



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ADAPTAÇÃO DO MÉTODO MIAR PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS DA EXPOSIÇÃO A POEIRAS DE MICRO E NANOPLÁSTICOS DE PET

Pedro Miguel Sampaio da Silva

Orientador: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)
Arguente: Professor Doutor Paulo Antero Oliveira (Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico do Porto)
Presidente do Júri: Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

2022



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654



Telephone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que tornaram possível a elaboração deste trabalho, desde professores, colegas e família.

Com especial agradecimento o Professor João dos Santos Baptista.

E à Linda, sempre a minha parceira!

A todos muito obrigado.

DESTAQUES

1. Os seres humanos são expostos a microplásticos por ingestão, inalação e absorção;
2. Os trabalhadores em ambientes com poeiras de plástico estão muito mais expostos que a restante população;
3. Há impactos relatados nos sistemas imunológico, respiratório, gastrointestinal e hepático;
4. Os efeitos e os órgãos-alvo dependem do tipo, tamanho, formas e quantidade de plástico;
5. As metodologias atuais de avaliação de riscos não são ajustadas à gravidade da exposição.

HIGHLIGHTS

1. Humans are exposed to microplastics by ingestion, inhalation and absorption;
2. Workers in environments with plastic dust are much more exposed than the rest of the population;
3. There are reported impacts on the immune, respiratory, gastrointestinal and liver systems;
4. Effects and target organs depend on the type, size, shape and amount of plastic;
5. Current risk assessment methodologies are not adjusted to the severity of exposure.

RESUMO

A segurança dos processos e a avaliação do risco é essencial na indústria contemporânea para evitar doenças profissionais e acidentes de trabalho. A indústria é umas das principais fontes de emissão de partículas e os trabalhadores das indústrias onde ocorrem atividades de trituração de plásticos e têxtil com estes materiais correm maior risco, pois estão expostos a uma quantidade considerável de poeira de microplásticos (MP) que pode afetar a sua saúde. Os MP e nanoplásticos (NP) são contaminantes emergentes, persistentes, e de grande preocupação ecotoxicológica para humanos. A ingestão, inalação e contatos dérmicos são as principais vias de exposição de MP e NP como consequências graves para a saúde.

O objetivo deste trabalho passa por propor a adaptação de um método de avaliação de risco existente, Método Integrado de Avaliação de Riscos (MIAR) para a avaliação de riscos da exposição a poeiras de micro e nanoplásticos de Polietileno tereftalato (PET). A pertinência deste tema no âmbito da segurança e higiene ocupacionais centra-se sobretudo na melhoria de uma ferramenta de avaliação mais adequada ao cenário acima referido para apoio à decisão, com base numa escolha informada, e posteriores ações. Este tema é bastante relevante dada o contexto empresarial, ligado à têxtil e com grande desenvolvimento e crescimento na área dos plásticos.

Com a realização deste estudo pretende-se redefinir uma metodologia para a identificação de perigos, avaliação e controlo de riscos associados às atividades industriais relacionadas com a exposição a estas poeiras.

Embora atualmente não haja evidências de risco generalizado, concreto, à saúde humana, há necessidade de entender a exposição humana, especialmente a ocupacional, dado que é uma exposição diferente da ambiental. Existem muitos estudos e trabalhos publicados, mas a esmagadora maioria incide nos efeitos na saúde de animais, maioritariamente do meio aquático, também vemos surgir muitos estudos da contaminação atmosférica pelos MP. Há muitos estudos dos efeitos sobre plásticos como PS e PVC, relativamente ao PET o mesmo não se verifica. Não há estudos com metodologias de avaliação de riscos ocupacionais próprias para estes temas.

O método atual MIAR coloca no mesmo patamar de gravidade, postos de trabalho onde poderemos ter mais ou menos partículas, não entrando em conta com a quantidade de poeiras presentes.

Foi pensada uma nova tabela de classificação da gravidade e com ela foi possível avaliar as situações de forma mais assertiva. É visível que o método MIAR não se adequa a este contexto de doenças profissionais como se adequa à prevenção de acidentes de trabalho.

