



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA

ANÁLISE DE NANOPARTÍCULAS NA INDÚSTRIA CERÂMICA

ESTUDO DE CASO

Tiago Micael Santos Carvalho
(Licenciado em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do
Grau de Mestre em Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientadores:

Professor Doutor João Fernando Pereira Gomes
Professor Doutor João Carlos Moura Bordado

Júri:

Presidente: Professora Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos
Vogais:

Professora Doutora Paula Cristina da Silva Albuquerque
Professor Doutor João Fernando Pereira Gomes

Lisboa
Dezembro 2019

“If you want to go fast, go alone. If you want to go far, go together.”

Provérbio Africano

Análise de nanopartículas na indústria cerâmica

Resumo

Este trabalho pretende, através da apresentação de um panorama da indústria cerâmica nos seus diversos contextos, entender as implicações que esta atividade pode gerar na formação de nanopartículas durante o processo produtivo. Começa-se por compreender quais os tipos de nanopartículas e como é que estas se formam, sendo ainda apresentadas algumas técnicas de caracterização numa ótica de avaliar a exposição pelos trabalhadores a nanopartículas, nomeadamente a influência destas sobre a saúde dos trabalhadores expostos.

Em termos ocupacionais, é efetuado um enquadramento legal do Decreto-lei n.º 24/2012 e normativo da NP 1796:2014 na indústria cerâmica, com o objetivo de compreender as implicações em termos de análise de risco da exposição a agentes químicos nas atividades profissionais inerentes a este setor.

O estudo de caso incide sobre uma instalação industrial representativa do setor cerâmico nacional e contemplada no projeto CERASAFE, que visa a produção e o uso seguro de nanomateriais na indústria cerâmica. Constituindo a exposição a nanopartículas uma fonte de risco na avaliação de exposição profissional, e dado estas não serem passíveis de análise através de equipamentos comuns, recorre-se à caracterização do particulado através do equipamento SMPS, nomeadamente tamanho, distribuição e concentração. Os dados foram trabalhados e analisados com recurso a técnicas de estatística descritiva.

As maiores concentrações de nanopartículas verificaram-se nos menores diâmetros aerodinâmicos, nomeadamente no intervalo de 10 nm a 15 nm. Estas frações são críticas para uma análise de exposição, pois parte deste particulado pode depositar-se na região alveolar, zona onde ocorrem trocas gasosas.

Como principal recomendação sugere-se o reforço da proteção individual respiratória, que procure ser adequada à exposição a nanopartículas, além de outras formas de controlo de exposição. Este tipo de particulado apresenta um diâmetro aerodinâmico muito pequeno, sendo extremamente leve, o que dificulta a sua extração e lhe confere elevados tempos de decaimento.

Palavras-chave: nanopartículas, indústria cerâmica, nanomateriais, exposição profissional, exposição ocupacional, emissão nanopartículas, deposição nanopartículas, CERASAFE, SMPS, sistema respiratório, controlo de exposição.

Nanoparticles analysis in the ceramic industry

Abstract

By presenting an analysis of the ceramic industry in a national, European and world level, this work aims to understand which activities in the ceramic industry may lead to nanoparticles emission during the production phase. Starting with an overview on the different types of nanoparticles, how they're formed and what characterization techniques are used, this work presents a first approach to assess the occupational exposure to nanoparticles, aiming to understand their influence on health of workers.

A legal and normative framework of the Portuguese DL 24/2012 and NP 1796:2014, respectively, is presented, to understand which chemical agents can be found during professional activities in the ceramic industry.

The case study focuses a ware factory, which has representativity in the national ceramic sector. This factory was incorporated in the CERASAFE project, which aims the production and safe use of nanomaterials in the ceramic industry. Nanoparticles are a source of risk in an occupational exposure assessment and they aren't subject to analysis by a common equipment. A characterization of the work atmospheres, namely size, distribution and concentration of nanoparticles was obtained using SMPS.

The highest amount nanoparticles concentrations were found at the smallest diameters, namely around 10 nm and 15 nm. These are critical fractions for an exposure analysis, as part of this particulate could reach the alveolar region, where gas exchange occurs.

As main recommendation is suggested to reinforce the personal respiratory protection, which aims to be effective against nanoparticles, as well as other control methods. This specific type of particles has a very small aerodynamic diameter, being extremely light, therefore its extraction is extremely difficult due to long decay times.

Key-words: nanoparticles, ceramic industry, nanomaterials, professional exposure, occupational exposure, nanoparticles emission, nanoparticles deposition, CERASAFE, SMSPS, respiratory system, exposure control.

Agradecimentos

Aos orientadores Professor Doutor João Fernando Pereira Gomes e Professor Doutor João Carlos Moura Bordado, e ao Engenheiro Hélder Salvação Esteves por todo o contributo e confiança apesar das adversidades.

Aos meus pais, irmão e companheira pela compreensão, paciência e cooperação nesta etapa.

Aos amigos, presentes nos bons e maus momentos e aos meus colegas que me acompanharam neste percurso académico.

O meu profundo agradecimento a todos vós!

Lista de Abreviaturas

AFM	<i>Atomic Force Microscopy</i>
BET	<i>Brunauer-Emmett-Teller</i>
DLS	<i>Dynamic Light Scattering</i>
EPI	<i>Equipamento de proteção individual</i>
FCT	<i>Fundação para a Ciência e a Tecnologia</i>
FCT / UNL	<i>Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa</i>
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i>
IR	<i>Infrared</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NPs	<i>Nanopartículas</i>
NSA	<i>Nanometer aerosol sampler</i>
NSAM	<i>Nanoparticle surface area monitor</i>
OMC	<i>Organização Mundial de Comércio</i>
PCS	<i>Photo correlation Spectroscopy</i>
PME	<i>Pequenas e médias empresas</i>
ppm	<i>Partes por milhão</i>
QAI	<i>Qualidade do ar interior</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
SMPS	<i>Scanning Mobility Particle Sizer</i>
TEM	<i>Transmission Electron Microscopy</i>
UL – IST	<i>Universidade de Lisboa – Instituto Superior Técnico</i>
VLE	<i>Valor-limite de exposição</i>
VLE-CD	<i>Valor-limite de exposição – curta duração</i>

VLE-MP	<i>Valor-limite de exposição – média ponderada</i>
XPS	<i>X-ray photoelectron spectroscopy</i>
XRD	<i>X-ray diffraction</i>

Índice Geral

RESUMO.....	III
ABSTRACT.....	V
AGRADECIMENTOS.....	VII
LISTA DE ABREVIATURAS	IX
ÍNDICE GERAL.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ENQUADRAMENTO.....	1
1.2 OBJETIVO E METODOLOGIA	2
1.3 ESTRUTURA.....	2
2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	5
2.1 NANOPARTÍCULAS	5
2.1.1 <i>Classificação</i>	8
2.1.2 <i>Caracterização</i>	10
2.1.2.1 Tamanho de partícula e área de superfície	10
2.1.2.2 Carga superficial	13
2.1.3 <i>Sintetização</i>	14
2.1.4 <i>Aplicações</i>	15
2.1.5 <i>Exposição e efeitos na saúde</i>	17
2.2 INDÚSTRIA CERÂMICA - REVESTIMENTOS.....	21
2.2.1 <i>Enquadramento</i>	21
2.2.2 <i>Processo produtivo</i>	23
2.2.3 <i>Cadeia de valor</i>	24
2.2.4 <i>Panorama internacional e europeu</i>	25
2.2.4.1 Indústria cerâmica mundial.....	25
2.2.4.2 Indústria cerâmica europeia	33
2.2.5 <i>Panorama nacional</i>	35
2.2.5.1 Caracterização do setor	40
2.2.5.2 Estratégia setorial para 2020.....	47
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	55
3.1 DECRETO-LEI N.º 24/2012 DE 6 DE FEVEREIRO.....	58
3.2 NP 1796:2014, SEGURANÇA E SAÚDE DO TRABALHO – VALORES-LIMITE E ÍNDICES BIOLÓGICOS DE EXPOSIÇÃO PROFISSIONAL A AGENTES QUÍMICOS	62
4 ESTUDO DE CASO.....	69
4.1 PROJETO CERASAFE - CONTEXTUALIZAÇÃO	69

4.2	EQUIPAMENTOS	71
4.2.1	SMPS (<i>Scanning Mobility Particle Sizer</i>) modelo 3910- TSI.....	71
4.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	76
5	RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO	79
5.1	MISTURADOR 1	79
5.2	MISTURADOR 2	82
5.3	MISTURADOR 3	85
5.4	VIDRAGEM	88
5.5	ZERO.....	91
6	CONCLUSÕES.....	95
7	PERSPETIVAS FUTURAS.....	101
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
	ANEXOS	108
	ANEXO I – PANORAMA INTERNACIONAL E EUROPEU.....	109
	ANEXO II – INDÚSTRIA CERÂMICA SEGUNDO A CAE. FONTE: INE.....	113
	ANEXO III - COMÉRCIO DE PRODUTOS CERÂMICOS – ANO DE 2017	120

Índice de figuras

FIGURA 1 - CAMADA DE GRAFITE EM NANOTUBOS DE CARBONO (SIMPLES E VÁRIAS CAMADAS) ^[3]	5
FIGURA 2 – ESCALA DOS NANOMATERIAIS ^[5]	6
FIGURA 3 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DA ESPECTROSCOPIA ^[7]	11
FIGURA 4 - VIAS DE EXPOSIÇÃO ÀS NPs ^[10]	18
FIGURA 5 - MODELO REPRESENTATIVO DAS REGIÕES DO PULMÃO HUMANO ^[5]	19
FIGURA 6 - CURVAS DE DEPOSIÇÃO NA REGIÃO TRAQUEOBRÔNQUICA E ALVEOLAR DO PULMÃO ^[9]	20
FIGURA 7 - PROCESSO GERAL DE PRODUÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS ^[12]	23
FIGURA 8 - VARIAÇÃO DA PRODUÇÃO CERÂMICA NO MUNDO ^[13]	25
FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO CERÂMICA MUNDIAL EM 2017 (M M ²) ^[13]	26
FIGURA 10 - MAIORES PRODUTORES MUNDIAIS DE CERÂMICA EM 2017 (M M ²) ^[13]	27
FIGURA 11 - VARIAÇÃO DA PRODUÇÃO DOS DEZ MAIORES PRODUTORES MUNDIAIS ^[13]	28
FIGURA 12 - MAIORES CONSUMIDORES MUNDIAIS DE CERÂMICA EM 2017 (M M ²) ^[13]	29
FIGURA 13 - VARIAÇÃO DO CONSUMO DOS DEZ MAIORES CONSUMIDORES MUNDIAIS ^[13]	30
FIGURA 14 - MAIORES EXPORTADORES MUNDIAIS DE CERÂMICA EM 2017 (M M ²) ^[13]	31
FIGURA 15 - VARIAÇÃO DAS EXPORTAÇÕES DOS DEZ MAIORES EXPORTADORES MUNDIAIS ^[13]	31
FIGURA 16 - MAIORES IMPORTADORES MUNDIAIS DE CERÂMICA EM 2017 (M M ²) ^[13]	32
FIGURA 17 - PRODUÇÃO CERÂMICA NA UE-27 (2011) ^[12]	33
FIGURA 18 - CADEIA DE VALOR DA INDÚSTRIA CERÂMICA PORTUGUESA ^[1]	41
FIGURA 19 - PRINCIPAIS MERCADOS DE EXPORTAÇÃO DE PRODUTOS CERÂMICOS EM 2017 ^[16]	42
FIGURA 20 – COMPORTAMENTO DAS VENDAS DE PRODUTOS CERÂMICOS EM PORTUGAL	45
FIGURA 21 - VENDAS NO SUBSETOR (CAE 23310) FABRICAÇÃO DE AZULEJOS, LADRILHOS, MOSAICOS E PLACAS DE CERÂMICA	46
FIGURA 22 – MATRIZ DA ANÁLISE SWOT ^[18]	48
FIGURA 23 - DESENVOLVIMENTO DA LEGISLAÇÃO EM TERMOS DE VALORES LIMITE DE EXPOSIÇÃO PROFISSIONAL ^[25]	59
FIGURA 24 - LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL. FONTE: GOOGLE MAPS	70
FIGURA 25 - ENQUADRAMENTO DO SMPS NOS EQUIPAMENTOS ANALISADORES DE TAMANHO DE PARTÍCULAS ^[30]	72
FIGURA 26 - SCANNING MOBILITY PARTICLE SIZER (SMPS) ^[30]	72
FIGURA 27 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO CPC ^[33]	73
FIGURA 28 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SMPS ^[31]	74
FIGURA 29 - ZONA DE MISTURA / PREPARAÇÃO DE PASTAS	76
FIGURA 30 - ZONA DE VIDRAGEM	77
FIGURA 31 - DIAGRAMAS DE CAIXAS DOS VALORES OBSERVADOS NO MISTURADOR 1	80
FIGURA 32 - DISPERSÃO NOS VALORES OBSERVADOS NO MISTURADOR 1	81
FIGURA 33 - DIAGRAMAS DE CAIXAS DOS VALORES OBSERVADOS NO MISTURADOR 2	83
FIGURA 34 - DISPERSÃO NOS VALORES OBSERVADOS NO MISTURADOR 2	84

FIGURA 35 - DIAGRAMAS DE CAIXAS DOS VALORES OBSERVADOS NO MISTURADOR 3.....	86
FIGURA 36 - DISPERSÃO NOS VALORES OBSERVADOS NO MISTURADOR 3.....	87
FIGURA 37 - DIAGRAMAS DE CAIXAS DOS VALORES OBSERVADOS NA VIDRAGEM.....	89
FIGURA 38 - DISPERSÃO NOS VALORES OBSERVADOS NA VIDRAGEM.....	90
FIGURA 39 - DIAGRAMAS DE CAIXAS DOS VALORES OBSERVADOS NO EXTERIOR	92
FIGURA 40 - DISPERSÃO NOS VALORES OBSERVADOS NO EXTERIOR.....	93

Índice de tabelas

TABELA 1 - ENQUADRAMENTO DA INDÚSTRIA CERÂMICA EM PORTUGAL SEGUNDO A CAE.....	22
TABELA 2 - ENQUADRAMENTO DA INDÚSTRIA CERÂMICA COMUNITÁRIA E INTERNACIONALMENTE ^[1]	23
TABELA 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO ^[12]	24
TABELA 4 - CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA NACIONAL POR SUBSETOR ^[1,17]	43
TABELA 5 - ANÁLISE SWOT À INDÚSTRIA CERÂMICA PORTUGUESA, FORÇAS E FRAQUEZAS ^[1]	49
TABELA 6 - ANÁLISE SWOT À INDÚSTRIA CERÂMICA PORTUGUESA, OPORTUNIDADES E AMEAÇAS ^[1] ...	50
TABELA 7 - ESTRATÉGIAS GENÉRICAS PARA A INDÚSTRIA CERÂMICA ^[1]	51
TABELA 8 - ESTRATÉGIAS PARA OS SUBSETORES DA INDÚSTRIA CERÂMICA ^[1]	53
TABELA 9 - VALORES LIMITE DE EXPOSIÇÃO PROFISSIONAL COM CARÁCTER INDICATIVO ^[26]	61
TABELA 10 - VALORES-LIMITE DE EXPOSIÇÃO ADOTADOS ^[24]	63
TABELA 11 - PARTÍCULAS INALÁVEIS ^[24]	65
TABELA 12 - PARTÍCULAS TORÁDICAS ^[24]	65
TABELA 13 - PARTÍCULAS RESPIRÁVEIS ^[24]	66
TABELA 14 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO MISTURADOR 1 (Nº DE PARTÍCULAS / CM ³).....	79
TABELA 15 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO MISTURADOR 2.....	82
TABELA 16 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO MISTURADOR 3.....	85
TABELA 17 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA VIDRAGEM.....	88
TABELA 18 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA MEDIÇÃO EXTERIOR.....	91
TABELA 19 - RAZÕES ENTRE VALORES MÁXIMOS OBTIDOS NAS ATMOSFERAS DE TRABALHO VS MEDIÇÃO EXTERIOR.....	99
TABELA 20 - PRODUÇÃO CERÂMICA MUNDIAL ^[13]	109
TABELA 21 – PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES ^[13]	109
TABELA 22 – PRINCIPAIS PAÍSES CONSUMIDORES ^[13]	110
TABELA 23 - PRINCIPAIS PAÍSES EXPORTADORES ^[13]	111
TABELA 24 - PRINCIPAIS PAÍSES IMPORTADORES.....	112
TABELA 25 - MERCADOS DE EXPORTAÇÃO DE PRODUTOS CERÂMICOS (VALORES EM EUROS) ^[16]	120

1 Introdução

1.1 Enquadramento

Apesar dos avanços tecnológicos a que assistimos diariamente, podemos admitir que a tecnologia hoje ao nosso dispor ainda não nos permite observar átomos. Se analisarmos o conhecimento atual que temos sobre o átomo, percebemos que a informação a que hoje temos acesso é baseada, essencialmente, em modelos empíricos, podendo mesmo admitir que até ao momento ninguém é totalmente conhecedor da estrutura de um átomo.

As nanopartículas (NPs) ou nanomateriais apresentam propriedades únicas que podem originar soluções tecnológicas inovadoras, contudo também podem causar efeitos nefastos sobre o ser humano e o meio-ambiente. É neste contexto que é importante compreender a sua origem e estudar os processos através das quais estas são geradas, por forma a identificar causas e a compreender efeitos.

O setor cerâmico nacional representa cerca de 0,5% do PIB português, pelo que é um setor com alguma significância em termos económicos e de geração de emprego^[1]. Tendo em consideração a atual capacidade instalada e comparativamente aos restantes mercados (europeu e mundial), é importante compreender as principais estratégias envidadas para este setor, assim como se estas estão alinhadas com as principais preocupações em termos de exposição ocupacional e ambiental.

O decreto-lei n.º 24/2012 de 6 de Fevereiro e a NP 1796:2014, Segurança e saúde do trabalho – Valores limite e índices biológicos de exposição profissional a agentes químicos, apresentam valores limites de exposição profissional a determinadas substâncias, contudo a análise recai sobre partículas na escala micro. Apesar de já existirem vários estudos sobre os nanomateriais, a avaliação da formação ou emissão de partículas nas faixas ultrafina e nano deve ser incentivada de forma sistemática, muito devido à diversidade dos processos industriais no setor cerâmico.^[2]

1.2 Objetivo e metodologia

O presente trabalho tem como objetivo verificar a exposição a nanopartículas pelos trabalhadores e eventuais efeitos advindos desta exposição.

A metodologia de trabalho recaiu sobre a caracterização e quantificação de partículas suspensas nos processos industriais em que, tendencialmente, existe maior exposição a partículas. O caso de estudo incide sobre uma fábrica que produz cerâmica sanitária. Recorrendo-se ao equipamento SMPS, que contempla a gama de trabalho nano (0 a 100 nm), foi possível verificar o tamanho, distribuição e concentração do particulado. Os dados foram posteriormente trabalhados e analisados com recurso a técnicas de estatística descritiva.

1.3 Estrutura

Este TFM é constituído por 8 capítulos que se descrevem de seguida. O presente capítulo apresenta um enquadramento do tema, objetivo e metodologia adotada, assim como a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 mostra um enquadramento teórico sobre as nanopartículas e o *status quo* da indústria cerâmica.

O capítulo 3 refere-se à análise legal e normativa em termos de exposição profissional.

O capítulo 4 expõe uma contextualização do projeto sobre o qual o estudo de caso está inserido, assim como a descrição do equipamento e metodologias adotadas

No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos, assim como uma breve interpretação destes.

Os capítulos 6 e 7 exibem as conclusões e perspectivas futuras do trabalho.

O capítulo 8 contém as referências ao qual se seguem os respetivos anexos.

2 Enquadramento teórico

2.1 Nanopartículas

A nanotecnologia é uma área de pesquisa com cerca de um século de existência^[3]. Os nanomateriais, como são exemplo os nanotubos de carbono (Figura 1), são um claro desenvolvimento neste campo.

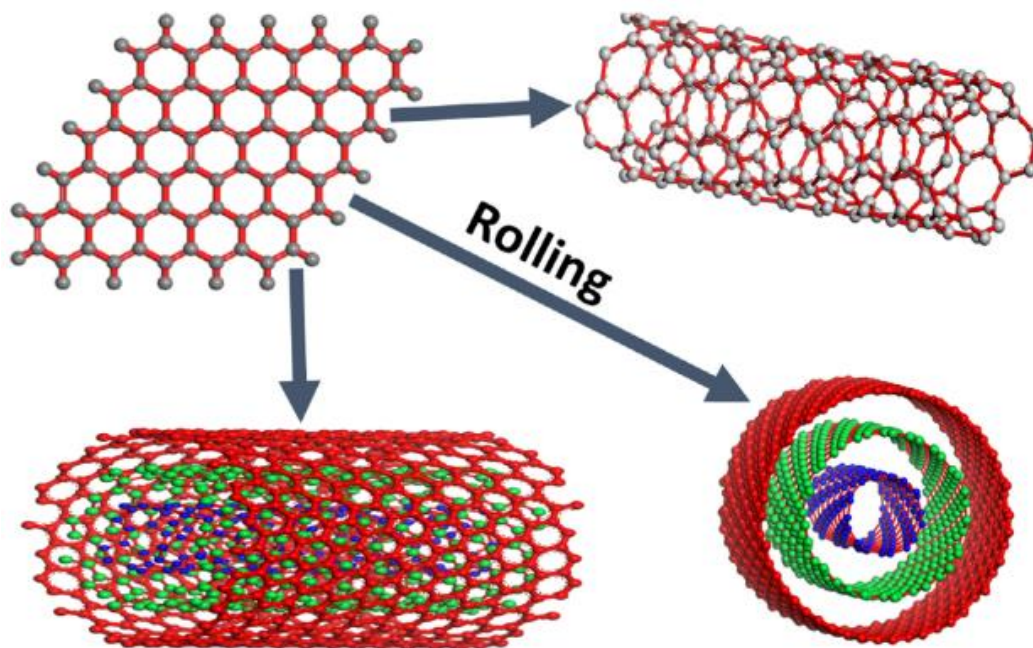


Figura 1 - Camada de grafite em nanotubos de carbono (simples e várias camadas)^[3]

A definição de nanomateriais e a sua utilização regulada foram, e continuam a ser, alvo de debate. Os nanomateriais podem exibir propriedades diferentes das suas formas atualmente conhecidas, sendo essas propriedades alvo de interesse devido aos eventuais efeitos nocivos sobre a saúde humana e o meio-ambiente^[4].

Sendo maiores que os átomos (Figura 2), podemos definir as NPs ou nanomateriais como substâncias ou materiais situadas entre um e cem nanómetros (nm) de dimensão, seja em diâmetro, comprimento ou largura, sob as formas, 0D, 1D, 2D e 3D.

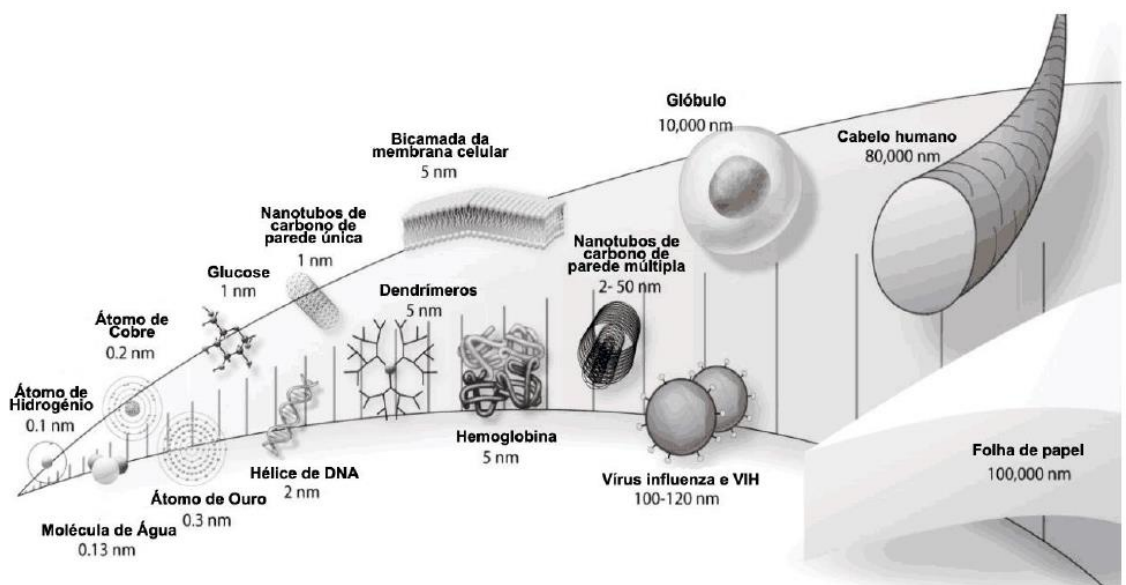


Figura 2 – Escala dos nanomateriais^[5]

Assim sendo, esta classificação é baseada no número de dimensões mensuradas no intervalo nano, isto é estruturas:

0D (adimensional) – maiores que cem nanómetros, amorfas ou cristalinas, monocristalinas ou policristalinas, compostas por um único ou vários elementos químicos individuais ou estruturados;

1D (unidimensional) – geralmente em forma de agulha (*nanotubes*, *nanorods* e *nanowires*), amorfos ou cristalinos, monocristalinos ou policristalinos, quimicamente puros ou impuros, isolados ou incorporados num outro meio;

2D (bidimensional) – geralmente em forma de placa (*nanofilms*, *nanolayers* e *nanocoatings*), amorfos ou cristalinos, de composição química diversa e em uni camada ou multicamada, depositados ou integrados num outro material;

3D (tridimensional) – estrutura nano cristalina ou presença de características à escala nano, de orientação diversa, contém várias NPs (dispersas ou não), *nanowires* e *nanotubes* em múltiplas camadas.

A ISO define ainda *nanomaterial* como um “material com qualquer dimensão externa na escala nano ou que tenha estrutura interna ou área de superfície à escala nano” (ISO, 2010), e nanopartícula como um “nano-objeto” *com todas as três dimensões externas, na escala nano, sendo que a escala nano é definida como a gama de tamanhos entre 1 e 100 nm* (ISO, 2008).

Estas definições, baseadas apenas no tamanho, podem revelar-se insuficientes para uma adequada avaliação do risco^[4]. Esta é uma questão à qual o presente trabalho pretende dar resposta, nomeadamente estudando e avaliando a exposição a NPs pelos trabalhadores na indústria cerâmica, em condições normais e atuais de trabalho.

A título de exemplo, a nanopartícula esférica de sílica (SiO_2), composto químico que deverá ser encontrado durante o processo produtivo da indústria cerâmica, já é utilizada em diversos setores devido à resistência que apresenta à abrasão, elevada estabilidade térmica e ainda como isolante elétrico.

A bibliografia existente é vasta quanto à classificação das NPs, contudo é unânime em definir que a sua origem é maioritariamente natural (produzidas pela natureza) e, as que hoje se conhecem, derivaram essencialmente da evolução tecnológica.

Assim sendo, podemos começar por classificar as NPs conforme a sua morfologia, tamanho e propriedades químicas^[3].

2.1.1 Classificação

a) NPs baseadas em carbono

Os fulerenos e os nanotubos de carbono representam as duas maiores classes em que as NPs de carbono estão presentes. Devido às suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, estes materiais são comercialmente aplicados em enchimentos, adsorventes gasosos ou como suporte para catalisadores inorgânicos e orgânicos^[3].

b) NPs Metálicas

As NPs metálicas são essencialmente compostas por metais precursores. Devido às suas propriedades únicas, o cobre (Cu) a prata (Ag) e o ouro (Au) permitem realizar observação na zona visível do espectro solar eletromagnético, sendo estas NPs aplicadas na pesquisa ou investigação para a obtenção, por exemplo, de imagens de alta qualidade SEM (Scanning Electron Microscopy) ^[3].

c) NPs Cerâmicas

Sendo partículas inorgânicas, derivadas essencialmente de processos de calor ou arrefecimento sucessivo, são geralmente encontradas na forma amorfa, policristalina, densa, porosa ou oca. O seu uso tem sido estudado em operações de catalisação, foto catálise e foto degradação de corantes^[3].

d) NPs semicondutoras

Os materiais semicondutores possuem propriedades entre os metais e os não-metais, sendo encontradas diversas aplicações na literatura devido a esta propriedade. Por exemplo, as NPs semicondutoras demonstram uma eficiência excecional em operações de separação de água^[3].

e) NPs poliméricas

Geralmente de base orgânica e de aspeto esférico ou capsular, à escala nano, são facilmente funcionais. É possível encontrar diversas aplicações na literatura^[3].

f) NPs baseadas em lípidos

Com aplicações biomédicas, as NPs baseadas em lípidos são geralmente esféricas à escala nano. A nanotecnologia tem uma área dedicada a este tipo de NPs, com o objetivo de estudar e sintetizar NPs deste género para o transporte e libertação de fármacos^[3].

2.1.2 Caracterização

A distribuição de tamanho e o diâmetro médio das partículas são propriedades que afetam a estabilidade física e comportamento das NPs, sendo muito importante avaliar, por exemplo, a carga superficial destas durante a fase caracterização^[6].

Por forma a estudar o seu tamanho, morfologia e área de superfície, a caracterização das NPs é efetuada principalmente com recurso a técnicas de microscopia avançada tais como: *atomic force microscopy* (AFM), *transmission electron microscopy* (TEM), *scanning electron microscopy* (SEM), e ainda outras como *X-ray diffraction* (XRD), *X-ray photoelectron spectroscopy* (XPS), *infrared* (IR), *Brunauer–Emmett–Teller* (BET), e análise do tamanho de partícula^[3,6].

2.1.2.1 Tamanho de partícula e área de superfície

A caracterização das NPs pode ser, numa fase primária, efetuada pela distribuição do tamanho de partícula e pela sua morfologia. A área de superfície é um atributo distintivo e uma das características mais importantes a estudar nas NPs, uma vez que menores massas podem apresentar elevadas concentrações. Nesse sentido a técnica BET apresenta-se como a melhor para determinar a área de superfície das NPs. Esta técnica, baseada no princípio na adsorção, desadsorção, recorre ao uso de nitrogénio para este propósito^[3,6].

No decorrer deste estudo poderá existir a necessidade de entender algumas das técnicas de caracterização anteriormente enunciadas, pelo que se procede de seguida a uma breve explicação de algumas delas.

a) Photon-Correlation Spectroscopy (PCS) ou Dynamic Light Scattering (DLS)

Das técnicas mais rápidas e conhecidas para a determinação do tamanho das NPs. Nesta técnica (Figura 3), uma solução de partículas esféricas em movimento *Browniano* causa o efeito Doppler quando expostas à luz monocromática brilhante (laser). Quando a luz atinge a partícula em movimento, o resultado é a mudança do comprimento de onda da luz que entra. A diferença no comprimento de onda determina o tamanho da partícula. A técnica DLS é a mais utilizada para estimar o tamanho da partícula e assim conhecer a sua distribuição^[6].

