



## **Industria Cerâmica - Estudo da arte e potencial de inovação**

**ANDREIA CARINA OLIVEIRA LAROCA**

Outubro de 2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Química

Mestrado em Engenharia Química

# Indústria Cerâmica

## Estado da Arte e Potencial de Inovação

### **Autor**

Andreia Carina Oliveira Laroca, 1121197

### **Orientadores**

Engenheira Constança Malainho – Diretora Departamento Cerâmico Aquitex

Engenheiro António Ribeiro – ISEP

**Mestrado Engenharia Química – Controlo de Qualidade do Processo**

Outubro de 2019



## **Agradecimentos**

Com a finalização desta etapa não posso deixar de agradecer a algumas pessoas que, direta ou indiretamente, me ajudaram nesta fase tão importante no meu percurso acadêmico.

Gostaria inicialmente por agradecer à Eng<sup>a</sup> Constança Malainho por me possibilitar a realização desta dissertação no departamento cerâmicos, por toda a disponibilidade prestada e por todos os ensinamentos transmitidos. Em seguida, gostaria de agradecer às minhas colegas de laboratório, Mónica Lino e Sara Ferreira, por toda a ajuda disponibilizada e por todo o apoio e auxílio dado durante este percurso.

Agradeço também ao Engenheiro Crispim por toda a atenção dada as minhas questões e por ter possibilitado a obtenção de materiais para a realização deste trabalho e assim sendo, deixo desde já aos colaboradores do CIETI um sincero agradecimento pelas determinações realizadas para que este trabalho fosse possível.

Por fim, mas com a maior importância, um agradecimento muito sentido aos meus pais que me acompanharam desde o início ao fim da realização deste trabalho, dando-me sempre incentivos e apoio. Não posso terminar sem agradecer ao namorado e amigos por todo o apoio e animo dado durante todo o meu percurso.

Obrigada!



## Sumário

Este trabalho é proveniente da disciplina Dissertação/Tese do mestrado de Engenharia Química no ramo de Qualidade. Assume como objetivo o Estudo da Arte e Potencial de Inovação na Engenharia Cerâmica sendo que o desenvolvimento da mesma é realizado na empresa Aquitex- Acabamentos Químicos para a Indústria Têxtil e Cerâmica.

No decorrer deste trabalho foram desenvolvidos temas como a estrutura dos cerâmicos, a descrição de matérias-primas usadas nesta indústria, uma explicação detalhada do processo de produção dos diferentes tipos de pastas que existem no ramo, faiança, grés, porcelana e terracota.

Com base nos métodos explicados no decorrer deste trabalho foi possível analisar a qualidade e o comportamento de diversas matérias-primas quando trabalhadas sozinhas ou na presença de óxidos ou corantes.

Através da análise das diferentes pastas cerâmicas foi possível verificar que em todas elas ocorre a retração da pasta na primeira cozedura. Foi também, possível concluir que todas estas pastas absorvem uma determinada percentagem de água tendo valores distintos para materiais com ou sem acabamento. Este aspeto, com e sem acabamento, foi um parâmetro diferenciador aquando a análise da resistência ao risco.

**Palavras chave:** Pastas cerâmicas; Vidrados; Densidade; Viscosidade.



## **Abstract**

This work comes from the Dissertation / Thesis discipline of the Master of Chemical Engineering in the field of Quality. Assumes as objective the Study of Art and Innovation Potential in Ceramic Engineering and its development is carried out in the company Aquitex- Chemical Finishes for the Textile and Ceramics Industry.

During this work themes such as the structure of ceramics, the description of raw materials used in this industry, a detailed explanation of the production process of the different types of pastes in the branch, earthenware, stoneware, porcelain and terracotta were developed.

Based on the methods explained during this work it was possible to analyze the quality and behavior of various raw materials when worked alone or in the presence of oxides or dyes.

Through the analysis of the different ceramic pastes it was possible to verify that in all of them the retraction of the paste occurs in the first firing. It was also possible to conclude that all these pastes absorb a certain percentage of water having different values for finished or unfinished materials. This aspect, both finished and unfinished, was a differentiating parameter when analyzing scratch resistance.

**Keywords:** Ceramic pastes; Glazing; Density; Viscosity.



# Índice

<b>1.</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento	1
1.2	Tema e objetivos de tese	1
1.3	Apresentação da Empresa	1
1.4	Organização do relatório	2
<b>2</b>	<b>Fundamentos Teóricos</b>	<b>3</b>
2.1	Estado da arte	3
2.2	Estrutura dos cerâmicos	5
2.3	Matérias – primas plásticas	6
2.3.1	Matérias – primas fundentes	7
2.3.2	Matérias – primas refratárias	7
2.3.3	Aditivos	7
2.3.4	Matérias – primas e aditivos para vidrados	8
2.4	Descrição do processo produtivo	9
2.4.1	Moagem	10
2.4.2	Atomização	11
2.4.3	Conformação	12
2.4.4	Secagem	14
2.4.5	Queima	15
2.4.6	Produto final	21
2.5	Acabamentos	23
2.6	Economia circular e potencial de inovação	24
2.7	Impacto ambiental	25
<b>3</b>	<b>Materiais e métodos</b>	<b>27</b>
3.1	Ensaios utilizados no processo	27
3.2	Moagem e moinhos de diluição	27
3.3	Densidade	28
3.4	Viscosidade	29
3.5	Resíduo ao peneiro	29
3.6	Controlo da temperatura do forno	30
3.7	Retração da pasta cerâmica	32
3.8	Absorção de água	32
3.9	Resistência ao risco	33
3.10	Análise ao choque térmico	33

<b>4</b>	<b>Resultados e discussão</b>	<b>35</b>
4.1	Retração da pasta cerâmica	35
4.2	Controlo das matérias – primas	36
4.3	Determinação do resíduo ao peneiro	39
4.4	Absorção à humidade	39
4.5	Comparação de óxido de crómio com cinzas wet-blue	41
4.5.1	Análise qualitativa das cinzas wet-blue	41
4.5.2	Ensaio de comparação óxido de crómio e as cinzas wet-blue	42
4.6	Controlo da temperatura do forno	45
4.6.1	Baixa temperatura	45
4.6.2	Alta temperatura	46
4.7	Choque térmico	47
4.8	Resistência ao risco	49
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>53</b>
	<b>Glossário</b>	<b>54</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>55</b>
	<b>Anexos A – Cálculo da percentagem de retração da pasta</b>	<b>57</b>
	<b>Anexo B – Determinação da densidade</b>	<b>58</b>
	<b>Anexo C – Determinação resíduo ao peneiro</b>	<b>59</b>
	<b>Anexo D – Controlo da Temperatura nos fornos</b>	<b>60</b>
	<b>D.1 - Baixa Temperatura</b>	<b>60</b>
	<b>D.2 - Alta Temperatura</b>	<b>61</b>
	<b>Anexo E – Determinação da absorção da água</b>	<b>63</b>



## Índice de Figuras

Figura 2-1 - Processo produtivo de pasta e vidrado cerâmico.....	10
Figura 2-2 - Esquema de atomização [6].....	11
Figura 2-3 - Ciclo de prensagem seca a) enchimento da matriz; b) queda da punção superior; c) primeira prensagem; d) alívio da força de prensagem; e) extração.....	13
Figura 2-4 - Esquema do processo de extrusão: 1) Rosca sem fim; 2) Alimentador; 3) Matriz; 4) Produto extrudido.....	14
Figura 2-5 - Estrutura de um forno em garrafa.....	17
Figura 2-6 Esquema de um forno de talude oriental. ....	17
Figura 2-7 - Esquema de um forno de cassel. ....	18
Figura 2-8 - Esquema de um forno de mufla.....	19
Figura 2-9 - Estrutura de um forno a gás.....	20
Figura 2-10 - Estrutura de um forno elétrico.....	21
Figura 2-11 - Peça em pasta de faiança. ....	22
Figura 2-12 - Peça em pasta de terracota.....	23
Figura 2-13 - Exemplificação da economia circular. ....	25
Figura 3-1 - Esferas de alumina para moagem de produtos sólidos.....	28
Figura 3-2 - Picnómetro de inox [9]. ....	28
Figura 3-3 - Viscosímetro do tipo copo ford [10]. ....	29
Figura 3-4 - Exemplo de peneiros com orifícios de diferente tamanho. ....	30
Figura 3-5 - Anéis de buller (figura à esquerda) e anéis PTCR (figura à direita) [11]...	30
Figura 3-6 - Instrumento usado para medição de anéis de buller.....	31
Figura 3-7 - Cones pirométricos de controlo de temperatura [12]. ....	32
Figura 4-1 - Retração pasta de porcelana. ....	36
Figura 4-2 -Retração pasta de grés. ....	36
Figura 4-3 - Resultados obtidos para a análise da influência de corantes e óxidos nas matérias primas. 1) Matéria-prima A; 2)Matéria-prima B; 3)Matéria-prima E ;4)Matéria-prima C . ....	38
Figura 4-4 - Gráfico obtido por EDXRF utilizando hélio. ....	41
Figura 4-5 - Gráfico obtido por EDXRF utilizando oxigénio. ....	42
Figura 4-6 - Peças representativas do ensaio 1.....	43

Figura 4-7 - Peças representativas do ensaio 2.....	44
Figura 4-8 - Peças representativas do ensaio 3.....	45
Figura 4-9 - Medição de um anel de buller para baixa temperatura.....	45
Figura 4-10 - Gráfico obtido para controlo de temperatura para um forno de baixa temperatura.....	46
Figura 4-11 - Medição de um anel de buller para alta temperatura.....	46
Figura 4-12 - Gráfico obtido para controlo de temperatura para um forno de alta temperatura.....	47
Figura 4-13 - Resultados do ensaio de choque térmico. Imagem à esquerda representa no estado inicial e a imagem à direita representa o final do ensaio.....	48
Figura 4-14 - Resultados físicos para choque térmico a 300 e 400°C.....	49
Figura 4-15 - Resultados obtidos para a pasta de faiança relativamente à resistência ao risco. 1) vidro brilhante; 2) engobe; 3) vidro mate.....	50

## Índice de Tabelas

Tabela 2-1 - Análise SWOT à indústria cerâmica.....	5
Tabela 3-1- Procedimento para corrigir densidade do vidrado. ....	29
Tabela 3-2 - Classificação de produtos pela absorção da água. ....	33
Tabela 4-1 - Percentagem de retração das pastas cerâmicas tendo em conta as dimensões iniciais (cm) e as dimensões finais (cm).....	35
Tabela 4-2 - Percentagem de retração das pastas cerâmicas, faiança e terracota, em várias cozeduras.....	35
Tabela 4-3 - Métodos utilizados para o controlo das matérias-primas, densidade (g.cm <sup>3</sup> ), viscosidade (segundos) e análise visual .....	36
Tabela 4-4 - Controlo da viscosidade, em segundos, de matérias-primas.....	37
Tabela 4-5 - Valores obtidos para o estudo da influência dos corantes nas matérias-primas estudadas neste trabalho. ....	37
Tabela 4-6 - Valores obtidos para o estudo da influência de óxidos nas matérias-primas estudadas neste trabalho. ....	38
Tabela 4-7 - Determinação da percentagem de resíduo recorrendo a massas, em g. ....	39
Tabela 4-8 - Resultados referentes à percentagem de absorção de cada pasta tendo em conta a massa inicial, $m_1$ , e a massa final, $m_2$ . ....	40
Tabela 4-9 - Resultados referentes à percentagem de absorção da pasta de terracota de alta temperatura tendo em conta a massa inicial, $m_1$ , e a massa final, $m_2$ . ....	40
Tabela 4-10 - Resultados obtidos para o Ensaio 1 na comparação de óxido de crómio com as cinzas wet-blue. ....	43
Tabela 4-11 -Resultados obtidos para o Ensaio 2 na comparação de óxido de crómio com as cinzas wet-blue. ....	44
Tabela 4-12 - Resultados obtidos para o Ensaio 3 na comparação de óxido de crómio com as cinzas wet-blue. ....	45
Tabela 4-13 - Resultados obtidos para o choque térmico a temperaturas entre os 80 e os 200 °C. ....	47
Tabela 4-14 - Resultados obtidos para o choque térmico a temperaturas de 300 e 400 °C. ....	48
Tabela 4-16 - Resultados da resistência ao risco em Faiança. ....	49
Tabela 4-17 - Resultados da resistência ao risco em Terracota.....	50

Tabela 4-18 - Resultados da resistência ao risco em grés. ....	51
Tabela 0-1 - Determinação da massa do produto, em g. ....	58
Tabela 0-2- Determinação da densidade do produto, em $d.cm^{-3}$ .....	58
Tabela 0-1 - Valores para exemplo de cálculo do resíduo ao peneiro.....	59
Tabela 0-1 - Resultados obtidos para o controlo do forno de baixa temperatura.....	60
Tabela 0-2 - Valores tabelados para os anéis de buller. ....	61
Tabela 0-3 - Resultados obtidos para os anéis de buller do forno de alta temperatura. .	61
Tabela 0-4 - Valores teóricos para os anéis de buller de alta temperatura. ....	62

## **Siglas**

A: absorção, em %;

°C: unidade de medida de temperatura, graus Celsius;

Ca: símbolo químico, cálcio;

Cr: símbolo químico, crómio;

cm<sup>3</sup>: unidade de medida de volume, centímetro cúbico;

Epi's: equipamento individuais de proteção;

Fe: símbolo químico, Ferro;

g: unidade de medida massa, gramas;

min: unidade de medida de tempo, minutos;

S: símbolo químico, enxofre;

seg: unidade de medida de tempo, segundos;



# **1. Introdução**

## **1.1 Enquadramento**

A realização desta tese/dissertação decorreu na empresa AQUITEX, mais concretamente no laboratório do departamento de engenharia cerâmica.

O horário de trabalho efetuado foi o horário laboral exercido pelos funcionários da empresa, uma vez que a realização deste trabalho foi executado sendo eu uma funcionária da empresa.

## **1.2 Tema e objetivos de tese**

O objetivo deste trabalho assenta na Engenharia Cerâmica mais propriamente no estudo do estado da arte e o seu potencial de inovação.

## **1.3 Apresentação da Empresa**

A AQUITEX – Acabamentos Químicos Têxteis, S.A é uma empresa com mais de 50 anos de experiência na área, que se dedica à comercialização e fabrico de produtos químicos para a indústria têxtil e cerâmica.

Desde 1963 que trabalha com um único objetivo, a satisfação dos seus clientes, estando preparada para atender todas e quaisquer necessidades que sejam exigidas. Para tal, a empresa dispõe de um laboratório têxtil e um laboratório cerâmico, com uma equipa profissional e dinâmica, capaz de reproduzir cores e desenvolver novos produtos e soluções. Aliado ao profissionalismo da sua equipa, possui equipamentos e tecnologias, que permitem garantir e prestar um serviço de qualidade. São executados ensaios físicos de forma rigorosa, de acordo com as normas estabelecidas para o sector têxtil e cerâmico.

Para prestar um atendimento mais eficiente, a empresa elabora desenvolvimentos de novos produtos e processos inovadores para garantir a resposta às necessidades apresentadas pelos clientes.

