2,5		
6,50	111,81	4,0		
7,50	112,63	5,5		
8,50	111,72	6,0		
9,50	113,77	6,5		
10,50	113,10	5,0		
11,50	113,44	5,5		
12,50	113,30	7,5		
13,50	113,42	7,5		

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 38 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.

<b>3ºEnsaio</b>			
<b>Data</b>	04/mar	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	1498
<b>Produto</b>	FFFFF VVVV	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	1059
<b>Lote (kg)</b>	703,126	<b>Agitador (rpm)</b>	600
<b>Massa volúmica (kg/L)</b>	1,137	<b>Moinho</b>	ML 31
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	10

Tabela 39 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFFF VVVV.

<b>Tempo de moagem (h)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Consumo Energético (kW)</b>
0,00	0,0		0,0
2,00	0,0	96,18	15,3
4,00	2,0	100,76	31,7
6,00	5,5	103,27	45,6
8,50	7,5	105,25	60,2
10,00	7,5	103,70	70,7

Tabela 40 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 4º ensaio.

<b>4ºEnsaio</b>			
<b>Data</b>	07/mar	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	1498
<b>Produto</b>	FFFFF VVVV	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	1059
<b>Lote (kg)</b>	703,126	<b>Agitador (rpm)</b>	600
<b>Massa volúmica (kg/L)</b>	1,137	<b>Moinho</b>	ML 31
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	10

Tabela 41 - Dados recolhidos durante o 4º ensaio do produto FFFFF VVVV.

<b>Tempo de moagem (h)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Consumo Energético (kW)</b>
0,00	0,0		0,0
2,00	0,0	99,00	18,5
4,00	1,0	106,33	32,7
6,00	5,0	107,35	44,1
8,50	7,5	108,60	61,2
9,00	7,5	109,50	64,2

Anexo C: Produto FFFFF ZZZZ

Tabela 42 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.

1ºEnsaio			
Data	10/mar	Rotação da bomba (rpm)	1498
Produto	FFFFF ZZZZ	Rotação de veio (rpm)	1059
Lote (kg)	818,33	Agitador (rpm)	850
Massa volúmica (kg/L)	1,206	Moinho	ML 31
		Volume da Cuba (L)	10

Tabela 43 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFFF ZZZZ.

Tempo de moagem (h)	Grau de Moagem (HEG)	Força Corante (%)	Consumo Energético (kW)
0,00	0,0		0,0
2,00	0,0	74,85	18,6
8,00	0,0	96,47	59,8
10,00	1,0	102,01	77,5
12,00	2,0	103,16	90,7
14,00	5,5	105,27	111,5
17,00	7,5	105,35	139,7
18,00	7,5	107,48	145,7

Tabela 44 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.

2ºEnsaio			
Data	14/mar	Rotação da bomba (rpm)	1000
Produto	FFFFF ZZZZ	Rotação de veio (rpm)	1059
Lote (kg)	818,33	Agitador (rpm)	850
Massa volúmica (kg/L)	1,206	Moinho	ML 31
		Volume da Cuba (L)	10

Tabela 45 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFFF ZZZZ.

Tempo de moagem (h)	Grau de Moagem (HEG)	Força Corante (%)	Consumo Energético (kW)
0,00	0,0		0,0
1,50	0,0	79,69	16,7
3,00	0,0	92,12	33,5
5,00	0,0	97,92	50,5
8,00	3,0	101,25	79,5
11,00	5,0	104,19	104,0
13,00	6,5	105,76	122,4
15,50	7,5	108,14	144,3



Anexo D: Produto FFFFF IIII

Tabela 46 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.

<b>1ºEnsaio</b>			
<b>Data</b>	13/nov	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	1498
<b>Produto</b>	FFFFF IIII	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	1059
<b>Lote (kg)</b>	857,144	<b>Agitador (rpm)</b>	600
<b>Massa volúmica (kg/L)</b>	1,014	<b>Moinho</b>	ML 31
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	10

Tabela 47 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFFF IIII.

<b>Tempo de moagem (h)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Caudal (kg/h)</b>
0,00	0,0	22,36	770,00
1,00	1,0	46,63	
3,30	3,0	72,42	783,64
4,30	3,5	83,59	
5,30	4,0	89,11	1021,16
7,30	4,5	94,32	
8,30	5,5	96,59	
9,30	5,5	97,74	
10,30	6,0	99,12	
11,30	6,5	100,75	
12,30	6,5	102,31	
13,30	7,0	101,95	
14,30	7,5	102,42	
15,30	7,5	104,72	

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 48 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.