Este método depende de um apoio laboratorial para obter os dados necessários à classificação.

A falta de limites legais para NP e conhecimento claro sobre elas em termos de afeção da saúde, são uma lacuna importantes.

Palavras-chave: microplásticos, avaliação de riscos, exposição ocupacional, poeiras, danos na saúde.

ABSTRACT

Process safety and risk assessment is essential in contemporary industry to prevent occupational diseases and work accidents. Industry is one of the main sources of particulate matter emissions and workers in industries where plastic and textile grinding activities take place with these materials are at greater risk, as they are exposed to a considerable amount of microplastics (MP) dust that can affect your health. MP and nanoplastics (NP) are emerging, persistent contaminants of great ecotoxicological concern for humans. Ingestion, inhalation and dermal contacts are the main routes of exposure of PM and NP as serious health consequences.

The objective of this work is to propose the adaptation of an existing risk assessment method, the Integrated Risk Management Method (IRMM) for the assessment of risks of exposure to dust from micro and nanoplastics of Polyethylene terephthalate (PET). The relevance of this topic in the scope of occupational safety and hygiene is mainly focused on improving an assessment tool that is more appropriate to the above-mentioned scenario to support the decision, based on an informed choice, and subsequent actions. This topic is quite relevant given the business context, linked to textiles and with great development and growth in the plastics area.

With this study, we intend to redefine a methodology for the identification of hazards, assessment and control of risks associated with industrial activities related to exposure to these dusts.

Although there is currently no evidence of a generalized, concrete risk to human health, there is a need to understand human exposure, especially occupational exposure, given that it is a different exposure to environmental exposure. There are many studies and published works, but the overwhelming majority focus on the effects on the health of animals, mostly in the aquatic environment, we also see many studies of atmospheric contamination by MP. There are many studies of the effects on plastics such as PS and PVC, in relation to PET the same is not true. There are no studies with specific occupational risk assessment methodologies for these topics.

The current IRMM method places at the same level of severity, workplaces where we can have more or less particles, not taking into account the amount of dust present.

A new severity classification table was designed and with it it was possible to assess situations more assertively. It is clear that the IRMM method is not suitable for this context of occupational diseases as it is for the prevention of accidents at work.

This method depends on laboratory support to obtain the data necessary for classification.

The lack of legal limits for NP and clear knowledge about them in terms of health condition is an important gap.

Keywords: microplastics, risk assessment, occupational exposure, dust, health impact.

CONTEÚDOS

1	INTRODUÇÃO.....	3
2	FUNDAMENTAÇÃO DO TRABALHO	7
2.1	Apresentação da entidade onde a Dissertação foi realizada	7
2.2	Organização do fluxo produtivo	7
2.3	Conceitos básicos de ordem tecnológica	10
2.3.1	Toxicidade dos plásticos	10
2.3.2	Efeitos na Saúde	14
2.3.3	Vias de exposição.....	15
2.3.4	Metabolismo e excreção.....	17
2.3.5	Estudos conduzidos no contexto ocupacional.....	18
2.3.6	Comparação com outras partículas não plásticas	18
2.3.7	Método de avaliação de riscos	23
2.4	Conhecimento Científico.....	26
2.5	Objetivos da Dissertação	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1	Materiais e Métodos	35
3.1.1	Equipamentos.....	35
3.1.2	Metodologia	36
3.2	Adaptação do modelo de avaliação de riscos	38
4	RESULTADOS	43
4.1	Resultados da monitorização	43
4.2	Resultado da nova metodologia.....	45
5	DISCUSSÃO	49
5.1	Interpretação dos resultados das medições	49
5.2	Comparação dos resultados das metodologias MIAR e MIAR adaptada	50
5.3	Limitações e Vieses	50
6	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	53
6.1	Conclusões.....	53
6.2	Perspetivas Futuras	54

7	BIBLIOGRAFIA.....	55
	ANEXOS	1
	Anexo I: Integrated Risk Management Method – IRMM ^(stone)	1
	Anexo II: Relatório da colheita de poeiras respiráveis e totais	2