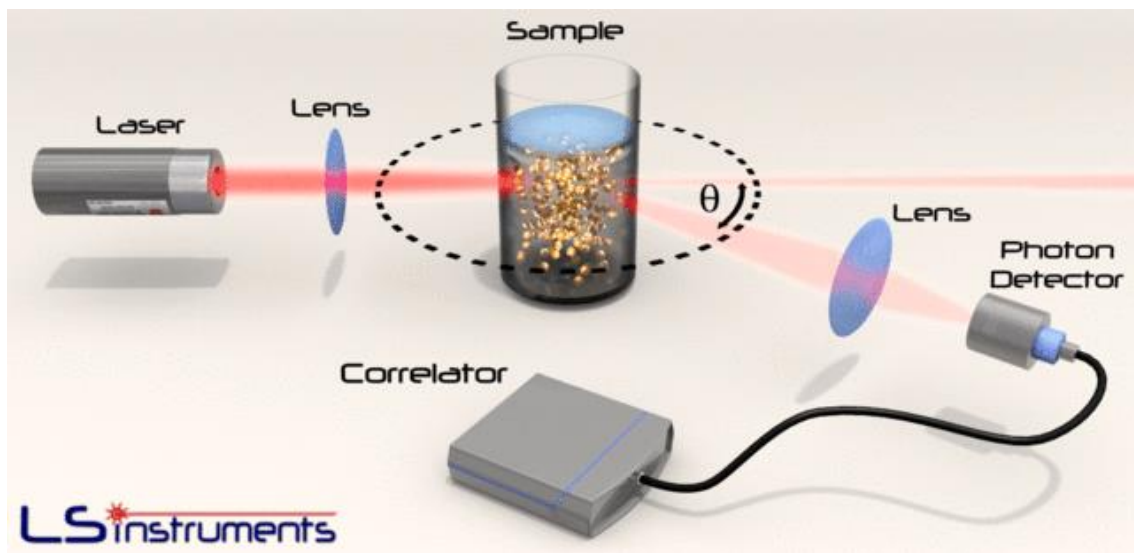


Figura 3 – Esquema de funcionamento da espectroscopia^[7]

b) Microscopia eletrónica de varrimento (SEM)

Baseado em microscopia eletrónica, esta identifica o tamanho, forma e superfície das NPs. Em termos práticos, uma solução de NPs é convertida inicialmente em pó seco. Este pó seco é posteriormente colocado num suporte revestido com um metal condutor (ouro por exemplo), que é exposto a um feixe de eletrões. Os eletrões emitidos exibem as características da superfície da amostra^[6].

c) Microscopia eletrónica de transmissão (TEM)

A técnica TEM usa um princípio diferente da SEM, no entanto pode oferecer o mesmo tipo de resultados.

A amostra para esta técnica necessita de ser extremamente fina devido à transmissão de eletrões, revelando-se mais complexa e morosa. As NPs são dispersas num suporte, sendo fixas com recurso a um material de coloração (acetato de uranilo por exemplo) para facilitar o seu manuseio. Quando um feixe de eletrões é transmitido através da amostra, esta interage e revela as características da superfície.

A técnica TEM revela algumas vantagens que podem ser enunciadas:

- é possível obter diferentes níveis de contraste e assim relacionar com a composição química da amostra (apresentam melhores resultados que as obtidas por outras técnicas);

- *melhores resultados para o estudo dos tamanhos, formas, defeitos, estruturas e composições das NPs, por forma a compreender os seus sistemas*^[6].

d) Atomic Force Microscopy (AFM)

Técnica também conhecida como *scanning force microscopy* (SFM), esta mostra imagens superficiais das NPs. Com recurso a uma sonda que “varre” a amostra, e dependendo das suas propriedades, é possível obter imagens em alta definição das NPs e dos seus sistemas.

Esta técnica é realizada por facultar uma descrição mais precisa do tamanho das NPs e sua distribuição, sem recurso a cálculos matemáticos. Possibilita ainda ter uma imagem real das NPs ou dos seus sistemas, contribuindo assim para o estudo e entendimento do efeito das condições biológicas^[6].

2.1.2.2 Carga superficial

A carga superficial determina a interação das NPs com o meio biológico, assim como a sua interação electrostática com compostos bioativos. A estabilidade do material coloidal é, geralmente, analisada com recurso ao potencial zeta das NPs. *O potencial zeta é uma forma indireta de mensurar a carga superficial*, podendo ser obtida através da avaliação do diferencial de potencial. Valores elevados de potencial zeta (positivos ou negativos) garantem a estabilidade e a não-agregação das NPs^[6].

2.1.3 Sintetização

Vários métodos podem ser utilizados para a sintetização de NPs, contudo estes estão essencialmente divididos em duas classes principais que podem ser posteriormente divididas em subclasses baseadas no tipo de operação, condições de reação e protocolos adotados^[3]. As NPs também podem surgir de forma acidental, naturalmente (atividade geológica ou fenómenos naturais) e como resultado da atividade humana (processos industriais para produção de bens, queima de combustíveis).

a) Top-down (de cima para baixo)

Geralmente este método recorre a uma abordagem destrutiva, *i.e.*, as NPs são obtidas de partículas de maior tamanho com recurso, normalmente, a processos físicos. Um exemplo deste tipo de sintetização é a moagem, em que o tempo de moagem tem efeito no tamanho das NPs^[3].

b) Bottom-up (de baixo para cima)

Neste método as NPs são formadas (ou construídas) a partir de substâncias relativamente mais simples^[3]. É um fenómeno que se pode realizar fisicamente ou quimicamente, por exemplo através de reações de sedimentação ou redução.

2.1.4 Aplicações

Dado as NPs apresentarem propriedades únicas que possibilitam o seu uso em diversas aplicações, é importante entender o estado atual do uso deste tipo de tecnologia.

a) Medicamentos e equipamentos médicos

As NPs inorgânicas apresentam propriedades físicas e químicas únicas, sendo cada vez mais importantes no desenvolvimento de nano-dispositivos com aplicações físicas, biológicas, biomédicas e farmacêuticas. No ramo farmacêutico, estas NPs também estão a ser estudadas na administração de medicamentos, pois permitem um melhor controlo sobre a dosagem do fármaco, aumentando a eficiência e reduzindo efeitos secundários, indo de encontro à adequada necessidade do paciente^[3].

b) Manufatura e materiais

Os materiais nano-cristalinos providenciam substâncias muito relevantes para a área da manufatura, devido às suas propriedades elétricas, mecânicas e óticas. Estas características são muito procuradas nestes setores, existindo já produtos que apresentam funcionalidades únicas e inovadoras com recurso à nanotecnologia. Os benefícios da nanotecnologia têm sido documentados por diversos fabricantes, sendo já muitos produtos concebidos em massa na indústria eletrónica, aeroespacial e farmacêutica. Produtos estes que atualmente o consumidor comum já verifica em áreas como fitness, eletrónica e computadores, casa e jardim. A nanotecnologia tem sido apontada como a próxima revolução em muitas indústrias^[3].

c) Meio ambiente

Com a aplicação a nível industrial de NPs, existirá a libertação de substâncias no meio ambiente. A avaliação de risco destas NPs no meio ambiente requer compreender a sua mobilidade, reatividade e toxicidade, dado que um aumento de concentração de NPs no solo e em águas subterrâneas representa um risco de exposição pelo ser humano.

Devido à elevada razão superfície / massa, as NPs desempenham um papel importante na remoção de contaminantes. A título de exemplo, as NPs de óxido de ferro são uma substância eficaz na remoção de metais pesados como o mercúrio, chumbo, talco, ou cádmio da água natural, contudo devido à ausência de métodos analíticos ainda não foram apresentadas medições capazes de quantificar a concentração de NPs^[3].

d) Eletrónica

Na eletrónica, ao invés do uso de técnicas tradicionais que recorrem ao silício, as NPs metálicas, cerâmicas e os nanotubos de carbono podem oferecer soluções de grande utilidade e a menor custo. A sua aplicação em sensores e ecrãs dobráveis poderá ser vista em novos equipamentos eletrónicos^[3].

As propriedades estruturais, óticas e elétricas únicas nos materiais semicondutores, fazem destes materiais a chave para uma nova geração de inovações na área eletrónica, de sensores e de materiais fotónicos. Um exemplo na história de sinergia entre a descoberta científica e o desenvolvimento tecnológico é a indústria eletrónica, onde a descoberta de novos materiais semicondutores resultou num avanço muito significativo nos chips para processamento de informação^[3].

e) Produção e armazenamento de energia

Vários estudos apontam para as limitações e escassez de combustíveis fósseis no decorrer dos próximos anos devido à sua natureza não renovável. *Pela necessidade de produzir energias renováveis a partir de recursos mais facilmente acessíveis e a um custo menor, investigadores apontam para que as NPs sejam das melhores candidatas para esta finalidade, devido à sua elevada área de superfície, comportamento ótico e natureza catalítica. Estas podem oferecer opções avançadas para a geração de energia, nomeadamente em aplicações foto-catalíticas (PEC), células solares e geradores piezelétricos, sendo também possível a sua aplicação no armazenamento de energia^[3].*

2.1.5 Exposição e efeitos na saúde

*A exposição a NPs ou nanomateriais compreende a exposição a nano-objetos, a materiais nano-estruturados ou nanocompósitos^[8]. Entende-se que a origem e a forma como as NPs se formam são dois fatores preponderantes na fase de diagnóstico. Estes dois fatores são também relevantes na fase de avaliação, nomeadamente para entender potenciais efeitos. No entanto, avaliar situações de exposição profissional pode revelar-se extremamente complexo, uma vez que envolve compreender as componentes inerentes ao indivíduo, condições de trabalho e atividade desenvolvida. Sabe-se que as NPs interagem com o corpo humano através de três vias: inalação, ingestão ou contato dérmico (Figura 4), pelo que fatores como *quantidades utilizadas, duração das atividades, frequência das tarefas, tempo de permanência no ar ou nas superfícies de trabalho, e uso de meios de proteção*, constituem variáveis que devem ser consideradas numa avaliação de exposição profissional. Sugere-se, portanto, aplicar de forma sistemática uma abordagem integrada no processo de diagnóstico, avaliação e gestão do risco, considerando sempre a especificidade de cada caso^[9,10].*

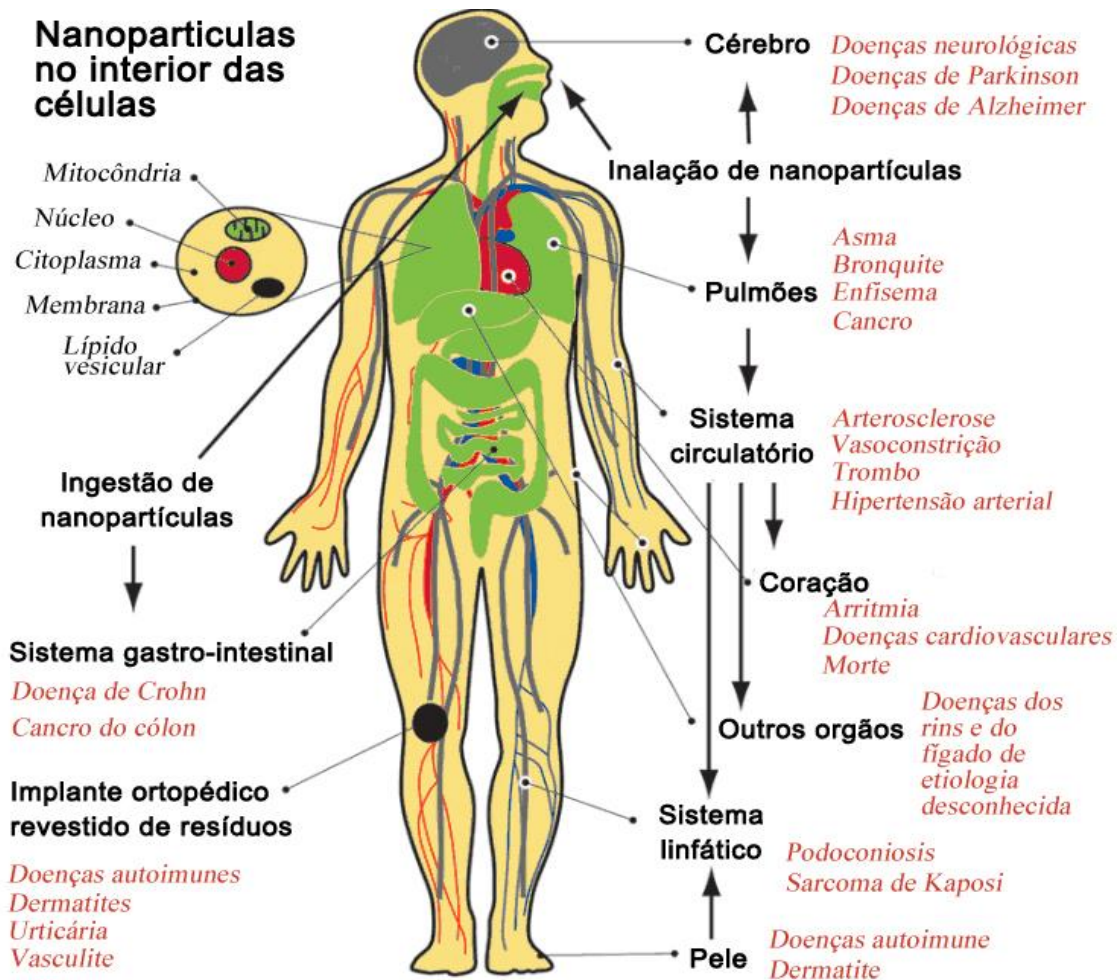


Figura 4 - Vias de exposição às NPs^[10]

Determinadas fases ou processos de produção industrial dão origem a NPs que, ao interagirem com o ser humano, podem revelar-se tóxicas. Existindo potencial tóxico, a exposição a NPs pode afetar órgãos vitais do corpo humano. Apesar das defesas e barreiras que o corpo humano tem, através da via respiratória (deposição ou trocas gasosas) as NPs podem atingir os pulmões e entrar na corrente sanguínea, existindo alguns estudos que demonstram efeitos adversos nos trabalhadores, tanto a nível de exposição ambiental a partículas inaláveis (PM10 – PM2,5) como a nível de partículas respiráveis (PM2,5 – PM0,1). Além disso, a fração respirável é capaz de induzir efeitos além do sistema respiratório. *A poluição do ar tem sido associada a vários efeitos na saúde, incluindo stress e neuro-inflamação, que podem resultar em neurodegeneração e comprometimento cognitivo^[10,11].*

Os efeitos na saúde provocados pelas NPs ocorrem nas regiões mais profundas do aparelho respiratório^[5]. A Figura 5 pretende demonstrar as regiões onde é possível existir deposição de NPs.

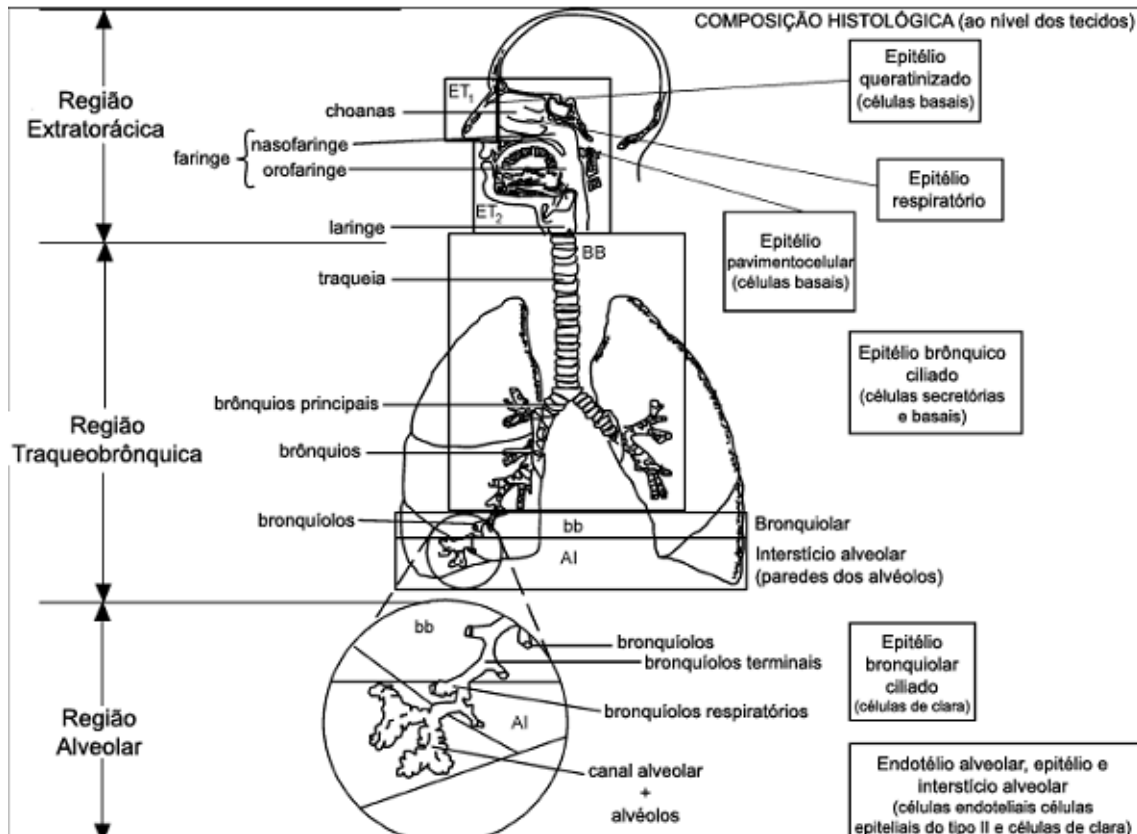


Figura 5 - Modelo representativo das regiões do pulmão humano^[5]

Na Figura 6 estão representadas as curvas de deposição para as regiões traqueobrônquica e alveolar do pulmão. Estas curvas resultam de uma parametrização para o modelo de deposição de partículas no pulmão humano do ICRP, em que para cada região pulmonar é dada uma equação. Estas equações resultam na eficiência de deposição como um rácio da concentração total de partículas suspensas. *A eficiência total de deposição das partículas em todas as regiões resulta da soma das eficiências de cada região*^[9].

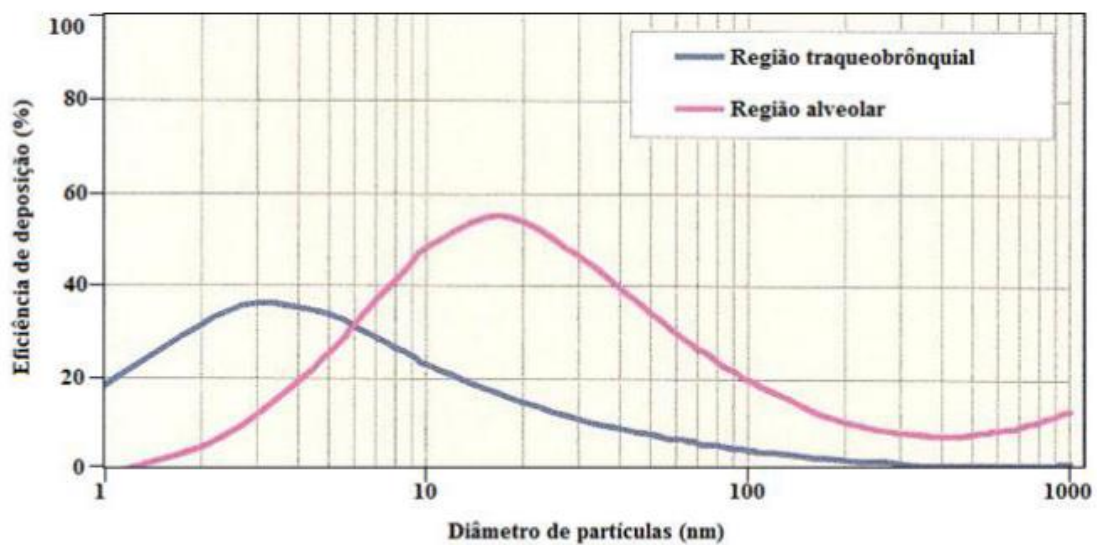


Figura 6 - Curvas de deposição na região traqueobrônquica e alveolar do pulmão^[9]

2.2 Indústria cerâmica - revestimentos

O uso de revestimentos cerâmicos remonta à civilização egípcia, com a aplicação destes elementos em paredes e pisos (placas relativamente finas feitas em cerâmica), essencialmente para fins decorativos (pigmentos e baixos relevos). Gregos e romanos, além de utilizarem os revestimentos cerâmicos com a finalidade de revestimento, aplicaram também este componente nos seus sistemas canalização. *A evolução permitiu o aperfeiçoamento das técnicas de produção, sendo hoje os revestimentos cerâmicos extremamente importantes pela sua utilidade e valor decorativo.* A sua variabilidade em termos de cores e padrões, durabilidade, reduzida manutenção, adaptabilidade ao suporte, resistência ao fogo e à abrasão, são algumas das mais importantes características que potenciam a sua funcionalidade e design, apesar da sua fragilidade^[1,12].

2.2.1 Enquadramento

Cada produto cerâmico pode ser classificado num dos subsetores desta área de acordo com a função que desempenha. Na Tabela 1 constante na página seguinte, e respeitando a Classificação das Atividades Económicas (CAE – Rev. 3) em vigor em Portugal, a indústria cerâmica está enquadrada na secção C (indústrias transformadoras) e divisão vinte e três (Fabricação de outros produtos minerais não metálicos). Estes produtos podem ainda ser categorizados de acordo com a Tabela 2, em conformidade com a notação comunitária (NACE) e extracomunitária (HS). NACE é a designação dada à classificação estatística das atividades económicas na Comunidade Europeia de carácter legal e obrigatório, por forma a existir uma classificação uniforme entre todos os estados membros. HS é a nomenclatura aplicável a nível internacional, permitindo aos países classificar os produtos transacionados através de uma base de classificação comum^[1].

Tabela 1 - Enquadramento da indústria cerâmica em Portugal segundo a CAE

Secção	Divisão	Grupo	Classe	Subclasse	Designação
C	23	232	2320	232000	Fabricação de produtos refratários
		233			Fabricação de produtos cerâmicos para a construção
			2331		Fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica
				23311	Fabricação de azulejos
				23312	Fabricação de ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica
		2332			Fabricação de tijolos, telhas e de outros produtos cerâmicos para a construção
				23321	Fabricação de tijolos
				23322	Fabricação de telhas
				23323	Fabricação de abobadilhas
				23324	Fabricação de outros produtos cerâmicos para a construção
		234			Fabricação de outros produtos de porcelana e cerâmicos não refratários
			2341		Fabricação de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental
				23411	Olaria de barro
				23412	Fabricação de artigos de uso doméstico de faiança, porcelana e grés fino
				23413	Fabricação de artigos de artigos de ornamentação de faiança, porcelana e grés fino
				23414	Atividades de decoração de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental
		2342		23420	Fabricação de artigos cerâmicos para usos sanitários
		2343		43430	Fabricação de isoladores e peças isolantes em cerâmica
		2344		43440	Fabricação de outros produtos em cerâmica para usos técnicos
		2349		23490	Fabricação de outros produtos cerâmicos não refratários

Tabela 2 - Enquadramento da indústria cerâmica comunitária e internacionalmente^[1]

Subsetor	Notação	Tipo de produtos
Cerâmica Estrutural	NACE: 2332 HS: [6901;6906]	Telhas, tijolos, abobadilhas, produtos de grés para a construção e pavimentos rústicos
Cerâmica de Pavimentos e Revestimentos	NACE: 2331 HS: [6907-6908]	Azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas cerâmicas
Cerâmica de Louça Sanitária	NACE: 2342 HS: 6910	Louça sanitária em porcelana, grés fino e grés, incluindo bacias, bidés, lavatórios, lavatórios de embutir, tanques, colunas, bases de chuveiro e outros
Cerâmica Utilitária e Decorativa	NACE: 2341 HS: [6911-6914]	Louça de mesa, de cozinha e de decoração, em porcelana, faiança, grés e terracota
Cerâmicas Especiais	NACE: [2320; 2343 - 2349] HS: 6909	Isoladores elétricos, produtos refratários e outros

2.2.2 Processo produtivo

A produção de revestimentos cerâmicos assenta essencialmente em quatro etapas (Figura 7).

**Figura 7 - Processo geral de produção de revestimentos cerâmicos^[12]**

As matérias primas são utilizadas para preparar a pasta, sendo posteriormente esta pasta moldada mecanicamente por prensas e seca com recurso a secadores. A etapa de cozedura é responsável por 55% a 65% do consumo energético no processo produtivo, considerando que a maioria dos fornos são aquecidos com recurso à queima de gás natural (carvão, óleo e biogás também podem ser utilizados)^[12]. É no processo de cozedura que os revestimentos cerâmicos adquirem as suas principais características, sendo posteriormente arrefecidos e preparados para embalamento e distribuição.

As principais preocupações ambientais no processo produtivo recaem essencialmente sobre as emissões de CO₂, desflorestação e manutenção / gestão dos locais de extração^[12].

2.2.3 Cadeia de valor

Não só o subsector dos revestimentos cerâmicos, assim como toda a indústria cerâmica, depende de matérias-primas para o processo produtivo. Argilas, caulinos, quartzos, carbonatos de cálcio, talcos e dolomites são usualmente utilizados. *Estes materiais quando combinados, por exemplo, com óxidos metálicos ou corantes, originam produtos vidrados que acrescentam valor aos revestimentos cerâmicos comparativamente a outros produtos do mesmo setor (design, escolha de materiais, técnicas aplicadas, inovação)^[12].*

Em termos quantitativos e a título comparativo, dados de 2008 indicam que a produção de uma tonelada de cerâmica exigiu 6 GJ de energia. A Tabela 3 pretende dar uma visão dos custos de produção para o subsector dos revestimentos cerâmicos. Estes valores referem-se a valores médios na UE^[12].

Tabela 3 - Distribuição dos custos de produção^[12]

Matéria-prima	30% - 35%
Energia	25% - 30%
Mão-de-obra	25% - 30%
Outros custos de produção	10% - 15%

De acordo com a *Cerame-Unie*, os custos das matérias primas representam o principal custo nos produtos comunitários de revestimentos cerâmicos.

2.2.4 Panorama internacional e europeu

Por forma a entender a dinâmica existente nos mercados internacional e europeu, efetuou-se uma breve análise por continente e principais intervenientes, tendo em conta os dados mais recentemente disponíveis. Para uma melhor análise detalhada deverá ser consultado o Anexo I.

2.2.4.1 Indústria cerâmica mundial

De acordo com a sexta edição da *Ceramic World Review*, referente ao ano de 2018 e promovida pela Associação de Fabricantes Italianos de Máquinas e Equipamentos para Cerâmica (ACIMAC), a produção mundial de azulejos cresceu +2% relativamente a 2016, para 13.552 milhões de m² (Figura 8).

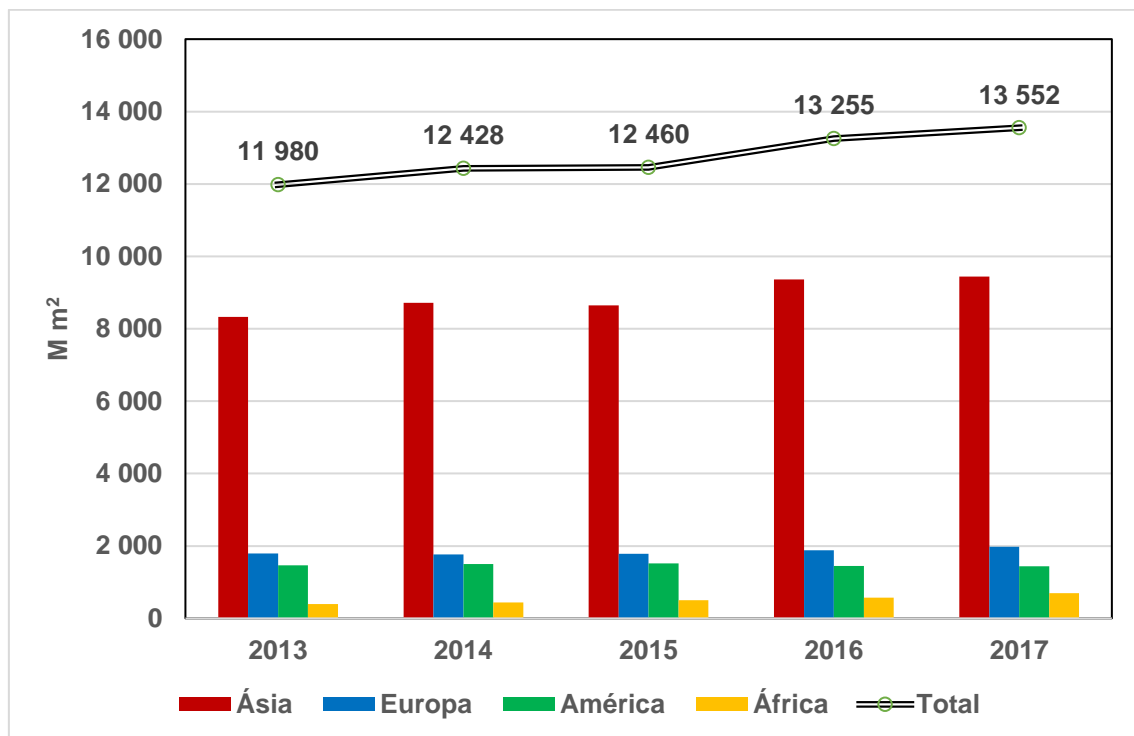


Figura 8 - Variação da produção cerâmica no mundo^[13]

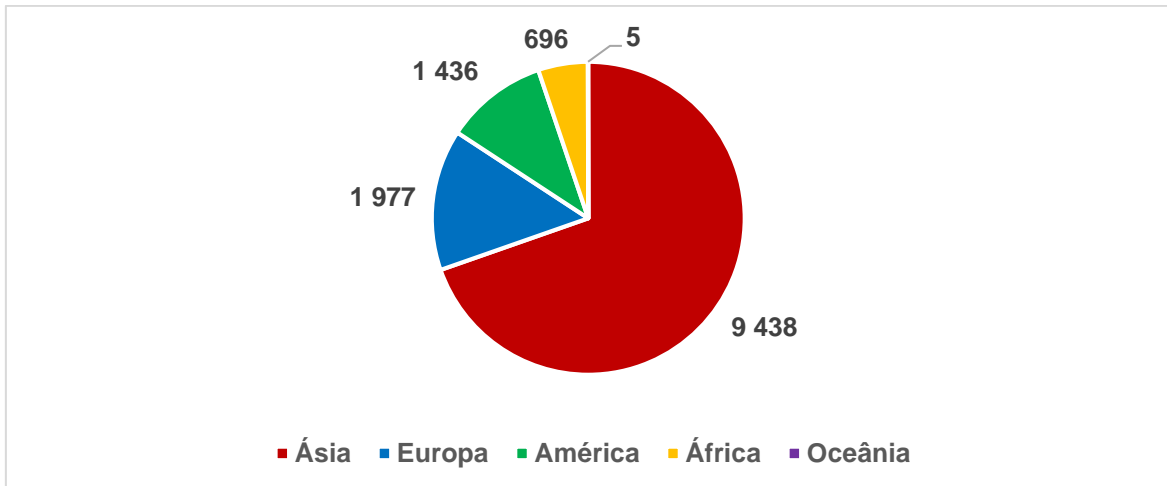


Figura 9 - Distribuição da produção cerâmica mundial em 2017 (M m²)^[13]

No decorrer dos últimos anos, e verificável também no ano de 2017, a produção cerâmica no continente asiático corresponde a cerca de 70% (Figura 9) da produção global, apresentando um crescimento de +0,9%. No continente europeu (segundo maior produtor mundial com uma representação de cerca de 15%), assistiu-se a um incremento de +5,3%, num total de 1.977 milhões de m² no ano de 2017. No continente americano, responsável por cerca de 10% da produção mundial, é admissível uma estabilização no ano de 2017 (-0,6% comparativamente a 2016, ano em que se verificou uma contração de -5,2%). Já o continente africano (responsável por cerca de 5% da produção mundial) apresenta um crescimento muito significativo (+21,9%) relativamente ao ano anterior, acompanhando a tendência de crescimento dos últimos anos. *Este crescimento é justificado pelo investimento chinês neste continente assim como o desempenho Egípcio (maior produtor neste continente com cerca de 300M m²)* ^[13].