Na indústria cerâmica, mais concretamente no laboratório cerâmico, são realizados desenvolvimento de vidrados que possam ser aplicados a diferentes materiais cerâmicos de

acordo com as exigências dos clientes. A empresa assume como objetivo a obtenção de um produto final com o acabamento desejado e a cor pretendida, sendo que os processos de vidragem das peças finais ficam à responsabilidade do cliente.

#### **1.4 Organização do relatório**

No presente relatório, os capítulos seguintes encontram-se dispostos da seguinte maneira:

No capítulo 2, serão abordados alguns fundamentos teóricos relacionados com o estado da arte da indústria cerâmica, assim como, todos os intervenientes para a constituição de um processo cerâmico. Nos processos cerâmicos serão descritos todos os passos e seus intervenientes, o impacto destes a nível ambiental, económico e humano e relacioná-los com a economia circular implementada no quotidiano.

No que diz respeito ao capítulo 3 serão tratados todos os métodos utilizados no decorrer de processos na indústria cerâmica. Serão relatados todos os procedimentos necessários para realizar o melhor controlo de qualidade da matéria-prima, do processo e do produto final.

O capítulo 4 dirá respeito a todos os resultados obtidos para os procedimentos descritos no capítulo anterior. Neste capítulo, serão discutidos todos os valores alcançados, relacionando-os com valores teóricos, obtendo as devidas conclusões.

Por último, no capítulo 5 serão apresentados todos os resultados relevantes para o trabalho desenvolvido.

## **2 Fundamentos Teóricos**

Neste capítulo iremos abordar algumas questões de contextualização relacionadas com este projeto. A origem da cerâmica e mais tarde da porcelana, são temas aqui descritos. A diferença entre as diferentes pastas de cerâmica e o processo de cozedura serão temas abordados nesta secção do trabalho.

### **2.1 Estado da arte**

A palavra cerâmica deriva do termo grego “keramike”, que significa argila, e, é usada para denominar todo o conjunto de atividades destinadas à elaboração de objetos a partir do barro. Tal acontece, devido a uma das propriedades mais relevantes no barro, a facilidade de moldagem enquanto pasta, adquirindo posteriormente dureza e resistência através da cozedura.

É uma das atividades mais antigas usadas na manufatura de utensílios e produtos que sempre foram utilizados na construção e ornamento de habitações, no armazenamento e no transporte de produtos, entre outros.

A cerâmica sempre foi parte integrante do desenvolvimento de diversas culturas. Durante toda a história, a cerâmica foi considerada como arte, até que no século XIX, na Europa Ocidental, o trabalho do ceramista foi substituído pela produção industrial.

Por muitos anos, os objetos de cerâmica foram classificados como produtos de requinte e de luxo. Após o desenvolvimento industrial houve um grande aumento da produção de revestimento cerâmico acoplado às novas técnicas de produção, o que fez com que os valores comerciais destes objetos diminuíssem drasticamente.

Com o passar dos anos, a indústria cerâmica sofreu um enorme desenvolvimento, passando a existir novas técnicas, novas matérias-primas, novos formatos e designs renovados, proporcionando a aparição de novas aplicações [1].

Atualmente a cerâmica pode ser dividida em dois subgrupos.

### Cerâmica tradicional

A cerâmica tradicional utiliza o feldspato, a sílica e a argila como principais matérias-primas. Além destes elementos de base, a cerâmica tradicional pode recorrer ainda ao uso de aditivos para incrementar o seu processamento ou as suas propriedades finais.

De acordo com o material e técnica utilizada, classifica-se a cerâmica como terracota, grés e faiança, descritos posteriormente.

### Cerâmica industrial

É responsável pela fabricação de pisos, azulejos e revestimento de larga aplicação na construção civil, bem como pela fabricação de tijolos, lajes, telhas, entre outros.

A cerâmica industrial, possui propriedades exclusivas e diferenciadas como solução para desafios técnicos que não são resolvidos com materiais convencionais. Os materiais são processados a partir de matérias primas sintéticas de altíssima pureza e qualidade, que são manipuladas com o objetivo de assegurar a melhor qualidade do produto [2].

Relativamente ao estado da indústria cerâmica em Portugal, podemos realizar a análise do mesmo recorrendo a um diagnóstico estratégico, denominado análise SWOT. Podemos verificar a mesma com a seguinte tabela, Tabela 2.1.

Tabela 2-1 - Análise SWOT à indústria cerâmica

<b>Pontes Fortes</b>	<b>Pontos Fracos</b>
Inovação; Produtores de alta qualidade; Rápida resposta à alteração do mercado; Nova tecnologia nos processos de produção.	Baixa flexibilidade na produção; Processo de produção em fase madura; Elevadas barreiras à entrada como os custos afundados e canais de distribuição.
<b>Ameaças</b>	<b>Oportunidades</b>
Competição de baixo custo; Procura volátil; Aumento do preço de energia; Regulação ambiental e SST; Materiais substituídos; Barreiras comerciais.	Especialização; Acesso a novos mercados; Proximidade de clientes; Desenvolvimento de tecnologia limpa.

## 2.2 Estrutura dos cerâmicos

As diferentes espécies de cerâmica obtêm-se pela conjugação de diversas matérias primas, bem como pela manipulação das condições a que estas são sujeitas.

Estes tipos de materiais assumem características, como a resistência mecânica, que aumenta quando o produto é aquecido em altas temperaturas, as denominadas reações termoquímicas. São dotados de alta dureza, alta fragilidade, uma estrutura cristalina complexa, um elevado ponto de fusão, um bom isolamento térmico e são obtidos a partir de matérias primas de custo relativamente baixo.

Os materiais cerâmicos são essencialmente constituídos por elementos metálicos e não-metálicos, ligados quimicamente entre si por ligações do tipo iónico e covalente. O caráter mais iónico ou covalente das ligações depende da diferença de eletronegatividade entre os átomos constituintes desses compostos. Consoante o grau de ligação iónica ou covalente serão obtidos diferentes tipos de estrutura cristalina.

Materiais com este tipo de constituição podem ser classificados em:

- a) Cristalino: assumem um arranjo atômico regular. Incluem os cerâmicos constituídos à base de silicatos, óxidos, carbonetos e nitretos.
- b) Amorfo (vidro): em geral apresentam a mesma composição dos cristalinos, diferindo apenas no arranjo das cadeiras.
- c) Vidro-cerâmico: formados inicialmente como amorfos mas tratados posteriormente com mecanismos térmicos [2].

## **Matérias – primas**

As massas cerâmicas são referidas em função da sua constituição. De modo simplificado, por três grupos distintos de matérias – primas com características intrínsecas diferentes: plásticas, fundentes e refratárias. Essa divisão nem sempre é óbvia uma vez que a mesma matéria – prima pode assumir uma ou outra função, dependendo das combinações com outros componentes, ou mesmo em função da temperatura de tratamento térmico.

Para completar a composição de uma pasta cerâmica, por vezes é necessário usar ao longo do processo produtivo inúmeros aditivos, em geral em quantidades relativamente pequenas, mas exercendo funções muitas vezes imprescindíveis.

### **2.3 Matérias – primas plásticas**

A plasticidade pode ser definida como a capacidade de um material ser deformado sem rutura pela ação de uma força e, posteriormente, reter a deformação resultante quando a força aplicada for removida. Relacionada com a natureza da estrutura das argilas, principal componente das matérias – primas plásticas.

As matérias – primas plásticas assumem na sua composição principalmente argilas. Este tipo de componente confere moldabilidade à pasta, atua como agente de suspensão em meio aquoso, fornece coesão e solidez à pasta em cru, responsável pela retração durante a secagem, constitui a maior parte do corpo cerâmico transformando-se num novo composto predominantemente cristalino. Atribui ainda, coloração natural e características às peças cerâmicas devido às substâncias corantes contidas [3].

### **2.3.1 Matérias – primas fundentes**

A principal característica das matérias – primas fundentes é produzir uma diminuição na temperatura de maturação do corpo cerâmico, possibilitando redução do consumo energético, graças as novas características da pasta cerâmica. A diminuição da temperatura de queima, permite a formação da fase vítrea viscosa de baixa temperatura. O tipo de fase vítrea e a sua quantidade têm influência marcante na definição da densidade, e, portanto, da porosidade dos produtos obtidos, auxiliando no controle da estabilidade

As argilas, referidas anteriormente, podem também ser utilizadas como fundentes sendo que dependem da sua natureza mineralógica. No entanto, existem diversos compostos usados, com maior ou menos percentagem, na ação fundente como o feldspato, sódicos ou potássico, carbonato de cálcio e/ou magnésio (dolomite) e subprodutos de mineração [4].

### **2.3.2 Matérias – primas refratárias**

Por definição, refratário, é um produto ou material, em geral não metálico, tendo como propriedade fundamental a capacidade de resistir a altas temperaturas. Um material cerâmico pode ser classificado como refratário, desde que, a uma temperatura de 1500 °C, não ocorra a sua deformação ou fusão.

Assim sendo, as propriedades típicas desses materiais incluem a capacidade de resistir a temperaturas elevadas sem fundir ou decompor, e a capacidade de permanecer inertes quando expostos a ambientes severos. Possuem um bom isolamento térmico, motivo pelo qual são geralmente usados no revestimento de fornos.

Os componentes tradicionalmente utilizados na fabricação de material refratário são os de quartzo, todos com quantidade elevada de sílica e silicato de zircônio (média de 10%) [5].

### **2.3.3 Aditivos**

Os aditivos, exceto os corantes que têm como objetivo conferir certa coloração às massas, quando é o caso, têm a finalidade básica de alterar as condições de moagem e influenciar, portanto, a reologia das suspensões cerâmicas, melhorando o rendimento dos atomizadores e assim do pó granulado ou atomizado obtido.

De maneira geral, os aditivos atuam como agentes de suspensão, como é o caso do

caulino e da bentonite. Além destes, podem ser adicionados agentes desfloculantes, como o silicato de sódio, tripolifosfato de sódio e poliacrilato de sódio [3].

### **2.3.4 Matérias – primas e aditivos para vidrados**

As matérias-primas usadas na preparação do vidrado cerâmico intervêm em dois níveis: na fusão das fritas e na adição, às mesmas, de outras matérias – primas e aditivos para a preparação de um esmalte dosado. Neste caso, é necessário a utilização de matérias-primas insolúveis uma vez que a moagem dos vidrados é efetuada preferencialmente com água como veículo de aplicação.

Atualmente, existe uma diversa gama de alternativas de vidrados no mercado, mas em linhas gerais podem ser classificados em três grupos: brilhantes, mates e rústicos [3].

#### **2.3.4.1 Fritas**

As fritas constituem o componente mais importante dos vidrados cerâmicos. A utilização na preparação de vidrados permite a obtenção de composições muito homogêneas, que pode variar dentro de amplos intervalos.

Tendo em conta a base no brilho e no grau de opacidade requeridas para os produtos cerâmicos, e considerando que as fritas correspondem entre 55 a 95% da composição dos vidrados formulados, as fritas são comumente classificadas em:

- ✓ Fritas brilhantes transparentes;
- ✓ Fritas brilhantes opacas;
- ✓ Fritas brilhantes transparentes de média fusibilidade;
- ✓ Fritas fundentes;
- ✓ Fritas mates [3].

#### **2.3.4.2 Matérias-primas não fritadas**

Os vidrados são constituídos predominantemente por elementos fundentes, como os componentes de chumbo, boro, sódio e potássio, que normalmente estão presentes nas fritas com outros elementos refratários ou insolúveis. Os elementos que não pertencem a este tipo de categoria, não fritados, podem ser o quartzo, a alumina, o silicato de zircônio e os aditivos de moagem.

As matérias – primas não fritadas são adicionadas aos vidrados para conferir diversas características como a dureza ao risco e resistência ao desgaste por abração, opacidade, e ajustar o coeficiente de expansão térmica [3].

#### **2.3.4.3 Aditivos**

Este tipo de material é adicionado, geralmente, na etapa de moagem do vidrado e atuam como agente de suspensão e de adesão, como o caulino ou a bentonite e o CMC (caboximetilceluloso), respetivamente [3].

### **2.4 Descrição do processo produtivo**

O processo de fabrico de qualquer produto cerâmico pode ser descrito como uma sequência de operações, que têm o objetivo de promover as modificações necessárias para transformar matérias-primas em produtos. O encadeamento lógico dessas operações é traduzido através de um diagrama de fabrico que pode ser qualitativo ou quantitativo, figura 2.1.

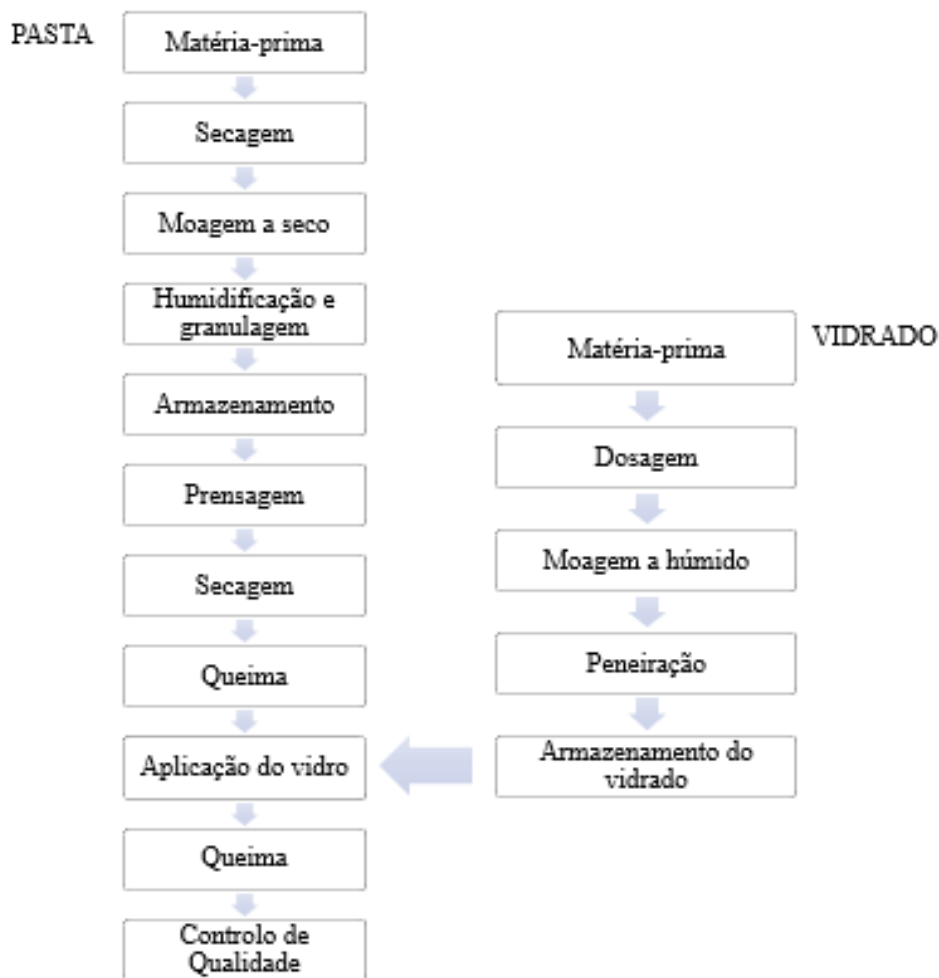


Figura 2-1 -Processo produtivo de pasta e vidrado cerâmico.