<b>2ºEnsaio</b>			
<b>Data</b>	16/fev	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	1498
<b>Produto</b>	FFFFF IIII	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	1059
<b>Lote (kg)</b>	571,428	<b>Agitador (rpm)</b>	600
<b>Massa volúmica (kg/L)</b>	1,014	<b>Moinho</b>	ML 31
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	10

Tabela 49 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFFF IIII.

<b>Tempo de moagem (h)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Consumo Energético (kW)</b>
0,00	0,0	25,10	0,0
2,00	3,0	67,51	13,8
3,00	4,0	80,14	18,7
4,00	4,5	95,31	27,3
5,67	6,0	96,72	36,2
6,67	6,5	101,54	42,8
7,67	7,0	103,68	49,6
8,67	7,0	104,37	55,8
9,67	7,5	104,68	59,4

Tabela 50 - Condições de trabalho implementadas, características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.

<b>3ºEnsaio</b>			
<b>Data</b>	16/mar	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	1498
<b>Produto</b>	FFFFF IIII	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	1059
<b>Lote (kg)</b>	571,428	<b>Agitador (rpm)</b>	600
<b>Massa volúmica (kg/L)</b>	1,014	<b>Moinho</b>	ML 31
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	10

Tabela 51 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFFF IIII.

<b>Tempo de moagem (h)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Consumo Energético (kW)</b>
0,0	0,0		0,0
2,0	3,0	71,82	14,0
5,0	5,5	95,28	31,4
7,00	6,0	100,04	44,4
10,00	6,5	104,58	62,6
12,50	7,5	106,44	73,8
14,50	7,5	102,90	83,9

Anexo E: Produto FFFFF AAAA

Tabela 52 - Características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.

1º Ensaio			
Data	05/nov	Rotação da bomba (rpm)	
Produto	FFFFF AAAA	Rotação de veio (rpm)	
Lote (kg)	1538,461	Agitador (rpm)	
Massa volúmica (kg/L)	2,197	Moinho	ML-21
		Volume da Cuba (L)	15

Tabela 53 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFFF AAAA.

Passagens	Caudal (kg/h)	Força Corante (%)	Grau de Moagem (HEG)	Tempo de Residência (min)
Início		97,79	0,0	
1º Passagem	755,71	98,9	3,5	2,62
2º Passagem	719,26	100,27	6,5	2,75
3º Passagem	704,14	100,83	8,0	2,81

Tabela 54 - Características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.

2º Ensaio			
Data	01/dez	Rotação da bomba (rpm)	
Produto	FFFFF AAAA	Rotação de veio (rpm)	
Lote (kg)	1538,461	Agitador (rpm)	
Massa volúmica (kg/L)	2,197	Moinho	ML-21
		Volume da Cuba (L)	15

Tabela 55 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFFF AAAA.

Passagens	Caudal (kg/h)	Força Corante (%)	Grau de Moagem (HEG)	Tempo de Residência (min)
Início		99,48	1,0	
1º Passagem	723,33	99,53	5,0	2,73
2º Passagem	425,33	99,74	6,0	4,65
3º Passagem	590,40	100,4	7,5	3,35

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 56 - Características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.

<b>3º Ensaio</b>			
<b>Data</b>	15/jan	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	
<b>Produto</b>	FFFFF AAAA	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	
<b>Lote (kg)</b>	1538,461	<b>Agitador (rpm)</b>	
<b>Massa volúmica (kg/L)</b>	2,197	<b>Moinho</b>	ML 21
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	15

Tabela 57 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFFF AAAA.

<b>Passagens</b>	<b>Caudal (kg/h)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Tempo de Residência (min)</b>
<b>Início</b>		98,38	0,0	
<b>1º Passagem</b>	436,90	99,26	5,0	4,53
<b>2º Passagem</b>	266,82	100,90	7,5	7,41

Anexo F: Produto FFFFF OOOO

Tabela 58 - Características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.