O consumo mundial de cerâmica, em 2017, aumentou de 12.973 para 13.270M m² (+2,3%)^[13]. Neste sentido é interessante efetuar uma análise sobre os maiores produtores mundiais, de forma a entender a sua distribuição no mundo (Figura 10).

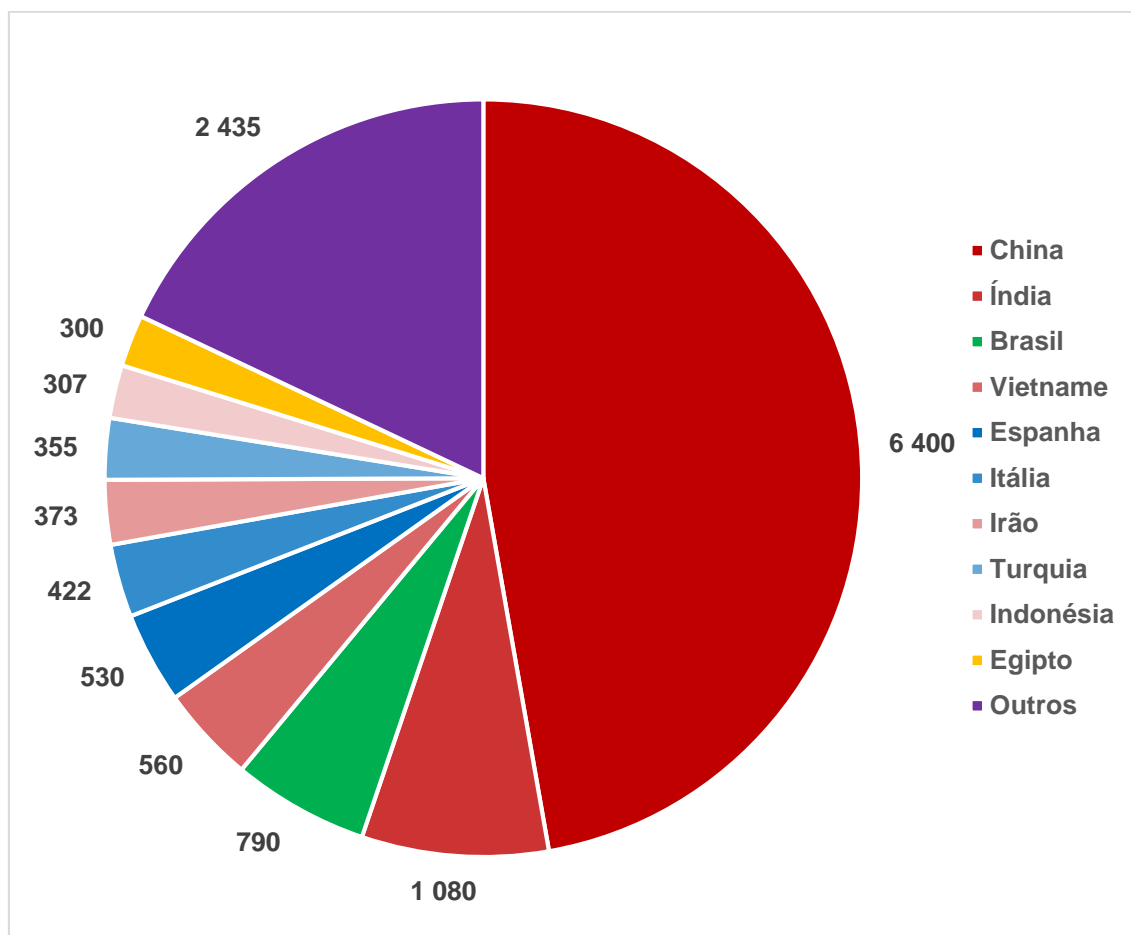


Figura 10 - Maiores produtores mundiais de cerâmica em 2017 (M m²)^[13]

Dos dez maiores produtores mundiais em 2017, apresenta-se em tom de vermelho os países respeitantes ao continente asiático (menor tonalidade indica menor produção), responsáveis por cerca de 64% da produção, seguido da Europa a azul (10%), América a verde (6%) e África a amarelo (2%). Os restantes *players* representam 18% da produção (a roxo).

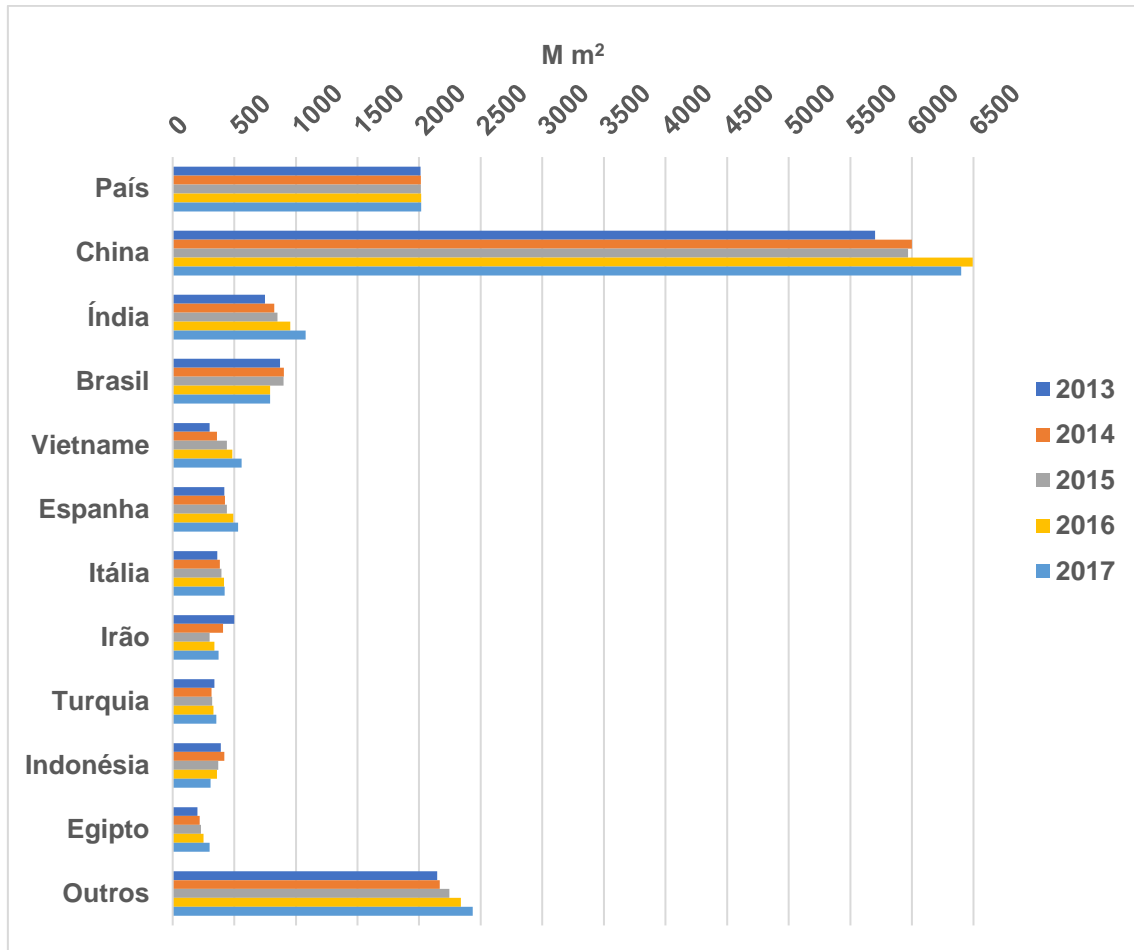


Figura 11 - Variação da produção dos dez maiores produtores mundiais^[13]

Neste sentido, em 2017 a China continua a ser o maior produtor (Figura 11), consumidor (página seguinte, Figura 12), e exportador de cerâmica no mundo, embora a indústria e o mercado chinês permaneça difícil de quantificar devido à discrepância nos dados disponíveis. A Índia fortaleceu também neste ano a sua posição como segundo maior produtor e consumidor de cerâmica, sendo que só o continente asiático absorve cerca de 72% das exportações indianas^[13].

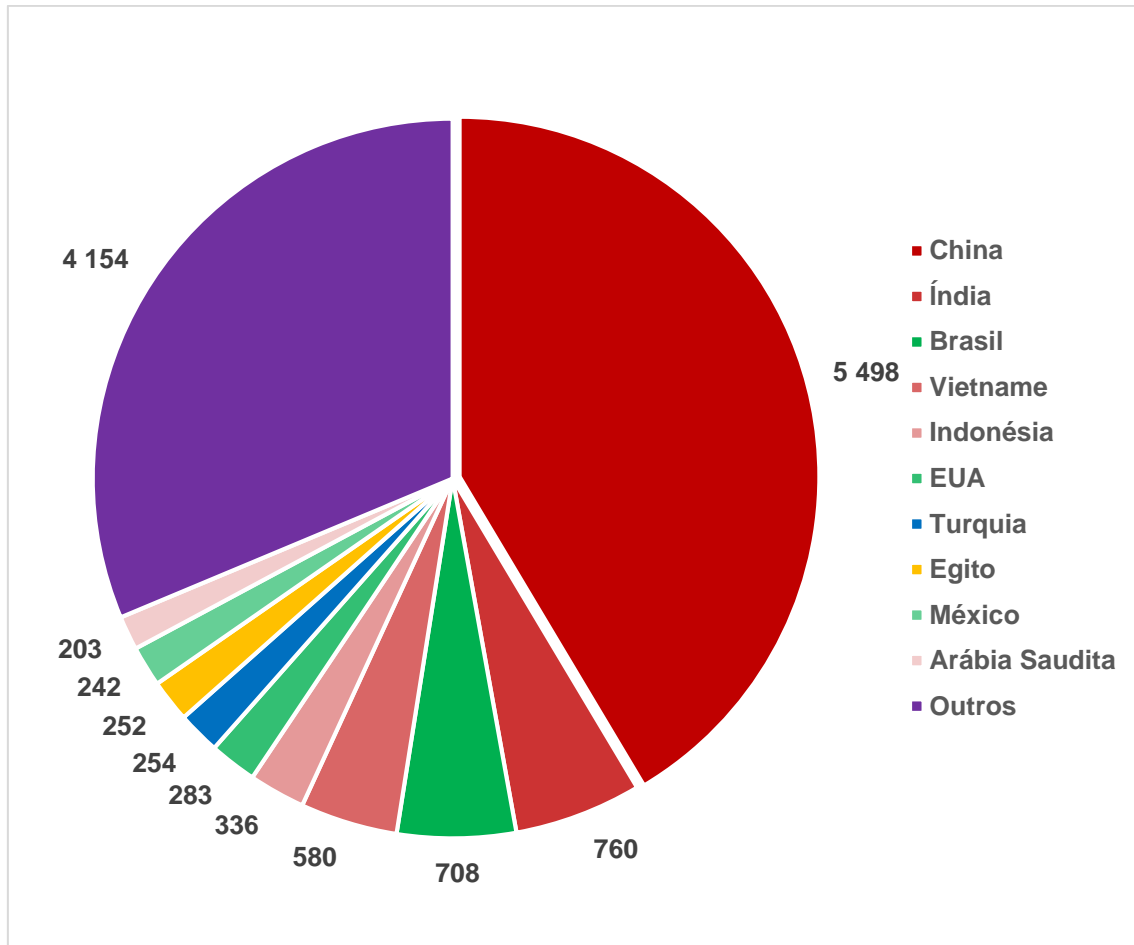


Figura 12 - Maiores consumidores mundiais de cerâmica em 2017 ($M m^2$)^[13]

Também no ano de 2017 o Brasil manteve a produção e consumo em níveis muito semelhantes aos de 2016, ocupando o terceiro lugar nos maiores consumidores de cerâmica no mundo. Segundo a própria associação nacional dos fabricantes de cerâmica (ANFACER), são valores relativamente baixos comparativamente à capacidade instalada. Os principais destinos das exportações deste país são essencialmente os mercados latino-americano e os Estados Unidos da América^[13].

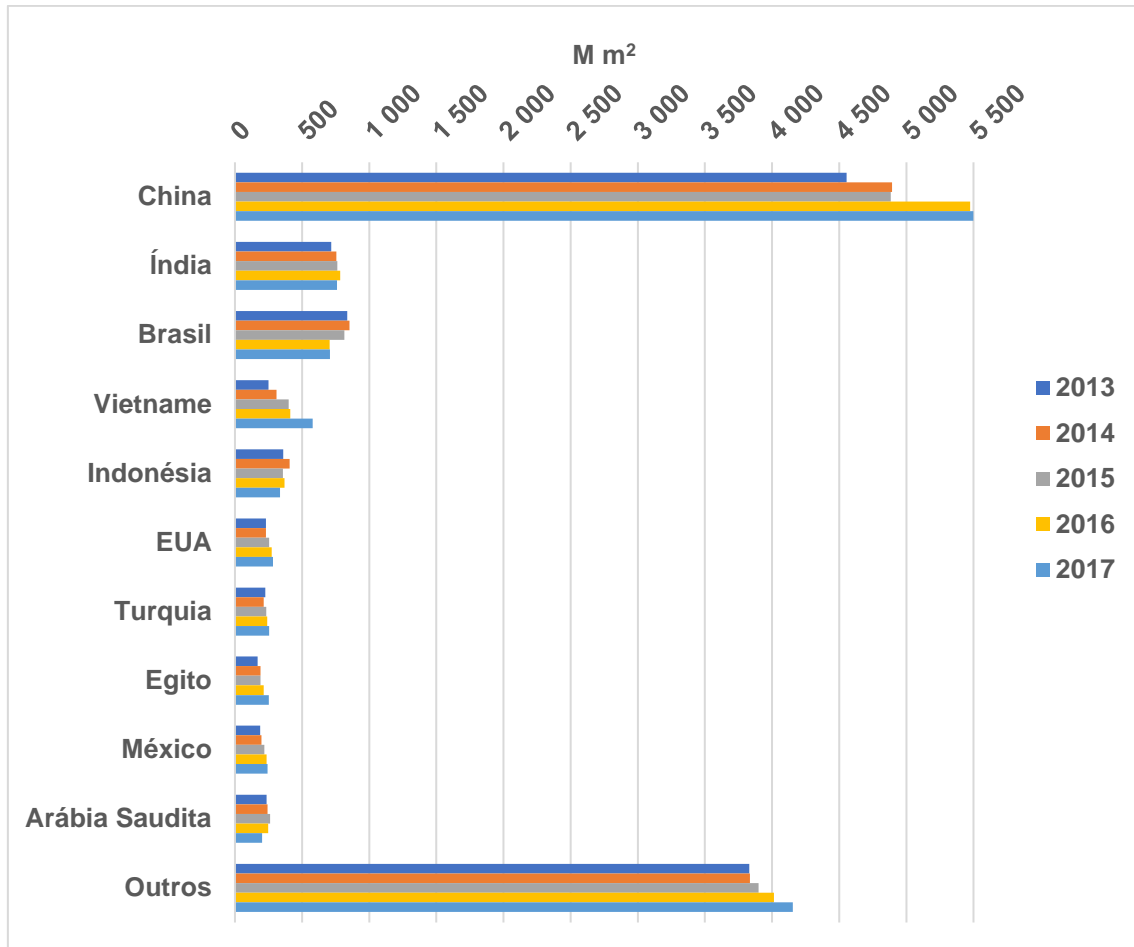


Figura 13 - Variação do consumo dos dez maiores consumidores mundiais^[13]

Representando cerca de 60% das exportações mundiais em 2017, China, Espanha e Itália são os três maiores países exportadores (página seguinte, Figura 14). Em termos percentuais de produção, Espanha e Itália exportaram 80% e 77%, respectivamente, do que produziram. Itália lidera em termos do preço médio de venda por metro quadrado. Ainda na Europa, a Turquia manteve a tendência de crescimento verificada em 2016 (página seguinte, Figura 15), sendo que as exportações tiveram como principal destino o mercado europeu (49%), asiático (22%) e americano (21%)^[13].

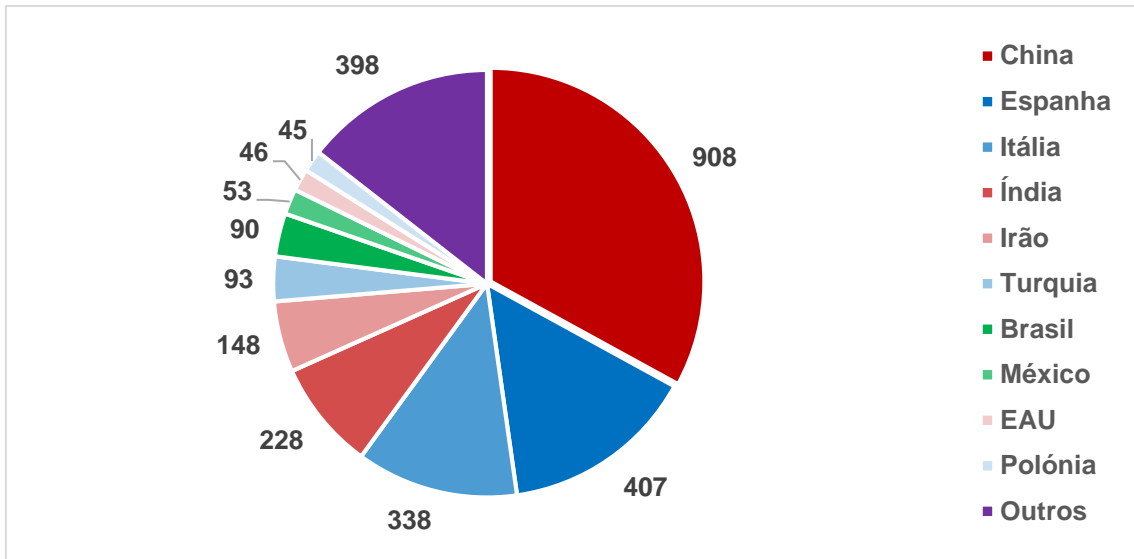


Figura 14 - Maiores exportadores mundiais de cerâmica em 2017 (M m²)^[13]

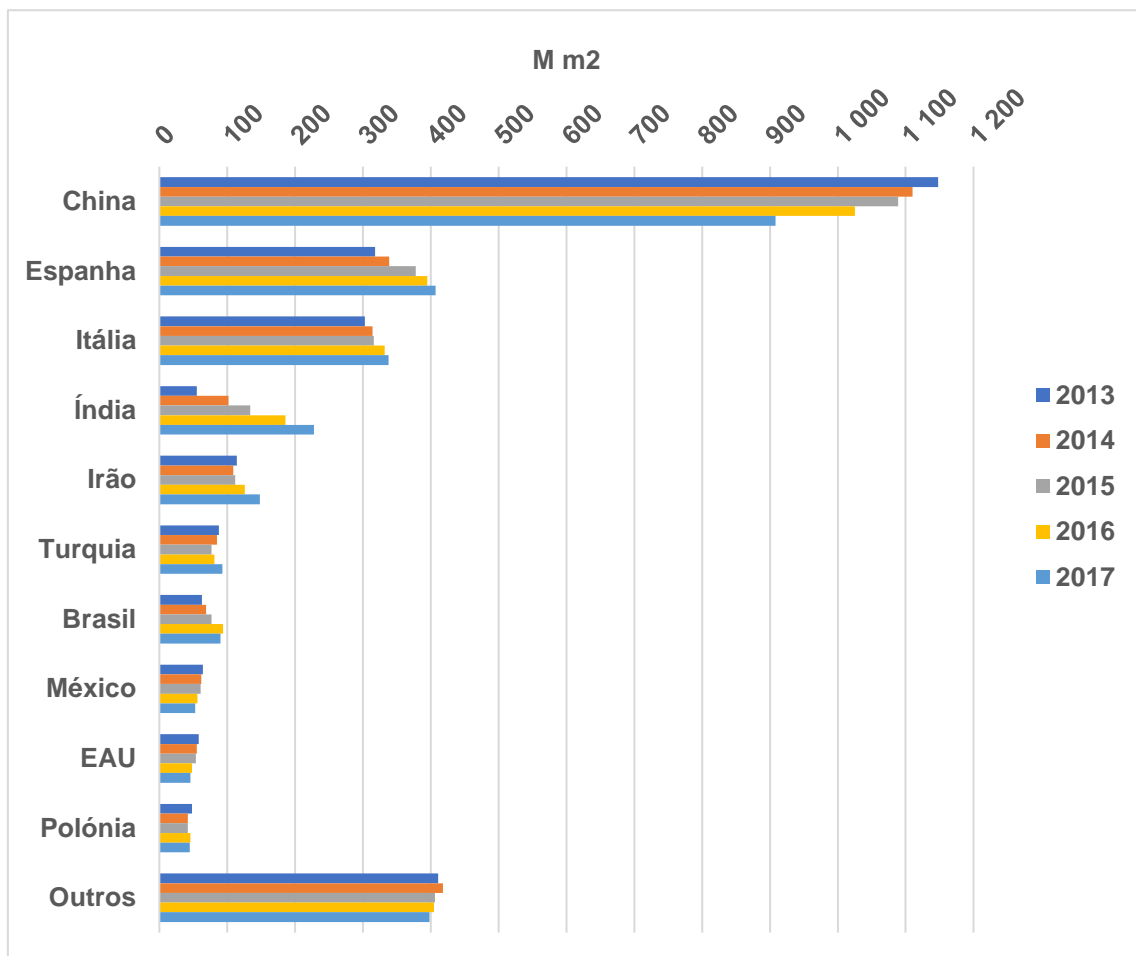


Figura 15 - Variação das exportações dos dez maiores exportadores mundiais^[13]

Os Estados Unidos da América (Figura 16) são o maior país importador do mundo, atingindo no ano de 2017 um novo máximo que se estabeleceu em 202 milhões de m². Cerca de 80,5% das importações americanas tem origem da China, México, Itália e Espanha. A Arábia Saudita, segundo maior importador do mundo, comprou maioritariamente à Índia, China, Espanha e Emirados Árabes Unidos^[13].

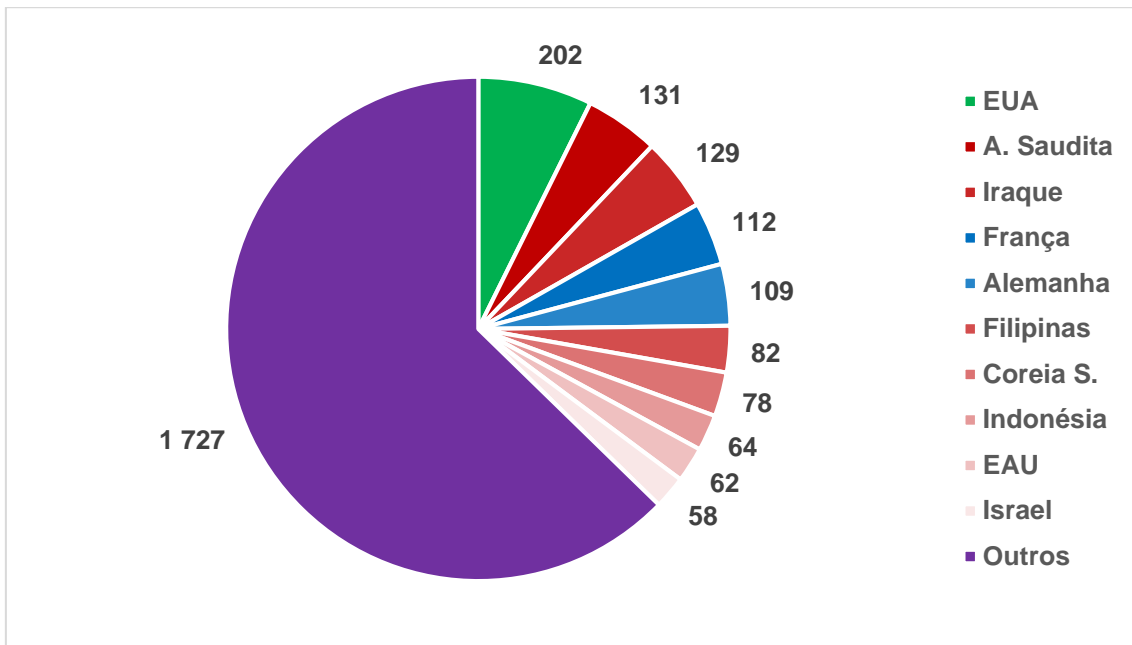


Figura 16 - Maiores importadores mundiais de cerâmica em 2017 (M m²)^[13]

2.2.4.2 Indústria cerâmica europeia

Do capítulo anterior verifica-se que a Europa (continente) é responsável pela produção de cerca de 10% dos revestimentos cerâmicos no mundo. Neste sentido é perceptível que o mercado europeu seja bastante concentrado, com Espanha e Itália a dominarem o mercado.

Na Figura 17 é possível observar a distribuição da produção na UE entre os seus estados membros. Em 2011, a Itália foi o maior produtor europeu de revestimentos cerâmicos (400 milhões de metros quadrados), seguido pela Espanha (392 milhões de metros quadrados) e pela Polónia (119 milhões de metros quadrados). Estes três estados membros concentravam 77% da produção da UE. De salientar que na UE o subsector de revestimentos cerâmicos é fortemente constituído por PME (pequenas e médias empresas)^[12].

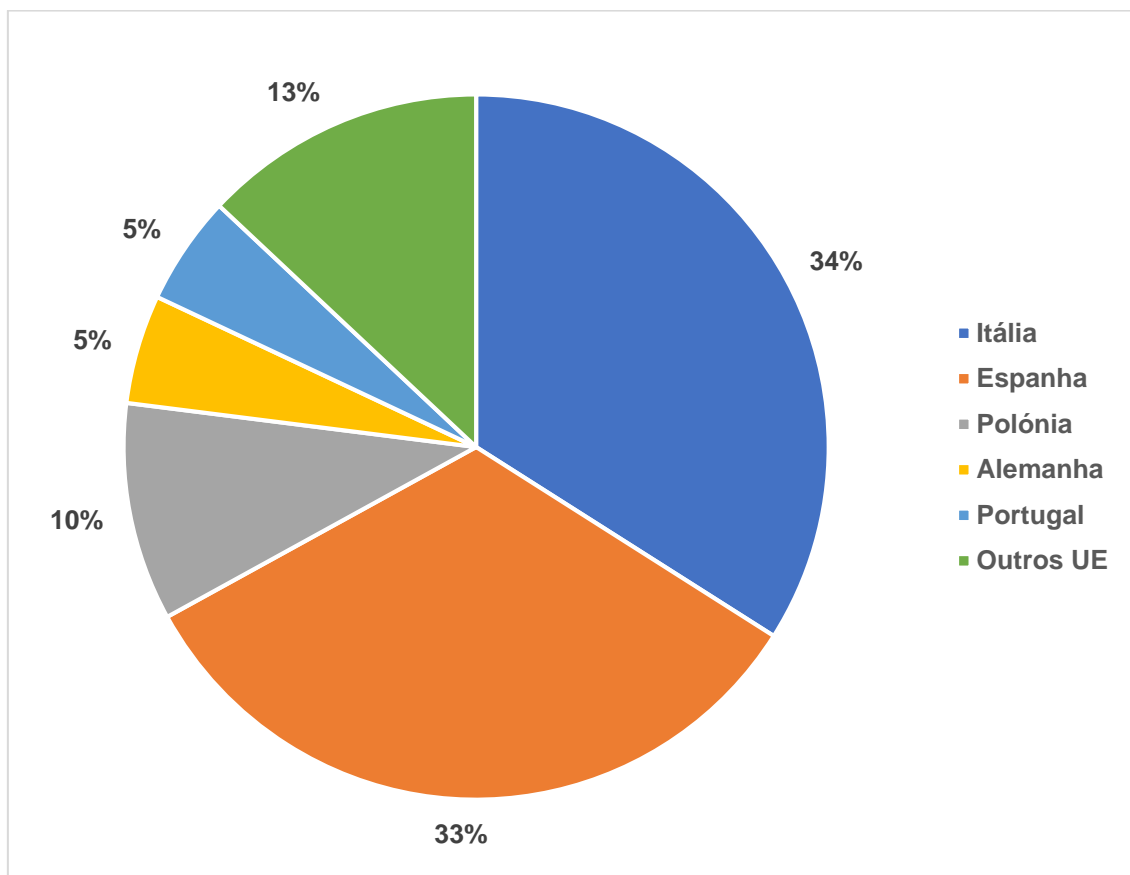


Figura 17 - Produção cerâmica na UE-27 (2011)^[12]

O desempenho do setor da construção civil tem um impacto direto sobre os níveis de produção e por sua vez, consumo, de revestimentos cerâmicos. Como tal, esta indústria atravessou uma fase significativamente negativa durante a última crise económica sentida na Europa. Só entre 2008 e 2013 as vendas caíram cerca de 23%, sendo que em sentido inverso e ainda no mesmo período as exportações aumentaram de 27% em 2008 para 39,2% em 2013. Isto traduziu o esforço da indústria cerâmica em adaptar-se e a lutar por maiores quotas num mercado global. Esta situação alterou-se nos anos subsequentes, com Espanha a ultrapassar Itália em termos de produção e a venderem no total, em 2014, mais de 78% dos revestimentos cerâmicos produzidos na UE^[1,14].

Já em 2017, e como já tivemos oportunidade de observar, Espanha fortaleceu a sua posição como maior exportador europeu, aumentando a quantidade exportada em +3,0% face ao ano anterior e incrementando a sua produção em +7,7% (ver Anexo I). De acordo com a *World Ceramic Review* de 2018, este resultado deveu-se essencialmente à recuperação do mercado interno. França foi o principal destino das exportações deste país, seguido pelos Estados Unidos da América, Arábia Saudita e Reino Unido. Em termos de dispersão de volume, 42% das quantidades exportadas tiveram como destino a Europa, 27,2% o continente asiático, 15,5% o continente africano e 15% o continente americano. Em termos de receita, esta cresceu +4,5% para 2.686 milhões de euros, tendo o preço médio de venda estabilizado em 6,6 € / m². O volume de negócios da indústria espanhola ascendeu a 3.510 milhões de euros (+5,9%) face ao ano anterior^[13].

Por sua vez, Itália obteve um incremento na sua produção mais modesto, de +1,4% face ao ano anterior (ver Anexo I). Sendo o terceiro maior exportador mundial e segundo a nível europeu, voltou a registar um aumento na quantidade exportada, de +1,8% face ao ano anterior, com uma receita avaliada em 4.704 milhões de euros (+2,5%) suportada essencialmente no preço de média de venda estipulado em 13,9 € / m². Este valor é bastante significativo, pois é mais do que o dobro quando comparado com Espanha. O volume de negócios aumentou para 5.546 milhões de euros, dos quais 85% derivam das exportações. O continente europeu absorveu 66% das exportações italianas, com o ranking dos maiores mercados de exportação a permanecer inalterado (Alemanha, seguida pela França, Estados Unidos da América, Áustria, Bélgica, Reino Unido, Canadá, Suíça e Holanda).