### 2.4.1 Moagem

A moagem de matérias – primas cerâmicas podem ser realizadas a seco ou a húmido. O processo a seco, como o nome indica, é realizado sem a presença de água. O ajuste adequado da humidade é realizado por processos complementares para a possível prensagem do pó. O processo em base húmida é realizado na presença de água na moagem das matérias – primas. Posteriormente, segue-se a atomização da suspensão.

O principal critério para escolha entre estas duas tecnologias baseia-se nas matérias-primas a serem utilizadas. O processo a húmido é escolhido quando os componentes a serem utilizados não se encontram com as mesmo características físicas, como por exemplo a dimensão dos grãos, e assim, devem ser misturadas homogeneamente. Este tipo de processo

permite obter excelentes características granulométricas do pó obtido e, conseqüentemente um melhor preenchimento das matrizes. Já o processo por via seca, é escolhido quando não é necessária uma boa homogeneização dos produtos, e assim obter um menor dispêndio do ponto de vista energético.

### 2.4.2 Atomização

Como já referido, quando a moagem é realizada por via húmida é necessário proceder à etapa de atomização, que consiste na remoção por evaporação, de uma elevada percentagem de água, de maneira controlada. A remoção não é total, já que é necessária uma certa quantidade de água residual nos grânulos formados para lhes conferir uma plasticidade adequada para a etapa de compactação por prensagem.

O processo consiste na injeção da barbotina, geralmente de baixo para cima mediante bomba de elevada pressão, numa câmara cilíndrica de secagem. Posteriormente, ocorre a nebulização, através de entradas de ar por injetores de várias dimensões, dispostos em anel localizado no centro da câmara principal do atomizador

O vapor gerado por queimadores auxiliares é injetado na parte superior do atomizador, como se pode verificar na figura 2.1, e distribuído tangencialmente a temperaturas que podem variar entre os 650 e 750 °C, dependendo das características gerais desejadas.

Após o processo de atomização, os grânulos formados, com granulometria e humidade controladas, são transportados através de esteiras para os silos [3].

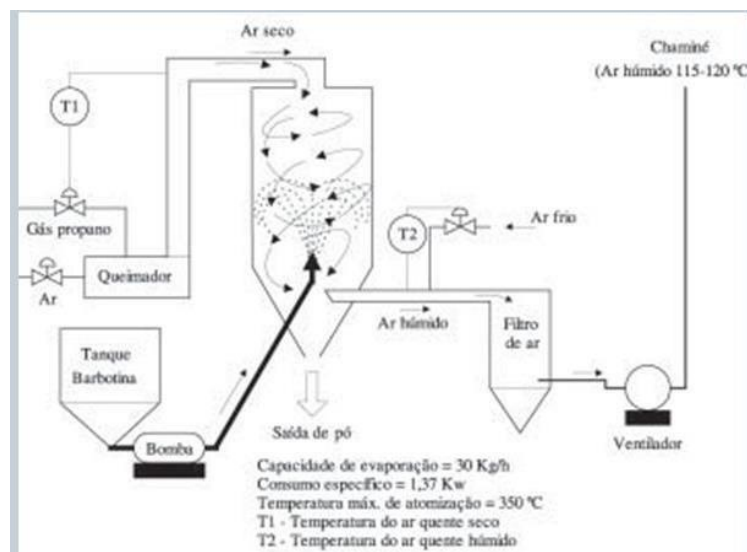


Figura 2-2 - Esquema de atomização [6].

### 2.4.3 Conformação

A estrutura da peça pode ser realizada atendendo a vários processos.

#### **Prensagem**

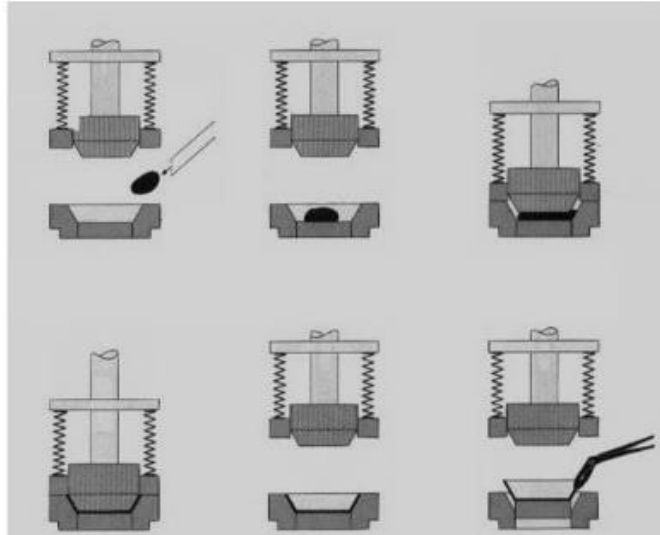
A conformação por prensagem é, nos dias de hoje o processo de conformação mais utilizado na indústria cerâmica, não só porque dá uma boa resposta às exigências técnicas dos utilizadores dos produtos, mas também porque introduz uma maior racionalidade nos circuitos de fabrico, isto é, um aumento da produtividade que mais nenhum processo de conformação alcança.

A prensagem é classificada com base na humidade (W) do sistema a conformar: prensagem seca (W= 0-10%), prensagem semi-seca (W=10-15%), prensagem semi-plástica (W=15-20%) e prensagem plástica (W=20-25%).

Relativamente aos restantes processos de conformação, a prensagem apresenta as seguintes vantagens:

- ✓ Confere ao produto conformado uma elevada resistência mecânica em verde e em seco, devido às elevadas pressões específicas de prensagem utilizadas;
- ✓ Permite que se atinjam elevadas produtividades, uma vez que o ciclo de prensagem pode ser automatizado;
- ✓ Facilita a aceleração da secagem, devido ao facto de se utilizar pós e granulados com baixa humidade, principalmente na prensagem seca;
- ✓ Permite obter produtos acabados com dimensões e formas rigorosas;
- ✓ Diminui os riscos de aparecimento de deformações nas fases subsequentes à conformação;
- ✓ Reduz as retrações totais, devido aos valores elevados de densidade obtidos e à eliminação ou redução da retração de secagem.

A operação de conformação por prensagem seca divide-se nas seguintes etapas: o enchimento da matriz, a aplicação de força de compactação, o alívio da força de compactação e a extração, conforme se encontra representado na figura 2.3.



*Figura 2-3 - Ciclo de prensagem seca a) enchimento da matriz; b) queda da punção superior; c) primeira prensagem; d) alívio da força de prensagem; e) extração.*

## **Extrusão**

A extrusão é um processo de conformação plástica, cujo campo de aplicação se limita ao fabrico de objetos de secção constante, sendo aplicável à produção de cerâmicos tradicionais e de cerâmicos avançados.

Os equipamentos usados para este efeito realizam a mistura e a homogeneização do produto. Uma das melhorias mais importantes realizadas nestes equipamentos diz respeito à desgaseificação das pastas antes de proceder à extrusão das mesmas, o que permite o aumento da plasticidade das pastas e reduzir as laminações.

Este tipo de conformação pode ser utilizado como obtenção do produto final, assim como etapa do processamento de pastas. Nestes casos, a pasta é desgaseificada e extrudida na forma de rolos, com o diâmetro mais adequado à forma e às dimensões do objeto a conformações.

O processo de extrusão baseia-se na deformação plástica e, assim sendo, é necessário que se verifique a plasticidade do sistema para adquirir a forma desejada e ainda, a consistência da pasta após a extrusão.

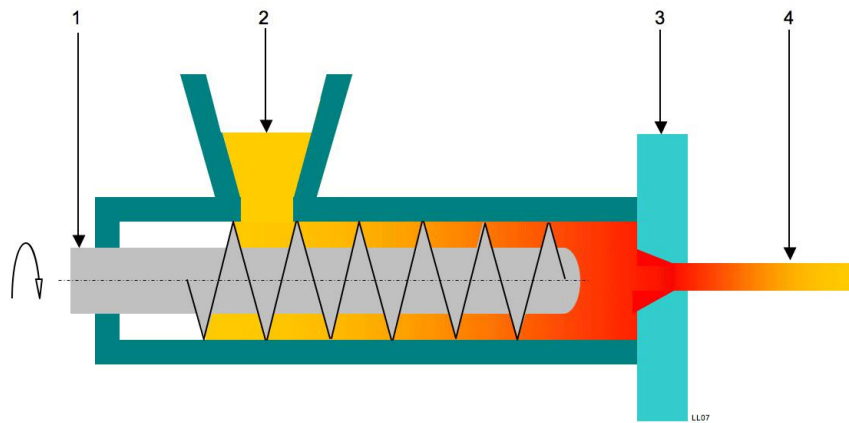


Figura 2-4 - Esquema do processo de extrusão: 1) Rosca sem fim; 2) Alimentador; 3) Matriz; 4) Produto extrudido.

## Moldagem por injeção

A moldagem por injeção é um processo de conformação usado para produzir grandes quantidades de peças com forma complexa.

Comparando este processo com os restantes processos de conformação pode-se verificar que a moldagem por injeção tem a vantagem de eliminar as variações de densidade nos produtos conformados e as deformações nos produtos cozidos. Para além disso, o volume de trabalho de acabamentos das peças conformadas por injeção é muito inferior ao que é exigido pelos restantes processos.

### 2.4.4 Secagem

A secagem é a etapa do processo produtivo onde ocorre a eliminação da humidade residual dos produtos provenientes da etapa de conformação. Esta operação deve ser realizada por meio de secadores verticais ou horizontais.

Os secadores horizontais são constituídos por estruturas metálicas revestidas com painéis isolantes com tubos externos para a circulação do ar. Já os secadores verticais, apresentam uma constituição semelhante sendo que se trata de uma estrutura móvel. Canalizações internas distribuem ar quente para a zona de secagem e ar frio para a zona de resfriamento.

### 2.4.5 Queima

A ação do calor sobre os corpos cerâmicos vai revelar-se através de alterações físicas e químicas. A alteração física manifesta-se através de uma aglomeração de partículas que estão em contacto, diminuindo a sua superfície e porosidade do agregado. Em termos empíricos, designa-se este processo físico por contração. Relativamente às transformações químicas consiste na designação das fases cristalinas de cada um dos componentes da pasta cerâmica, assim como da respetiva microestrutura.

Geralmente as peças cerâmicas finais, “vitrificadas”, são cozidas duas vezes. A primeira cozedura consiste na passagem de uma peça em cru para a chamada chacota. Já a segunda cozedura é referente à “vidragem”, geralmente a uma temperatura inferior à primeira. Por uma questão económica é realizado a cozedura e vidragem numa só fase, designada como monocozedura.

No processo de cozedura é necessário ter em atenção diversos aspetos, como o aquecimento, o arrefecimento, o tempo e o calor necessários para o aquecimento da estrutura, a homogeneidade da temperatura no interior do forno, o controlo do processo de aquecimento e o controlo do processo de arrefecimento.

Durante o processo de cozedura existem diversas fases distintas ao longo do decorrer da temperatura. Inicialmente, a uma temperatura de, aproximadamente, 100°C ocorre a perda de humidade presente na pasta cerâmica. Entre os 200 – 220 °C ocorre a secagem onde a água absorvida pela pasta desaparece. A partir dos 220 °C existe a desorganização da estrutura, em que as pastas cerâmicas diminuem ligeiramente o seu volume e aumentam a porosidade. A partir da temperatura de 573 °C dá-se a inversão do quartzo, ou seja, nesta fase todo o quartzo existente na pasta passa à sua forma de alta temperatura. Nesta fase existe uma expansão pouco significativa, cerca de 2%, sendo que esta deve ser lenta, pois, ao acontecer o contrário pode provocar roturas nas pastas. A oxidação acontece numa gama de temperatura entre os 200 – 700 °C, durante esta fase ocorre a oxidação de toda a matéria orgânica existente na pasta cerâmica. O volume do corpo cerâmico vai variando conforme a temperatura, sendo que a contração acontece principalmente nas últimas fases de cozedura, ou seja, por volta dos 900 °C. Por fim ocorre a vitrificação da pasta cerâmica que contribui para um aumento do volume da mesma, o que acontece a uma temperatura que ronda os 1100 °C. [7]

### **2.4.5.1 Classificação dos fornos**

Existem diversos tipos de fornos na indústria cerâmica sendo que estes são classificados consoante o combustível utilizado como meio de aquecimento. O tipo de combustível utilizado vai condicionar a dimensão do forno e respetiva capacidade.

Apesar de existirem inúmeros grupos para classificação, nem todos eles se encontram em vigor devido ao fenómeno de cozedura utilizado, pois com a evolução da história estes tornaram-se inviáveis.

#### **Forno de Lenha**

Este tipo de forno tem como combustível a madeira e assume os primeiros métodos utilizados para a queima de peças cerâmicas.

Em nenhum destes processos de cozedura é possível controlar a temperatura de cozedura motivo pelo qual não são utilizados em grande escala no quotidiano.

#### Forno de fogueira

Desde o início da indústria cerâmica a lenha foi um combustível muito utilizado, tendo grandes vantagens sobre os restantes combustíveis fosseis, como o caso do carvão e petróleo, já que não polui o meio ambiente e permite altas temperaturas.

A queima de madeira nem sempre é constante, ou seja, a temperatura utilizada não é regular ao longo do processo de cozedura. Este acontecimento pode-se justificar pelas diferentes qualidades de material utilizado, já que, enquanto uns queimam lentamente outros ardem com rapidez produzindo uma maior quantidade de calor.

Como já foi referido, a utilização da lenha foi a primeira forma utilizada pelo homem para proceder à cozedura das peças cerâmicas. Com a evolução da história este processo foi descontinuado pelo facto de não se realizar numa atmosfera fechada e controlada [5].

#### Forno de garrafa

Desde a Antiguidade oriental até ao século XIX, onde houve o aparecimento dos combustíveis a gás e electricidade, este processo de cozedura foi bastante utilizado. Este tipo de forno é constituído, de forma geral, por mais de um piso sendo o primeiro para a cozedura

de vidro e os restantes para a cozedura da chacota. Os pisos determinados para a cozedura da chacota será sempre posterior à da cozedura do vidro não só pela temperatura ser inferior em pisos superiores mas também devido à libertação de gases provocados pela combustão da matéria orgânica da pasta.

Neste tipo de forno a lenha a combustão é feita numa câmara inferior ou lateral. As chamas ascendem até ao topo, penetrando de câmara em câmara como apresentado na figura 2.5 [8].

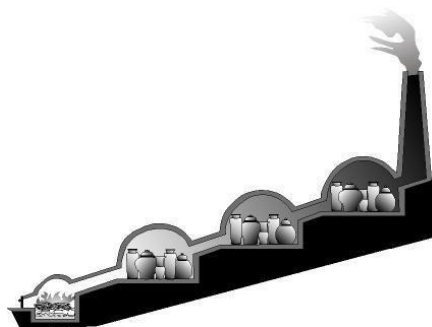


*Figura 2-5 - Estrutura de um forno em garrafa.*

### Forno de talude oriental

Este tipo de forno é utilizado, maioritariamente, para a cozedura de porcelana uma vez que atinge temperaturas superiores a 1300 °C.