1º Ensaio			
Data	19/nov	Rotação da bomba (rpm)	
Produto	FFFFF OOOO	Rotação de veio (rpm)	
Lote (kg)	1525,426	Agitador (rpm)	
Massa volúmica (kg/L)	1,811	Moinho	ML 21
		Volume da Cuba (L)	15

Tabela 59 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFFF OOOO.

Passagens	Caudal (kg/h)	Força Corante (%)	Grau de Moagem (HEG)	Tempo de Residência (min)
Início		87,19	0,0	
1º Passagem	370,25	101,30	6,5	4,40
2º Passagem	390,98	102,08	7,5	4,17
3º Passagem	437,83	101,7	7,0	3,72

Tabela 60 - Características do produto e equipamento utilizado no 2º ensaio.

2º Ensaio			
Data	05/jan	Rotação da bomba (rpm)	
Produto	FFFFF OOOO	Rotação de veio (rpm)	
Lote (kg)	1525,426	Agitador (rpm*100)	
Massa volúmica (kg/L)	1,811	Moinho	ML 21
		Volume da Cuba (L)	15

Tabela 61 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFFF OOOO.

Passagens	Caudal (kg/h)	Força Corante (%)	Grau de Moagem (HEG)	Tempo de Residência (min)
Início		96,72	6,0	
1º Passagem	354,85	98,49	7,5	4,59
2º Passagem	331,60	100,18	7,5	4,92

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 62 - Características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.

3ºEnsaio			
Data	20/jan	Rotação da bomba (rpm)	
Produto	FFFFF OOOO	Rotação de veio (rpm)	
Lote (kg)	1525,426	Agitador (rpm)	
Massa volúmica (kg/L)	1,811	Moinho	ML 21
		Volume da Cuba (L)	15

Tabela 63 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFFF OOOO.

Passagens	Caudal (kg/h)	Força Corante (%)	Grau de Moagem (HEG)	Tempo de Residência (min)
Início		97,97	2,0	
1º Passagem	358,57	98,37	7,0	4,55
2º Passagem	457,57	100,84	7,5	3,56

Tabela 64 - Características do produto e equipamento utilizado no 4º ensaio.

4ºEnsaio			
Data	23/mar	Rotação da bomba (rpm)	
Produto	FFFFF OOOO	Rotação de veio (rpm)	
Lote (kg)	1525,426	Agitador (rpm)	
Massa volúmica (kg/L)	1,811	Moinho	ML 21
		Volume da Cuba (L)	15

Tabela 65 - Dados recolhidos durante o 4º ensaio do produto FFFFF OOOO.

Passagens	Caudal (kg/h)	Força Corante (%)	Grau de Moagem (HEG)	Tempo de Residência (min)
Início				
1º Passagem	726,40	98,26	6,0	2,24
2º Passagem	699,00	100,18	7,5	2,33
3º Passagem	590,80	100,47	7,5	2,76

Anexo H: Produto FFFFF RRRR

*Tabela 66 - Características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.*

<b>1º Ensaio</b>			
<b>Data</b>	09/dez	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	
<b>Produto</b>	FFFFF RRRR	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	
<b>Lote (kg)</b>	800	<b>Agitador (rpm)</b>	
<b>Massa volúmica (kg/L)</b>	1,168	<b>Moinho</b>	ML 24
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	15

*Tabela 67 - Dados recolhidos durante o 1º ensaio do produto FFFFF RRRR.*

<b>Passagens</b>	<b>Caudal (kg/h)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Tempo de Residência (min)</b>
<b>Início</b>		100,21	0,0	
<b>1º Passagem</b>		100,96	5,0	
<b>2º Passagem</b>	2,74	104,05	6,0	2,74
<b>3º Passagem</b>	1,65	104,12	7,5	1,65

*Tabela 68 - Características do produto e equipamento utilizado no 1º ensaio.*

<b>2º Ensaio</b>			
<b>Data</b>	15/fev	<b>Rotação da bomba (rpm)</b>	
<b>Produto</b>	FFFFF RRRR	<b>Rotação de veio (rpm)</b>	
<b>Lote (kg)</b>	800	<b>Agitador (rpm)</b>	
<b>Massa volúmica (kg/L)</b>	1,168	<b>Moinho</b>	ML 24
		<b>Volume da Cuba (L)</b>	15

*Tabela 69 - Dados recolhidos durante o 2º ensaio do produto FFFFF RRRR.*

<b>Passagens</b>	<b>Caudal (kg/h)</b>	<b>Força Corante (%)</b>	<b>Grau de Moagem (HEG)</b>	<b>Tempo de Residência (min)</b>
<b>Início</b>		95,16	0,0	
<b>1º Passagem</b>	1389,5	99,04	5,0	0,76
<b>2º Passagem</b>	393,89	105,84	7,0	2,67
<b>3º Passagem</b>	110,85	107,15	7,5	9,48

## Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes

Tabela 70 - Características do produto e equipamento utilizado no 3º ensaio.