2.2.5 Panorama nacional

Apesar de Portugal dispor de algumas condições naturais ideais para a produção de cerâmica (matéria-prima com qualidade e variedade), para ser verdadeiramente competitivo necessitaria de uma fonte de energia com custos mais reduzidos. O gasoduto iniciado em 1993 proveniente de Espanha e o terminal de gás natural liquefeito de Sines em 2000 foram investimentos feitos neste sentido. Contudo responsáveis do setor admitem que esta área nunca mais foi trabalhada como estratégica por forma a almejar maiores sucessos. A título de exemplo, na Rússia os preços do gás natural são cerca de 78% mais baratos que o preço médio na UE. Sendo que este subsector requer uma quantidade significativa de energia e que os custos energéticos representam em média 25% a 30% dos custos de produção (Tabela 3), são imperativas medidas para a recuperação ou eliminação de desperdícios de energia térmica. Uma medida para recuperar a energia térmica até 70% poderia fortalecer a indústria cerâmica portuguesa e europeia, além de contribuir para a manutenção de postos de trabalho e reduzir o impacto ambiental desta atividade^[1,14].

Além do aspeto energético, é importante mencionar outras questões no setor cerâmico português:

a) Cultura

O facto deste setor ter exportado por necessidade de dar destino à capacidade instalada fez com que se refletisse nas estratégias até à altura adotadas. *Na sua maioria, as empresas cerâmicas portuguesas não conseguiram criar uma cultura que capacitasse os conhecimentos, objetivos e capacidades comuns ao setor, e que fomentasse a criação e habilitação nas economias de escala, numa perspetiva estratégica de internacionalização. Neste capítulo é importante referir os produtores italianos que, em igualdade de circunstâncias, anteciparam as tendências de globalização dos mercados e capitalizaram os seus investimentos em desenvolvimento e investigação, assim como em estruturas de distribuição e unidades de produção em países economicamente mais vantajosos¹¹.*

b) Economia

A crise sentida em 2008, que afetou significativamente os setores imobiliário e da construção civil a nível mundial e nacional, com repercussões profundas no subsector dos revestimentos cerâmicos a nível nacional, forçou a que se revisse a estratégia para esta área. *Procurou-se capacitar os atuais players do setor para os desafios existentes e esperados no mercado global, com o foco nos mercados mais relevantes e potenciais para as exportações de cerâmica nacional¹¹.*

c) Concorrência

Os fluxos comerciais internacionais que a indústria cerâmica mundial possibilita são muito significativos, sendo necessário estudar e compreender as economias de escala. Concorrendo no mercado mundial de cerâmica, em que outras economias com menores condicionantes impostas pelos seus mercados, seja em garantias, custos, escala e qualidade exigível aos produtos, é importante referir o domínio da China. *Apesar de ser considerada competitiva apenas no critério preço, é com este fator que está a reforçar as suas capacidades técnicas e tecnológicas, procurando concorrer nos produtos de maior valor acrescentado, sem com isto incorrer em custos relacionados com os fatores de produção humanos e impactos ambientais*^[1].

Neste sentido, é importante a nossa indústria saber qual o seu posicionamento relativamente aos seus principais concorrentes, existindo já algum trabalho desenvolvido neste campo, nomeadamente com recurso a indicadores que pretendem:

- *perceber o quão o comércio externo é fomentado pela indústria cerâmica nacional*^[1];

- *o posicionamento da indústria cerâmica nacional quanto à sua capacidade exportadora, quando comparada com outros setores de atividade económica*^[1];

- *entender as vantagens da produção cerâmica nacional relativamente ao mundo*^[1];

- *identificar e quantificar o potencial de negócio com os mercados mais atrativos, analisando de forma sistemática a nossa capacidade de concretizar estas oportunidades;*

d) Exportação

Podemos admitir que, a nível mundial, a indústria cerâmica manifesta uma abertura ao comércio externo, depende contudo das políticas envidadas por cada país, pois a forma como cada estado soberano está economicamente estruturado (orientado para a produção interna ou importação), pode levar a medidas mais ou menos protecionistas.

Neste sentido, o setor cerâmico não é exceção estando sujeito a legislação e medidas regulatórias específicas que influenciam a relação comercial com alguns mercados. Dado existirem aspetos regulatórios comuns a todos os mercados europeus, é importante realizar um enquadramento global do contexto regulatório em que a indústria cerâmica nacional se insere.

Existem, essencialmente, quatro medidas através das quais a indústria cerâmica está regulada:

- Regulação da emissão de gases de estufa: a emissão de CO₂ está fortemente regulada por exigentes leis e regulamentos a nível europeu que tem de ser respeitados a nível nacional. *Existe atualmente um limite de emissão para as indústrias cerâmicas, com o objetivo a que este seja gradualmente diminuído no futuro. As empresas têm limites de emissão de CO₂ e podem comprar ou vender licenças conforme a sua necessidade.* Esta medida pretende incentivar as empresas a investirem em tecnologias mais limpas e menos poluentes, por forma a reduzir o impacto ambiental que uma indústria de consumo energético intensivo como a cerâmica tem^[1];

- Proteção através do Sistema de Direitos de Propriedade Intelectual na China: sendo o setor da cerâmica bastante competitivo e vulnerável, cada vez mais se assiste à entrada de concorrentes provenientes dos mercados emergentes. Neste sentido, este sistema foi criado por forma a proteger e prevenir as marcas e designs europeus de serem copiados por estes concorrentes. *Esta medida visa proteger as PME para que estas sejam capazes de marcar a sua posição no mercado*^[1];

- Sistema anti-dumping europeu: *A comissão europeia investiga casos de alegada prática de dumping, com o objetivo de punir países que exportem para outros países a preços inferiores aos praticados internamente*^[1];

- Barreiras à exportação / importação: *Os países membros da OMC (Organização Mundial de Comércio) partilham as linhas orientadoras de um Tratado de Comércio Livre, cujo objetivo passa por facilitar as relações comerciais através de condições de comércio que visem as boas práticas e harmonização no comércio internacional. Desta forma pretende-se impulsionar a entrada das indústrias de cerâmica europeias nos mercados emergentes. Não obstante, ainda existem algumas barreiras ao livre comércio que impedem ou restringem a expansão da indústria cerâmica, nomeadamente taxas, quotas, testes e certificações a alguns produtos desta indústria (tijolos, artigos de decoração e produtos refratários). A existência deste tipo de mecanismos pode afetar as exportações para países com baixos níveis de produção interna e que, porventura, até poderiam ter uma maior propensão importadora (exemplos da China e do Brasil que taxam significativamente as importações). Não sendo esta uma característica exclusiva das economias emergentes, os EUA por exemplo aplicam uma tarifa de 28% sobre os produtos de cerâmica utilitária e decorativa provenientes da UE como medida protecionista. Os países pertencentes à UE praticam as mesmas tarifas à importação, sendo que as taxas mais reduzidas são aplicadas nos subsectores das cerâmicas especiais e estrutural*^[1].

2.2.5.1 Caracterização do setor

Sendo tradicionalmente um setor de capital intensivo em que o investimento é crítico no sentido de assegurar e expandir a capacidade produtiva, incrementando a eficiência do processo produtivo e fomentando o desenvolvimento de novos produtos, *a indústria cerâmica portuguesa tem uma elevada exposição nos mercados externos e uma representação significativa no nosso PIB^[1].*

A crise sentida em 2008 afetou significativamente este setor, assistindo-se a uma acentuada redução na produção cerâmica nacional, fator em que só se verificou uma tendência de retoma a partir de 2013. Da nossa produção cerâmica em 2014, 67% tiveram como destino os mercados internacionais, nomeadamente: França (21%), Espanha (15%), Alemanha (8%), Estados Unidos (7%), Angola (7%) e Reino Unido (6%), sendo estes destinos responsáveis por 64% do volume exportado em 2014^[1].

Analisando o comportamento dos dez principais importadores em 2015 que, além dos países mencionados acima, inclui os Emirados Árabes Unidos, Coreia do Sul, Itália, Brasil e Rússia, verificou-se uma tendência de manutenção dos volumes importados por cada um destes países, sendo estes responsáveis por 38% das importações mundiais de cerâmica. Este fator é representativo da significância destes mercados. É importante ainda referir que, entre 2011 e 2015, os subsectores com maior volume de importações foram os da Cerâmica de Pavimentos e Revestimentos, Cerâmica Utilitária e Decorativa e Cerâmica Estrutural^[1].

Já no ano de 2018, e tendo em consideração os dados mais recentemente publicados, as exportações portuguesas de produtos cerâmicos atingiram um novo máximo histórico. De acordo com os dados preliminares divulgados pelo INE em 8 de Fevereiro de 2019, o valor alcançado ascendeu a 726 milhões de euros^[15].

A cadeia de valor nesta indústria começa pelos fornecedores de matérias primas, seguido dos produtores, distribuidores e cliente final (Figura 18). O cliente final é fundamentalmente constituído por dois tipos de mercados: particular e profissional.



Figura 18 - Cadeia de valor da indústria cerâmica portuguesa^[1]

O mercado particular é essencialmente composto por empreiteiros, lojas de bricolage e lojas online, enquanto no mercado profissional atuam grossistas, importadores e exportadores. Apesar destes acabarem por fornecer os empreiteiros, lojas, e o próprio cliente final, este mercado é caracterizado pela sua maior dimensão, pois possibilita o acesso pelas grandes empresas de construção a descontos, melhores condições de crédito e exclusividade no fornecimento de alguns produtos. O mercado particular é maioritariamente caracterizado pela sua diversificação nos canais de distribuição, sendo as vendas online e nos grandes espaços comerciais muito relevantes. Contudo as empresas continuam a valorizar ainda muito o contacto direto com o cliente ao nível da distribuição^[1].

Como se irá verificar, as exportações do setor cerâmico nacional têm tido um comportamento positivo nos últimos anos. Para o conjunto das exportações nacionais de bens, o crescimento registado em 2017 relativamente a 2016 cifrou-se nos 10,1%. As importações de produtos cerâmicos registaram uma variação de 17% em relação ao ano de 2016. As exportações de produtos cerâmicos representaram 1,3% das exportações totais de bens em 2017, apresentando o 7º melhor desempenho em termos de saldo de comércio internacional (a seguir a setores como o calçado, vestuário e acessórios de malha, cortiça, móveis e mobiliário, papel e cartão, e bebidas e líquidos alcoólicos). No ano de 2017 as exportações de produtos cerâmicos chegaram a 169 mercados internacionais. Em termos de área de destino, 71,9% do valor total exportado correspondeu ao mercado intracomunitário e 28,1% ao mercado extracomunitário. As vendas para a UE cresceram 4,3%, contraindo 4% para os países terceiros^[16]. Na Figura 19 é possível observar os dez principais destinos das exportações cerâmicas em 2017 (cores relacionadas com o continente a que o país pertence).

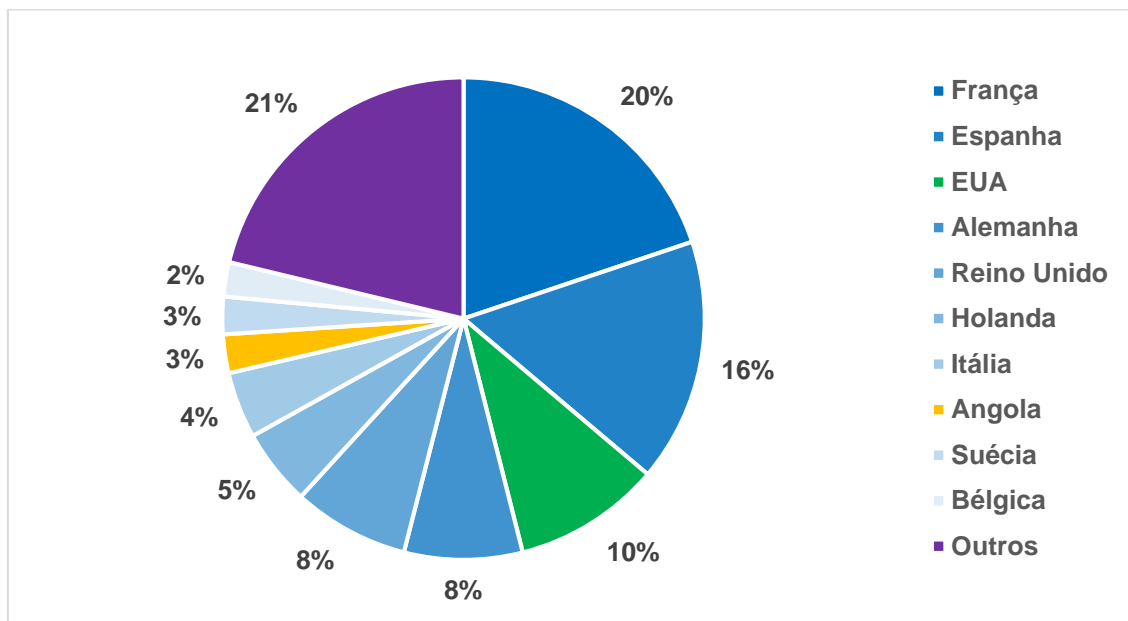


Figura 19 - Principais mercados de exportação de produtos cerâmicos em 2017^[16]

Existem alguns aspetos caracterizadores dos subsetores da indústria cerâmica nacional que são importantes referir por forma a entendermos o seu comportamento diferenciado (Tabela 4).

Tabela 4 - Caracterização da indústria de cerâmica nacional por subsetor^[1,17]

Subsetor	Caracterização
Cerâmica Estrutural	<ul style="list-style-type: none"> - Produtos com menor potencial de diferenciação (tijolos, blocos, telhas); - Custos energéticos com elevado peso nos custos de produção; - A produção tem como principal destino o setor da construção civil (procura sazonal e cíclica); - Tende a revelar um menor potencial de exportação quando comparado com outros subsetores da cerâmica; - Principais países de exportação em 2015: Moçambique, Líbano, Angola, Espanha e França; - Concorrência é efetuada essencialmente via preço, pelo que a existência de economias de escala é altamente estratégica; - Reduzida atratividade para a entrada de novos concorrentes no mercado nacional. Está maioritariamente dominado por grandes multinacionais; - 25º fornecedor mundial (1% das exportações mundiais em 2015);
Cerâmica de Pavimentos e Revestimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Azulejos, mosaicos e ladrilhos são responsáveis por 36% do volume de exportação de cerâmica nacional em 2015; - Número de colaboradores superior à média do setor (67 colaboradores em média no subsetor, quando na indústria a média é de 14 colaboradores); - Principais países de exportação em 2015: França, Espanha, Alemanha, Reino Unido, EUA, Suécia, Holanda e Itália; - Preço como fator de competitividade significativo, atribuindo relevo às economias de escala; - 10º fornecedor mundial (1% das exportações do mundo em 2015).

<p>Cerâmica de Louça Sanitária</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Responsável por 21% do volume de exportações de cerâmica nacional em 2015; - Reduzido número de empresas produtoras, sobretudo multinacionais; - Número de colaboradores superior à média do setor (144 colaboradores em média no subsetor, quando na indústria a média é de 14); - Indústria madura e com preços de venda relativamente estáveis, em que os produtos tem um ciclo de vida relativamente longo; - Principais países de exportação em 2015: Espanha, França, Alemanha, Reino Unido, Itália, Angola e EUA; - 7º fornecedor mundial (2% das exportações do mundo em 2015).
<p>Cerâmica Utilitária e Decorativa</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Produtos como pratos, canecas, taças, bules e vasos correspondem a 37% do volume exportado pela cerâmica nacional em 2015; - Número de colaboradores inferior à média do setor (10 colaboradores em média no subsetor); - Principais países de exportação em 2015: Espanha, Itália, EUA, França, Alemanha e Reino Unido; - 5º fornecedor mundial (2% das exportações do mundo em 2015).
<p>Cerâmicas Especiais</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Essencialmente com aplicações em processos de fabrico a altas temperaturas (resistência mecânica, térmica e química), são usadas em fornos para a produção de ferro, cimento e vidro; - Responsável por 0,01% do volume de exportação de cerâmica nacional em 2015; - Número de colaboradores inferior à média do setor (6 colaboradores em média no subsetor); - Principais países de exportação em 2015: Angola, Moçambique e Israel; - 68º fornecedor mundial (2% das exportações do mundo em 2015).

Por forma a proceder-se a uma análise mais profunda da produção cerâmica nacional, efetuou-se uma análise aos subsetores que se destacam pelo seu valor produzido. Para esse efeito, recorreu-se a dados disponibilizados pela Associação Portuguesa das Indústrias de Cerâmica e Cristalaria (APICER) e pelo Instituto Nacional de Estatística (INE).

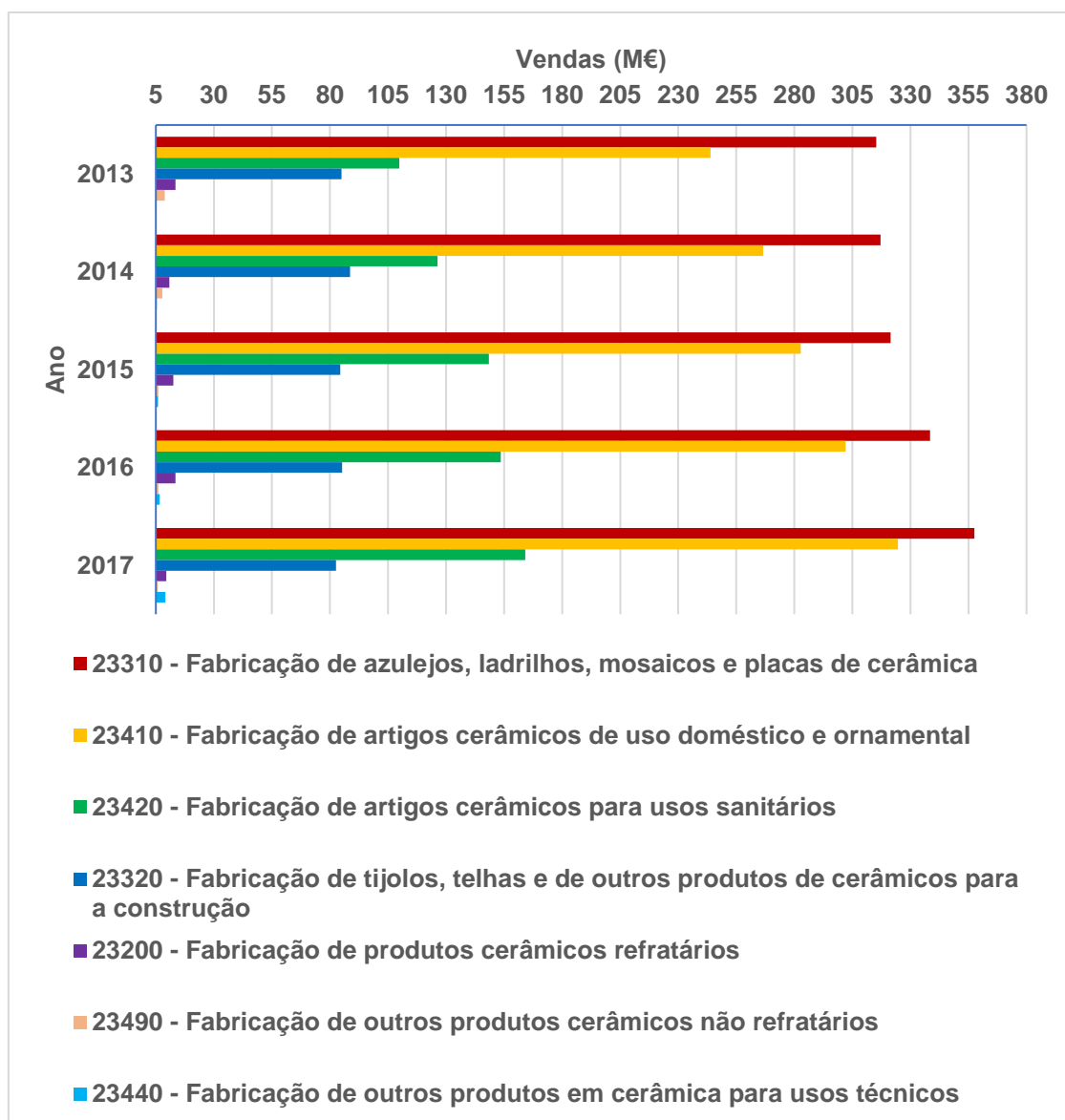


Figura 20 – Comportamento das vendas de produtos cerâmicos em Portugal

Efetuada-se uma análise por CAE (Figura 20), os subsetores da Fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas cerâmicas (38%) e da Fabricação de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental (34%), são os representantes maioritários do setor cerâmico em 2017 com uma quota superior a 50%. Com menor representação (17%), o subsetor da Fabricação de artigos cerâmicos para usos sanitários é a área em que se verificou um crescimento mais acentuado nos últimos anos (18% em 2015).

Analisando o comportamento do subsetor de Fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas cerâmicas, verificamos que a tendência de crescimento se tem verificado até ao momento (Figura 21). As vendas no mercado nacional traduziram-se numa variação de 14% em 2017 face ao ano anterior, valor que traduz também o momento de recuperação que se atravessa no setor da construção civil.

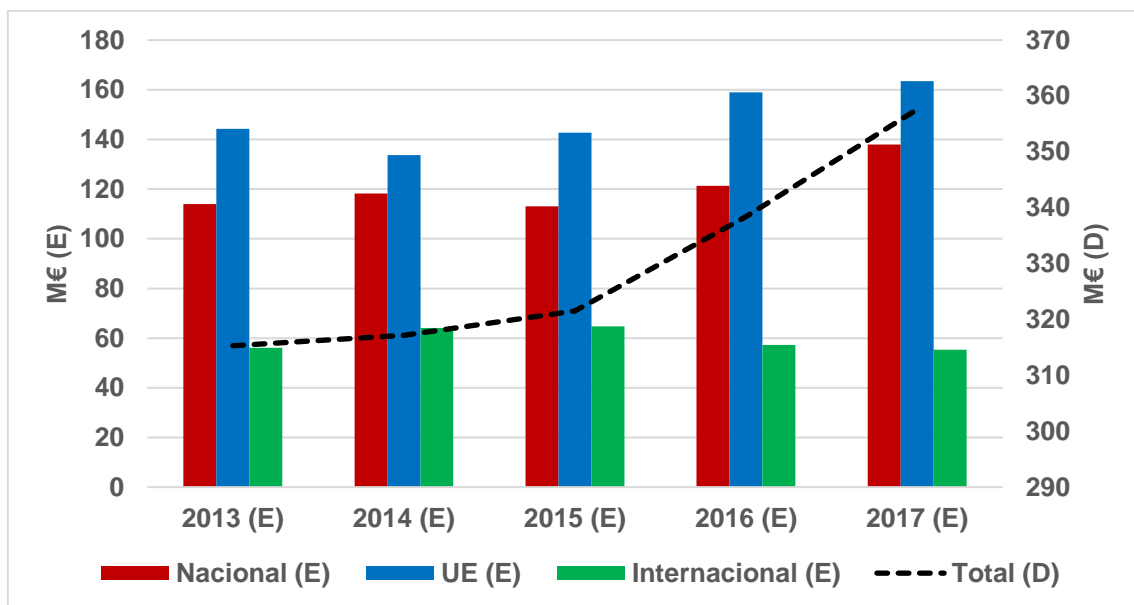


Figura 21 - Vendas no subsetor (CAE 23310) Fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica

2.2.5.2 Estratégia setorial para 2020

Neste capítulo é importante entender o posicionamento da indústria cerâmica nacional relativamente resto do mundo. Só através de uma análise e acompanhamento sistemático é possível verificar se a estratégia atual está em linha de conta com os objetivos pretendidos. Deste modo criam-se condições para que o país possa ser mais competitivo, almejando maiores sucessos internacionais que nos diferenciem da concorrência.

Como já mencionado, a China destaca-se por ser um produtor de grande escala concorrendo essencialmente pelo critério preço, ou seja, produz elevadas quantidades e entra nos mercados através da oferta de produtos a preços competitivos. *No entanto, os seus produtos não são reconhecidos pela sua qualidade ao contrário da indústria cerâmica nacional*^[1].

Por sua vez, os Emirados Árabes Unidos e a Rússia têm um volume de produção em termos de PIB com um peso muito relevante nas suas economias, apresentando valores de exportações relativamente baixos que decorrem essencialmente do escoamento da produção excendentária, não absorvida pelo mercado interno^[1].

Por outro lado, as ofertas italianas e sul-coreanas têm em comum a elevada capacidade produtiva, à qual acresce o carácter diferenciador dos seus produtos. *No caso de Itália, esta diferenciação ocorre através dos produtos mais tradicionais e de qualidade reconhecida a nível mundial, enquanto a Coreia do Sul distingue-se pelos seus produtos específicos e tecnologicamente desenvolvidos, como as cerâmicas especiais aplicáveis na indústria aeronáutica e automóvel, na qual o país detém uma forte especialização*^[1].

Já Alemanha, Reino Unido e França, com produções ligeiramente inferiores, *assumem posições relevantes no mercado internacional pela sua qualidade e design*^[1].

A oferta sul americana, nomeadamente Brasil, é *caracterizada essencialmente pelo preço, pois é fortemente sustentada nos reduzidos custos de produção*^[1].

Neste contexto, Portugal é o país que, em termos absolutos, apresenta um menor volume de produção. *No entanto, em termos de relevância no seu PIB, o setor cerâmico português assume um peso relevante na sua economia, evidenciando dinâmicas de concorrência distintas e fortemente dependentes da conjuntura económica*^[1].

Como anteriormente referido e, antes de nos debruçarmos numa análise mais concisa sobre a indústria cerâmica nacional, o posicionamento de cada país, além de depender das medidas adotadas para cada setor industrial, também está dependente de fatores como a qualidade percebida, notoriedade da marca, identidade da indústria (mais tradicional ou mais inovadora), custos de produção, assim como a própria geografia e infraestruturas de transporte e logística, pois estes fatores permitem responder de forma eficiente à necessidade de exportação. É neste sentido que cada indústria detém especificidades que se traduzem nas suas forças e fraquezas, permitindo a identificação de oportunidade e ameaças do mercado. Recorre-se deste modo a uma análise SWOT (Figura 22) da indústria cerâmica portuguesa (Tabelas 5 e 6 nas duas páginas seguintes, respetivamente) por forma a identificar elementos chave de gestão e fragilidades do setor^[1].



Figura 22 – Matriz da análise SWOT^[18]

Tabela 5 - Análise SWOT à indústria cerâmica portuguesa, forças e fraquezas^[1]

Forças	Fraquezas
Crescente notoriedade da qualidade e design dos produtos nacionais;	Produtos com reduzido valor acrescentado conduzem à necessidade de concorrência pelo preço;
Boa relação qualidade / preço dos produtos;	Imagem <i>Made in Portugal</i> menos valorizada face a outros produtos europeus;
Notoriedade da cerâmica associada à tradição nacional e ao fabrico artesanal;	Falta de economias de escala;
Localização geográfica possibilita o recurso ao transporte marítimo;	Falta de abertura dos produtores nacionais para o estabelecimento de parcerias tanto entre produtores como com instituições de ensino e investigação;
Vantagem dos produtos cerâmicos face aos sintéticos;	Reduzido aproveitamento de conhecimento para obtenção de novas soluções produtivas;
Grande orientação para a exportação.	Forte dependência de maquinaria italiana;
	Dificuldade de atração de mão-de-obra qualificada;
	Necessidade de formação contínua;
	Constrangimentos a nível de logística, com destaque para a dicotomia entre valor produto / valor transporte;
	Produtos de grande dimensão e peso dificultam o seu transporte e instalação;
	Reduzido enfoque nas necessidades do cliente final;
	Reduzida flexibilidade da produção.

Tabela 6 - Análise SWOT à indústria cerâmica portuguesa, oportunidades e ameaças¹¹

Oportunidades	Ameaças
A participação em feiras internacionais potencia a obtenção de selos e certificações, aumentando a visibilidade da marca;	Produtores concorrentes com maior notoriedade da marca a nível mundial, o que reduz o poder negocial;
Emergência de novos nichos de mercado e tendências de consumo;	Aumento da concorrência internacional pelo critério preço;
Previsão de recuperação do setor da construção;	Crescente concorrência nos subsectores de maior valor acrescentado;
Utilização de energias alternativas;	Distância física tanto aos fornecedores como aos mercados internacionais;
Programas de financiamento de apoio ao empreendedorismo e internacionalização (Portugal 2020);	Constrangimentos provenientes dos custos de energia, com destaque para o gás natural;
Procura crescente de formas de construção sustentáveis leva ao aparecimento de novas técnicas e produtos construtivos;	Aumento dos custos de transporte (combustíveis);
Emergência do <i>ecodesign</i> e da aposta em tecnologias limpas.	Elevada dependência do setor da construção;
	Crescente relevo dos produtos substitutos;
	Barreiras Alfandegárias para a exportação;
	Exigência das medidas ambientais restritivas em vigor;
	Perda de competitividade das empresas portuguesas quando comparadas com a concentração das empresas europeias organizadas numa lógica de cluster.

Tendo em consideração o histórico da indústria cerâmica portuguesa nos mercados internacionais, percebemos que a mesma se diferencia essencialmente pelo critério preço. No entanto, tendo em conta a forte concorrência no mercado *low-cost* pelas economias emergentes, é imperativo o investimento em produtos diferenciados que se adaptem aos novos padrões de consumo, visando uma mudança de estratégia.

Os elementos-chave demonstrados na análise SWOT pretendem precisamente apontar uma nova estratégia que estimule o desenvolvimento de produtos com maior qualidade e valor acrescentado, incentivando a imagem dos produtos portugueses no mundo. Este paradigma passará pela aproximação constante ao cliente final como forma de resposta às suas necessidades e a aposta numa indústria sustentável, sempre com o foco nos pontos mais importantes para o desenvolvimento estratégico e identificando os potenciais caminhos a seguir^[1]. Neste sentido, dão-se a conhecer as orientações estratégicas para o setor cerâmico na sua generalidade, assim como para cada subsetor.

Tabela 7 - Estratégias genéricas para a indústria cerâmica^[1]

Área	Estratégia	Comentário
Processo produtivo	Investimento em I&D	A aposta em I&D permitirá desenvolver formas de fabrico mais eficientes e novos produtos, atuando na redução dos custos dos fatores de produção e no aumento da diferenciação da oferta ao cliente final. Este investimento pode ser feito em termos individuais ou numa lógica coletiva, através de recurso a parcerias com centros tecnológicos, universidades, entre outros.
	Criação de economias de escala	É necessário criar economias de escala na produção, de forma a competir com os grandes produtores mundiais e com economias emergentes que concorrem via preço.
	Flexibilidade na produção	Desenvolver processos que permitam uma produção capaz de dar resposta mais rápida a solicitações específicas, nomeadamente através da adoção do modelo <i>Just in Time</i> como forma de potenciar a flexibilidade na produção.