A queima do combustível é executada na câmara de combustão, passando as chamas horizontalmente entre as peças até à chaminé, como verificado na figura 2.6 [8].

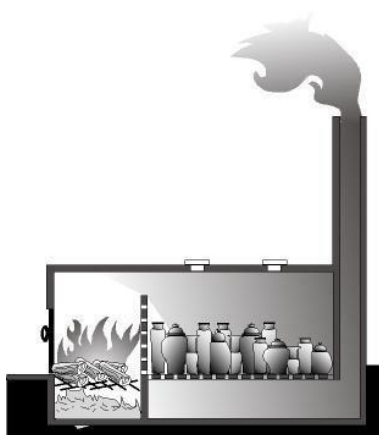


*Figura 2-6 Esquema de um forno de talude oriental.*

## Forno de Cassel

O forno de cassel é do tipo horizontal e assume a câmara de combustão mais baixa do que a de cozedura, existindo, no entanto, a separação entre as duas câmaras que impede as cinzas e possíveis impurezas de entrarem em contacto com a peça.

Este tipo de forno adota uma enorme vantagem em relação aos restantes apresentados até então. Devido à estrutura assumida pelo forno existe uma maior homogeneidade na distribuição do calor. As chamas fazem, portanto, um percurso horizontal desde a câmara de combustão e passando por entre as peças [8].



*Figura 2-7 - Esquema de um forno de cassel.*

## **Forno de combustível sólido**

Os fornos contidos nesta classificação utilizam no seu processo de cozedura combustíveis sólidos como o coque, o carvão, o carvão vegetal e a turfa. Estes tipos de sólidos encontram-se todos em desuso devido à sua elevada taxa de poluição.

Quaisquer fornos descritos no subcapítulo anterior podem funcionar utilizando como combustível os materiais sólidos descritos [8].

## Forno de petróleo

O único forno de petróleo existente é denominado como forno de mufla e não assume uma viabilidade de utilização uma vez que, o seu emprego é bastante poluente.

A mufla é um tipo de estufa para altas temperaturas utilizada para a calcinação de substâncias. Consiste numa câmara metálica com revestimento interno feito de material refratário e equipada com resistências capazes de elevar a temperatura interior a valores acima dos 1000 °C. As mais comuns assumem uma gama de trabalho entre os 200 aos 1400 °C.

O combustível utilizado misturado com o ar produz chamas muito intensas e prolongadas o que conseqüentemente, leva à formação de fumo intenso e negro que em contacto com as peças poderia danificar o seu vidro. Assim, num processo produtivo as peças devem estar completamente isoladas.



*Figura 2-8 - Esquema de um forno de mufla.*

## Forno de gás

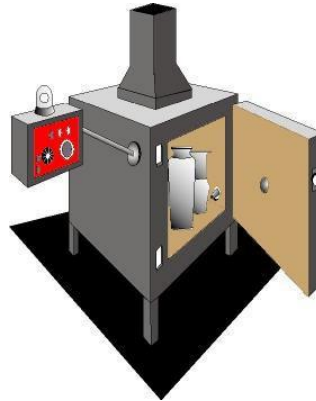
Na atualidade tanto o forno a gás como o forno elétrico são os mais utilizados devido ao seu aspeto pratico e à facilidade de funcionamento.

Os fornos a gás possuem isolamento em fibra cerâmica, o que os torna extremamente leves e perfeitamente isolados.

O uso do combustível gás pode ser de dois tipos distintos, por meio de botija ou o gás urbano. O gás botija permite o uso de fornos portáteis de cozedura rápida enquanto que o

acesso ao gás urbano permite a utilização de fornos com maior dimensão. Contudo o espaço não deverá ser completamente ocupado já que um bom arejamento é importante devido à possível acumulação de gás não queimado.

Fornos tanto a gás como a eletricidade assumem como vantagem em relação ao anteriormente descritos, um fácil controlado a temperatura no interior dos mesmos. Este controle, assumido por controladores de temperatura, possibilita o aumento ou diminuição de combustível no sistema [8].



*Figura 2-9 - Estrutura de um forno a gás.*

### Forno elétrico

O funcionamento de um forno elétrico limita-se à cozedura de peças cerâmicas numa atmosfera oxidante.

Este tipo de forno assume uma vantagem relativamente à segurança dos utilizados, isto é, a produção acontece numa combustão mais limpa, sem emissão de gases, e por consequência encontra-se associado um fácil manuseamento.

Geralmente é constituído em fibra cerâmica e ladrilhos refratários sendo que estes últimos suportam as resistências elétricas que se situam geralmente na base, lados e portas. As resistências de um forno não resistem a temperaturas superiores a 1300 °C [8].

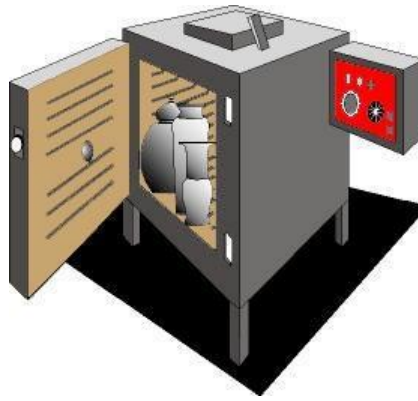


Figura 2-10 - Estrutura de um forno elétrico.

## 2.4.6 Produto final

Como produto final de processo descrito temos as pastas cerâmicas que podem após a sua formação ter acabamento ou não.

### 2.4.6.1 Pastas cerâmicas

A preparação da pasta consiste fundamentalmente na perfeita combinação de matérias primas plásticas, tais como caulino e argila e matérias primas duras tais como areia e feldspato. A composição da pasta é fundamental para obter um produto final de qualidade.

A indústria cerâmica debate-se com diversos problemas, nomeadamente conseguir disponibilidade de matérias primas com qualidade e a preço favorável. Além disso, como as matérias primas são de origem natural, sofre grandes oscilações constituindo um problema na obtenção de um processo homogêneo, característica que provoca diferentes comportamentos tecnológicos, originando, como se percebe, variações nas propriedades dos produtos semiacabados ou acabados.

#### Faiança

A faiança é uma cerâmica branca menos rica em caulino, mas associada a argilas mais plásticas. Assumem uma elevada resistência, mas em contrapartida são bastante porosas, necessitando por isso de passar por processos de esmaltação. Devido a este fato a faiança acaba por ganhar um tom marfim ou creme e também, com o tempo, um aspeto craquelado [1].

Uma classificação usual da cerâmica branco baseia-se no teor em peso de água absorvida pelo corpo cerâmico: a faiança é um dos tipos mais porosos, apresentando absorção geralmente superior a 3%. Esta percentagem pode sofrer alterações conforme a sua constituição.

As peças de faiança são fabricadas a temperaturas superiores a 1250°C e caracterizam-se por uma menor resistência do que as porcelanas e o grés [2].



*Figura 2-11 - Peça em pasta de faiança.*

### Grés

Grés é um material feito a partir de argila de grão fino, plástica, sedimentária e refratária, que suporta altas temperaturas, como a cerâmica.

O grés, face aos materiais porcelânicos, tende a ser um produto de menor temperatura com matéria-prima menos pura, resultando numa cerâmica ligeiramente mais porosa.

As argilas utilizadas na sua constituição não são tão brancas ou puras quanto as de porcelana o que possibilita uma vasta gama de cores. Após a queima tornam-se impermeáveis, vitrificadas e opacas. É um produto cuja pasta assume uma densidade elevada, dependendo da origem da argila e da quantidade de óxido de ferro que contém.

Dado tratar-se de um produto, pelo menos, parcialmente vitrificado e com maior nível de sinterização, a porosidade aberta tende a ser reduzida, sendo frequentes valores de absorção entre 1 e 6%, em que os valores mais elevados estão associados a processos de conformação por extrusão. Em geral estes produtos são queimados a cerca 1150-1200°C, embora a sua temperatura de cozedura ideal seja de 1180°C, obtendo-se um material colorado de aspeto cinzento a acastanhado, com elevada compacidade e resistência mecânica, à erosão e a agentes químicos. O tratamento térmico a temperaturas demasiado elevadas pode conduzir ao excesso de vitrificação do corpo cerâmico. [2]

### Porcelana

A porcelana é um produto branco impermeável e translúcido. Assume características distintas dos restantes cerâmicos como a sua vitrificação, transparência, resistência, completa isenção de porosidade e sonoridade.

A sua constituição assenta fundamentalmente no caulino, feldspato, sílica e argila,

sendo que as composições em que são utilizadas podem ser bastantes distintas.

Este tipo de pasta cerâmica assume um elevado nível de resistência mecânica, baixa porosidade e alta densidade, que, no dia-a-dia, lhe confere durabilidade, inocuidade, toque suave e beleza.

A translucidez atribuída à porcelana é uma característica que advém do facto de ser a única a ser vitrificada e cozida a temperaturas de 1400 °C, aproximadamente, em ambiente redutor. Este processo dá-lhe um brilho, brancura e translucidez ímpares.

É de destacar a porosidade quase nula da porcelana face aos restantes cerâmicos, o que lhe confere uma impermeabilidade excelente.

### Terracota

A terracota adota uma constituição muito simples, somente argila cozida, tornando-se dura e compacta.

A presença de certos agentes químicos, como o óxido de ferro, afeta a cor do barro cozido. De um modo geral, a terracota apresenta a cor avermelhada, mas nem sempre acontece. Dependendo da temperatura de queima pode-se obter uma elevada gama de cores, que vão desde o amarelo claro ao vermelho profundo ou negro.



*Figura 2-12 - Peça em pasta de terracota.*

## **2.5 Acabamentos**

Na indústria cerâmica existem diversos tipos de acabamentos, sendo estes escolhidos consoante a sua utilização. O vidrado ou esmalte pode ser entendido como um vidro que assume a finalidade de cobrir determinada superfície. Existem no mercado diversos tipos de vidrados sendo estes escolhidos com base na sua finalidade e nas composições adequadas. Sendo eles:

- ✓ Mates;
- ✓ Metélicos;
- ✓ Reativos;
- ✓ Sélenios;
- ✓ Engobes;
- ✓ Com granilha;

✓ Craquelé.

## **2.6 Economia circular e potencial de inovação**

A indústria e, o mundo, em geral, encontram-se numa era de grande preocupação com a sustentabilidade do planeta sendo assim, a economia circular um aspeto de extrema importância.

A economia circular diz respeito a uma gestão de recursos de maneira mais ponderada, tendo sempre como base um modelo económico reorganizado focado na coordenação dos sistemas de produção e consumo em circuitos fechados.

Com base na situação económica e ecológica que o planeta vive no quotidiano a indústria cerâmica iniciou a implementação de um conceito estratégico que assenta na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais. Sendo que todos estes aspetos só são possíveis com uma visão mais ampla, ou seja, com análise e otimização de processos, produtos e recursos.

Os processos cerâmicos envolvem um elevado número de recursos tanto a nível energético como, a nível de matérias – primas. Relativamente ao gasto energético as empresas tendem a reduzir o consumo excessivo de gás natural sendo que todos os processos de cozedura, fornos ou muflas, trabalham exclusivamente com este recurso natural. No que diz respeito às matérias – primas, como o caso da pasta cerâmica, podem ser reaproveitadas numa fase final do processo de moldagem.

Tendo em conta o conceito de economia circular, existe um potencial de inovação a nível industrial que consiste no recurso ao aproveitamento de resíduos de uma forma geral. A indústria cerâmica é passível de ser explorada quanto a este potencial dado que existem resíduos industriais com características adequadas à aplicação em pastas e vidrados. No caso deste trabalho estudou-se a utilização de raspa wet-blue, proveniente da indústria de curtumes, pois é um material rico em óxido de cromo, matéria – prima esta possível de utilização na pasta cerâmica assim como do vidro de acabamento.



Figura 2-13 - Exemplificação da economia circular.

## 2.7 Impacto ambiental

A produção de materiais cerâmicos causa elevadas perturbações que alteram as características naturais do meio ambiente, trazendo como consequência riscos à saúde, segurança e bem-estar da população. Como já foi referido ao longo deste capítulo o desenvolvimento de uma peça cerâmica engloba várias etapas sendo que em todas elas existem impactos negativos como, o consumo de recursos naturais, consumo de energia na produção, geração de resíduos sólidos e líquidos e qualidade de vida no trabalho.

A utilização de recursos naturais é algo que no nosso quotidiano é bastante escasso, isto deve-se ao crescimento populacional que obriga a um maior consumo de recursos e, ainda às extrações realizadas pelos nossos antepassados, a nível de argilas, areia, calcário, entre outros, de forma não controlada.

A presença de rede energética na indústria cerâmica, ou qualquer outra, é algo indispensável no dia-a-dia sendo que a única forma de a minimizar é racionalizar o seu consumo tendo sempre presente a importância deste recurso e do seu possível esgotamento.

Relativamente aos recursos sólidos e líquidos gerados na produção de materiais cerâmicos aumentam em grande escala o impacto ambiente desta indústria. Nenhum destes resíduos gerados pode ser descarregado para o meio ambiente e como tal é sempre necessário a intervenção de empresas certificadas para a recolha e tratamento destes mesmos resíduos. Torna-se então necessário compreender que todos estes tratamentos implicam um custo acrescido as entidades patronais o que, muitas das vezes, proporciona a não utilização destes tratamentos. Por este motivo haver o depósito dos resíduos sólidos em descampados, por

vezes pertencentes à empresa em questão, e a extração de resíduos líquidos pela rede urbana.

No que diz respeito à qualidade de vida do trabalhador aquando executor de funções laborais é necessária uma atenção redobrada pois todos os produtos manuseados nesta indústria provocam problemas de saúde graves. Por este motivo torna-se fundamental o uso de EPI'S, equipamentos de proteção individual, para expor a menor área corporal possível. No processo de acabamento de materiais cerâmicos ocorre a libertação de aerossóis que quando inalados, dependendo do componente a tratar, da concentração do mesmo e do tempo de exposição, pode provocar, como já referido, problemas de saúde.

### **3 Materiais e métodos**

Este capítulo, refere-se às metodologias usadas para suporte ao trabalho efetuado neste projeto.

#### **3.1 Ensaio utilizados no processo**

Cada matéria – prima que chega à empresa é acompanhada pela ficha técnica, no entanto, é necessário que o laboratório comprove, pelos seus métodos experimentais, que todas as características se encontram conformes.

A verificação das matérias – primas é realizada por processos selecionados pela empresa de modo a avaliar a conformidade de todas as características possíveis de influenciar o produto final.

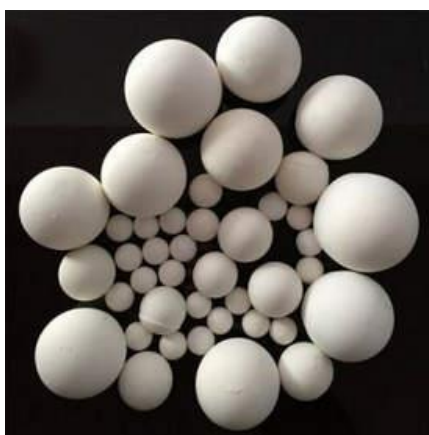
O laboratório tem ainda a finalidade de efetuar, antes do processo de vidragem, a verificação da densidade do vidro e efetuar os ajustes de acordo com a peça a vidrar [8].