3ºEnsaio			
Data	23/mar	Rotação da bomba (rpm)	
Produto	FFFFF RRRR	Rotação de veio (rpm)	
Lote (kg)	1000	Agitador (rpm)	
Massa volúmica (kg/L)	1,168	Moinho	ML 24
		Volume da Cuba (L)	15

Tabela 71 - Dados recolhidos durante o 3º ensaio do produto FFFFF RRRR.

Passagens	Caudal (kg/h)	Força Corante (%)	Grau de Moagem (HEG)	Tempo de Residência (min)
Início				
1º Passagem	570,00	96,11	4,0	1,84
2º Passagem	235,90	100,12	6,5	4,46
3º Passagem	663,60	101,59	7,5	1,58



Anexo I: Exemplos de Cálculo

Exemplo de cálculo do tempo de residência:

➤ 4º Ensaio do produto FFFFF BBBB

$$\rho = 1,212 \text{ kg/L}$$

$$\text{Caudal mássico} = 440,78 \text{ kg/h}$$

$$\text{Caudal volumétrico} = 363,7 \text{ L/h}$$

$$\rho = \frac{\text{Caudal mássico}}{\text{Caudal volumétrico}}$$

$$1,212 = \frac{440,78}{q}$$

$$q = 363,7 \text{ L/h}$$

$$\text{Volume da Cuba} = 10 \text{ L}$$

$$\tau = \frac{V}{q}$$

$$\tau = \frac{10}{363,68}$$

$$\tau = 0,027 \text{ h}$$

$$\tau = 0,027 \text{ h} \times 60$$

$$\tau = 1,7 \text{ min}$$

Anexo J: Folha de registo das intervenções preventivas nos moinhos

<b>Registo de Intervenção</b>					
<b>Moinho</b>					
Referência:	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Data da Intervenção:	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Operador da Manutenção:	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Tipo de Manutenção:	Preventiva	<input style="width: 50%;" type="text"/>		Correctiva	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<b>Cuba</b>					
Estado Geral:	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Desgaste:	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Zonas de Possível Ruptura	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Foto em Anexo	Sim	<input style="width: 50%;" type="text"/>		Não	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<b>Discos</b>					
Estado Geral:	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Nº de Discos:	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Peso dos Discos (kg)	1 -	4 -	7 -	10 -	13 -
	2 -	5 -	8 -	11 -	14 -
	3 -	6 -	9 -	12 -	15 -
Peso Mínimo Admitido (kg):	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Nº de Discos Substituídos	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Foto em Anexo	Sim	<input style="width: 50%;" type="text"/>		Não	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<b>Esferas</b>					
Diâmetro	<input style="width: 100%;" type="text"/>		Material	<input style="width: 100%;" type="text"/>	
Lavagem com Diluente/Água	Sim	<input style="width: 50%;" type="text"/>		Não	<input style="width: 50%;" type="text"/>
Estado Geral: <input style="width: 100%;" type="text"/>					
Peso Inicial (kg):	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Peso Após Crivagem (kg):	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Micragem do Crivo :	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Peso Mínimo Admitido (kg):	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Quantidade Reutilizável (kg):	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Quantidade Acrescentada (kg):	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
<b>Tamiz</b>					
Tipo:	<input style="width: 100%;" type="text"/>				
Estado Geral: <input style="width: 100%;" type="text"/>					
Espaçamento (mm): (3 leituras)	<input style="width: 30%;" type="text"/>	<input style="width: 30%;" type="text"/>	<input style="width: 30%;" type="text"/>		
Foto em Anexo	Sim	<input style="width: 50%;" type="text"/>		Não	<input style="width: 50%;" type="text"/>

Figura 45 - Exemplo da folha de registo de intervenção nos moinhos.