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos, dimensões e formas de plásticos (Nell Hirt e Mathilde Body-Malapel, 2020) ..	4
Figura 2 - Conceito de efeitos na saúde humana de MP/NP (Sangkham, S. et al., 2022)	5
Figura 3 - Esquema do processo produtivo de triagem mecânica.....	8
Figura 4 - Esquema do restante processo produtivo	8
Figura 5 - Vários tipos de <i>flakes</i> produzidos.....	9
Figura 6 - Processo bottle to bottle.....	10
Figura 7 – Ciclo de degradação dos plásticos e seus tamanhos. (Batoool, I. et al., 2021).....	11
Figura 8 - Fatores que aumentam a citotoxicidade dos MNP. (Banerjee, A. e Shelper, W. 2021)	14
Figura 9 - vias de exposição de MP e NP e seu potencial risco para a saúde humana (Sana, S. et al., 2020).....	16
Figura 10 - Rotas potenciais de exposição e vias de toxicidade para MP no corpo humano (Prata, J. et al., 2020)	17
Figura 11 - Equipamento de granulometria SCI AS200	44
Figura 12 - Equipamento de cromatografia gasosa Agilent 8800/5977 GC System	45

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos detritos de plástico com base no seu tamanho e forme no ambiente	11
Tabela 2 - Estudos de perigo e exposição ocupacional e medições de poeiras disponíveis	21
Tabela 3 - Parâmetros para avaliação da Gravidade	24
Tabela 4 - Parâmetros para avaliação da Extensão	24
Tabela 5 - Parâmetros para avaliação da Frequência	24
Tabela 6 - Parâmetros para avaliação da Desempenho dos sistemas	25
Tabela 7 - Níveis de Risco / Níveis de Risco Ponderado	25
Tabela 8 - Critérios de priorização da intervenção	26
Tabela 9 - Tabela de Níveis de Priorização.....	26
Tabela 10 - Artigos selecionados com relevância para o tema	29
Tabela 11 - Caraterização do ar ambiente de trabalho	37
Tabela 12 - Novos parâmetros para avaliação da Gravidade	38
Tabela 13 – Dados da amostragem para poeiras respiráveis.....	43
Tabela 14 - Dados da amostragem para poeiras totais	43
Tabela 15 - Resultados - Poeiras Respiráveis	43
Tabela 16 - Resultados - Poeiras Totais	44
Tabela 17 – Comparação Método MIAR vs MIAR adaptado (caso real).....	45
Tabela 18 – Comparação Método MIAR vs MIAR adaptado (simulação A).....	46
Tabela 19 – Comparação Método MIAR vs MIAR adaptado (simulação B).....	46
Tabela 20 – Comparação Método MIAR vs MIAR adaptado (simulação C).....	47

SIGLAS

DPOC – Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica

EFSA – Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos

EPI – Equipamentos de Proteção Individual

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

IRMM – Integrated Risk Management Method

MCP – Macroplásticos

MESHO – Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

MIAR – Método Integrado de Avaliação de Riscos

MP – Microplásticos

MNP – Micro nanoplásticos

MSP – Mesoplásticos

NP – Nanoplásticos

PC – Policarbonato

PE – Polietileno

PET – Polietileno tereftalato

PMMA – Poli metil metacrilato

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno,

PVC – Policloreto de vinila,

PU – Poliuretano

VLE - MP – Valor limite de exposição - média ponderada

GLOSSÁRIO

Avaliação de riscos: Processo de avaliação do(s) risco(s), resultante (s) de um perigo(s), tendo em consideração a adequação de quaisquer controlos já existentes e de decisão sobre se o risco é ou não aceitável. (OHSAS 18001:2007)

Gravidade: Medida da magnitude da consequência das lesões e afeções da saúde, causadas no indivíduo;

Perigo: a propriedade intrínseca de uma instalação, atividade, equipamento, um agente ou outro componente material do trabalho com potencial para provocar dano (Lei 102/2009 de 10 de setembro); fonte com potencial para causar lesões e problemas de saúde (efeito adverso sobre a condição física, mental ou cognitiva de uma pessoa) (ISO 45001:2018);

Poeiras (fração respirável): Fração de Poeiras, definida segundo o critério do "British Medical Research Council" e colhida depois de passagem por um seletor de granulometrias. fração das partículas totais com um diâmetro equivalente não superior a 5µm. Corresponde à fração pneumoconiótica das poeiras totais.