#### **3.2 Moagem e moinhos de diluição**

O processo de moagem consiste na diminuição do tamanho das partículas das matérias primas, tendo como vista o aumento da superfície livre para aumentara velocidade de reação, permitindo uma mistura mais homogénea e a obtenção de pó com as características ideais à utilização. O processo de moagem é fundamental pois possibilita a controlo da granulometria do produto.

Existem diversos aparelhos de moagem, sendo a escolha feita consoante o tipo de granulometria desejada, a necessidade de obter maior homogeneização dos componentes, a eliminação de impurezas e/ou obtenção de um determinado estado físico.

Na empresa onde é realizado este trabalho é utilizado moinhos de bolas. Este tipo de equipamento consiste num reservatório com forma cilíndrica, oco, de porcelana, que assume como funcionamento a rotação em volta do seu eixo. No seu interior encontra-se bolas de alumina, agentes mecânicos, que se movem à medida que o reservatório gira, mantendo a rotação constante e desta forma moem a matéria – prima. As esferas constituídas por alumina possuem elevada resistência à abrasão e um baixo coeficiente de desgaste. Contudo, com um uso constante e excessivo as esferas iniciam o seu desgaste e assim sendo uma redução das suas dimensões ao longo do tempo.



*Figura 3-1 - Esferas de alumina para moagem de produtos sólidos.*

### **3.3 Densidade**

Este ensaio tem por objetivo a medição da densidade da suspensão de pasta, vidros ou matérias primas.

A densidade absoluta ( $\rho$ ) de uma substância é definida como a relação entre a sua massa e o seu volume:

A análise consiste na introdução do vidro no picnómetro de inox, apresentado na figura 3.1, com a capacidade de 100 mL. O picnómetro é completamente cheio, o excesso de vidro deve sempre ser expelido pelo picnómetro, e pesa-se o conjunto numa balança de capacidade adequada e com sensibilidade de 0,01g. À massa obtida subtrai-se a massa do picnómetro.



*Figura 3-2 - Picnómetro de inox [9].*

O controlo da densidade é feito sempre que se realiza uma diluição e sempre que é necessário voltar a utilizar um vidrado. Tal procedimento torna-se necessário uma vez que existem matérias – primas que quando em repouso podem provocar alterações reológicas no vidro.

Após a pesagem do picnómetro é necessário proceder à comparação dos valores

obtidos e dos tabelados. Se o resultado obtido for diferente do esperado existem duas formas para se atuar como se encontra apresentado na tabela 3.1 [8]:

*Tabela 3-1- Procedimento para corrigir densidade do vidrado.*

Densidade	Procedimento para corrigir densidade do vidro
< Esperado	Adicionar maior quantidade da mistura em pó ou adicionar vidro com maior densidade.
> Esperado	Adicionar água ao vidro até chegar ao valor tabelado.

### 3.4 Viscosidade

A viscosidade é uma propriedade importante dos fluidos que descreve a sua resistência ao fluxo e está relacionada ao atrito interno do fluido.

Esta análise é realizada com auxílio de um copo ford, figura 3.3, onde é possível medir a viscosidade do fluido pelo tempo que um volume fixo do mesmo gasta para escoar através do orifício.



*Figura 3-3 - Viscosímetro do tipo copo ford [10].*

### 3.5 Resíduo ao peneiro

O ensaio de resíduo ao peneiro tem por objetivo determinar a percentagem de resíduo nas matérias – primas e produtos finais através de peneiros, por via húmida.

O ensaio consiste em pesar 100 g do produto a analisar e colocá-la no peneiro. O processo é realizado com a passagem de água corrente pela suspensão, o processo dá-se

como concluído quando a água sai límpida. O resíduo obtido é colocado num vidro de relógio e seguidamente na estufa a 120 °C.

Após a secagem do resíduo procede-se à pesagem e calculo da percentagem de resíduo ao peneiro.



*Figura 3-4 - Exemplo de peneiros com orifícios de diferente tamanho.*

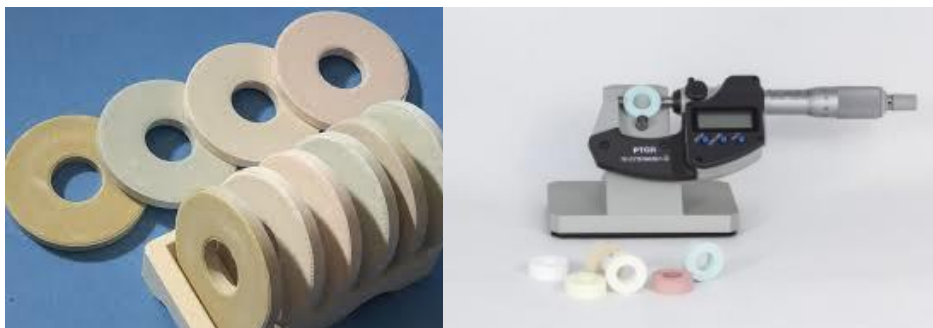
### **3.6 Controlo da temperatura do forno**

O controlo da temperatura dos fornos é realizado periodicamente e em várias zonas do mesmo para uma leitura mais adequada da temperatura a que o forno executou a queima.

Para verificar a temperatura indicada pelo controlador existem três alternativas:

#### Anéis de buller e anéis de PTCR

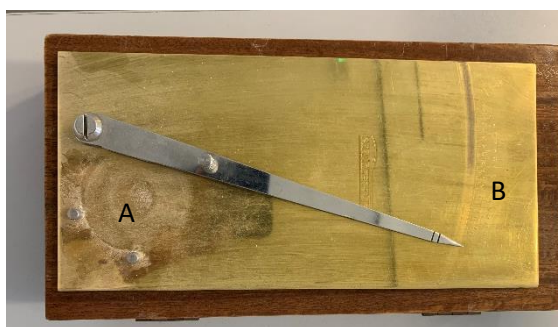
Os anéis de buller e os anéis PTCR apresentam a mesma funcionalidade, mas fisicamente são distintos, como se pode verificar na figura 3.5.



*Figura 3-5 - Anéis de buller (figura à esquerda) e anéis PTCR (figura à direita) [11].*

Ambos os anéis representam um indicador de temperatura fiável e precisa, medindo eficazmente a energia térmica recebida pelos produtos aquecidos durante o processo de cozedura. Existem diversos tipos de anéis sendo que estes devem ser escolhidos tendo em conta a temperatura a que o forno vai realizar a queima. A gama de temperatura encontra-se entre os 660 e os 1750 °C.

Após a queima os anéis são retirados do forno e realiza-se a medição dos mesmos. Para medição dos anéis de buller é utilizado o instrumento representado na figura seguinte, Figura 3.6, em que se coloca o anel na posição A e seguidamente se lê o valor correspondente em B, tendo sempre como comparação os valores tabelados, apresentados no anexo D.



*Figura 3-6 - Instrumento usado para medição de anéis de buller.*

### Cones pirométricos

Tal como os anéis de buller e de PTCR, permitem saber a temperatura de queima. Neste caso, trata-se de um cone constituído de material cerâmico e com a forma de uma pirâmide triangular alongada medindo aproximadamente 7 cm de altura.

Quando o forno atinge uma temperatura pré-fixada, o cone pirométrico inclina-se completamente tocando com a ponta na placa refratária. Assim como nos anéis, existem diversos tipos de cones para cobrir uma gama de temperaturas elevada.

Após o ciclo do forno os cones são medidos e consoante o ângulo atingido é possível determinar a temperatura de queima do forno.



*Figura 3-7 - Cones pirométricos de controlo de temperatura [12].*

### **3.7 Retração da pasta cerâmica**

As pastas cerâmicas, como produto final do processo descrito anteriormente, assumem umas dimensões que não se mantêm constantes ao longo do processo de cozedura. Em cru, a pasta sem qualquer tipo de cozedura, é constituída por uma percentagem considerável de água. Durante a cozedura, com temperaturas elevadas, ocorre a eliminação de toda a água presentes nas mesmas e assim sendo, acontece a diminuição da dimensão das mesmas.

A quantificação da percentagem de retração é determinada medindo a pasta antes e após o ciclo de cozedura.

É necessário ter em consideração que caso existam novas cozeduras, devido à aplicação de acabamento, por exemplo, as dimensões da peça cerâmica já não serão alteradas pois já não existe humidade nas mesmas.

### **3.8 Absorção de água**

A taxa de absorção de água é um parâmetro a ter em consideração em cada tipo de pasta abordada neste trabalho. A percentagem obtida é uma forma de caracterização o tipo do matéria que se trata, como se pode verificar na tabela 3.2.

Tabela 3-2 - Classificação de produtos pela absorção da água.

<b>Revestimentos cerâmicos</b>				
<b>Absorção de água (%)</b>	<b>AA ≤ 0,5</b>	<b>0,5 &lt; AA ≤ 3,0</b>	<b>3,0 &lt; AA ≤ 7,0</b>	<b>7 &lt; AA ≤ 18,0</b>
<b>Classificação</b>	<b>Muito vitrificado</b>	<b>Vitrificado</b>	<b>Semivitrificado</b>	<b>Não vitrificado*</b>

\* Revestimentos para parede (azulejos)

O método utilizado para determinação deste parâmetro consiste em colocar água no interior do vaso, objeto escolhido para a experiência, e aguardare um intervalo de tempo. Por fim verifica-se a diferença presente, ou não, no peso do vaso.

### 3.9 Resistência ao risco

A resistência ao risco é uma característica analisada nos acabamentos, ou seja, nos vidrados aplicados nas pastas cerâmicas.

Independentemente do tipo de material cerâmico a tratar é necessário que ele seja resistente, assuma um tempo de vida útil considerável, principalmente quando se fala em louça de mesa.

Para determinar a resistência ao risco é utilizado um instrumento de metal afiado e procede-se ao risco no vidrado, quando cozido, verificando-se no final o efeito.

### 3.10 Análise ao choque térmico

A análise ao choque térmico é uma determinação fundamental quando se trata de pastas usadas para louça utilitária, ou seja, peças para serem utilizadas em cozinhas. Por este motivo, os ensaios elaborados neste trabalho foram exclusivamente realizados à pasta de grés.

A determinação da capacidade de resistir ao choque térmico, ou seja, à alteração de temperaturas bruscas, é realizada com o auxílio de uma peça com o tipo de pasta desejado e de uma estufa. Durante um intervalo de tempo a peça é introduzida na estufa, com a temperaturas que iram aumentar ao longo do tempo, seguida do mergulho da mesma em água fria.

Este tipo de determinação como já mencionado, é realizada essencialmente a pastas de grés sendo que na maior parte das vezes o interesse se situo no vidrado que a peça contém. Tal análise permite verificar a abertura, ou não, do vidro, convencionalmente denominado

craquelé.

## 4 Resultados e discussão

### 4.1 Retração da pasta cerâmica

As pastas cerâmicas durante o processo de cozedura diminuem o seu tamanho. Tal deve-se à secagem total da pasta fazendo assim a retração das mesmas.

As retrações cerâmicas acontecem somente na primeira cozedura das peças, isto é, em peças que se encontrem ainda em cru. Em cozeduras posteriores, com vidrados ou outros acabamentos, as dimensões das peças não têm qualquer alteração.

*Tabela 4-1 - Percentagem de retração das pastas cerâmicas tendo em conta as dimensões iniciais (cm) e as dimensões finais (cm).*

Pastas cerâmicas	Dimensão inicial (cm)	Dimensão final (cm)	% Retração
Faiança	-	-	-
Grés	8,8	8,3	
Terracota	-	-	-
Porcelana	8,8	7,7	0

Para as pastas de faiança e terracota não foi possível verificar a % de retração das mesmas uma vez que as peças destes tipos de pastas já se encontram com a primeira cozedura, ou seja, já não possuem qualquer percentagem de água na sua constituição. Assim sendo, procedeu-se à verificação das dimensões das mesmas ao longo de várias cozeduras.

Como se pode verificar por análise da tabela 4.2 não ocorre variação no tamanho das peças usadas para análise.

*Tabela 4-2 - Percentagem de retração das pastas cerâmicas, faiança e terracota, em várias cozeduras.*

Pasta cerâmica	Dimensão inicial, cm		Dimensão final, cm		Retração, %
	1º Cozedura	2º Cozedura	1º Cozedura	2º Cozedura	
Faiança	7,00	7,00	7,00	7,00	0
Terracota	8,00	8,00	8,00	8,00	0

Relativamente às restantes pastas cerâmicas, grés e porcelana, é possível determinar a percentagem de retração das mesmas. Como se pode verificar através da tabela 4.1 existe uma elevada diferença de dimensões entre as pastas antes e após a cozedura sendo que esta diferença é mais evidente na pasta de porcelana. Este facto deve-se às temperaturas exercidas

no cozimento de porcelana serem mais elevadas que as restantes pastas. As figuras seguintes, 4.1 e 4.2, representam a retração descrita anteriormente.



Figura 4-1 - Retração pasta de porcelana.



Figura 4-2 -Retração pasta de grés.

## 4.2 Controlo das matérias – primas

Após a chegada das matérias – primas às instalações da Aquitex é necessário proceder ao controlo de qualidade das mesmas. Só posteriormente à verificação da conformidade o produto pode ser utilizado, tanto no laboratório como no processo de produção.

De forma aleatória realizou-se o ensaio de diversas matérias – primas.

Tabela 4-3 - Métodos utilizados para o controlo das matérias-primas, densidade (g.cm<sup>3</sup>), viscosidade (segundos) e análise visual

Matérias-primas	Densidade, g/cm <sup>3</sup>	Viscosidade, seg	Análise visual
A	1,59	13"	OK
B	1,45	18"	OK
C	1,66	17"	OK
D	1,70	18"	OK

<b>E</b>	1,79	13"	OK
----------	------	-----	----

Como se pode verificar para cada matéria-prima existe uma densidade e viscosidade apropriada, sendo só possível a uniformidade de valores para produtos iguais.

Com a análise das matérias-primas verificou-se que após um intervalo de tempo as viscosidades de certos produtos sofriam alteração. Assim sendo, realizou-se análises mais detalhadas de certos produtos.

*Tabela 4-4 - Controlo da viscosidade, em segundos, de matérias-primas.*

<b>Matérias-primas</b>	<b>Viscosidade</b>		<b>Alteração</b>
	t = 0s	t = 50 s	
<b>F</b>	14	14	Não
<b>G</b>	26	26	Não
<b>H</b>	IV	IV	-
<b>I</b>	-	26	Sim

(Nota IV- Impossível de verificar)

As matérias-primas foram escolhidas com base na percentagem de utilização em ensaios de desenvolvimento. Como se pode verificar existe uma matéria-prima em que ocorre alteração da viscosidade após um intervalo de tempo em repouso, matéria-prima I. Posto este resultado torna-se necessário ter em atenção a quantidade de produto a usar nas composições para que tal não aconteça, facilitando o manuseamento do vidro.