Produto	Aumento da notoriedade da marca a nível internacional	Desenvolver ações de divulgação e sensibilização da qualidade do produto <i>Made in Portugal</i> em eventos culturais em articulação com as instituições governamentais ou de apoio ao negócio (AICEP, governo, etc.), assim como através de participação em feiras internacionais de forma a promover os produtos e obter selos de qualidade, prémios e outras distinções internacionais.
	Aposta no design e qualidade dos produtos	É necessário continuar a criar produtos diferenciadores que concorram no mercado mundial não só a nível de preço, mas também a nível de qualidade e <i>design</i> . Isto permitirá responder às necessidades crescentes dos consumidores e atuar sobre nichos de mercado.
	Aproximação do cliente final	Maior foco no cliente através da identificação antecipada das suas necessidades, desenvolvendo produtos ajustados ao seu estilo de vida.
	Soluções integradas e multifuncionais	Promover o desenvolvimento de produtos / soluções integradas, de forma a disponibilizar no mercado produtos com características multifuncionais e serviços inovadores que ofereçam soluções com maior valor acrescentado face à concorrência.
	Foco nos produtos com maior potencial de diferenciação	Explorar o potencial dos subsetores com maior valor acrescentado por via de uma comunicação e uma rede de contactos mais focada e especializada nestes subsetores, apostando nas novas soluções tecnológicas que dispõem e numa diferenciação que aposte na crescente perceção de qualidade do produto nacional. Isto poderá conduzir a um reposicionamento estratégico dos <i>players</i> .
Cooperação e parcerias	Criação de cooperativas, associações e/ou parcerias	Desenvolver termos de cooperação ao nível da internacionalização de empresas, do acesso mais vantajoso a matérias-primas, equipamentos e de captação de novas oportunidades de negócio.
	Maior coordenação logística	Necessário explorar novas soluções de transporte, nomeadamente através de negociação com as transportadoras de preços ou pacotes de transporte com periodicidade e destino definidos que sejam mais competitivos. Estes pacotes podem ser coordenados entre os vários <i>players</i> nacionais de forma a gerar sinergias e redução de custos.
Sustentabilidade	Adaptação às políticas ambientais	É necessária uma adaptação da indústria às crescentes exigências ambientais que afetam este setor, não permitindo que fator limite o crescimento.
	Aposta numa indústria sustentável	Adotar práticas de eficiência energética através da avaliação do uso de fontes de energia renovável e cogeração, racionalização dos consumos do processo produtivo e desenvolvimento de produtos que, pela sua utilização e ciclo de vida, tenham um desempenho ambiental otimizado.
Qualificação dos RH	Investimento em formação e desenvolvimento	É necessário disponibilizar ações de formação específicas aos quadros superiores, nomeadamente nas áreas de conhecimento ligadas a materiais, desempenho ambiental e energético, <i>design</i> e área comercial.

Cada subsetor tem particularidades que justificam opções estratégicas adequadas aos produtos e mercados que pretendem alcançar. Neste sentido será possível fazer face às economias dos países emergentes. Como se percebe nas estratégias defendidas para o setor, é essencial que o futuro da nossa indústria caminhe para aplicações inovadoras em áreas como a construção (isolamento, painéis), medicina (dentária, oncológica), desporto (ténis, golf, ski), defesa (armaduras), eletrónica (smartphones, GPS) e aeronáutica^[1,17].

Tabela 8 - Estratégias para os subsetores da indústria cerâmica^[1]

Subsetor	Estratégia
Estrutural	Apostar no desenvolvimento de novas técnicas de produção associadas à emergência de novas linhas de produtos desenvolvidas para responder às novas técnicas de construção (ex.: telhas solares, entre outros).
	Aproveitar o potencial de valorização da cerâmica estrutural tradicional (telhas, tijolos decorativos e pavimentos rústicos) e apostar na sua visibilidade,
	Desenvolver produtos com características que permitam aumentar a competitividade nos mercados internacionais (ex. telhas com maiores níveis de impermeabilidade).
	Apostar na entrada em novos mercados escolhendo os mercados e segmentos alvo, assim como a melhor forma de os abordar (por exemplo através da criação de representações para exportações ou através da criação de subsidiárias ou <i>joint-ventures</i> no caso da internacionalização).
	Estabelecer parcerias logísticas ao nível dos transportes de mercadorias que impulsionem as exportações destes produtos para mercados mais longínquos, uma vez que são produtos de grande volume e, por isso, de mais difícil transporte.
Pavimentos e revestimentos	Desenvolver soluções integradas e produtos multifuncionais.
	Criar gamas de produtos e soluções completas e orientadas para segmentos-alvo que valorizem a qualidade, a inovação e a exclusividade (através do <i>design</i>), de forma a substituir outros fornecedores internacionais.
	Diversificar a gama de produtos oferecidos de forma a concorrer com produtos substitutos (como alcatifas e tintas).
Louça sanitária	Apostar no desenvolvimento de soluções completas e multifuncionais, integrando conceitos relacionados com sustentabilidade, <i>design</i> e conforto. Neste campo podem ser desenvolvidos produtos para segmentos específicos de mercado, tendo como alvo as suas necessidades particulares (ex. 3ª idade, hotelaria, pavilhões desportivos, etc.).
	Desenvolver novos modelos de negócio baseados na oferta de soluções completas, cooperando e subcontratando outras empresas para criar soluções integradas e reduzir custos.

O aumento da competitividade é a palavra-chave que rege as estratégias enunciadas nas Tabela 7 e 8. Por forma a almejar este objetivo, terá de existir um investimento considerável no desenvolvimento científico e tecnológico, com formação dos recursos humanos, assim como de programas de cooperação que visem a troca de sinergias e novas oportunidades para o desenvolvimento dos processos e produtos da indústria cerâmica nacional.

Assim, é importante realçar a importância da especialização orientada para os nichos de mercado, numa ótica de resposta às novas tendências (*ecodesign, ecofriendly*) e assente em tecnologias limpas. Só deste modo será possível minimizar o impacto ambiental causado por esta indústria, fomentando a sustentabilidade e o reaproveitamento energético através de, por exemplo, produtos que podem fazer a diferença (telhas solares, tijolos isolantes)^[1].

Sendo importante avaliar a necessidade de reforçar a atual capacidade produtiva da indústria cerâmica nacional, por forma a que esta se torne mais competitiva nas economias de escala, é importante referir que nas estratégias mencionadas não existe menção explícita ao controlo da exposição ocupacional neste setor, nomeadamente em termos de controlo de formação ou emissão de nanopartículas^[1]. Estas podem ter origem em atividades deste setor, contudo só recentemente começaram a ser desenvolvidos mais estudos nesta área. Isto deve-se em grande parte ao cumprimento da legislação em vigor que não prevê as nanopartículas, assim como a aplicação das melhores práticas com a tecnologia atualmente existente.

3 Revisão bibliográfica

A qualidade do ar interior consiste essencialmente num indicador que recorre à monitorização de vários compostos. Sendo o fenómeno poluição um dos fatores que mais afeta o ser humano, é essencial estudar e entender o efeito das fontes poluentes na qualidade de vida. Da combustão temos o exemplo do monóxido de carbono que, impercetível pelos sentidos humanos e a determinada concentração, afeta o sistema respiratório diminuindo a capacidade de respiração, sendo muitas vezes letal. Por sua vez, no manuseamento de produtos temos o exemplo dos COVs (compostos orgânicos voláteis) que estão presentes em tintas, vernizes, ceras, lacas, detergentes, solventes. Libertando-se à temperatura ambiente e, sendo tóxicos, a sua inalação pode facilmente originar sintomas como dores de cabeça, irritação dos olhos, fadiga ou erupções cutâneas^[19].

Existindo determinados grupos potencialmente expostos à poluição do ar interior, é importante avaliar a qualidade das atmosferas nos mais diversos espaços. Segundo o Guia Técnico para a Qualidade do Ar em Espaços Interiores, a qualidade do ar interior consiste nas características químicas, físicas e biológicas do ar interior não residencial, em locais de trabalho e espaços públicos interiores, não incluindo os espaços interiores industriais ou presença de operações que possam afetar o conforto e saúde do ocupante. No setor industrial, a diversidade e especificidade de cada indústria (agrícola, mineira, calçado) requer compreender cada tipo de atividade industrial. Sendo que o nível de exposição está correlacionado com a atividade desempenhada, não é possível abordar a temática da qualidade do ar interior através de diretrizes gerais. Nestes casos, as instalações estão geralmente cobertas por legislação de segurança no trabalho, ou submetidas a orientações próprias inerentes à atividade^[20].

A qualidade do ar interior tem influência na nossa saúde, produtividade e disposição, pelo que é importante considerar as NPs na avaliação da exposição em contexto profissional. Aliás, as emissões de NPs provenientes de processos industriais estão a ser alvo de atenção na literatura nos últimos anos, existindo já alguns estudos para avaliar determinados processos industriais mais inovadores. Na indústria cerâmica esta atenção recai sobre os processos que recorrem a *laser*, em que existe um potencial significativo para a formação e emissão de partículas na faixa ultrafina e nano (inferior a 100 nm). No entanto, devido à diversidade dos processos industriais, esta avaliação deveria ser incentivada de forma sistemática^[21].

Sabe-se que as NPs podem interagir com o corpo humano através de três vias: inalação, ingestão ou contato dérmico. Podendo ter efeitos nocivos na saúde, e apesar da existência de regulamentação, os atuais modelos baseiam-se unicamente na massa das partículas, pelo que este critério não será o mais adequado quando aplicado a partículas ultrafinas ou a NPs. Estes materiais, como já tivemos oportunidade de analisar no capítulo 1.1, são caracterizados pela sua elevada área superficial, atributo que pode transformar uma substância inerte numa substância tóxica, tendo a mesma composição química, mas exibindo interações muito diferentes com o corpo humano. Pelo que, avaliar a exposição humana com base na concentração de massa das partículas poderá não ser adequado. Em alguns estudos sobre NPs, é consensual que a sua concentração seja expressa em termos de área superficial, isto é em $\mu\text{m}^2 / \text{cm}^3$, *dada a relação existente entre a área de superfície e o efeito das NPs na saúde*^[22].

Não sendo a exposição a NPs avaliada de forma sistemática, e sendo do conhecimento atual que várias doenças pulmonares estão fortemente relacionadas com a deposição de partículas na região alveolar do pulmão, é importante compreender as várias formas de contato com o corpo humano. Considerando algumas das propriedades já enunciadas que contribuem para a toxicidade das NPs, e tendo em conta a finalidade deste trabalho, irá ser primeiramente analisado o *status quo* dos valores limite de exposição. Em Portugal, além da legislação aplicável a cada atividade em termos de segurança e saúde no trabalho, os valores limite de exposição profissional a determinadas substâncias encontra-se previsto no Decreto-Lei n.º 24/2012 de 6 de fevereiro, que *consolida as prescrições mínimas em matéria de proteção dos trabalhadores contra os riscos para a segurança e a saúde devido à exposição a agentes químicos no trabalho*, transpondo a Diretiva n.º 2009/161/UE, da Comissão, de 17 de Dezembro de 2009. Por sua vez, a NP 1796:2014 *estabelece os valores-limite de exposição e os índices biológicos de exposição a utilizar no âmbito da aplicação de estratégias de apreciação do risco associado à exposição a agentes*^[23,24].

3.1 Decreto-lei n.º 24/2012 de 6 de Fevereiro

Um agente químico pode ser considerado como *qualquer elemento ou composto químico, isolado ou em mistura, que se apresente no estado natural ou seja produzido, utilizado ou libertado em consequência de uma atividade laboral, incluindo sob a forma de resíduo, seja ou não intencionalmente produzido ou comercializado*^[23]. É neste contexto que se considera de extrema importância compreender as atmosferas de trabalho, procurando de forma sistemática identificar, avaliar e controlar os riscos. Desta forma, é possível não só tomar medidas para controlar, mas também para reduzir a exposição dos profissionais a acontecimentos, ou efeitos, que coloquem em risco a sua saúde ou integridade física. A Diretiva n.º 82/605/CEE do Conselho, de 28 de julho de 1982, começou por objetivar proteger os trabalhadores contra os riscos para a sua saúde, decorrentes da exposição ao chumbo metálico e seus compostos iónicos. Posteriormente, a Diretiva n.º 88/364/CEE, do Conselho, de 9 de junho de 1988, visava a proteção dos trabalhadores contra os riscos de exposição a algumas outras substâncias químicas. Estas duas Diretivas foram revogadas pela n.º 98/24/CE, do Conselho, de 7 de abril de 1998, referente à proteção da segurança e saúde dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição a agentes químicos no trabalho. Estas diretivas pretendem, sobretudo, garantir a proteção dos trabalhadores, pelo que estas foram revistas de acordo com a evolução do conhecimento e das técnicas. Além dos aspetos relacionados com a exposição profissional, a uniformização entre os estados membros em matérias de natureza técnica, como são os métodos de medição e de avaliação das concentrações do ar, também é importante. Sempre numa ótica de determinação, avaliação e prevenção dos riscos. É neste contexto que a Diretiva n.º 2009/161/EU, da Comissão, de 17 de dezembro de 2009, é transposta para contexto nacional.

Como podemos verificar pela Figura 23, a legislação para a proteção dos trabalhadores contra os riscos de exposição a agentes químicos resulta da transposição de diretivas comunitárias, encontrando-se dispersa por vários diplomas. O Decreto-lei n.º 24/2012, de 6 de fevereiro, pretendeu simplificar e consolidar esta informação, visando prescrições mínimas em matéria de proteção dos trabalhadores contra os riscos para a segurança e a saúde, devido à exposição a agentes químicos no trabalho. O Anexo III do referido decreto-lei, que define os valores limites de exposição profissional com carácter indicativo, foi alterado pelo Decreto-Lei n.º 41/2018, de 11 de junho, transpondo a diretiva (EU) 2017/164 da Comissão, de 31 de janeiro de 2017.

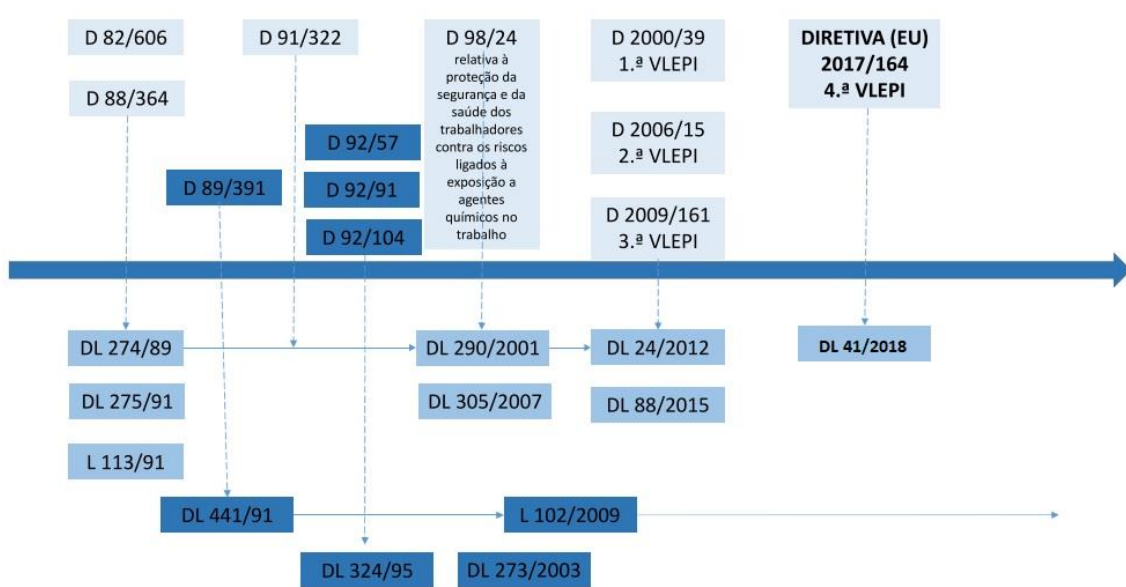


Figura 23 - Desenvolvimento da legislação em termos de valores limite de exposição profissional^[25]

Entende-se então por valor limite biológico como *o limite de concentração no meio adequando do agente em causa, dos seus metabolitos ou de um indicador de efeito*. Existem ainda os valores limite de exposição profissionais indicativos e os valores limite de exposição profissionais obrigatórios. Ambos tem finalidades diferentes, um considera o valor da concentração média ponderada e é usado com finalidade preventiva, enquanto o valor limite de exposição profissional obrigatório é *o limite da concentração média ponderada de um agente químico presente no ar do local de trabalho, na zona de respiração de um trabalhador, em relação a um período de referência determinado, sem prejuízo de especificação em contrário, que não deve ser ultrapassado em condições normais de funcionamento*. Como será posteriormente analisado, estas definições também são abordadas na NP 1796:2014 de uma forma algo semelhante^[23].

Tendo em consideração a diversidade de processos produtivos na indústria cerâmica, as matérias-primas usadas e o tipo de operação são dois fatores preponderantes no particulado que pode ser encontrado. Até ao momento ainda não foi possível capturar NPs de forma isolada, pelo que numa primeira aproximação à indústria cerâmica, substâncias como o caulino, sílica, feldspato, calcite e dolomite, assim como compostos que tenham na sua estrutura ferro, alumínio ou magnésio poderão ser identificados. Efetua-se uma verificação aos valores-limite de exposição adotados para algumas destas substâncias (página seguinte, Tabela 9), tendo em consideração o tipo de atmosferas de trabalho usualmente presentes em instalações de produção cerâmica nacionais, nomeadamente e a título de exemplo, zonas de carga, descarga, manuseamento de matérias-primas ou uso de pigmentos.

Tabela 9 - Valores limite de exposição profissional com carácter indicativo^[26]

Nome do agente	Valores-limite				Notação
	8 horas		Curta duração		
	mg / m ³	ppm	mg / m ³	ppm	
Crómio metálico, composto inorgânico de crómio (II) e compostos inorgânicos (III) (insolúveis)	2	-	-	-	-
Dióxido de carbono	9000	5000	-	-	-
Manganês e compostos inorgânicos do manganês (como manganês)	0,2 (I)	-	-	-	-
	0,05 (R)				-
Monóxido de carbono	23	20	117	100	-

O valores-limite considerados para 8 horas são medidos ou calculados em relação a uma média ponderada no tempo (TWA), para um período de referência de oito horas. Por sua vez, os de curta duração (STEL) são os valores-limite acima do qual não deve haver exposição, referindo-se a um período de 15 minutos. As concentrações indicadas em miligramas por metro cúbico de ar referem-se a substâncias químicas na fase gasosa ou de vapor, a condições de referência de 20°C e 101,3 kPa. Não se verifica qualquer notação cutânea atribuída aos agentes mencionados, pelo que não é assinalada qualquer absorção significativa através da pele. De referir ainda que no manganês o valor de 0,2 mg / m³ é relativo à fração inalável (I), e que o valor de 0,05 mg / m³ é relativo à fração respirável (R)^[26].

3.2 NP 1796:2014, Segurança e saúde do trabalho – Valores-limite e índices biológicos de exposição profissional a agentes químicos

Segundo a NP 1796:2014, a análise do risco da exposição a agentes químicos nas atividades profissionais pressupõe a determinação da concentração destes compostos nas atmosferas de trabalho. Esta concentração, quando representativa, é comparada com valores de referência que representam limiares de exposição correspondentes a níveis de risco aceitáveis. Para cada agente químico é estabelecido um valor-limite de exposição (VLE), que constitui o critério de risco para efeitos de avaliação do risco da exposição ao agente químico em estudo, ou seja, é a concentração a que praticamente todos os trabalhadores podem estar expostos, dia após dia, sem efeitos adversos para a saúde. Visando ainda a prevenção de efeitos da exposição, estão contemplados mais dois valores-limite. O valor-limite de exposição – média ponderada (VLE–MP), que corresponde à concentração média ponderada para um dia de trabalho de oito horas e uma semana de 40 horas, e o valor-limite de exposição curta duração (VLE–CD), que corresponde à concentração na qual se considera que praticamente todos os trabalhadores podem estar repetidamente expostos por curtos períodos de tempo, desde que o valor de VLE-MP não seja excedido e não ocorram efeitos adversos^[24]. Tendo em consideração algumas das substâncias anteriormente mencionadas, procedeu-se à análise dos valores-limite de exposição adotados pela norma (Tabela 10).

Tabela 10 - Valores-limite de exposição adotados^[24]

Substância Designação [Ano]	VLE			Base do VLE
	MP	CD	Notação	
Alumínio e compostos insolúveis, expresso em AL [2007]	1 mg / m ³	-	A4	Pneumoconiose; irritação do TRI; neurotoxicidade
Caulino [1990]	2 mg / m ³ (E,R)	-	A4	Pneumoconiose
Crómio e compostos inorgânicos, expressos em Cr [1991]	0,5 mg / m ³	-	A4	Irritação do TRS e cutânea
Metal e compostos de crómio (III) (1)	0,05 mg / m ³	-	A1; IBE	Irritação do TRS, cancro
Metal e compostos de crómio (VI) solúveis em água	0,01 mg / m ³	-	A1	Cancro do pulmão
Dióxido de carbono [1983]	5000 ppm	30000 ppm	-	Asfixia
Fibras de cerâmica refratária	0,2 fibras / cm ³ (F)	-	A2	Fibrose pulmonar; função pulmonar
Manganês e compostos inorgânicos, expressos em Mn [1992/2012]	0,02 mg / m ³ (R)	-	A4	Afeção do SNC
	0,1 mg / m ³ (I)		-	
Monóxido de carbono [1989]	25 ppm	-	IBE	Carboxihemoglobinemia
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃) [2005]	5 mg / m ³ (R)	-	A4	Pneumoconiose
Sílica, cristalina α - Quartzo e cristobalite [2009]	0,025 mg / m ³ (R)	-	A2	Fibrose pulmonar; cancro do pulmão

Os VLE em anteriormente referidos são acompanhados, quando aplicável, de notação própria em algumas substâncias. A notação (A), que representa a carcinogenicidade (capacidade de induzir neoplasias benignas ou malignas), evidencia o carácter carcinogénico resultante de estudos epidemiológicos e/ou toxicológicos^[24]. A notação utilizada pela norma recorre à classificação da ACGIH que varia de A1 a A5, no qual A1 representa um agente carcinogénico confirmado no Homem e A5 um agente não suspeito de ser carcinogénico no Homem. A notação (IBE) representa o índice biológico de exposição, e consiste na medição da concentração de uma substância no meio em que o trabalhador está exposto, geralmente recorrendo a um bio marcador que absorve a substância.

No caso do caulino, o VLE adotado diz respeito à fração respirável (notação R), e é aplicável a partículas sem amianto e que contenham menos de 1% de sílica cristalina (notação E). A notação (I) representa a fração inalável, aplicável a concentrações médias ponderadas de manganês de 0,1 mg / m³. Já a notação (F) aplicável a fibras de cerâmica refratária, diz respeito a fibras respiráveis de comprimentos superior a 5 µm e com uma relação comprimento / diâmetro maior ou igual a 3:1^[24].

O ar inalado pode conter substâncias na sua forma sólida ou líquida em suspensão, pelo que uma avaliação completa dos riscos deve incluir a avaliação da exposição (concentração de uma substância no meio e a duração do contato), a dose (quantidade de uma substâncias), o perigo (potencial para causar dano) e o conseqüente risco (probabilidade da ocorrência de danos em função do perigo e da dose de uma substância)^[9,24]. Grande parte das doenças profissionais estão associadas à deposição de substâncias no trato respiratório, pelo que o efeito do tamanho da partícula está diretamente relacionado com o local de deposição no aparelho respiratório. Como já mencionado no capítulo 2.1.5, os efeitos provocados pelas NPs ocorrem nas regiões mais profundas do aparelho respiratório.

A norma recorre a critérios de amostragem seletiva, por tamanho de partícula, para agentes que se apresentam sob a forma de partículas em suspensão no ar, como é o caso das NPs. Os valores-limite de exposição podem ser expressos de três formas consoante o tamanho de partícula:

- valor-limite de exposição para partículas inaláveis (VLE-PI), *para agentes que são potencialmente perigosos quando se depositam em qualquer região do trato respiratório*^[24] ;

Tabela 11 - Partículas inaláveis^[24]

Diâmetro aerodinâmico da partícula (μm)	Fração inalável [PI] (%)
0	100
1	97
2	94
5	87
10	77
20	65
30	58
40	54,5
50	52,5
100	50

- valor-limite de exposição para partículas torácicas (VLE-PT), *para os agentes que são potencialmente perigosos quando se depositam na região dos canais pulmonares e na zona de trocas gasosas*^[24] ;

Tabela 12 - Partículas torácicas^[24]

Diâmetro aerodinâmico da partícula (μm)	Fração torácica [PT] (%)
0	100
2	94
4	89
6	80,5
8	67
10	50
12	35
14	23
16	15
18	9,5
20	6
25	2

- valor-limite de exposição para partículas respiráveis (VLE-PR), *para agentes potencialmente perigosos quando se depositam na região das trocas gasosas*^[24].

Tabela 13 - Partículas respiráveis^[24]

Diâmetro aerodinâmico da partícula (µm)	Fração respirável [PR] (%)
0	100
1	97
2	91
3	74
4	50
5	30
6	17
7	9
8	5
10	1

Estes três tipos de fração mássica de partículas são definidos quantitativamente através de três equações, que recorrem às eficiências de recolha dos diversos tamanhos de partículas em cada uma das suas respetivas frações mássicas^[24]. A norma faculta as três tabelas anteriores para que, de forma mais expedita, seja possível obter as várias frações consoante o diâmetro aerodinâmico da partícula.

Os VLE são desenvolvidos para uma única substância química, contudo as atmosferas de trabalho são geralmente compostas por diversas substâncias que originam exposições múltiplas. Estas devem ser analisadas de forma a prevenir a ocorrência de efeitos nocivos para a saúde. Como constante na Tabela 10 - Valores-limite de exposição adotados^[24], a norma NP 1796:2014 prevê a coluna “Base do VLE” para alertar para a possibilidade de aditividade numa situação de exposição múltipla. Podendo as misturas químicas interagirem entre si de diversas formas, *o efeito aditivo ocorre quando o efeito biológico combinado dos agentes é igual à soma dos efeitos de cada um dos agentes considerados individualmente. Sinergia ocorre quando o efeito combinado é superior à soma dos efeitos de cada agente. Antagonismo ocorre quando o efeito combinado é menor*^[24].

A coluna “Base do VLE” não contém todos os efeitos nocivos do agente, mas simplesmente *aqueles que foram considerados mais adversos e nos quais se baseia o VLE*, pelo que se recorre a uma fórmula geral para misturas. A sua utilização ocorre quando é necessário considerar o efeito combinado, não se aplicando situações em que se verificam misturas de fases relativamente às substâncias em questão. O efeito aditivo para mistura de agentes aplica-se a situações de exposição múltipla e para os vários tipos de VLE, sendo essencial analisar qualitativa e quantitativamente cada substância presente.^[24]

Assim, *quando dois ou mais agentes tem um efeito toxicológico semelhante sobre o mesmo órgão-alvo ou sistema, e estão presentes em simultâneo nas atmosferas de trabalho, deve ser considerado o seu efeito conjunto e não o efeito isolado de cada um deles. Na ausência de informação em contrário, os efeitos dos agentes presentes devem ser sempre considerados como aditivos*^[24]. Pelo que se o somatório:

$$\frac{C_1}{VLE_1} + \frac{C_2}{VLE_2} + \dots + \frac{C_n}{VLE_n} > 1$$

Em que:

C_n concentração atmosférica encontrada para o agente n

VLE_n valor – limite de exposição correspondente ao agente n

O VLE para a mistura é considerado excedido.

Neste contexto, uma das várias combinações possíveis a verificar é:

$$\frac{C_{Al}}{1 \text{ mg/m}^3} + \frac{C_{Caulino}}{2 \text{ mg/m}^3} + \frac{C_{Fe_2O_3}}{5 \text{ mg/m}^3} > 1$$

Ao contrário da legislação em vigor (decretos-lei), as normas apenas se tornam obrigatórias caso exista legislação que determine o seu cumprimento. A NP 1796:2014 está em vigor e é voluntária, contudo a sua aplicação apresenta limites mais exigentes em termos de exposição profissional, nomeadamente para substâncias semelhantes. Numa ótica de salvaguarda dos melhores interesses em termos de controlo da exposição ocupacional, assim como de procura sistemática pela melhoria contínua, a sua aplicação deve ser incentivada, podendo esta mesmo ser um elemento diferenciador das empresas em termos de certificação. Contudo, a norma analisa partículas na escala micro, pelo que tendo em consideração que o intervalo nano se situa entre 1 e 100 nm, e que 100 nm são 0,1 μm , o foco desta análise poderá recair sobre um cenário em que todo o particulado é relevante para a análise de exposição.

4 Estudo de caso

Já existem alguns estudos que pretendem avaliar uma estrutura de tomada de decisão sobre um conjunto de nanomateriais carbonáceos, óxidos-metálicos, sílica e pigmentos orgânicos.^[27] Este estudo incide sobre uma das instalações industriais contempladas no projeto CERASAFE, no qual se explica a finalidade do projeto e se apresenta uma breve descrição da instalação industrial visada, por forma a entender o seu contexto histórico e representatividade na indústria cerâmica nacional. Numa ótica de compromisso para com a confidencialidade e sigilo sobre a informação, sempre que existir menção à instalação industrial em estudo esta será designada por Fábrica A.

4.1 Projeto CERASAFE - Contextualização

O projeto CERASAFE consiste num projeto pioneiro cofinanciado pela FCT e Comissão Europeia, que visa a produção e o uso seguro de nanomateriais na indústria cerâmica. Como já verificado, os desenvolvimentos efetuados na área da nanotecnologia já se traduzem em aplicações e soluções materiais no nosso dia-a-dia. Sabe-se que algumas indústrias cerâmicas já produzem diferentes tipos de NPs, derivadas dos seus processos produtivos e que dão origem a nanomateriais que têm aplicação posterior em produtos convencionais. Algumas inovações na indústria cerâmica, tal como a sintetização a laser de revestimentos, são tecnologias inovadoras que apresentam uma oportunidade de pesquisa e estudo em termos de avaliação de exposição a partículas ultrafinas e NPs geradas por processos industriais^[28]. É neste contexto que parceiros de diferentes países, entre os quais se encontra Portugal (UL – IST e FCT / UNL), pretendem motivar as indústrias cerâmicas a adotar e a implementar processos mais seguros e limpos, visando uma redução no risco de exposição a NPs que causem efeitos adversos à saúde e ao meio ambiente.

Estando enquadrado num projeto de maior dimensão e de carácter exploratório e quantitativo como o CERASAFE, que pretende aplicar uma metodologia semelhante em contexto industrial nacional e europeu, o estudo de caso incide sobre uma das sete fábricas nacionais sobre o qual foram efetuadas medições. Assim sendo, a Fábrica A situa-se no norte de Portugal (Figura 24), num pequeno polo industrial ligeiramente circundado por zonas residenciais, nomeadamente a Este e a Sul num perímetro de 100m. É um complexo industrial algo antiquado existindo um incremento de habitações ao redor da instalação industrial, muito devido à conjugação da necessidade de mão-de-obra com a proximidade ao local de trabalho.



Figura 24 - Localização aproximada da instalação industrial. Fonte: Google Maps

No início a Fábrica A dedicou-se essencialmente à produção de artigos de barro vermelho, iniciando mais tarde a produção de loiça de faiança. Com presença em vários países, os seus produtos foram reconhecidos pela qualidade e capacidade técnica. A partir da década de 80 passaram a dedicar-se exclusivamente à produção de louça sanitária e acessórios cerâmicos para quartos de banho. Já no século XXI, denota-se que a atividade da Fábrica é essencialmente sustentada no conhecimento e experiência da sua existência.

4.2 Equipamentos

Dado as NPs constituírem uma fonte de risco na avaliação de exposição profissional, e dado estas não serem passíveis de análise através de equipamentos comuns, é importante efetuar um primeiro enquadramento na fase de diagnóstico. Os dispositivos de medição específicos para avaliar a exposição a NPs apenas surgiram nos últimos anos^[29]. Pretendendo-se obter uma caracterização das NPs nos processos industriais, o equipamento utilizado tem como finalidade verificar o tamanho, distribuição e concentração de partículas. Recorreu-se ao equipamento SMPS (*NanoScan Nanoparticle Sizer*) da TSI, modelo 3910, no qual se procede de seguida a uma breve descrição.

4.2.1 SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) modelo 3910- TSI

O equipamento SMPS (também denominado *NanoScan Nanoparticle Sizer*) da TSI, modelo 3910, é um instrumento analítico portátil que mede o tamanho, distribuição e a concentração de NPs. Servindo essencialmente propósitos de pesquisa e investigação, este analisa concentrações até 1.000.000 partículas / cm³ que estejam entre os 10 e os 420 nm de dimensão (página seguinte, Figura 25). A monitorização inicia nas partículas de 1 nm, contudo o modelo somente está validado para 10 nm. A análise pode ser efetuada especificando o tamanho de partícula, com um tempo de resposta de um segundo, e por verificação da distribuição com um tempo de resposta de um minuto^[30].