Poeiras totais: Total de poeiras, respiráveis e não respiráveis. Todas as partículas que se encontram em suspensão.

Risco: a probabilidade de concretização do dano em função das condições de utilização, exposição ou interação do componente material do trabalho que apresente perigo (Lei 102/2009, de 10 de setembro);

Risco aceitável: risco que foi reduzido a um nível que possa ser tolerado pela empresa, tomando em atenção as suas obrigações legais e a sua própria política de sistema de gestão; (OHSAS 18001:2007)

Valor limite de exposição – média ponderada: concentração média ponderada para um dia de trabalho de 8 horas e uma semana de 40 horas, à qual se considera que praticamente todos os trabalhadores possam estar expostos, dia após dia, sem efeitos adversos para a saúde. (NP 1796, de 2014)

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO

A promoção da segurança e saúde no trabalho é um valor fundamental no desenvolvimento sustentável das organizações para garantir um crescimento económico inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho digno para todos. (ONU, 2015)

A segurança dos processos e a avaliação do risco é essencial na indústria contemporânea para evitar doenças profissionais e acidentes de trabalho, que resultem em fatalidades, perdas de ativos, limitações, custos associados, perdas de produtividade e reputação. Esta tem sido uma área de estudo e desenvolvimento por muitas décadas em todo o mundo.

A produção e o uso do plástico vêm crescendo rapidamente desde os anos 50, devido às suas excelentes propriedades (Zhang, Q. et al., 2020). Os produtos plásticos são duráveis, leves, resistentes à degradação, fortes, economicamente baratos, versáteis, isolantes ao calor e à eletricidade. Por estas características estes produtos têm sido usados globalmente. (Sangkham, S. et al., 2022)

Com a evolução nos materiais de embalagem, que aumentaram a vida útil e reduziram o desperdício dos alimentos, os plásticos contribuíram muito para a segurança alimentar. Também na saúde pública, suprimentos médicos de uso único como: máscaras faciais, seringas e tubos médicos ajudaram a reduzir a propagação de doenças infecciosas. Os plásticos revelaram-se assim um material essencial para os seres humanos. (Prata, J.C. et al., 2021). Da indústria à saúde, cada atividade humana envolve o uso de pelo menos um objeto plástico ou parte dele (Conti, I. et al., 2021).

Este uso diário generalizado e a má gestão destes resíduos, levam à contaminação ambiental por plásticos pós-consumo e consequente exposição humana aos Microplásticos (MP). (Prata, J.C. et al., 2021).

Tal como na construção, tráfego rodoviário e queima de biomassa, a indústria é umas das principais fontes de emissão de material particulado (Khamraev, K. et al., 2020). O polipropileno (PP) e o Polietileno tereftalato (PET), são muito usados na fabricação de têxteis, papel de embalagem e produtos reciclados (Batoool, I. et al., 2021). Os trabalhadores das indústrias onde ocorrem atividades de trituração de plásticos e têxtil com estes materiais correm maior risco, pois estão expostos a uma quantidade considerável de poeira de MP que pode afetar a sua saúde.

Campanale, C. et al., (2020) cita Frias, J. e Nash, R. (2018) definindo os MP como “partículas sólidas sintéticas ou matrizes poliméricas, com forma regular ou irregular e com tamanho variando de 1µm a 5 mm, de origem primária ou secundária de fabricação, que são insolúveis em água”. Na figura 1 podem ser verificadas as características dos plásticos.