No controlo de qualidade dos óxidos e dos corantes, utilizados nas composições cerâmicas, é sempre necessário a adição de uma matéria-prima base. Assim sendo, e com o intuito de perceber qual a influencia destes componentes nas composições realizou-se um estudo, com as matérias – primas identificadas na tabela 4.3.

*Tabela 4-5 - Valores obtidos para o estudo da influência dos corantes nas matérias-primas estudadas neste trabalho.*

<b>Matérias-primas</b>	<b>% Corante</b>	<b>Densidade</b>	<b>Viscosidade</b>
<b>A</b>	3,00	1,60	13"
<b>B</b>	3,00	1,42	14"
<b>C</b>	3,00	1,45	15"
<b>D</b>	3,00	-	-
<b>E</b>	3,00	1,63	12"

Comparando os valores obtidos na tabela 4.3, sem corantes, com os obtidos na tabela 4.5, com a presença de 3% de corante, pode-se concluir que existe uma diminuição da viscosidade quando analisando a matéria-prima B. Já relativamente à matéria-prima C, ocorre uma diminuição tanto a nível da densidade assim como, da viscosidade do produto. No que diz respeito à matéria-prima E a densidade sofreu alteração, diminuiu, enquanto a viscosidade manteve-se igual. A matéria-prima D não foi analisada pois como se trata um de um produto escuro seria impossível verificar os resultados, a nível da cor, para este produto.

Tabela 4-6 - Valores obtidos para o estudo da influência de óxidos nas matérias-primas estudadas neste trabalho.

Matérias-primas	% Óxido	Densidade	Viscosidade
A	2,00	1,60	12"
B	2,00	1,46	15"
C	2,00	1,46	15"
D	2,00	-	-
E	2,00	1,63	12"

Analisando os resultados obtidos para matérias-primas com percentagem de óxidos, representados na tabela 4.6, verifica-se que são iguais aos obtidos na presença de corantes. Assim sendo, é possível concluir que independentemente da presença de corante ou óxido existe a alteração ou da viscosidade ou da densidade.

Os resultados físicos obtidos para esta análise encontram-se na figura 4.3.

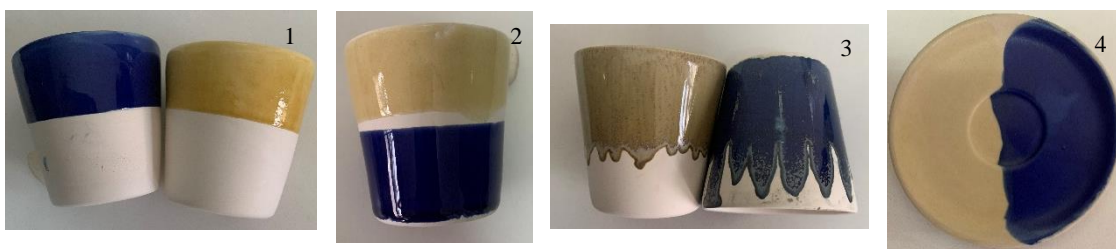


Figura 4-3 - Resultados obtidos para a análise da influência de corantes e óxidos nas matérias primas. 1) Matéria-prima A; 2)Matéria-prima B; 3)Matéria-prima E ;4)Matéria-prima C .

### 4.3 Determinação do resíduo ao peneiro

O resíduo ao peneiro foi efetuado as mesmas matérias-primas apresentadas na tabela 4.3. O resíduo ao peneiro foi determinado recorrendo a peneiros com malha 325 Mesh.

Na tabela 4.6 apresentam-se os valores obtidos de resíduo para as respetivas matérias-primas.

*Tabela 4-7 - Determinação da percentagem de resíduo recorrendo a massas, em g.*

Matéria-prima	Massa produto (g)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Percentagem de resíduo (%)
A	100	28,92	30,10	1,18%
B	100	27,22	27,70	0,48%
C	100	16,94	17,20	0,26%
D	100	25,72	25,87	0,15%
E	100	27,06	27,15	0,09%

Como se pode compreender o mais satisfatório é obter valores de resíduo muito perto de 0% pois a sua presença pode comprometer a qualidade do produto final.

Como se pode verificar o valor de resíduo ao peneiro não assume um valor igual para todos os componentes utilizados. Cada matéria-prima assume valores próprios, derivado à sua constituição.

Os valores obtidos para as matérias-primas em particular vão influenciar o produto final. Isto é, o resíduo ao peneiro do produto obtido no final de todo o fabrico terá a junção das matérias-primas que o constituem.

### 4.4 Absorção à humidade

As quatro pastas mencionadas no presente trabalho apresentam diferentes capacidades de absorção de água. Como tal, realizou-se a análise a esta característica tendo em conta se a pasta continha acabamento. Os resultados encontram-se apresentados na tabela 4.8.

Tabela 4-8 - Resultados referentes à percentagem de absorção de cada pasta tendo em conta a massa inicial,  $m_1$ , e a massa final,  $m_2$ .

Tipos de pasta	$m_1$		$m_2$		% Absorção	
	Com acabamento	Sem acabamento	Com acabamento	Sem acabamento	Com acabamento	Sem acabamento
<b>Faiança</b>	108	104	122	118	13%	13%
<b>Grés</b>	155	140	155	0	0%	0%
<b>Terracota baixa temp.</b>	136	120	156	138	15%	15%
<b>Terracota alta temp.</b>	157	140	162	158	3%	13%

Como se pode verificar pela tabela de resultados, e relativamente as pastas sem acabamento, a percentagem de absorção da água é praticamente a mesma, entre os 13-15%. A verificação na pasta de grés torna-se impossível uma vez que esta se encontra sem qualquer cozimento prévio e assim sendo, iria absorver a água na totalidade. Já relativamente as pastas com acabamento verifica-se uma diminuição da percentagem de absorção na pasta de terracota, quando cozida em alta temperatura. A pasta de faiança e terracota, para baixa temperatura, apresentam os mesmos valores que sem acabamento. Relativamente à pasta de grés ela quando vidrada, ou seja, com acabamento, não absorve qualquer percentagem de água.

Através dos resultados obtidos podemos verificar que as pastas sem acabamento absorvem uma percentagem de água maior quando comparadas com as mesmas pastas com acabamento. Isto deve-se aos acabamentos pois estes formam uma camada na pasta impossibilitando assim a penetração da água na pasta.

Este procedimento foi realizado com acabamento na parte exterior da peça permitindo assim a possibilidade de penetração da água na pasta. Para verificar se os acabamentos nas duas faces assumem diferença realizou-se um ensaio em terracota de alta temperatura.

Tabela 4-9 - Resultados referentes à percentagem de absorção da pasta de terracota de alta temperatura tendo em conta a massa inicial,  $m_1$ , e a massa final,  $m_2$ .

Tipos de pasta	$m_i$		$m_f$		% Absorção	
	Com acabamento	Sem acabamento	Com acabamento	Sem acabamento	Com acabamento	Sem acabamento
<b>Terracota alta temp.</b>	158	140	161	158	2%	13%

Através dos resultados apresentados na tabela 4.9 pode-se verificar que existe uma diminuição da percentagem de absorção da água quando se analisa uma peça com

acabamento no lado interior e exterior.

## 4.5 Comparação de óxido de crómio com cinzas wet-blue

Conforme já mencionado a reutilização dos resíduos provenientes de outras indústrias é uma necessidade tanto a nível económico como a nível ambiental.

A indústria dos curtumes produz diversos resíduos, não curtidos ou curtidos. Os resíduos curtidos podem ser de curtimento vegetal, raspas wet-white, e de curtimento a crómio, raspa wet-blue.

Neste trabalho foi utilizada a raspa wet-blue, em forma de cinzas, para estabelecer comparação com o óxido de crómio.

### 4.5.1 Análise qualitativa das cinzas wet-blue

Para verificar que componentes estavam presentes no resíduo a utilizar procedeu-se a uma análise por Fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF) obtendo-se os seguintes resultados.

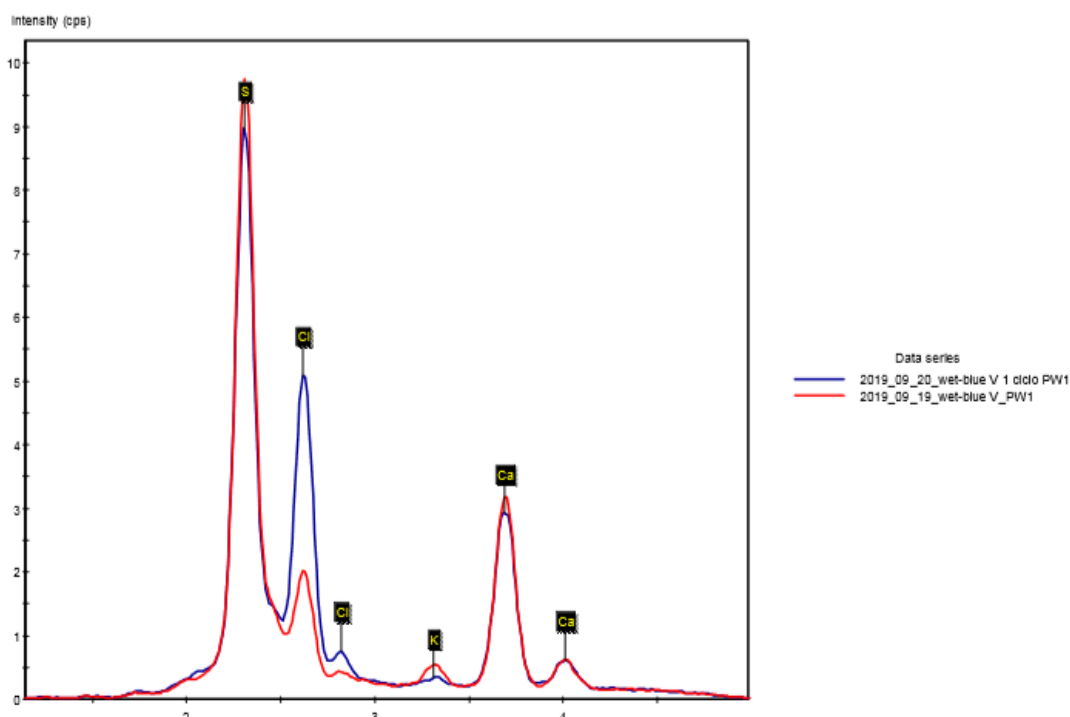


Figura 4-4 - Gráfico obtido por EDXRF utilizando hélio.

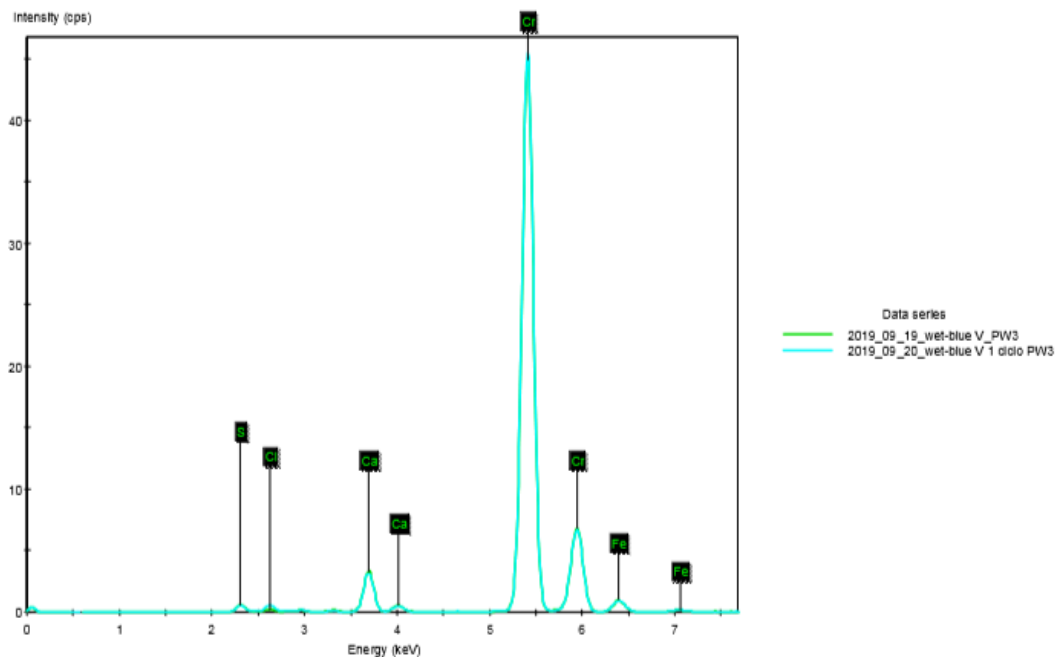


Figura 4-5 - Gráfico obtido por EDXRF utilizando oxigénio.

A partir das figuras 4.4 e 4.5 é possível detetar os componentes com maior percentagem nas cinzas wet-blue.

No gráfico representado na figura 4.4 é possível verificar que existe na sua composição ferro (Fe), cálcio (Ca), enxofre (S) e crómio (Cr), sendo este último o que apresenta uma concentração muito elevada e por isso a sua utilização na comparação referida.

#### 4.5.2 Ensaios de comparação óxido de crómio e as cinzas wet-blue

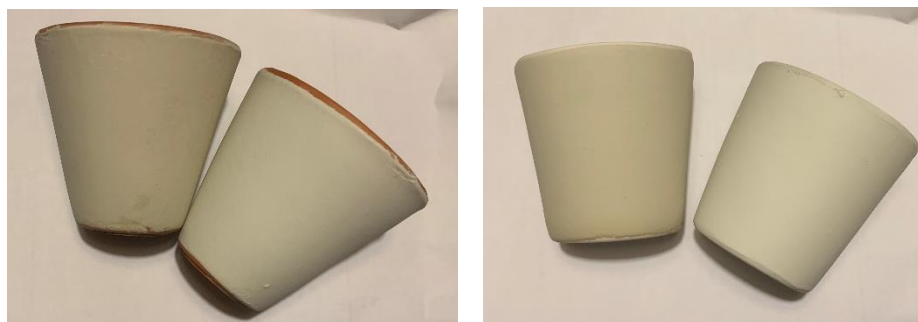
Após determinação da quantidade de óxido de crómio presente nas cinzas realizou-se ensaios para perceber se o comportamento deles seria igual, quando expostos as mesmas condições.

## Ensaio 1

Na realização do primeiro ensaio, onde se utilizou a Porbax 02 BA, notou-se uma elevada dificuldade em acertar as densidades e viscosidades em paralelo, uma vez que, com as cinzas na composição o produto assumiu uma viscosidade muito superior quando comparada ao ensaio sem as mesmas. Os valores deste mesmo ensaio encontram-se representado na tabela 4.10 e as imagens representativas nos mesmos na figura 4.6. Através da figura 4.6 pode-se verificar que existe uma ligeira diferença, quase impercetível, entre a peça com óxido de crómio e a peça com cinzas wet-blue. Podendo assim, afirmar-se que a troca destes componentes em comparação poderia ser realizada sem se alterar de forma significativa o produto final.