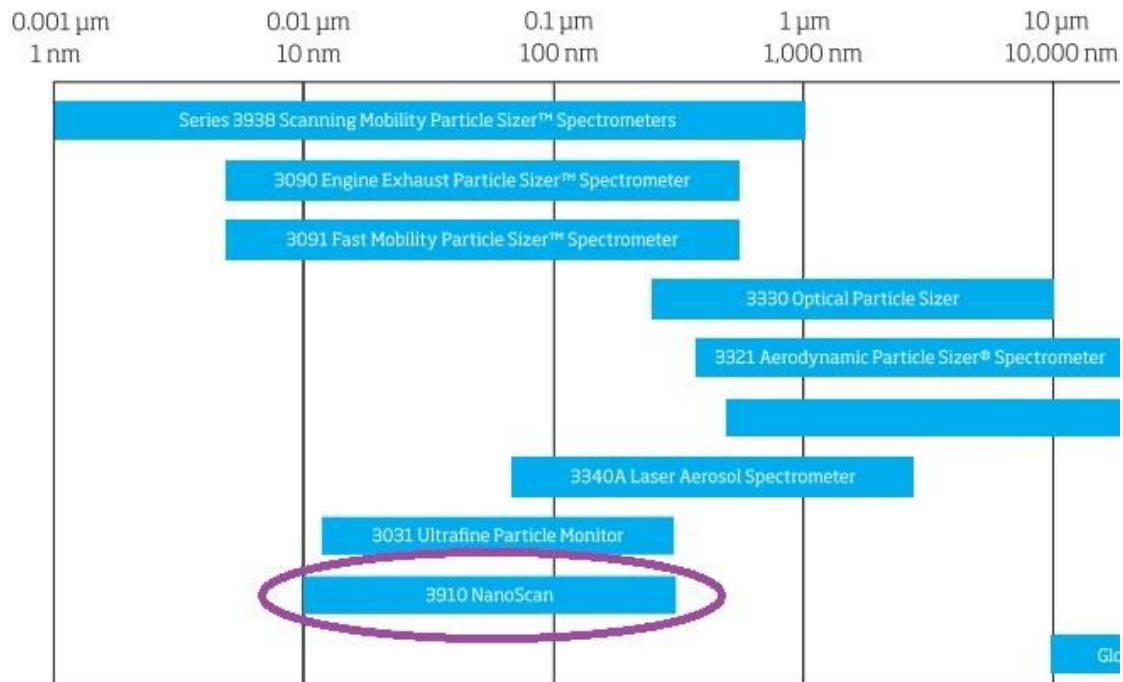


Figura 25 - Enquadramento do SMPS nos equipamentos analisadores de tamanho de partículas^[30]

O SMPS (Figura 26) utiliza uma tecnologia que recorre a um Analisador Diferencial de Mobilidade Radial (RDMA), baseando-se nos princípios da mobilidade elétrica. Nesta abordagem, as NPs são carregadas e classificadas de acordo com a razão carga / tamanho, sendo posteriormente quantificadas por um contador de partículas de condensação (CPC)^[31].



Figura 26 - Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)^[30]

O funcionamento do CPC (Figura 27) consiste na contagem individual de partículas para determinar a sua concentração. As partículas aumentam de tamanho com recurso a um fluido de trabalho (álcool isopropílico no caso do SMPS), que condensa nas partículas habilitando a sua contagem ótica. A sua distribuição é baseada no diâmetro equivalente de mobilidade, fornecendo uma abordagem direta e quantitativa para mensurar o tamanho da partícula^[32,33].

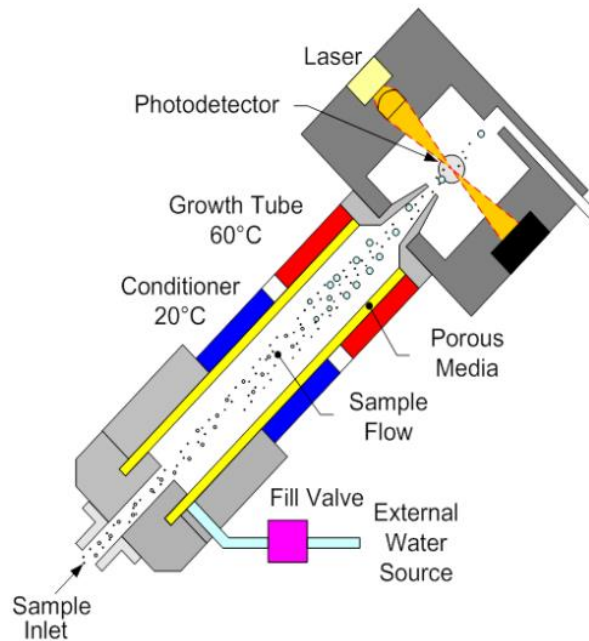


Figura 27 - Esquema de funcionamento do CPC^[33]

O SMPS tem quatro componentes chave: um condicionador, um carregador, um seletor e um contador de partículas. A Figura 28 na página seguinte, pretende ilustrar o funcionamento do equipamento que consiste essencialmente em cinco fases:

a) Condicionador de entrada

Por forma a garantir os resultados na faixa de trabalho do equipamento e para remover partículas de maior dimensão, um ciclone com um ponto de corte de aproximadamente 500 nm é usado na entrada do equipamento^[31].

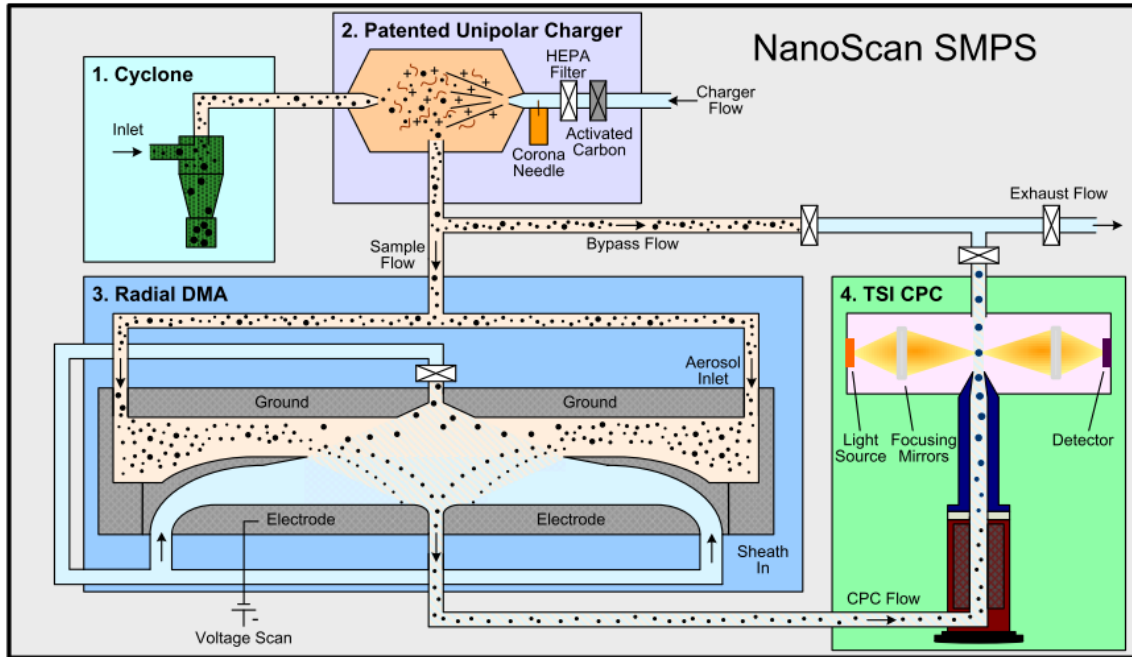


Figura 28 - Esquema de funcionamento do SMPS^[31]

b) Carregador de aerossol

O princípio da mobilidade elétrica pressupõe conhecer a carga da partícula para calcular o seu diâmetro. Neste equipamento, é usado um carregador unipolar patenteado que aumenta a eficiência na contagem de NPs. Este acessório *carrega cerca de 10 vezes mais partículas de 10 nm em comparação com um carregador bipolar tradicional, o que conduz a melhores estatísticas de contagem em diâmetros menores*^[31].

c) Analisador de Mobilidade Diferencial Radial (DMA)

O SMPS recorre a um DMA radial. *Este acessório apresenta menores tempos de permanência de partículas, o que melhora a eficiência da transmissão de NPs*^[31].

d) Contador / Detetor de Partículas

O número de partículas em cada uma das suas dimensões é medido a jusante do DMA. Recorrendo a um CPC à base de álcool isopropílico, que fornece medições precisas a altas e baixas concentrações, este contabiliza cada partícula por forma a determinar a sua concentração^[31].

e) Software de monitorização

Sendo um equipamento com finalidade portátil, o controlo, análise e registo de dados pode ser efetuado através do equipamento, no entanto o software próprio além de habilitar operar o equipamento e recolher os dados, oferece outros recursos para a análise^[31].

4.3 Procedimento Experimental

As medições foram realizadas em dois dias, em duas zonas identificadas pela equipa de segurança como propensas à exposição a partículas. Estas zonas contemplam duas fases distintas do processo de fabrico, que são a preparação / mistura de pastas (Figura 29) e a vidragem. As leituras foram obtidas a cerca de 5,00 m do local de emissão através de sondas colocadas a 1,50 m de altura (posição aproximada das fossas nasais), em intervalos de um minuto e durante uma hora.



Figura 29 - Zona de mistura / preparação de pastas

Foram efetuadas quatro medições: três nas zonas de preparação / mistura de pastas (três equipamentos diferentes) e uma na zona de vidragem (Figura 30). Para efeitos comparativos, e dado não existir legislação que contemple limites de emissão de NPs, procedeu-se a uma medição adicional no exterior da instalação industrial, sem atividade, denominada “zero”. De referir que as amostras recolhidas no exterior foram efetuadas durante dez minutos.



Figura 30 - Zona de vidragem

5 Resultados e interpretação

Apesar do equipamento dispor de uma gama trabalho superior, a análise recai exclusivamente sobre o espectro nano, i.e., até 100 nm (aproximadamente). Recorreu-se a algumas técnicas de estatística descritiva para entender os resultados obtidos. Apresentam-se os respetivos gráficos e sumário da análise estatística, para que através da sua interpretação seja possível fundamentar ilações.

5.1 Misturador 1

Esta zona de mistura prevê a preparação de pasta cerâmica. Contém um equipamento mecânico sobre o qual é descarregada a matéria-prima em saco (*big bag*). Este composto tem na sua composição caulino, feldspato, caco e chamote.

Na Tabela 14 é possível verificar que as maiores concentrações ocorrem nas dimensões menores, com um máximo de 8.739 partículas / cm³ de dimensão 15,4 nm e um mínimo de 1.528 partículas / cm³ de dimensão 115,5 nm. Todos os valores de curtose são positivos, pelo que as funções probabilidade são leptocúrticas, i. e., as distribuições em todas as dimensões são afuniladas e concentradas comparativamente à distribuição normal. As curvas de distribuição não são assimétricas, sendo maiores no lado direito.

Tabela 14 – Estatística Descritiva do Misturador 1 (nº de partículas / cm³)

	11,5 nm	15,4 nm	20,5 nm	27,4 nm	36,5 nm	48,7 nm	64,9 nm	86,6 nm	115,5 nm
Média	5.142	5.644	2.751	3.502	3.442	2.548	1.916	2.035	1.832
Desvio-padrão	901	921	408	517	498	351	252	275	222
Curtose	1,7	1,8	2,6	3,4	3,7	3,6	2,6	2,4	3,4
Assimetria	1,0	1,1	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3	1,8
Mínimo	3.755	4.329	2.200	2.784	2.754	2.058	1.532	1.573	1.528
Máximo	8.144	8.739	4.252	5.553	5.471	3.978	2.869	2.990	2.598
Soma	308.506	338.633	165.062	210.108	206.546	152.893	114.932	122.122	109.937
Contagem	60	60	60	60	60	60	60	60	60

Efetuada uma análise à variação dos dados com recurso a diagramas de caixas, verifica-se na Figura 31 a existência de valores discrepantes em todas as dimensões. Tipicamente, estes valores podem prejudicar a aplicação de testes estatísticos, podendo ser equacionado o seu estudo numa análise adicional.

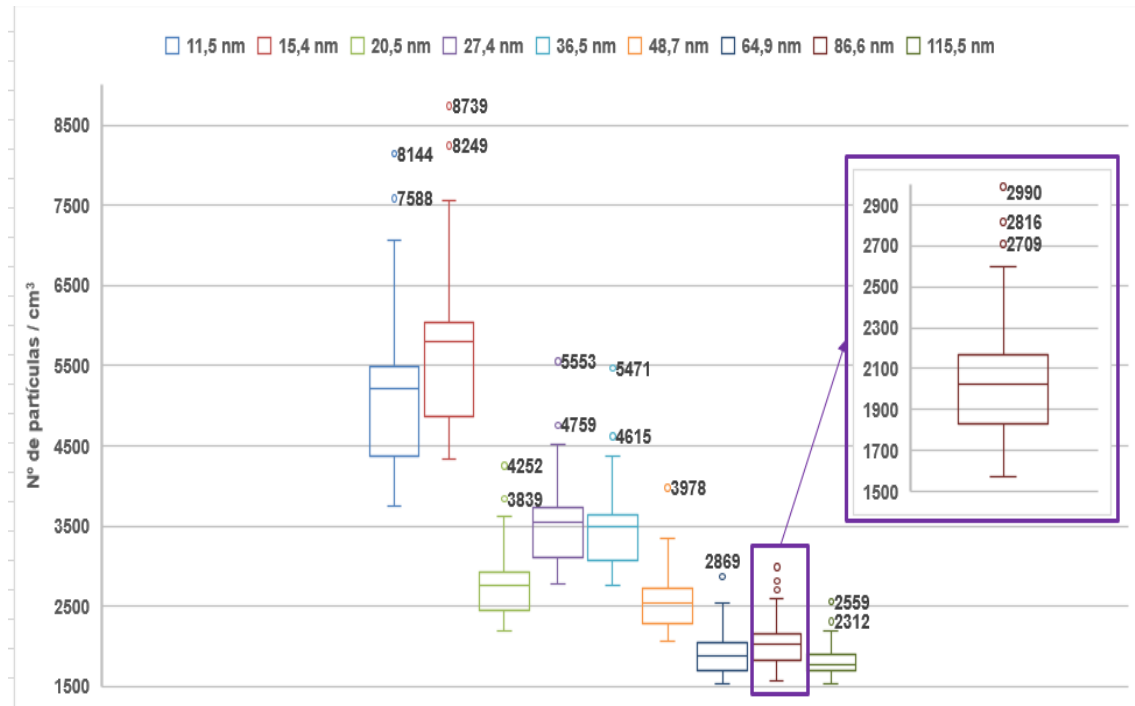


Figura 31 - Diagramas de caixas dos valores observados no Misturador 1

Analisando a dispersão nos valores observados na página seguinte (Figura 32), é possível confirmar que os valores máximos de NPs em cada uma das dimensões verificam-se no minuto 34, exceto para as NPs de 115,5 nm em que o valor máximo ocorre no minuto 35 (2598 partículas / cm³).

As concentrações mais elevadas também ocorrem relativamente perto destes momentos, com o minuto 33 a apresentar um máximo de 44.555 partículas / cm³ e o minuto 34 a revelar 40.357 partículas / cm³ (eixo direito [D] do gráfico). Observa-se um aumento e um decréscimo significativo de partículas significativo durante aproximadamente 15 minutos (minuto 27 a 42). Este comportamento pode dever-se a circunstâncias inerentes ao próprio processo industrial, em que uma determinada atividade despoleta um acréscimo significativo de partículas em suspensão. Este acontecimento justifica os valores discrepantes encontrados anteriormente.

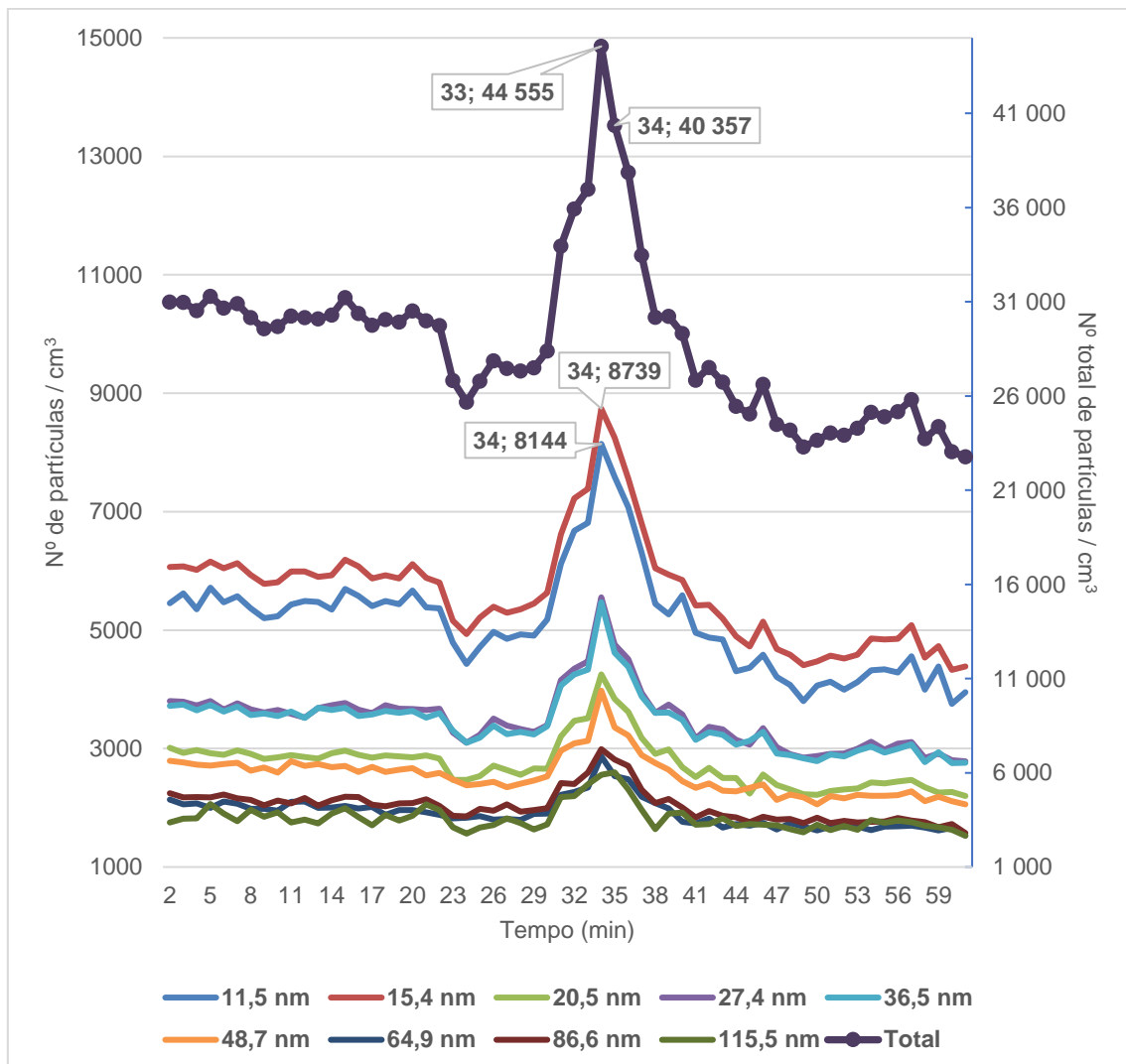


Figura 32 - Dispersão nos valores observados no Misturador 1

5.2 Misturador 2

Esta zona de mistura prevê a preparação de argilas. Contém um equipamento mecânico sobre o qual é descarregada a matéria-prima em saco (*big bag*). Este composto tem na sua composição essencialmente argila, *i.e.* sílica e óxido de alumínio.

Tabela 15 – Estatística Descritiva do Misturador 2

	11,5 nm	15,4 nm	20,5 nm	27,4 nm	36,5 nm	48,7 nm	64,9 nm	86,6 nm	115,5 nm
Média	3.444	3.811	1.886	2.411	2.363	1.729	1.286	1.382	1.392
Desvio-padrão	499	539	271	345	323	224	176	199	275
Curtose	-0,1	-0,3	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-1,0
Assimetria	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4
Mínimo	2.380	2.637	1.360	1.701	1.684	1.251	932	982	824
Máximo	4.803	5.222	2.443	3.077	2.821	2.044	1.559	1.690	1.822
Soma	206.650	228.645	113.134	144.655	141.781	103.727	77.169	82.923	83.506
Contagem	60	60	60	60	60	60	60	60	60

Com um comportamento muito semelhante ao Misturador 1, as concentrações máximas de NPs verificam-se nas menores dimensões (Tabela 15). No entanto, as funções probabilidade e as distribuições são distintas. Os valores negativos obtidos para a curtose e para a assimetria confirmam que as funções probabilidade são platicúrticas e negativamente assimétricas, *i.e.*, as distribuições são mais achatadas comparativamente à normal e alongadas à esquerda.

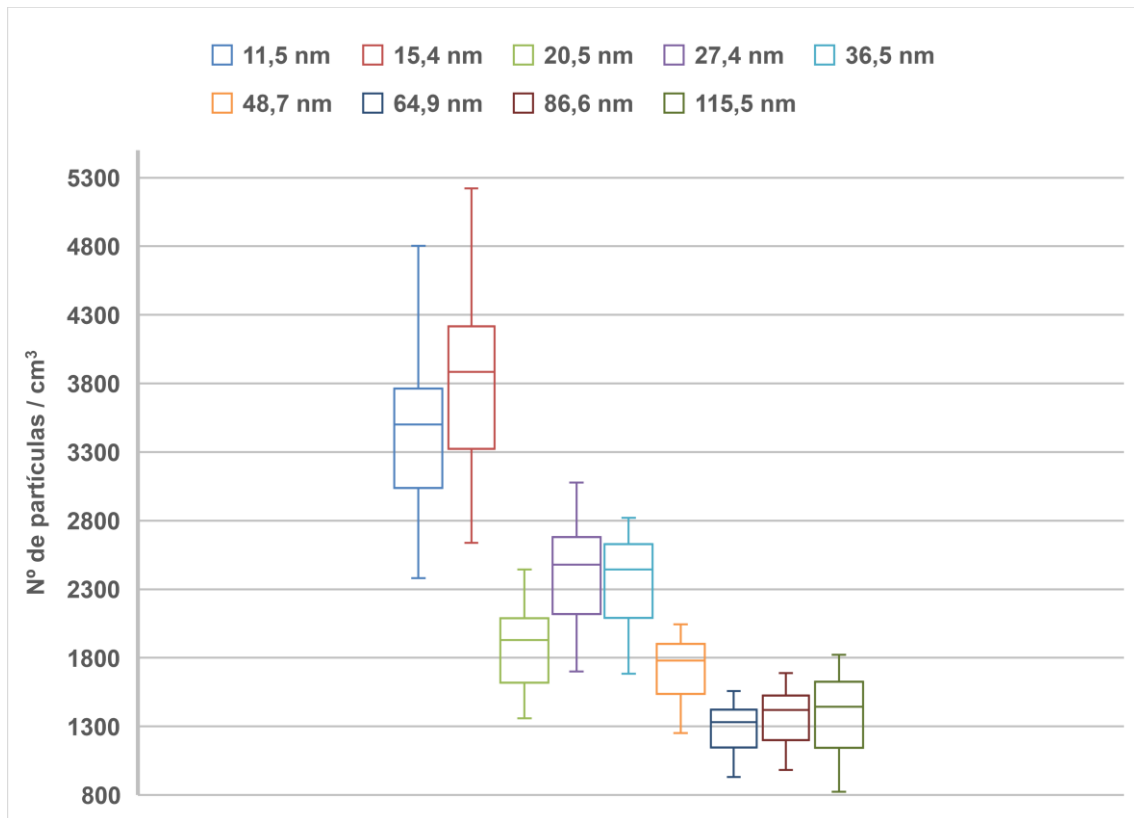


Figura 33 - Diagramas de caixas dos valores observados no Misturador 2

A inexistência de valores discrepantes na Figura 33 indicia uma boa distribuição dos resultados obtidos.

Na Figura 34 verifica-se que a concentração máxima ocorreu no minuto 26, apresentando um valor de 23.657 partículas / cm³. No entanto, o minuto 1 também é significativo (23.435 partículas / cm³). É precisamente no primeiro minuto que, uma vez mais, se verifica a maior concentração de partículas de menor dimensão, *i.e.*, de 15,4 nm com 5.222 partículas / cm³ e 11,5 nm com 4.803 partículas / cm³, respetivamente.

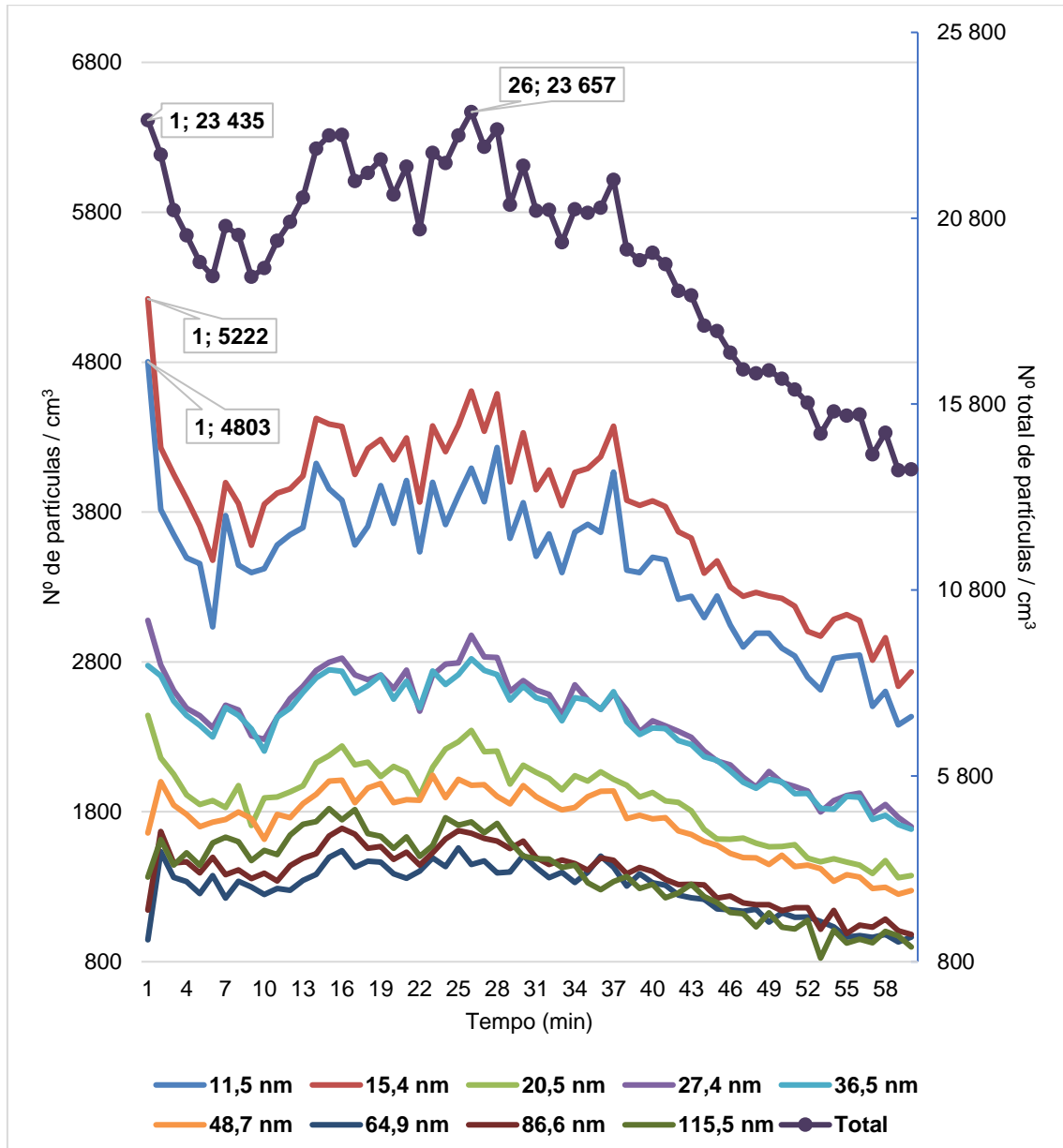


Figura 34 - Dispersão nos valores observados no Misturador 2

5.3 Misturador 3

Esta zona de mistura prevê a preparação de argilas. Contém um equipamento mecânico sobre o qual é descarregada a matéria-prima em saco (*big bag*). Este composto tem na sua composição caulino, feldspato e caco, pelo que os resultados obtidos poderão, em certa parte, ir de encontro aos verificados no Misturador 1, dado que a composição genérica da matéria-prima é semelhante (ausência de chamote), mas com alterações quantitativas significativas em termos de composição final da mistura.

Tabela 16 - Estatística Descritiva do Misturador 3

	11,5 nm	15,4 nm	20,5 nm	27,4 nm	36,5 nm	48,7 nm	64,9 nm	86,6 nm	115,5 nm
Média	5.495	6.038	2.941	3.733	3.667	2.647	1.886	1.970	1.942
Desvio-padrão	2.534	2.667	1.253	1.652	1.664	1.222	872	894	849
Curtose	21,7	18,6	12,5	13,1	14,3	13,9	12,7	13,5	15,1
Assimetria	3,9	3,5	2,8	2,9	3,0	2,9	2,8	2,9	3,1
Mínimo	3.048	3.501	1.636	2.078	1.976	1.107	583	892	1.061
Máximo	20.719	21.519	9.595	12.608	12.778	9.298	6.538	6.795	6.643
Soma	329.691	362.272	176.433	223.953	220.007	158.843	113.169	118.227	116.544
Contagem	60	60	60	60	60	60	60	60	60

Verifica-se, pelos resultados apresentados na Tabela 16, que o particulado tem um comportamento semelhante aos outros misturadores, contudo é neste equipamento que se verificam os valores mais elevados de partículas em suspensão. Os máximos ocorrem novamente nas NPs de menor dimensão: contabilizadas 21.519 partículas / cm³ nas partículas de dimensão 15,4 nm e 20.719 partículas / cm³ nas partículas de partículas de 11,5 nm. Os valores de curtose e assimetra são positivos, pelo que as funções distribuição são afuniladas e concentradas com as curvas a serem mais alongadas no lado direito.

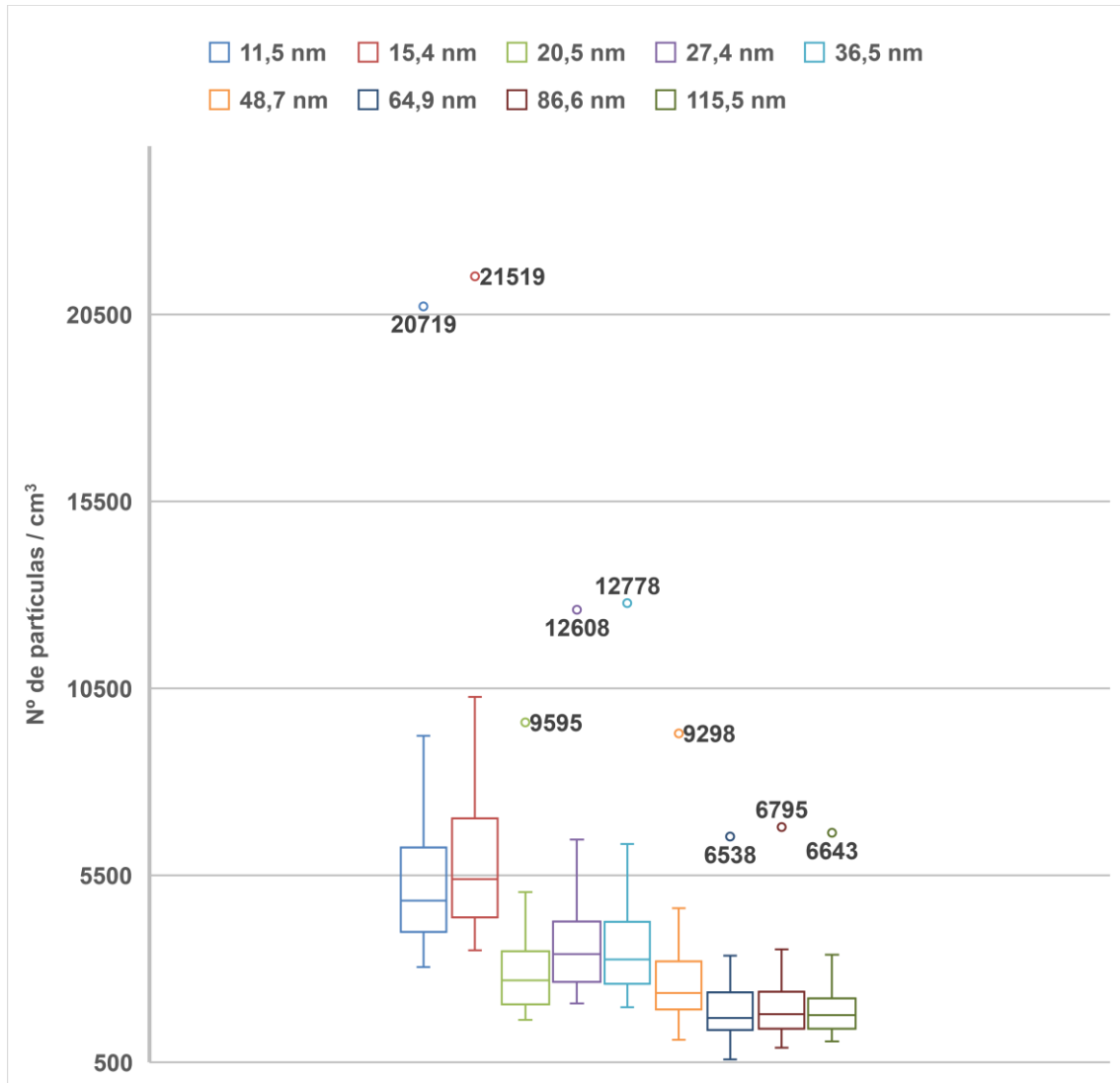


Figura 35 - Diagramas de caixas dos valores observados no Misturador 3

Como será possível de verificar na análise de dispersão, os valores discrepantes que se verificam na Figura 35 ocorrem todos no primeiro minuto. Os valores que se observam (Figura 36) não são, de todo, normais: num espaço de um minuto existe um decréscimo para metade das partículas em suspensão, comportamento que não se verificou anteriormente em nenhum dos casos.

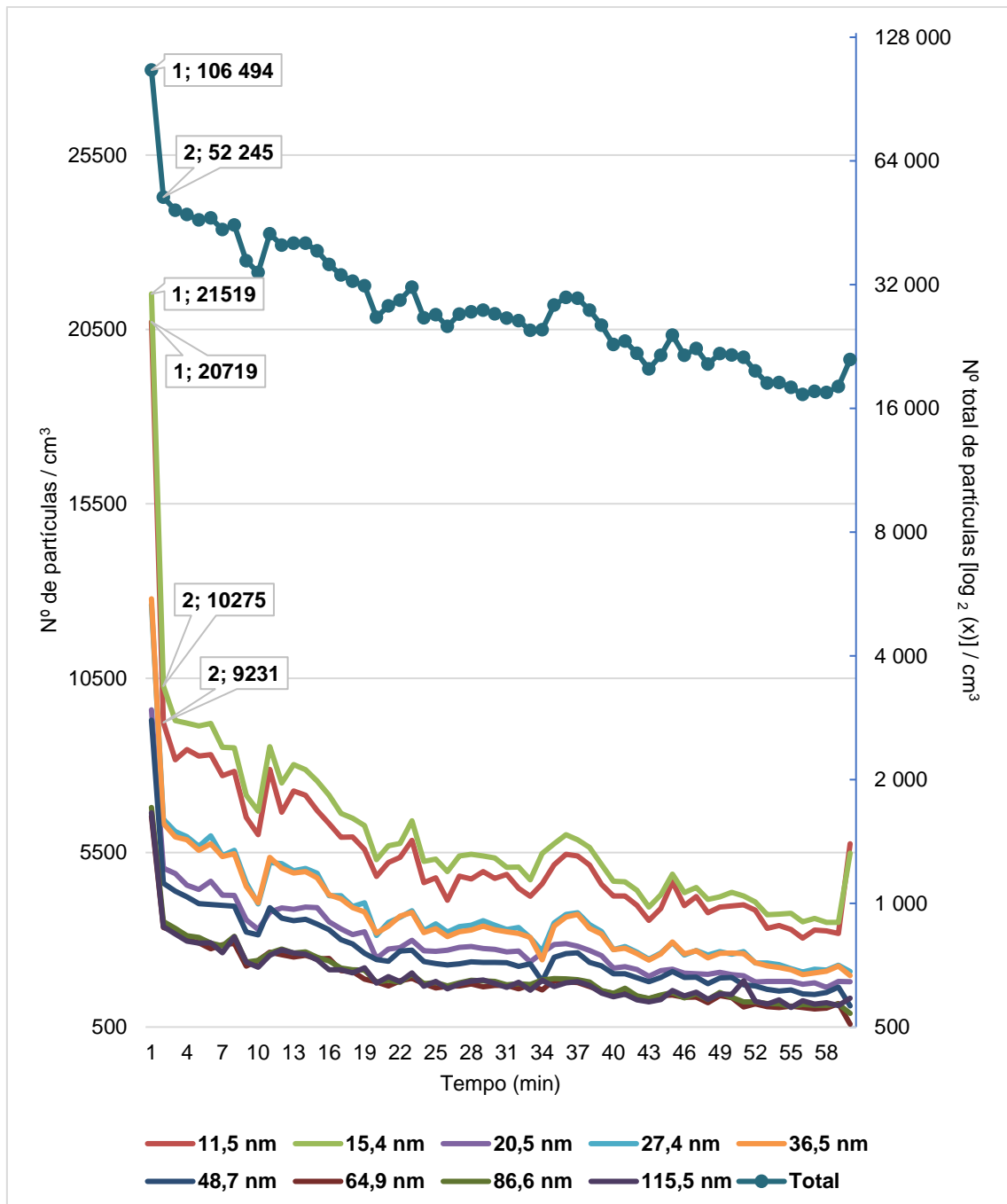


Figura 36 - Dispersão nos valores observados no Misturador 3

Apesar dos resultados observados no primeiro minuto, existe um decréscimo de NPs em suspensão no ar ao longo do tempo, com crescimentos pontuais e pouco significativos em alguns momentos.

5.4 Vidragem

A zona de vidragem contempla o processo de acabamento das peças, em que se recorre, geralmente, a pigmentos ou corantes cerâmicos. Usualmente comercializados sob a forma sólida, estes compostos são constituídos por óxidos metálicos, inorgânicos, brancos, pretos ou coloridos. Estes devem ter características insolúveis, nomeadamente não reagentes, química ou fisicamente, com as peças sob o qual são aplicados. Após a cozedura a uma temperatura adequada, a peça desenvolve uma cor conforme a composição do pigmento, sendo a tonalidade ou o efeito vidrado determinado pela presença de óxidos metálicos.

No caso em estudo, o processo de vidragem das peças cerâmicas tem início após uma primeira cozedura, geralmente em torno dos 900 °C. É efetuada pulverização por um trabalhador através de pistola, sendo a peça encaminhada para uma segunda cozedura, que ocorre em torno dos 1200 °C. O espaço de pulverização tem uma extração localizada e uma cortina de água.

Tabela 17 - Estatística Descritiva da Vidragem

	11,5 nm	15,4 nm	20,5 nm	27,4 nm	36,5 nm	48,7 nm	64,9 nm	86,6 nm	115,5 nm
Média	1.666	1.975	1.101	1.403	1.394	1.090	861	878	766
Desvio-padrão	244	283	156	196	197	135	76	65	76
Curtose	37,00	41,8	43,00	40,6	40,00	32,4	9,00	3,8	1,6
Assimetria	-5,3	-5,9	-6,0	-5,7	-5,7	-4,8	-1,0	0,9	0,0
Mínimo	6	0	4	42	33	202	502	723	537
Máximo	2.109	2.412	1.325	1.702	1.685	1.336	1.090	1.126	977
Soma	99.930	118.496	66.073	84.209	83.655	65.389	51.633	52.676	45.944
Contagem	60	60	60	60	60	60	60	60	60

Apesar deste processo industrial ser distinto dos restantes, na Tabela 17 verifica-se que o comportamento em termos de variação das quantidades de NPs em suspensão é relativamente semelhante, nomeadamente com as maiores concentrações a ocorrerem nas partículas de menor dimensão: 15,4 nm e 11,5 nm, respetivamente.

Contudo, os valores mínimos aqui verificados não apresentam a mesma tendência observada nos processos de mistura, em que as concentrações mínimas decrescem consoante o aumento do tamanho das NPs. A relevância destes valores é analisada de seguida.

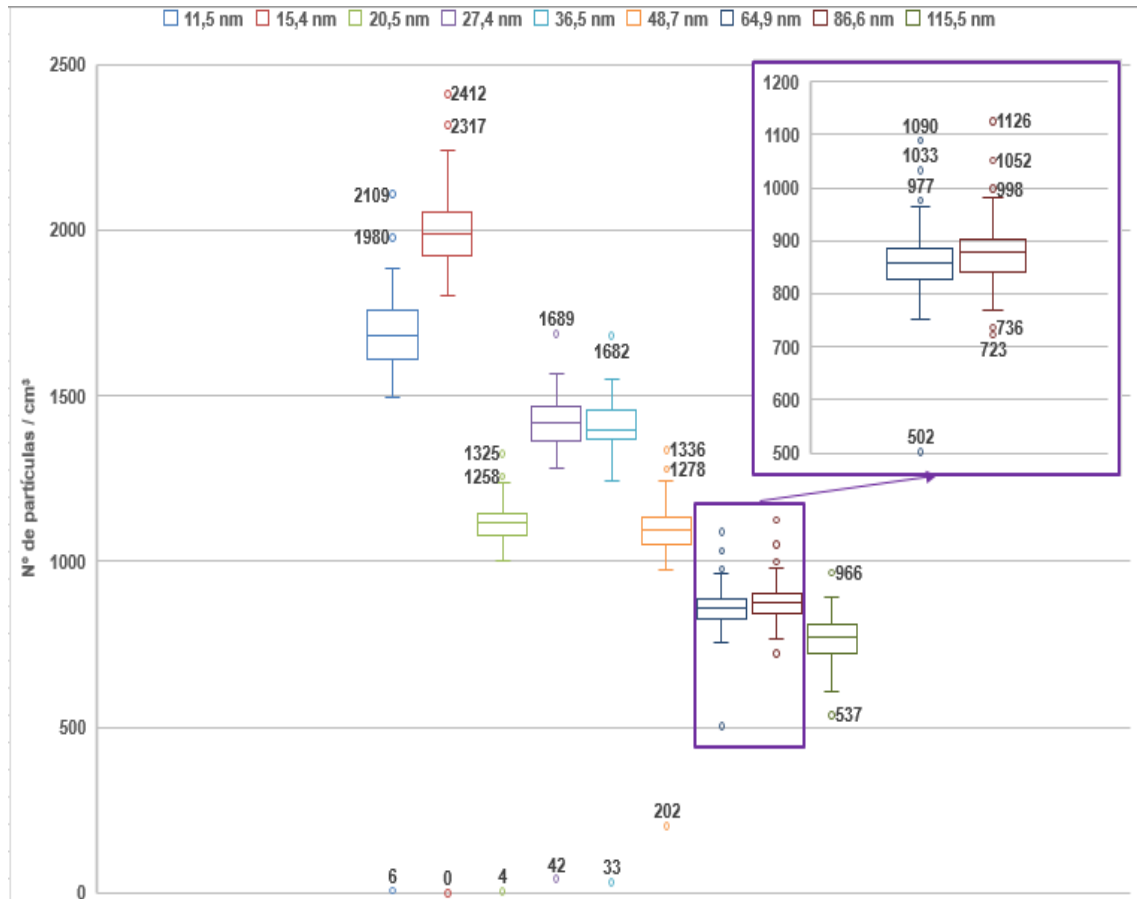


Figura 37 - Diagramas de caixas dos valores observados na vidragem

Pelo comportamento verificado na página anterior, era esperado encontrar um número considerável de valores discrepantes, contudo através da Figura 37 entende-se que o seu número é bastante significativo: 3,33% a 8,33% dos valores observados diferenciam-se drasticamente de todos os outros, quando efetuada uma análise por tamanho. Esta variação não ocorre de forma tão significativa nos casos estudados anteriormente, em que no limite o número de valores atípicos representa, no máximo, 5% dos valores observados.

O comportamento que se verifica nos valores atípicos pode dar resposta a determinadas questões, contudo sabe-se que estes afetam resultados que recorram a algoritmos e sistemas de análise. Neste contexto, é importante referir a existência de valores anómalos que sugerem a baixa presença ou inexistência de NPs na atmosfera, o que à partida não acontece. Através da Figura 38, constata-se que o minuto 1 é determinante (verifica-se o valor de 0 nas partículas de dimensão 15,4 nm). Caso esta amostra fosse retirada, o número total de valores discrepantes continuaria a ser significativo, contudo a sua variação estaria compreendida entre 1,69% e 6,78%. A concentração de NPs no ar também variaria entre 10.241 e 13.432 partículas / cm³, o que mais facilmente poderia corresponder às condições normais de trabalho.

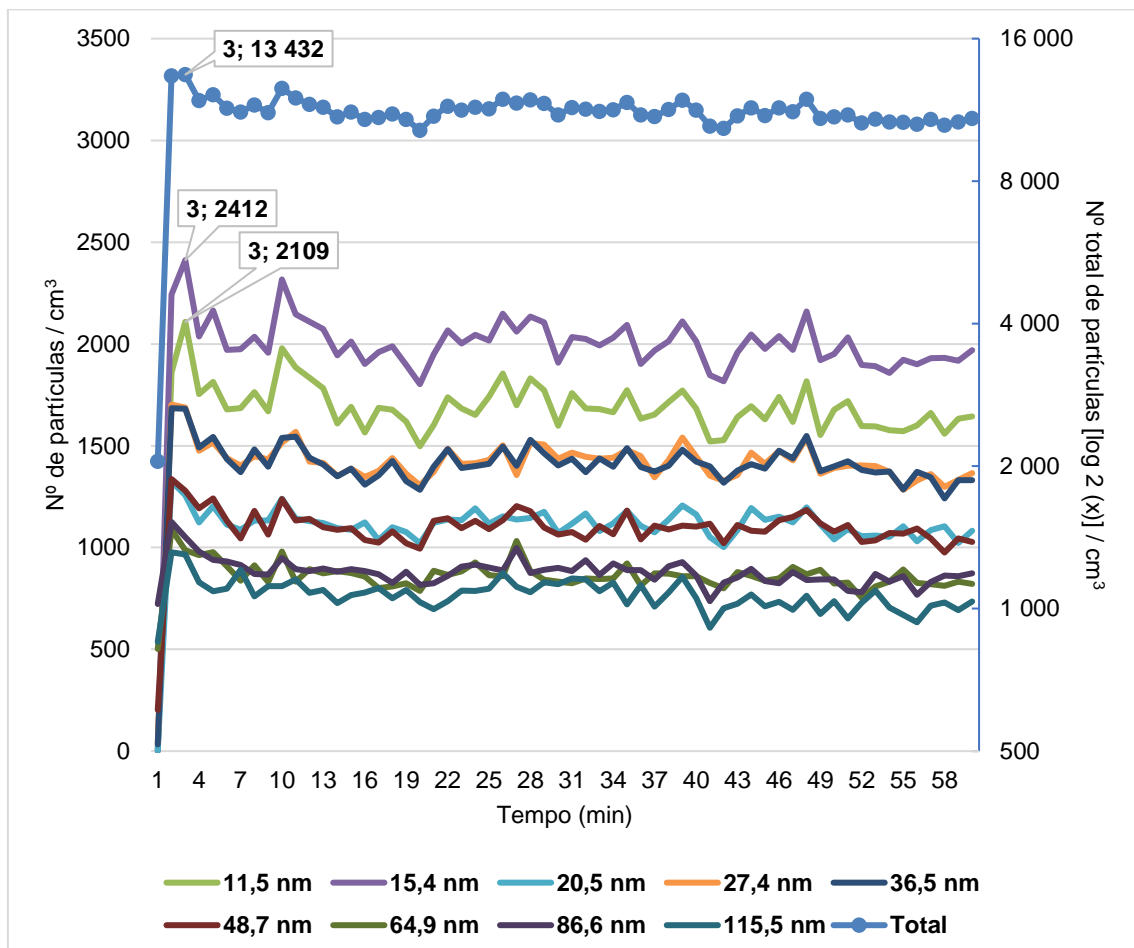


Figura 38 - Dispersão nos valores observados na Vidragem

5.5 Zero

Tal como anteriormente referido, dado não existir legislação que contemple limites de emissão de NPs, recorreu-se a uma medição no exterior da instalação industrial, sem atividade, por forma a existir base comparativa face às amostras recolhidas nas atmosferas de trabalho.

Tabela 18 - Estatística Descritiva da medição exterior

	11,5 nm	15,4 nm	20,5 nm	27,4 nm	36,5 nm	48,7 nm	64,9 nm	86,6 nm	115,5 nm
Média	73	77	72	72	73	74	72	73	72
Desvio-padrão	1,8	2,5	0,5	1,3	2,0	2,1	2,1	1,2	0,6
Curtose	0,1	-1,2	-1,3	3,4	0,0	0,5	0,6	-0,7	0,7
Assimetria	0,8	0,4	-0,1	1,6	0,4	1,0	0,9	0,6	0,1
Mínimo	71	73	71	70	70	71	70	71	71
Máximo	77	80	72	75	77	78	77	75	73
Soma	734	765	715	718	731	736	724	725	716
Contagem	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Através da Tabela 18, é possível perceber que as concentrações de NPs comparativamente às atmosferas de trabalho são bem menores. O total de partículas em cada uma das suas dimensões é relativamente constante, apresentando variações máximas na ordem dos 10%. Estas verificam-se nas partículas de dimensão 15,4 nm, 36,5 nm e 48,7 nm, respetivamente. As medidas de curtose e assimetria variam conforme o tamanho do particulado, demonstrando um comportamento distinto quando comparado com os outros locais. Contudo, estas são medidas para estabelecer uma compreensão inicial dos dados, pelo que deve ser tido em consideração o intervalo mais reduzido de medição, *i.e.*, de amostras recolhidas.

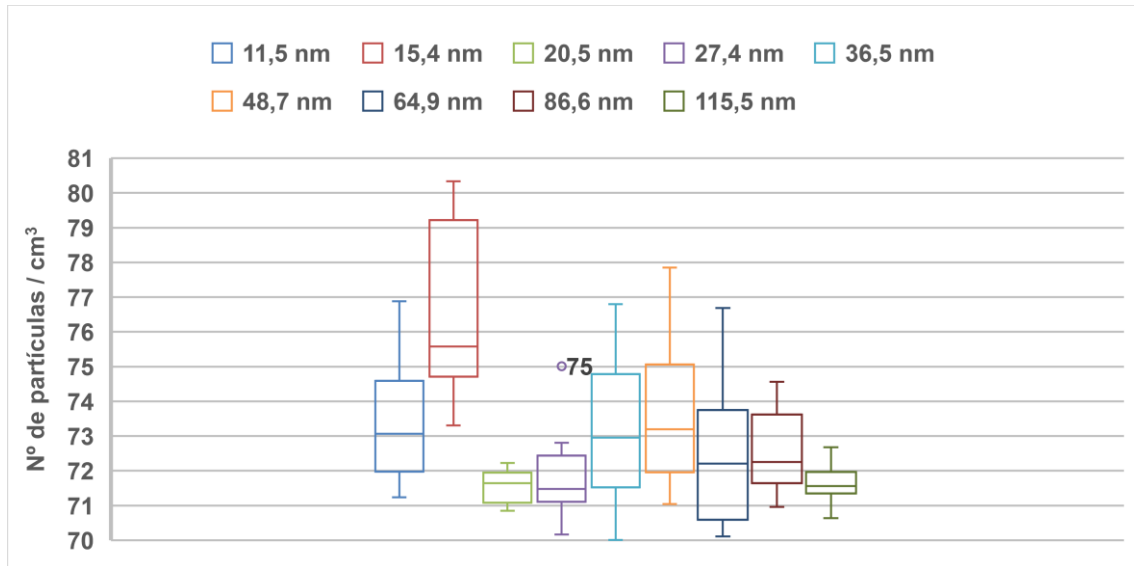


Figura 39 - Diagramas de caixas dos valores observados no exterior

Na Figura 39 é possível verificar que os valores observados apresentam uma boa distribuição, existindo apenas um valor considerado discrepante nas NPs de tamanho 27,4 nm.

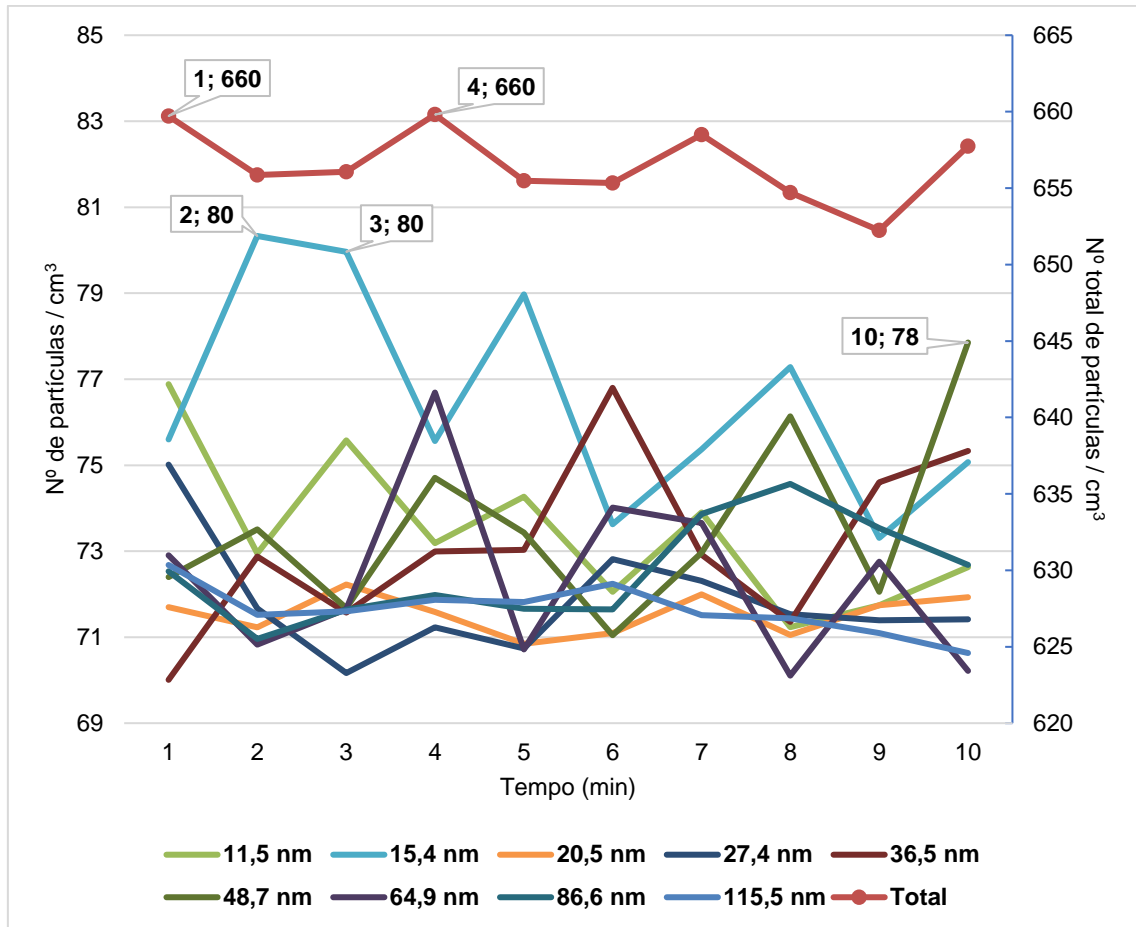


Figura 40 - Dispersão nos valores observados no exterior

Através da análise de dispersão é possível verificar que a variação da concentração de partículas no espaço temporal é relativamente pequena (cerca de 1%), nomeadamente atingindo um máximo de 660 partículas / cm³ em dois momentos e um mínimo de 652 partículas / cm³. Graficamente, também é possível visualizar uma ligeira predominância de NPs de tamanho 15,4 nm, que se verificou em pelo menos em metade do tempo.

6 Conclusões

Considerando que a atual legislação em vigor não contempla o controlo de NPs nas atmosferas de trabalho, e que a NP 1796:2014 apenas prevê a monitorização de partículas na escala micro, entende-se que toda a análise efetuada se encontra no pior cenário possível, *i.e.*, todo o particulado interage com o trabalhador e é relevante para uma análise de exposição.

A Fábrica A produz produtos cerâmicos de forma tradicional, existindo uma certa limitação nas tecnologias para reduzir as emissões de material particulado. Apesar da análise recair apenas sobre a quantificação das NPs, poder-se-á admitir que a sua composição derivará essencialmente das matérias-primas utilizadas e do processo industrial em que são geradas, pois os padrões de emissão de NPs estão fortemente dependentes da temperatura e da composição química da matéria-prima^[21]. Sabe-se que o particulado gerado na fase de preparação de matérias-primas (misturadores) dependerá da variação da composição da matéria-prima utilizada, sobretudo das argilas, sílicas e feldspatos. Por sua vez, e apesar da fase de vidragem apresentar tendencialmente quantidades de NPs mais baixas, podem-se encontrar elementos pesados como o chumbo, óxidos metálicos ou boro.

Sendo imperativo prevenir emissões difusas de NPs na Fábrica A, sugere-se a adoção de medidas isoladas ou de uma combinação de diferentes medidas^[34]. No geral, maiores concentrações de partículas estão associadas à presença maioritária de NPs de menor dimensão, pelo que se reforça a importância de caracterizar o particulado numa fase inicial, por forma a entender a sua origem. A solução a implementar deverá ser sempre analisada casuisticamente, podendo incorporar diferentes tecnologias. Só nesta medida será possível adotar medidas que visem reduzir as emissões de materiais de natureza polvorenta, nomeadamente nos processos que sistematicamente recorrem a este tipo materiais.

Não podendo ser evitada a exposição, esta deverá ser medida e devidamente controlada através da hierarquia das medidas de controlo, aplicadas aos riscos relacionados com a inalação e com a exposição cutânea, nomeadamente^[10] :

- Eliminação: evitar a utilização da substância perigosa ou do processo que origina a exposição^[10] ;

- Substituição: alterar os materiais ou os processos para outros que apresentem menor risco para a saúde humana, segurança e ambiente^[10] ;

- Isolamento / compartimentação: todas as operações onde exista libertação de NPs devem ser realizadas em instalações confinadas, ou onde os trabalhadores se encontrem isolados do processo. A matéria-prima deve ser armazenada em silos dotados de sistema de filtração. Se possível devem ser implementados sistemas automáticos de doseamento, e isolados os tapetes transportadores de matérias-primas polvorentas. Estes devem prever a redução da altura e da velocidade de descarga dos materiais^[10,34] ;

- Controlos de engenharia: todos os processos em que exista a possibilidade de formação de poeiras deve existir ventilação por extração localizada. Estes equipamentos necessitam de uma manutenção regular, sendo que o ar extraído não pode ser reciclado sem ser purificado. A prevenção de fugas e derrames pode ser prevenida através de uma manutenção adequada. Podem ser utilizados sistemas de pulverização de água nas fontes de pó localizadas e nas zonas de armazenamento, e ainda a instalação de sistemas de limpeza nos rodados dos veículos que transportam a matéria-prima^[10,34] ;

- Controlos administrativos: este tipo de controlos deve acompanhar as medidas anteriores (controlos de engenharia), sendo que, estes incluem reduzir o número de pessoas expostas ou o tempo gasto pelo pessoal no processo^[10] ;

- O vestuário de trabalho deverá ser lavado e armazenado separadamente do vestuário pessoal, sendo que a limpeza dos locais de trabalho deve ser realizada periodicamente^[10].

Estas recomendações correspondem, em certa medida, às necessidades verificadas para a Fábrica A: as maiores concentrações de NPs ocorreram na fase de preparação das matérias-primas. A humidade da atmosfera de trabalho é um fator a considerar, contudo o confinamento pode revelar-se complexo em determinados casos. A matéria-prima em saco (*big bag*) é transportada através de um empilhador a diesel, que é aberto por baixo e descarregado no equipamento misturador com auxílio do trabalhador. Esta fase constitui um dos momentos mais significativos, não só pelo ato de descarga que gera uma nuvem de poeira, mas também porque o trabalhador se encontra nas proximidades. A este fator, acresce o movimento do empilhador, nomeadamente através das suas rodas que geram recirculação de particulado já depositado / decaído. Além da adaptação de sistemas de limpeza nos rodados, recomenda-se a reanálise dos percursos efetuados e se, tecnicamente possível, a substituição dos equipamentos de carga / descarga. Sendo os motores a combustão interna uma fonte emissora de NPs, e dado que os empilhadores a diesel são recomendado para uso exterior, a sua substituição para gás poderá ser equacionada apresentando também emissões poluentes mais baixas. No entanto a capacidade de carga poderá ser um fator limitativo.

Este particulado tem um diâmetro aerodinâmico muito pequeno, sendo extramente leve, o que dificulta a sua extração e lhe confere elevados tempos de decaimento. A principal recomendação passa pelo reforço do uso de equipamentos de proteção individual (EPI). Estes são reconhecidos como o último recurso ou uma opção adicional para reforçar todos os outros métodos de controlo de exposição. Os EPIs certificados para exposição por via inalatória ainda não demonstram um nível eficaz de proteção para as NPs, contudo a sua correta utilização constitui um elemento importante quando o controlo de emissões na fonte não é possível^[10].

As recomendações para o uso de EPIs passam por: calçado de segurança para indústria, fatos de material não-tecido (evitar vestuário que tenha algodão na sua composição), luvas associadas a proteção química, óculos de proteção de preferência panorâmicos, e máscara de partículas.

Relativamente ao fato de proteção em material não-tecido pressupõe-se que, e segundo a norma brasileira NBR-13370, o não-tecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos orientados direccionalmente ou ao acaso, consolidados por processo mecânico (fricção), químico (adesão) ou térmico (coesão), assim como combinações destes.