*Tabela 4-10 - Resultados obtidos para o Ensaio 1 na comparação de óxido de crómio com as cinzas wet-blue.*

	<b>Composição</b>	<b>Percentagem</b>	<b>Densidade</b>	<b>Viscosidade</b>
Sem	Porbax 02 BA	99,5	1,5	24"
	Oxido de crómio	0,5		
Com	Porbax 02 BA	98,06	1,35	18"
	Cinza wet-blue	1,94		



*Figura 4-6 - Peças representativas do ensaio 1.*

## Ensaio 2

O segundo ensaio foi realizado utilizando como base o TR 29, matéria-prima transparente constituída por uma grande percentagem de chumbo. Neste momento a indústria cerâmica atravessa uma mudança na constituição dos seus vidrados devido às novas regras impostas às empresas. As novas imposições têm como principal fundamento a não

utilização de produtos nocivos à saúde humana sendo o chumbo o primeiro e principal constituinte a remover. Devendo ressaltar que estas implementações são mais severas para vidrados presentes na comércio de louça regional, onde existe uma área de contacto entre alimentos e vidro muito grande.

Como podemos verificar nos valores apresentados na tabela 4.11 a densidade e a viscosidade dos dois produtos encontram-se muito próximas, podendo mesmo dizer-se que são iguais uma vez que a diferença não afeta de forma significativa o resultado. No entanto, podemos verificar pela figura 4.7, que existe uma diferença significativa. Assim sendo, procedeu-se à retificação da quantidade de cinzas wet-blue utilizadas.

*Tabela 4-11 - Resultados obtidos para o Ensaio 2 na comparação de óxido de cromo com as cinzas wet-blue.*

	<b>Composição</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Densidade</b>	<b>Viscosidade</b>
SEM	TR 29	99,5	1,56	14''
	Oxido de cromo	0,5		
COM	TR 29	98,06	1,56	14''
	Cinza wet-blue	1,94		



*Figura 4-7 - Peças representativas do ensaio 2.*

Neste ensaio não se realizou em terracota pois sendo um vidrado com uma grande percentagem de chumbo não há a aderência do vidrado com a pasta.

### Ensaio 3

No ensaio 3 foi usado o TR 39, uma matéria-prima opaca. De forma idêntica ao caso descrito no ensaio 2, a densidade e a viscosidade encontram-se com valores iguais, mas o aspeto final da peça encontra-se bastante diferente como se pode verificar na figura 4.8. O motivo encontrado para tal facto diz respeito à quantidade de cinza wet-blue utilizada não ser a adequada. Os resultados obtidos para o ensaio 3 encontram-se na tabela 4.12.

Tabela 4-12 - Resultados obtidos para o Ensaio 3 na comparação de óxido de crómio com as cinzas wet-blue.

	Composição	Porcentagem	Densidade	Viscosidade
<b>SEM</b>	TR 39	99,5		
	Oxido de crómio	0,5		
<b>COM</b>	TR 39	98,06		
	Cinza wet-blue	1,94		



Figura 4-8 - Peças representativas do ensaio 3.

## 4.6 Controlo da temperatura do forno

O controlo da temperatura dos fornos é um aspeto muito importante a controlar uma vez que este assume uma enorme influência no produto final. A temperatura exercida pelo forno deverá ser sempre constante para que não ocorra alterações nos vidrados.

O controlo de temperatura foi realizado recorrendo aos anéis de buller destinados à devida temperatura. Estes anéis foram colocados nos vários patamares do forno assim como no pirómetro, local que melhor caracteriza a temperatura do mesmo. Assim sendo, todos os resultados apresentados são os obtidos no pirómetro.

### 4.6.1 Baixa temperatura

Na figura 4.9 encontra-se representado a medição de um anel de buller para baixa temperatura. A medição encontrada para este anel é de 24, verificando os valores tabelados no Anexo D.1. podemos verificar que este anel pertence a um forno que atingiu a temperatura máxima de 1020 °C durante a sua cozedura.

Os resultados obtidos para o forno de baixa



Figura 4-9 - Medição de um anel de buller para baixa temperatura.

temperatura encontram-se representados na figura 4.10, sendo todos os valores necessário à formulação do presente gráfico no Anexo D.1.

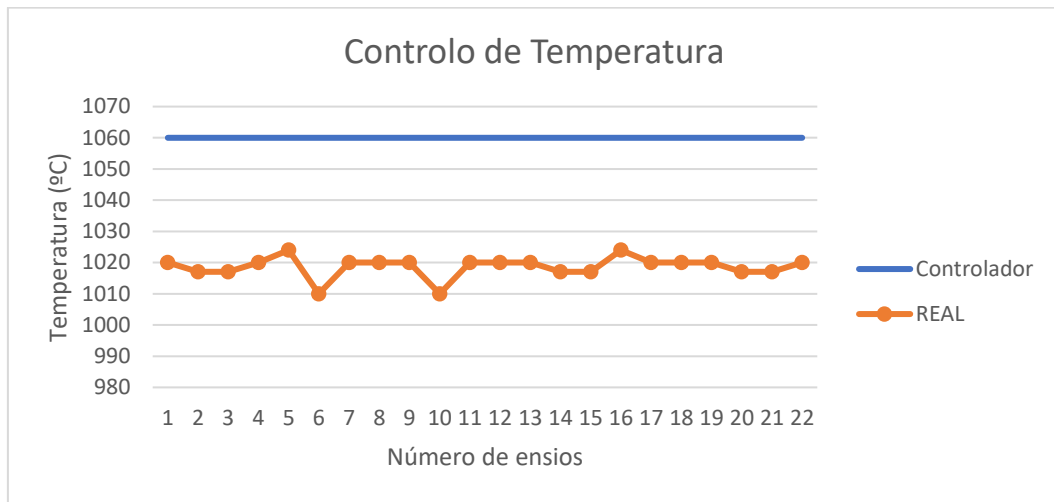


Figura 4-10 - Gráfico obtido para controlo de temperatura para um forno de baixa temperatura.

Como podemos verificar por análise do gráfico, apresentado na figura 4.10, a temperatura indicada pelo controlador é de 1060 °C sendo que ao longo de todos os ensaios a temperatura média de cozedura foi de 1020 °C. Podendo assim concluir que existe uma diferença de temperaturas entre o controlador e a temperatura real de cozedura do forno.

Nos ensaios 6,10 e 14 verifica-se que existe uma diminuição mais acentuada da temperatura para 1010°C, tal facto deve-se a anomalias existentes no forno como resistências partidas ou a não funcionar na devida forma.

#### 4.6.2 Alta temperatura

Assim como para o forno de baixa temperatura foi realizado a medição dos anéis correspondentes. A título de exemplo na figura 4.11 encontra-se representada a medição do mesmo. Como se pode verificar a medição encontrada é de 23 que corresponde uma temperatura de 1150 °C, temperatura média no intervalo de ensaios realizados.

Os resultados obtidos para o forno de alta



Figura 4-11 - Medição de um anel de buller para alta temperatura.

temperatura encontram-se representados na figura 4.12, sendo todos os valores necessário à formulação do presente gráfico apresentam-se no Anexo D.2.

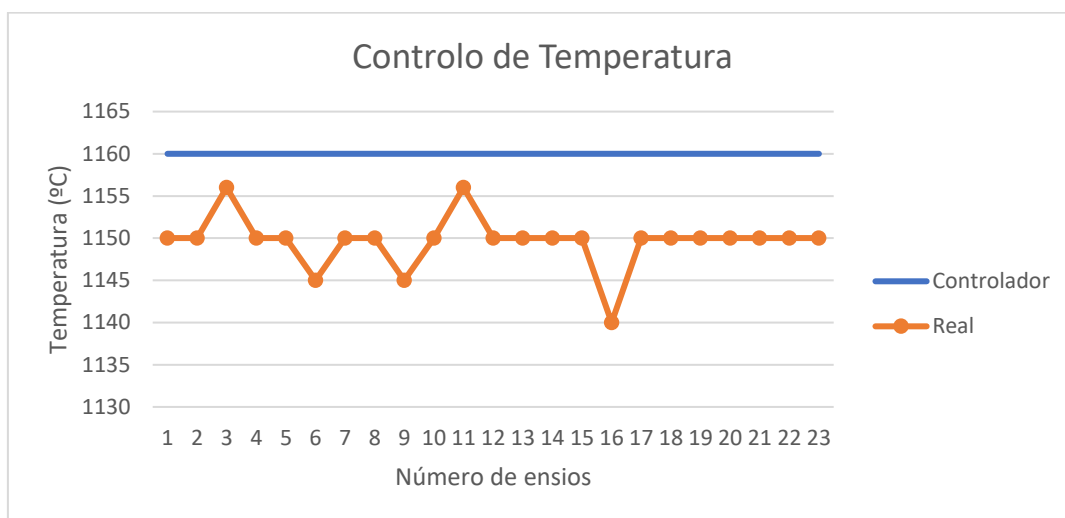


Figura 4-12 - Gráfico obtido para controlo de temperatura para um forno de alta temperatura.

Tal como se verificou no forno de baixa temperatura também no forno de alta existe uma discrepância entre o controlador e o valor real dentro do forno.

A temperatura imposta ao controlador é de 1160 °C sendo que devido a diversos fatores a temperatura real de cozedura é de 1150 ° C, média ao longo dos ensaios obtidos.

#### 4.7 Choque térmico

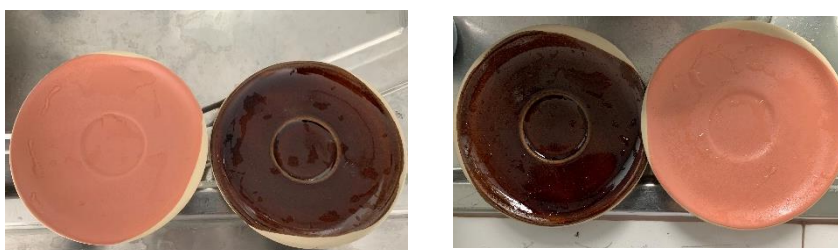
O choque térmico foi realizado num prato de grés vidrado como forma a verificar se o acabamento suporta elevadas variações de temperatura. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 4.13.

Tabela 4-13 - Resultados obtidos para o choque térmico a temperaturas entre os 80 e os 200 °C.

Temperatura (°C)	Tempo (min)	Anomalias detetadas
80	15	Não
140	15	Não
180	15	Não
200	15	Não

Para melhor perceber a influência das bruscas variações de temperatura realizou-se a análise recorrendo a dois ensaios, uma matéria-prima e uma composição composta por diversos elementos.

No momento inicial as duas peças de grés não continham qualquer tipo de fendilhamento como se pode verificar através da figura 4.13. Após os vários ciclos de temperatura as peças encontram-se de igual forma, não existindo qualquer tipo de alteração no seu acabamento, como se encontra apresentada na figura já referida.



*Figura 4-13 - Resultados do ensaio de choque térmico. Imagem à esquerda representa no estado inicial e a imagem à direita representa o final do ensaio.*

Para melhor comprovar que não existe a possibilidade de o vidro fendilhar realizou-se um novo ensaio a temperaturas superiores. Na peça vidrada com a matéria – prima, vidro mais escuro na imagem 4.13, o ensaio foi realizado à temperatura de 300 °C enquanto que a outra peça, vidrado rosa na imagem, foi ensaiado a uma temperatura de 400°C. Os resultados referentes aos ensaios com temperaturas superiores encontram-se representado na tabela 4.14.

*Tabela 4-14 - Resultados obtidos para o choque térmico a temperaturas de 300 e 400 °C.*

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Anomalias detetadas</b>
<b>300</b>	15	Não
<b>400</b>	15	Não

Como se pode verificar os vidros escolhidos não apresentam qualquer anomalia, ou seja, conseguem aguentar diferenças de temperatura na ordem dos 300 e 400°C, como se pode verificar na imagem seguinte, figura 4.14.



Figura 4-14 - Resultados físicos para choque térmico a 300 e 400°C.

Os ensaios realizados foram executados com os recursos disponível no laboratório onde o trabalho decorreu. Geralmente, em laboratórios próprios de ensaio em material cerâmico este tipo de análise seria realizado recorrendo a autoclaves a temperaturas bastante mais elevadas as executadas neste trabalho.

#### 4.8 Resistência ao risco

Os ensaios referentes à resistência ao risco foram realizados em peças com e sem acabamento sendo que, nas peças sem acabamento só foi possível realizar o ensaio em faiança, terracota e porcelana uma vez, que as peças em grés se encontram em cru, ainda sem nenhuma cozedura, e assim sendo, o ensaio torna-se impossível de realizar.

Em todos os ensaios realizados com acabamento teve-se em conta as cores mais vulneráveis aos riscos sendo elas, o branco, o preto, o azul escuro e o verde escuro.

##### Ensaio em faiança

Os ensaios de faiança, com acabamento, foram realizados em vidrados opacos pois é neste tipo que é mais perceptível os riscos.

Tabela 4-15 - Resultados da resistência ao risco em Faiança.

	Mate		Brilhante		Engobe	
	Escuro	Claro	Escuro	Claro	Escuro	Claro
<b>Faiança</b>	Risca	Risca	-	Não risca	Risca	Risca

Através dos resultados apresentados na tabela 4.15 pode-se verificar que existe possibilidade de risco em acabamentos mates e em engobe enquanto que, em brilhantes não é possível verificar alterações como se pode comprovar na figura 4.15.



Figura 4-15 - Resultados obtidos para a pasta de faiança relativamente à resistência ao risco. 1) vidro brilhante; 2) engobe; 3) vidro mate.

### Ensaio em terracota

Para verificação da resistência ao risco realizou-se ensaios a dois tipos de temperatura, baixa e alta. Assim sendo, para baixa temperatura os vidros testados foram os mesmos que nos ensaios de faiança. Já para temperaturas mais elevadas os vidros testados foram os mesmo a utilizar nos ensaios de grés pois as temperaturas exercidas são as mesmas. Os resultados obtidos encontram-se representados na tabela 4.16.

Tabela 4-16 - Resultados da resistência ao risco em Terracota.

	Mate		Brilhante		Engobe	
	Escuro	Claro	Escuro	Claro	Escuro	Claro
<b>Terracota Baixa</b>	Não risca	Não risca	Não risca	Não risca	Risca	Risca
<b>Terracota Alta</b>	-	Não risca	Não risca	Não risca	-	-

Através da tabela anterior, tabela 4.17, pode-se verificar que em terracota de baixa temperatura só ocorre risco nos engobes enquanto que nos brilhantes e mates não ocorre o risco. Enquanto que em alta temperatura o risco não acontece em nenhum dos ensaios que foram realizados.

### Grés

Como já foi referido, os vidrados testados neste tipo de pasta são os mesmo analisados no caso anterior. Os resultados obtidos para estes ensaios encontram-se representados na tabela 4.17 e através dela é possível concluir que só ocorre o risco em vidrados mates e com

engobes.