Por sua vez, nas máscaras de partículas dever-se-á optar por uma máscara equipada com filtros fibrosos, dado serem eficientes para NPs.^[10] No entanto, a opção deverá recair sobre a classe FFP3 de eficiência alta associada a trabalhos com produtos perigosos, como são exemplos a indústria química, farmacêutica, papelreira, vírus e bactérias, serração ou de substituição de filtros^[35].

Verificou-se que a limpeza das fardas de trabalho ocorre com recurso a ar comprimido. Este comportamento deverá ser fortemente evitado, pois gera recirculação de particulado com efeitos imediatos no trabalhador que executa a tarefa. As fardas de trabalho devem ser lavadas ou colocadas em local apropriado para lavagem, devidamente separadas do vestuário comum para não existir contaminação. Para este efeito, devem ser disponibilizados cacifos adequados para os colaboradores.

Como anteriormente referido, as maiores concentrações de partículas verificaram-se no misturador 3. Este local, como podemos verificar na Tabela 19, apresenta quantidades de partículas cerca de 161 vezes superiores ao valor no exterior. Mesmo retirando a amostra que apresenta valores aberrantes, as quantidades reduziriam para cerca de metade (52.245 partículas / cm³), contudo continuaria a ser o local mais significativo (a razão passaria a ser 79).

Tabela 19 - Razões entre valores máximos obtidos nas atmosferas de trabalho vs medição exterior

	11,5 nm	R	15,4 nm	R	20,5 nm	R	27,4 nm	R	36,5 nm	R
Zero	77		80		72		75		77	
Misturador 1	8.144	106	8.739	109	4.252	59	5.553	74	5.471	71
Misturador 2	4.803	62	5.222	65	2.443	34	3.077	41	2.821	35
Misturador 3	20.719	269	21.519	268	9.595	133	12.608	168	12.778	159
Vidragem	2.109	27	2.412	30	1.325	18	1.702	23	1.685	21
	48,7 nm	R	64,9 nm	R	86,6 nm	R	115,5 nm	R	Total	R
Zero	78		77		75		73		660	
Misturador 1	3.978	51	2.869	37	2.990	40	2.598	36	44.555	68
Misturador 2	2.044	26	1.559	20	1.690	23	1.822	25	23.657	36
Misturador 3	9.298	119	6.538	85	6.795	91	6.643	91	106.494	161
Vidragem	1.336	17	1.090	14	1.126	15	977	13	13.432	20

As maiores concentrações de NPs verificaram-se nos menores diâmetros aerodinâmicos, *i.e.*, 11,5 nm e 15,4 nm. Tendo em consideração as curvas de deposição na região traqueobrônquica e alveolar do pulmão, verifica-se que estas frações são críticas para uma análise de exposição. Não só porque cerca de 55% das NPs entre 10 nm e 20nm depositam-se na região alveolar, mas também pelo facto de os efeitos provocados pelas NPs ocorrerem na região mais profunda do aparelho respiratório, nomeadamente onde ocorrem trocas gasosas.

7 Perspetivas futuras

Efetuada uma aproximação por atividade ou processo crítico, o próximo desafio passaria por obter uma caracterização morfológica e verificação da área de superfície do particulado, dado este ser um fator distintivo nas NPs. Recorrendo a alguns dos equipamentos já descritos, é possível fazer uma avaliação de exposição ocupacional e a avaliação dos níveis de NPs libertadas. Para esse efeito, a metodologia de monitorização que a seguir se indica, foi validada no seguimento de diversos casos de estudo^[5].

- *efetuar a determinação das áreas superficiais depositadas (traqueobrônquicas ou alveolares) recorrendo ao equipamento NSAM. Este equipamento permite quantificar as emissões de NPs (expressas em $\mu\text{m}^2 / \text{cm}^3$) no tempo e, com recurso a software de aquisição de dados, relacioná-las com eventos processuais. Contudo, esta quantificação deverá ser complementada com a recolha e caracterização morfológica das NPs recolhidas, já que se trata de uma determinação por estimativa com base num modelo de deposição, e não de uma determinação absoluta^[5];*

- *efetuar a recolha de NPs em grelhas metálicas utilizando o amostrador NSA. Trata-se de uma recolha que implica análise da morfologia das NPs, posteriormente, em laboratório. Para captar uma quantidade suficiente de NPs que venham a possibilitar a sua observação em laboratório, deverá amostrar-se um tempo suficientemente longo, ou seja, uma vez por processo^[5];*

- *efetuar a análise morfológica, dimensional e química das NPs recolhidas em microscópio eletrónico de transmissão (TEM) acoplado a um sistema de EDS. Esta determinação permite a quantificação das NPs recolhidas nas grelhas metálicas em termos de tamanho, forma, hábito cristalino e composição química elementar^[5].*

Em termos conclusivos, é imprescindível continuar a estudar as atmosferas de trabalho, uma vez que a exposição ocupacional a NPs pode representar um risco intolerável. Apesar de vários estudos focarem os nanomateriais, a diversidade dos processos industriais no setor cerâmico obriga a que a avaliação da formação ou emissão de partículas nas faixas ultrafina e nano, deva ser incentivada de forma sistemática. No entanto, refira-se que é necessário aumentar a eficiência na avaliação deste tipo de risco. Algumas estratégias passam por melhorar a viabilidade prática da avaliação, testes padronizados, comparação *in vitro-in vivo* e ensaios funcionais. Esta abordagem poderá tornar a avaliação mais expedita, contudo o nosso conhecimento ainda não é suficientemente avançado para fundamentar de forma completa os critérios de decisão e protocolos específicos. A estratégia a ser envidada poderá passar pelo desenvolvimento de uma estrutura de decisão sobre os nanomateriais, pragmática e internacionalmente aceite, com critérios de decisão comprovados cientificamente. Isto exige a cooperação dos governos, cientistas e da própria indústria.^[2]

8 Referências Bibliográficas

- [1] PricewaterhouseCoopers. *Capacitação da indústria da Cerâmica Portuguesa - Um cluster, uma estratégia, mercados prioritários*. (2016). [ebook] Disponível em: <https://www.apicer.pt/apicer/media/5a30133123e67.pdf>. Acedido a 12 de Novembro de 2018.
- [2] Oomen, A., Steinhäuser, K., Bleeker, E., van Broekhuizen, F., Sips, A., Dekkers, S., Wijnhoven, S. and Sayre, P. (2018). Risk assessment frameworks for nanomaterials: Scope, link to regulations, applicability, and outline for future directions in view of needed increase in efficiency. *NanoImpact*, 9, p.1-13.
- [3] Khan, I., Saeed, K. and Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), p.908-931.
- [4] Boverhof, D., Bramante, C., Butala, J., Clancy, S., Lafranconi, M., West, J. and Gordon, S. (2015). Comparative assessment of nanomaterial definitions and safety evaluation considerations. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 73(1), p.137-150.
- [5] Gomes JFP, Esteves HS. (2014) *Monitorização da emissão de nanopartículas*.
- [6] Bhatia, S. (2016). *Natural Polymer Drug Delivery Systems: Nanoparticles, Plants, and Algae*. 1ª ed. Springer, p.40-44.
- [7] Dynamic Light Scattering (DLS). <https://lsinstruments.ch/gallery/untouched/305/setupdlssmall.gif>. Acedido a 26 de Novembro 2018.

- [8] Kuhlbusch, T., Wijnhoven, S. and Haase, A. (2018). Nanomaterial exposures for worker, consumer and the general public. *NanoImpact*, 10, p.11-25.
- [9] Pereira, C. (2014). *Contribuição para a caracterização da emissão de nanopartículas em processos de soldadura e avaliação de riscos decorrentes do processo*. Dissertação de mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Instituto Politécnico de Lisboa.
- [10] Gomes JFP, Miranda RM, Albuquerque PCS, Esteves HS. (2017). *Relatório Final - Projeto Nº 122 APJ/11.*; 2017.
- [11] Heusinkveld, H., Wahle, T., Campbell, A., Westerink, R., Tran, L., Johnston, H., Stone, V., Cassee, F. and Schins, R. (2016). Neurodegenerative and neurological disorders by small inhaled particles. *NeuroToxicology*, 56, p.94-106.
- [12] Egenhofer C, Schrefler L, Genoese F, Wieczorkiewicz J, Colantoni L, Stoefs W, Timini J. (2014). *Final Report - For a study on composition and drivers of energy prices and costs in energy intensive industries: the case of the ceramics industry - wall and floor tiles*.
- [13] Baraldi, L. (2018). World production and consumption of ceramic tiles economics. *Ceramic World Review*, (128), p.58-72. Disponível em: <https://www.ceramicworldweb.it/cww-en/magazines/ceramic-world-review-1282018/>. Acedido a 16 Outubro de 2018.
- [14] Etekina. Ceramic Industry. <https://www.etekina.eu/ceramic-industry/>. Acedido a 8 de Abril 2019.
- [15] APICER. (2019). Exportações portuguesas de cerâmica utilitária e decorativa em 2018. *Kéramica nº 356*. p. 20–22. Disponível em: <https://issuu.com/apicer-ceramicsportugal/docs/keramica356>.

- [16] APICER. (2018). *Comércio Internacional de Produtos Cerâmicos*. Coimbra; Disponível em: <https://www.apicer.pt/apicer/media/5a97d2dec716b.pdf>.
- [17] Simões H. *Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho nas Microempresas Cerâmicas - Manual de Prevenção*.
- [18] Rock Content. SWOT. <https://rockcontent.com/blog/como-fazer-uma-analise-swot/>. Acedido a 20 de Maio 2019.
- [19] Agência Portuguesa do Ambiente, Direção-Geral da Saúde. (2015). *Metodologia de avaliação da qualidade do ar interior em edifícios de comércio e serviços no âmbito da Portaria 353-A / 2013*.
- [20] Agência Portuguesa do Ambiente. (2009). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico*. Amadora.
- [21] Fonseca AS, Viana M, Querol X, Moreno N, de Francisco I, Estepa C, de la Fuente GF. (2015). Ultrafine and nanoparticle formation and emission mechanisms during laser processing of ceramic materials. *Journal of Aerosol Science*, 88, p.48–57.
- [22] Albuquerque PC, Gomes JF, Bordado JC. (2012). Assessment of exposure to airborne ultrafine particles in the urban environment of Lisbon, Portugal. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(4), p.373–380.
- [23] *Decreto-Lei n.º 24/2012 de 6 de fevereiro*. Diário da República, 1.ª série - N.º 26; :580–589.
- [24] IPQ. *NP 1796:2014, Segurança e saúde do trabalho - Valores-limite e índices biológicos de exposição profissional a agentes químicos*.

- [25] Diogo, M. (2017). *Segurança em Ambiente Subterrâneo - O Futuro Próximo*. Auditório da Sede Nacional da Ordem dos Engenheiros. Disponível em: https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/20171211oemigueldiogo_16136047175a5df31207aeb.pdf
- [26] *Decreto-Lei n.º 41/2018 de 11 junho*. Diário da República, 1.ª série - N.º 111; :2463–2486.
- [27] Arts JHE, Irfan MA, Keene AM, Kreiling R, Lyon D, Maier M, Michel K, Neubauer N, Petry T, Sauer UG, Warheit D, Wiench K, Wohlleben W, Landsiedel R. (2016). Case studies putting the decision-making framework for the grouping and testing of nanomaterials (DF4nanoGrouping) into practice. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*.
- [28] Fonseca AS, Maragkidou A, Viana M, Querol X, Hämeri K, de Francisco I, Estepa C, Borrell C, Lennikov V, de la Fuente GF. (2015). Process-generated nanoparticles from ceramic tile sintering: Emissions, exposure and environmental release. *Science of the Total Environment*, 565. 922–932.
- [29] Asbach C, Alexander C, Clavaguera S, Dahmann D, Dozol H, Faure B, Fierz M, Fontana L, Iavicoli I, Kaminski H, MacCalman L, Meyer-Plath A, Simonow B, van Tongeren M, Maria Todea A. (2017). Review of measurement techniques and methods for assessing personal exposure to airborne nanomaterials in workplaces. *Science of the Total Environment*. 603–604.
- [30] TSI Incorporated (2019). *TSI Particle Technology - Particle Instruments*.
- [31] TSI Incorporated. (2013). *Nanoscan SMPS - Nanoparticle Sizer - Theory of Operation*.

- [32] TSI Incorporated. (2012) *Capturing the particle size distribution of emissions during material testing and processing*.
- [33] TSI Incorporated. (2014). *Fundamentals of condensation particle counters (CPC) and scanning mobility particle sizer (SMPS) spectrometers*.
- [34] AEP - Associação Empresarial de Portugal. (2011). *Manual de Produção + Limpa da Indústria Cerâmica*.
- [35] Almeida T, Fernandes A, Marques E, Carneiro L, Carvalho M, Xavier V. (2016). *Guia de Seleção de Aparelhos de Proteção Respiratória Filtrantes*. Disponível em:
http://www1.ipq.pt/PT/Normalizacao/FerramentasPME/Documents/Guia_APR_Web.pdf. Acedido a 18 de Novembro 2019.

Anexos

Anexo I – Panorama internacional e europeu

Tabela 20 - Produção cerâmica mundial^[13]

Continentes	2013	%	2014	%	Var. A.A.	2015	%	Var. A.A.	2016	%	Var. A.A.	2017	%	Var. A.A.
Ásia	8.327	69,51%	8.717	70,14%	4,7%	8.649	69,41%	-0,8%	9.358	70,60%	8,2%	9.438	69,64%	0,9%
Europa	1.791	14,95%	1.762	14,18%	-1,6%	1.785	14,33%	1,3%	1.877	14,16%	5,2%	1.977	14,59%	5,3%
América	1.464	12,22%	1.502	12,09%	2,6%	1.523	12,22%	1,4%	1.444	10,89%	-5,2%	1.436	10,60%	-0,6%
África	393	3,28%	442	3,56%	12,5%	498	4,00%	12,7%	571	4,31%	14,7%	696	5,14%	21,9%
Oceânia	5	0,04%	5	0,04%	0,0%	5	0,04%	0,0%	5	0,04%	0,0%	5	0,04%	0,0%
Total	11.980		12.428		3,7%	12.460		0,3%	13.255		6,4%	13.552		2,2%

Tabela 21 – Principais países produtores^[13]

País	2013	2014	% A.A.	2015	% A.A.	2016	% A.A.	2017	% A.A.
China	5700	6000	5,3%	5970	-0,5%	6495	8,8%	6400	-1,5%
Índia	750	825	10,0%	850	3,0%	955	12,4%	1080	13,1%
Brasil	871	903	3,7%	899	-0,4%	792	-11,9%	790	-0,3%
Vietname	300	360	20,0%	440	22,2%	485	10,2%	560	15,5%
Espanha	420	425	1,2%	440	3,5%	492	11,8%	530	7,7%
Itália	363	382	5,2%	395	3,4%	416	5,3%	422	1,4%
Irão	500	410	-18,0%	300	-26,8%	340	13,3%	373	9,7%
Turquia	340	315	-7,4%	320	1,6%	330	3,1%	355	7,6%
Indonésia	390	420	7,7%	370	-11,9%	360	-2,7%	307	-14,7%
Egipto	200	220	10,0%	230	4,5%	250	8,7%	300	20,0%
Outros	2.146	2.168	1,0%	2.246	3,6%	2.340	4,2%	2.435	4,1%
Total	11.980	12.428	3,7%	12.460	0,3%	13.255	6,4%	13.552	2,2%

Tabela 22 – Principais países consumidores^[13]

País	2013	2014	% A.A.	2015	% A.A.	2016	% A.A.	2017	% A.A.
China	4556	4894	7,4%	4885	-0,2%	5475	12,1%	5498	0,4%
Índia	718	756	5,3%	763	0,9%	785	2,9%	760	-3,2%
Brasil	837	853	1,9%	816	-4,3%	706	-13,5%	708	0,3%
Vietname	251	310	23,5%	400	29,0%	412	3,0%	580	40,8%
Indonésia	360	407	13,1%	357	-12,3%	369	3,4%	336	-8,9%
EUA	230	231	0,4%	254	10,0%	274	7,9%	283	3,3%
Turquia	226	215	-4,9%	234	8,8%	241	3,0%	254	5,4%
Egito	170	190	11,8%	190	0,0%	215	13,2%	252	17,2%
México	187	197	5,3%	218	10,7%	235	7,8%	242	3,0%
Arábia Saudita	235	244	3,8%	263	7,8%	248	-5,7%	203	-18,1%
Outros	3.831	3.835	0,1%	3.900	1,7%	4.013	2,9%	4.154	3,5%
Total	11.601	12.132	4,6%	12.280	1,2%	12.973	5,6%	13.270	2,3%

Tabela 23 - Principais países exportadores^[13]

País	2013	2014	% A.A.	2015	% A.A.	2016	% A.A.	2017	% A.A.
China	1.148	1.110	-3,3%	1089	-1,9%	1025	-5,9%	908	-11,4%
Espanha	318	339	6,6%	378	11,5%	395	4,5%	407	3,0%
Itália	303	314	3,6%	316	0,6%	332	5,1%	338	1,8%
Índia	55	102	85,5%	134	31,4%	186	38,8%	228	22,6%
Irão	114	109	-4,4%	112	2,8%	126	12,5%	148	17,5%
Turquia	88	85	-3,4%	77	-9,4%	81	5,2%	93	14,8%
Brasil	63	69	9,5%	77	11,6%	94	22,1%	90	-4,3%
México	64	62	-3,1%	61	-1,6%	56	-8,2%	53	-5,4%
EAU	58	55	-5,2%	54	-1,8%	48	-11,1%	46	-4,2%
Polónia	48	42	-12,5%	42	0,0%	46	9,5%	45	-2,2%
Outros	411	418	1,7%	406	-2,9%	405	-0,2%	398	-1,7%
Total	2.670	2.705	1,3%	2.746	1,5%	2.794	1,7%	2.754	-1,4%

Tabela 24 - Principais países importadores

País	2013	2014	% A.A.	2015	% A.A.	2016	% A.A.	2017	% A.A.
EUA	165	164	-0,6%	179	9,1%	194	8,4%	202	4,1%
A. Saudita	170	156	-8,2%	188	20,5%	167	-11,2%	131	-21,6%
Iraque	121	102	-15,7%	106	3,9%	112	5,7%	129	15,2%
França	96	99	3,1%	99	0,0%	104	5,1%	112	7,7%
Alemanha	89	95	6,7%	100	5,3%	115	15,0%	109	-5,2%
Filipinas	46	53	15,2%	60	13,2%	75	25,0%	82	9,3%
Coreia S.	65	76	16,9%	72	-5,3%	75	4,2%	78	4,0%
Indonésia	36	46	27,8%	45	-2,2%	57	26,7%	64	12,3%
EAU	54	54	0,0%	64	18,5%	59	-7,8%	62	5,1%
Israel	48	44	-8,3%	52	18,2%	57	9,6%	58	1,8%
Outros	1.781	1.816	2,0%	1.781	-1,9%	1.779	-0,1%	1.727	-2,9%
Total	2.671	2.705	1,3%	2.746	1,5%	2.794	1,7%	2.754	-1,4%

Anexo II – Indústria cerâmica segundo a CAE. Fonte: INE

Divisão 23

Fabricação de outros produtos minerais não metálicos

Portugal

2017

CAE Rev.3	Designação	UAE n°	Vendas de Produtos			Prestação de Serviços	
			Total	Mercado Nacional	União Europeia		Países Terceiros
23200	Fabricação de produtos cerâmicos refratários	15	8.236.102	4.130.218	1.145.504	2.960.380	1.280.818
23310	Fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica	54	356.674.874	137.892.871	163.425.852	55.356.151	921.983
23320	Fabricação de tijolos, telhas e de outros produtos de cerâmicos para a construção	68	81.388.379	64.864.000	3.514.532	13.009.847	1.185.017
23410	Fabricação de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental	802	324.255.692	61.048.736	178.108.979	85.097.977	438.278
23420	Fabricação de artigos cerâmicos para usos sanitários	13	163.985.726	58.171.407	87.053.258	18.761.061	72.001
23430	Fabricação de isoladores e peças isolantes em cerâmica	2	...	...	...	...	...
23440	Fabricação de outros produtos em cerâmica para usos técnicos	4	8.956.761	3.259.030	4.657.150	1.040.581	125.953
23490	Fabricação de outros produtos cerâmicos não refratários	20	5.824.391	5.319.862	369.120	135.409	0

Divisão 23

Fabricação de outros produtos minerais não metálicos

Portugal

2016

CAE Rev.3	Designação	Unid. Ativ. Econ. n°	Vendas de Produtos				Prestação de Serviços
			Total	Mercado Nacional	União Europeia	Países Terceiros	
			Euros				
23200	Fabricação de produtos cerâmicos refratários	15	12.220.679	5.245.064	1.318.689	5.656.926	1.193.175
23310	Fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica	58	337.421.560	121.300.486	158.909.512	57.211.562	983.368
23320	Fabricação de tijolos, telhas e de outros produtos de cerâmicos para a construção	73	83.783.885	63.170.260	3.283.990	17.329.635	1.412.849
23410	Fabricação de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental	811	301.578.331	58.407.636	169.223.198	73.947.497	533.269
23420	Fabricação de artigos cerâmicos para usos sanitários	12	153.461.331	54.647.396	88.039.637	10.774.298	78.184
23430	Fabricação de isoladores e peças isolantes em cerâmica	2	...	...	...	...	...
23440	Fabricação de outros produtos em cerâmica para usos técnicos	3	6.547.455	1.744.646	3.835.268	967.541	600
23490	Fabricação de outros produtos cerâmicos não refratários	21	6.085.201	5.836.679	177.880	70.642	0

Divisão 23

Fabricação de outros produtos minerais não metálicos

Portugal

2015

CAE Rev.3	Designação	Unid. Ativ. Econ.	Vendas de Produtos				Prestação de Serviços
			Total	Mercado Nacional	União Europeia	Países Terceiros	
		nº	Euros				
23200	Fabricação de produtos cerâmicos refratários	15	11.426.790	3.885.844	1.388.509	6.152.437	1.076.442
23310	Fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica	51	320.507.588	113.018.091	142.751.281	64.738.216	1.018.057
23320	Fabricação de tijolos, telhas e de outros produtos de cerâmicos para a construção	67	83.121.858	62.164.549	3.452.384	17.504.925	1.283.020
23410	Fabricação de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental	786	282.096.313	60.289.579	159.877.737	61.928.997	695.110
23420	Fabricação de artigos cerâmicos para usos sanitários	12	148.250.280	56.284.019	79.916.992	12.049.269	244.353
23430	Fabricação de isoladores e peças isolantes em cerâmica	2	...	...	...	...	...
23440	Fabricação de outros produtos em cerâmica para usos técnicos	3	5.995.079	1.616.115	3.494.095	884.869	4.537
23490	Fabricação de outros produtos cerâmicos não refratários	20	6.092.009	5.799.075	207.868	85.066	0

Divisão 23

Fabricação de outros produtos minerais não metálicos

Portugal

2014

CAE Rev.3	Designação	Unid. Ativ. Econ.	Vendas de Produtos				Prestação de Serviços
		nº	Total	Mercado Nacional	União Europeia	Países Terceiros	
			Euros				
23200	Fabricação de produtos cerâmicos refratários	15	10.708.357	4.048.312	1.138.411	5.521.634	140.123
23310	Fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica	53	316.052.812	118.281.369	133.638.317	64.133.126	1.084.769
23320	Fabricação de tijolos, telhas e de outros produtos de cerâmicos para a construção	72	87.146.074	63.727.410	3.310.890	20.107.774	1.542.861
23410	Fabricação de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental	779	265.933.296	62.141.806	145.761.050	58.030.440	605.899
23420	Fabricação de artigos cerâmicos para usos sanitários	11	126.062.890	46.190.530	67.331.381	12.540.979	191.349
23430	Fabricação de isoladores e peças isolantes em cerâmica	...	...	...	...	...	...
23440	Fabricação de outros produtos em cerâmica para usos técnicos	4	5.473.318	1.624.632	3.043.107	805.579	13.039
23490	Fabricação de outros produtos cerâmicos não refratários	17	7.819.842	6.882.289	864.983	72.570	3.370

Divisão 23

Fabricação de outros produtos minerais não metálicos

Portugal

2013

CAE Rev.3	Designação	Unid. Ativ. Econ. n°	Vendas de Produtos				Prestação de Serviços
			Total	Mercado Nacional	União Europeia	Países Terceiros	
			Euros				
23200	Fabricação de produtos cerâmicos refratários	13	12 027 727	3 879 404	2 081 779	6 066 544	1 366 125
23310	Fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica	58	314 198	113 910	144 210	56 076 502	1 103 358
23320	Fabricação de tijolos, telhas e de outros produtos de cerâmicos para a construção	92	84 023 914	64 681 853	2 881 990	16 460 071	938 967
23410	Fabricação de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental	844	242 512	54 298 025	133 229	54 984 473	1 349 917
23420	Fabricação de artigos cerâmicos para usos sanitários	10	109 856	32 294 538	66 823 309	10 738 648	25 919
23430	Fabricação de isoladores e peças isolantes em cerâmica	2	...	...	...	...	...
23440	Fabricação de outros produtos em cerâmica para usos técnicos	7	4 822 664	1 088 645	3 355 566	378 453	0
23490	Fabricação de outros produtos cerâmicos não refratários	19	8 778 687	8 169 354	557 955	51 378	2 050

23200 - Fabricação de produtos cerâmicos refratários						
	Nacional	U. Europeia	Internacional	Serviços	Total	
2013	3.879.404 €	2.081.779 €	6.066.544 €	1.366.125 €	13.393.852 €	
2014	4.048.312 €	1.138.411 €	5.521.634 €	140.123 €	10.848.480 €	-19%
2015	3.885.844 €	1.388.509 €	6.152.437 €	1.076.442 €	12.503.232 €	15%
2016	5.245.064 €	1.318.689 €	5.656.926 €	1.193.175 €	13.413.854 €	7%
2017	4.130.218 €	1.145.504 €	2.960.380 €	1.280.818 €	9.516.920 €	-29%

23320 - Fabricação de tijolos, telhas e de outros produtos de cerâmicos para a construção						
	Nacional	U. Europeia	Internacional	Serviços	Total	
2013	64.681.853 €	2.881.990 €	16.460.071 €	938.967 €	84.962.881 €	
2014	63.727.410 €	3.310.890 €	20.107.774 €	1.542.861 €	88.688.935 €	4%
2015	62.164.549 €	3.452.384 €	17.504.925 €	1.283.020 €	84.404.878 €	-5%
2016	63.170.260 €	3.283.990 €	17.329.635 €	1.412.849 €	85.196.734 €	1%
2017	64.864.000 €	3.514.532 €	13.009.847 €	1.185.017 €	82.573.396 €	-3%

23420 - Fabricação de artigos cerâmicos para usos sanitários						
	Nacional	U. Europeia	Internacional	Serviços	Total	
2013	32.294.538 €	66.823.309 €	10.738.648 €	25.919 €	109.882.414 €	
2014	46.190.530 €	67.331.381 €	12.540.979 €	191.349 €	126.254.239 €	15%
2015	56.284.019 €	79.916.992 €	12.049.269 €	244.353 €	148.494.633 €	18%
2016	54.647.396 €	88.039.637 €	10.774.298 €	78.184 €	153.539.515 €	3%
2017	58.171.407 €	87.053.258 €	18.761.061 €	72.001 €	164.057.727 €	7%

23490 - Fabricação de outros produtos cerâmicos não refratários						
	Nacional	U. Europeia	Internacional	Serviços	Total	
2013	8.169.354 €	557.955 €	51.378 €	2.050 €	8.780.737 €	
2014	6.882.289 €	864.983 €	72.570 €	3.370 €	7.823.212 €	-11%
2015	5.799.075 €	207.868 €	85.066 €	- €	6.092.009 €	-22%
2016	5.836.679 €	177.880 €	70.642 €	- €	6.085.201 €	0%
2017	5.319.862 €	369.120 €	135.409 €	- €	5.824.391 €	-4%

23310 - Fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica						
	Nacional	U. Europeia	Internacional	Serviços	Total	
2013	113.910.853 €	144.210.776 €	56.076.502 €	1.103.358 €	315.301.489 €	
2014	118.281.369 €	133.638.317 €	64.133.126 €	1.084.769 €	317.137.581 €	1%
2015	113.018.091 €	142.751.281 €	64.738.216 €	1.018.057 €	321.525.645 €	1%
2016	121.300.486 €	158.909.512 €	57.211.562 €	983.368 €	338.404.928 €	5%
2017	137.892.871 €	163.425.852 €	55.356.151 €	921.983 €	357.596.857 €	6%

23410 - Fabricação de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental						
	Nacional	U. Europeia	Internacional	Serviços	Total	
2013	54.298.025 €	133.229.791 €	54.984.473 €	1.349.917 €	243.862.206 €	
2014	62.141.806 €	145.761.050 €	58.030.440 €	605.899 €	266.539.195 €	9%
2015	60.289.579 €	159.877.737 €	61.928.997 €	695.110 €	282.791.423 €	6%
2016	58.407.636 €	169.223.198 €	73.947.497 €	533.269 €	302.111.600 €	7%
2017	61.048.736 €	178.108.979 €	85.097.977 €	438.278 €	324.693.970 €	7%

23440 - Fabricação de outros produtos em cerâmica para usos técnicos						
	Nacional	U. Europeia	Internacional	Serviços	Total	
2013	1.088.645 €	3.355.566 €	378.453 €	- €	4.822.664 €	
2014	1.624.632 €	3.043.107 €	805.579 €	13.039 €	5.486.357 €	14%
2015	1.616.115 €	3.494.095 €	884.869 €	4.537 €	5.999.616 €	9%
2016	1.744.646 €	3.835.268 €	967.541 €	600 €	6.548.055 €	9%
2017	3.259.030 €	4.657.150 €	1.040.581 €	125.953 €	9.082.714 €	39%

Anexo III - Comércio de produtos cerâmicos – ano de 2017

Tabela 25 - Mercados de exportação de produtos cerâmicos (valores em euros)^[16]

Rank 2017	Mercados de Exportação	2016 JAN-DEZ	2017 JAN-DEZ	Variação %	Tendência
	Mundo	701.385.512	714.400.779	1,9%	↗
	Intra União Europeia	492.634.188	513.896.458	4,3%	↗
	Extra União Europeia	208.751.324	200.504.321	-4,0%	↘
1	França	142.819.652	141.733.207	-0,8%	↘
2	Espanha	111.338.412	116.652.189	4,8%	↗
3	Estados Unidos	67.417.426	70.606.333	4,7%	↗
4	Alemanha	51.185.893	56.666.623	10,7%	↗
5	Reino Unido	50.926.991	55.723.099	9,4%	↗
6	Países Baixos	30.554.026	36.684.581	20,1%	↗
7	Itália	30.013.052	31.772.389	5,9%	↗
8	Angola	16.574.267	18.509.314	11,7%	↗
9	Suécia	18.766.831	17.939.279	-4,4%	↘
10	Bélgica	14.773.256	16.430.299	11,2%	↗
11	Dinamarca	11.173.178	9.551.701	-14,5%	↘
12	Finlândia	7.981.854	9.500.737	19,0%	↗
13	Argélia	15.594.485	8.406.275	-46,1%	↘
14	Suíça	7.698.898	7.502.532	-2,6%	↘
15	Líbano	8.348.272	7.211.728	-13,6%	↘
16	Canadá	4.502.694	6.755.664	50,0%	↗
17	Marrocos	7.163.888	6.105.270	-14,8%	↘
18	Noruega	6.726.048	6.094.150	-9,4%	↘
19	Emiratos Árabes Unidos	6.314.576	5.360.616	-15,1%	↘
20	Cabo Verde	6.382.368	4.945.225	-22,5%	↘
	Outros mercados	85.129.445	80.249.568	-5,7%	↘