*Tabela 4-17 - Resultados da resistência ao risco em grés.*

	<b>Mate</b>		<b>Brilhante</b>		<b>Engobe</b>	
	Escuro	Claro	Escuro	Claro	Escuro	Claro
<b>Grés</b>	Risca	Risca	Não risca	Não risca	Risca	Risca

Comparando todos os ensaios realizados é possível concluir que os acabamentos mates e os acabamentos em engobe são os mais vulneráveis ao risco. A justificação encontrada para tal acontecimento é a composição dos vidrados, isto é, os vidrados onde ocorre o risco não serem tão vitrificados como os restantes, os brilhantes.



## 5 Conclusão

A realização desta dissertação teve como principal objetivo o estudo da arte e o seu potencial de inovação da indústria cerâmica mais concretamente a utilização de resíduos da indústria do couro, as denominadas raspas wet-white e wet-blue, quando na presença de óxido de cromo.

Para implementação das raspas wet-blue na indústria cerâmica foram realizados ensaios substituindo o óxido de cromo por estas cinzas. Os resultados obtidos dizem que é possível a sua utilização nos vidrados cerâmicos, sendo que, a percentagem de utilização terá sempre de ser ajustada consoante a quantidade de óxido de cromo presente neste resíduo.

Neste trabalho foram determinados vários parâmetros para as diferentes pastas cerâmicas, faiança, grés, terracota e porcelana. A densidade e a viscosidade são dois dos principais aspetos a ter em consideração pois basta um deles se encontrar diferente do estabelecido e o resultado após a cozedura pode se traduzir completamente diferente. Como forma de perceber como estes dois parâmetros são influenciados foram adicionados a cada ensaio óxidos ou corantes para perceber que de uma forma não muito notória eles sofrem alteração.

Ao analisar as referidas pastas concluiu-se que todas elas sofrem retração quando passam pela primeira cozedura, ou seja, na transição do estado cru para a chacota, isto encontra-se relacionado com a humidade perdida pelas pastas quando expostas a temperaturas elevadas. Assim sendo, foram realizados ensaios para perceber qual a percentagem de absorção das pastas quando em chacota e com o acabamento podendo-se concluir que quando presente o acabamento existe uma vitrificação da pasta impossibilitando a penetração da água.

Um dos aspetos que requer a máxima atenção no processo cerâmico é o forno utilizado e as temperaturas atingidas em casa ciclo. Neste trabalho utilizou-se fornos elétricos sendo que os estudos realizados foram no de baixa temperatura e no de alta temperatura não notando nenhuma oscilação significativa para o resultado final.

## **Glossário**

Aditivo: substância química que, acrescentada a outra em pequenas quantidades, modifica as suas propriedades físicas e químicas.

Amorfo: um material amorfo é um material que não assume nenhuma forma específica, ou seja, a sua estrutura não possui ordenação espacial. É o oposto de um material cristalino.

Atomização: Processo de fabricação de peças cerâmicas por via húmida, que consiste na secagem da barbotina por meio do equipamento atomizado. A atomização tem como objetivo eliminar a água empregada na moagem e aglomerar as partículas sob a forma de grânulos, resultando em aglomerados com características adequadas para o preenchimento do molde na etapa de prensagem.

Barbotina: Argila misturada com água com consistência viscosa, resultando numa pasta cerâmica fluida. É produzida a partir de uma mistura de argilas, caulino, feldspato e quartzo. É geralmente empregada como aderente para unir pedaços de argila ou fazer pequenos acertos e correções em peças.

Refratário: o termo refratário é atribuído a um grupo de materiais, na sua maioria cerâmicos, capazes de suportar altas temperaturas sem perder as suas propriedades físico-químicas, entre elas, resistência, baixa condutividade térmica e condutividade elétrica. Usualmente são encontrados em fornos industriais, de laboratório de pesquisa e ensaio, entre outras aplicações.

Reologia: Ramo da física que se encarrega ao estudo da viscosidade, das plasticidades, da densidade, da elasticidade e do escoamento da matéria em geral.

## Bibliografia

- [1] <http://studiolabdecor.com.br/diferencas-entre-ceramica-porcelana-e-faianca/> consultado em 21 de março
- [2] Bogas, José Alexandre – Materiais Cerâmicos. Técnico de Lisboa, 2013.
- [3] Oliveira, Antonio Pedro Novaes; Hotza, Dachamir – Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos, 2015.
- [4] Menezes, Romualdo R., Gelmines de A. Neves & Heber C. Ferreira – O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias primas cerâmicas alternativas, 2001.
- [5] Bó, Marcelo; Barbetta, Pedro Alberto; Hotza, Dachamir – Utilização de resíduos da indústria de revestimentos cerâmicos na fabricação de refratários triaxiais.
- [6] <https://slideplayer.com.br/slide/1563006/> , consultado 06/05/2019.
- [7] CANOTILHO, Maria Helena Pires César- Processos de cozedura em cerâmica. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2003.
- [8] Pereira, Jorge Luís Gabriel Ferreira da Silva Costa; Batista, Marta Sofia Custódio – Controlo estatístico, 2012.
- [9] [https://www.google.com/search?q=viscosimetro+copo+ford+4&tbm=isch&tbm=simg:CYr20fsPCpdQIjgsxrmg2U\\_1yfIDVTTYAj9063tZhUeHnSqs8rdoRqTL4V73EkbbWkXoru3z0C2rKJ42z47GcNoPclyoSCSzGuaDZT\\_1J8EbTV4bedCxJkKhIJgNVNPICP3ToRpfiJdBjScSAqEgne1mFR4edKqxE5PIKaWXV16CoSCTyt2hGpMvhXEa8OThQZpkvKhIJvcSRttYpeisR1dvVjVWPMggEgm7fPQLasonjRE4eswSVNxhyoSCbPjsZw2g9yXETKHvnZX2R6&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwin5sGKkOfhAhXs6OAKHWA4B0IQ9C96BAgBEBs&biw=1366&bih=657&dpr=1#imgrc=y-W8RUvCylb3NM](https://www.google.com/search?q=viscosimetro+copo+ford+4&tbm=isch&tbm=simg:CYr20fsPCpdQIjgsxrmg2U_1yfIDVTTYAj9063tZhUeHnSqs8rdoRqTL4V73EkbbWkXoru3z0C2rKJ42z47GcNoPclyoSCSzGuaDZT_1J8EbTV4bedCxJkKhIJgNVNPICP3ToRpfiJdBjScSAqEgne1mFR4edKqxE5PIKaWXV16CoSCTyt2hGpMvhXEa8OThQZpkvKhIJvcSRttYpeisR1dvVjVWPMggEgm7fPQLasonjRE4eswSVNxhyoSCbPjsZw2g9yXETKHvnZX2R6&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwin5sGKkOfhAhXs6OAKHWA4B0IQ9C96BAgBEBs&biw=1366&bih=657&dpr=1#imgrc=y-W8RUvCylb3NM), consultado 30/03/2019.
- [10] [https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBD\\_ptPTPT846PT846&biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=lnu\\_XLaIAZPAgwfnm76IBg&q=copo+ford&oq=copo+ford&gs\\_l=img.3..0j0i3013j0i5i3012j0i8i30j0i24i3.541027.543750..544230...1.0..0.123.817.9j1.....1....1..gws-wizimg.....35i39j0i67.6mMnEf4PCyk#imgrc=mBbzP2ikeqR4KM](https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBD_ptPTPT846PT846&biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=lnu_XLaIAZPAgwfnm76IBg&q=copo+ford&oq=copo+ford&gs_l=img.3..0j0i3013j0i5i3012j0i8i30j0i24i3.541027.543750..544230...1.0..0.123.817.9j1.....1....1..gws-wizimg.....35i39j0i67.6mMnEf4PCyk#imgrc=mBbzP2ikeqR4KM) , consultado 05/04/2019.

[11] <https://www.google.com/search?tbm=isch&q=an%C3%A9is+de+buller+ferro&spell=1&saX&ved=0ahUKEwi8w4799fDhAhVDXhoKHWKRB8MQBQg8KAA&biw=1366&bih=608&dpr=1#imgrc=BGJLMq2Uc1KQIM> , consultado 25/04/2019.

[12] <http://www.quantotec.com/pt/Cones-Orton.htm> , consultado 25/04/2019.

[13] Grigoletti, Giane de Campo – Caracterização de impostos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha de estado do rio grande do sul, Universidade federal do rio grande do sul, 2001.

## Anexos A – Cálculo da percentagem de retração da pasta

A equação A-1 representa a expressão utilizada para o cálculo da percentagem da retração da pasta.

$$R_L = \left( \frac{C_{início} - C_{queima}}{C_{início}} \right) * 100$$

*Equação A-1- Percentagem de retração, %.*

Sendo,

RL: Retração linear, em %;

Cinício: Comprimento no momento inicial da pasta, em cm;

Cqueima: Comprimento no momento após a queima, em cm;

Exemplo de cálculo – caso da pasta de grés:

$$R_L = \left( \frac{8,30 - 8,80}{8,80} \right) * 100$$

$$R_L = 5,68 \%$$

## Anexo B – Determinação da densidade

$$M = (m_A - m_B)$$

*Equação B-1 - Determinação da massa do líquido.*

Sendo,

M: massa do líquido a determinar densidade, g;

m<sub>A</sub>: massa do picnómetro + produto, g;

m<sub>B</sub>: tara do picnómetro, g.

$$D = \frac{M}{V}$$

*Equação B-2 - Determinação da densidade, g.cm<sup>-3</sup>*

Sendo,

D: densidade do produto, g/cm<sup>3</sup>;

V: volume do picnómetro, cm<sup>3</sup>.

### Exemplo de cálculo da matéria-prima B

*Tabela B-1 - Determinação da massa do produto, em g.*

<b>M<sub>A</sub> (g)</b>	<b>M<sub>B</sub> (g)</b>	<b>M (g)</b>
345	200	145

*Tabela B-2 - Determinação da densidade do produto, em d.cm<sup>-3</sup>*

<b>M (g)</b>	<b>V (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>D (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
145	100	1,45

## Anexo C – Determinação resíduo ao peneiro

$$\%R_p = \frac{(m_f - m_i)}{m_{ip}} * 100$$

*Equação C-1 - Determinação da percentagem de resíduo ao peneiro, %.*

Sendo:

R<sub>p</sub>: Resíduo ao peneiro, em %;

m<sub>f</sub>: massa final, vidro de relógio + produto, g;

m<sub>i</sub>: massa inicial, vidro de relógio, g.

m<sub>ip</sub>: massa inicial do produto, g

### Exemplo de calculo

*Tabela C-1 - Valores para exemplo de cálculo do resíduo ao peneiro.*

<b>M<sub>I</sub> (g)</b>	<b>M<sub>F</sub> (g)</b>	<b>M<sub>ip</sub> (g)</b>	<b>% R<sub>p</sub></b>
27,06	27,15	100	0,33

## Anexo D – Controlo da Temperatura nos fornos

### D.1 - Baixa Temperatura

Na tabela 7.5 encontram-se os valores obtidos para as medições dos anéis de buller assim como a média e respetiva correspondência de temperatura. Os valores tabelados estão apresentados na tabela 7.6.

*Tabela D-1 - Resultados obtidos para o controlo do forno de baixa temperatura.*

Ensaio	Data	Diametro aneis (cm)			Média	Temperatura (°C)
		L. 1	L. 2	L. 3		
1	03/01/2019	24	24	24	24	1020
2	30/01/2019	23	24	23	23	1017
3	06/02/2019	23	23	23	23	1017
4	18/02/2019	24	23	24	24	1020
5	06/03/2019	25	25	25	25	1024
6	19/03/2019	24	24	24	24	1010
7	20/03/2019	24	24	24	24	1020
8	11/04/2019	24	23	24	24	1020
9	15/04/2019	25	23	25	24	1020
10	03/05/2019	24	24	24	24	1010
11	13/05/2019	24	24	24	24	1020
12	07/06/2019	24	24	23	24	1020
13	12/06/2019	24	24	23	24	1020
14	26/06/2019	23	23	23	23	1017
15	27/06/2019	23	23	23	23	1017
16	28/06/2019	25	24	25	25	1024
17	29/06/2019	24	24	24	24	1020
18	03/07/2019	24	24	24	24	1020
19	15/07/2019	24	24	24	24	1020
20	02/08/2019	23	23	23	23	1017
21	03/09/2019	23	23	23	23	1017
22	23/09/2019	24	24	23	24	1020

Tabela D-2 - Valores tabelados para os anéis de buller.

Temperatura	Valor anel
...	...
<b>1010</b>	21
<b>1020</b>	24
<b>1030</b>	27
<b>1040</b>	30

## D.2 - Alta Temperatura

Na tabela 7.3 encontram-se os valores obtidos para as medições dos anéis de buller assim como a média e respectiva correspondência de temperatura. Os valores tabelados estão apresentados na tabela 7.4.

Tabela D-3 - Resultados obtidos para os anéis de buller do forno de alta temperatura.

Ensaio	Data	Diametro aneis (cm)			Média	Temperatura (°C)
		L. 1	L. 2	L. 3		
<b>1</b>	03/01/2019	22,5	22,5	22,5	23	1150
<b>2</b>	15/01/2019	23	23	23	23	1150
<b>3</b>	30/01/2019	24	24	24	24	1156
<b>4</b>	06/02/2019	22,5	22,5	23	23	1150
<b>5</b>	18/02/2019	23	22	24	23	1150
<b>6</b>	06/03/2019	22	23	23	23	1145
<b>7</b>	19/03/2019	23	22,5	23	23	1150
<b>8</b>	20/03/2019	23	23	23	23	1150
<b>9</b>	21/03/2019	22	23	23	23	1145
<b>10</b>	11/04/2019	22,5	22,5	22,5	23	1150
<b>11</b>	15/04/2019	24	24	24	24	1156
<b>12</b>	29/04/2019	23	23	23	23	1150
<b>13</b>	03/05/2019	23	24	23	23	1150
<b>14</b>	13/05/2019	23	22	23	23	1150
<b>15</b>	31/05/2019	22,5	23	22,5	23	1150
<b>16</b>	07/06/2019	22,5	22,5	22	22	1140
<b>17</b>	12/06/2019	23	23	23	23	1150
<b>18</b>	28/06/2019	23	22	23	23	1150

<b>19</b>	03/07/2019	22	22,5	22,5	22	1150
<b>20</b>	15/07/2019	23	23	23	23	1150
<b>21</b>	02/08/2019	23	22	23	23	1150
<b>22</b>	03/09/2019	23	22,5	23	23	1150
<b>23</b>	23/09/2019	22,5	22,5	22,5	23	1150

*Tabela D-4 - Valores teóricos para os anéis de buller de alta temperatura.*

<b>Temperatura</b>	<b>Valor anel</b>
...	...
<b>1140</b>	22
<b>1150</b>	23
<b>1160</b>	24,5
<b>1170</b>	26

## Anexo E – Determinação da absorção da água

$$\%A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100$$

*Equação E-1 - Equação para a determinação da absorção da água em pastas cerâmicas.*

Sendo:

A = absorção da pasta, em %;

m<sub>1</sub> = massa da peça cerâmica após estar presente à água, em g;

m<sub>2</sub> = massa da peça cerâmica completamente secas, em g.

Exemplo de calculo – Faiança com acabamento:

$$\%A = \frac{122 - 108}{122} * 100$$

$$\%A = 13,0$$