As partículas de tamanho $< 1 \mu\text{m}$ são especificadas como nanoplásticos (NP). (Sangkham, S. et al., 2022) e (Zarus, G. et al., 2021)

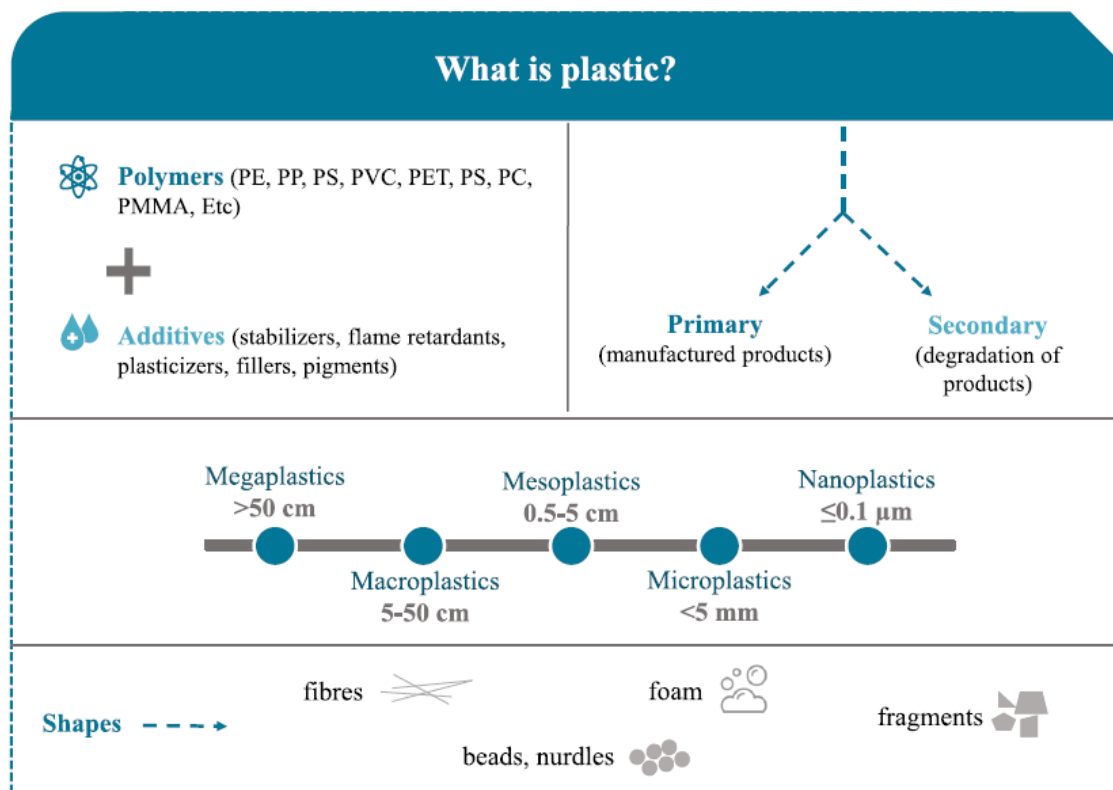


Figura 1 – Tipos, dimensões e formas de plásticos (Nell Hirt e Mathilde Body-Malapel, 2020)

Os MP e NP são contaminantes ambientais emergentes, persistentes, e de grande preocupação ecotoxicológica para humanos. As composições físicas e químicas das MP determinam principalmente seus riscos ecotoxicológicos. No entanto, o conhecimento abrangente sobre as vias de exposição e os efeitos tóxicos na saúde humana não é totalmente conhecido. (Sangkham, S. et al., 2022)

Sangkham (2022) indica que a ingestão, inalação e contatos dérmicos são as principais vias de exposição de MP e NP. Além disso, estresse oxidativo, citotoxicidade, danos ao DNA, inflamação, resposta imune, neurotoxicidade, distúrbios metabólicos e, finalmente, afetando os sistemas digestivo, imunológico, respiratório, reprodutivo e nervoso, como consequências graves para a saúde, como ilustrado na figura 2.

A exposição de seres humanos a MP e NP é um problema reconhecido como um risco potencial à saúde por cientistas, autoridades, políticos, organizações não governamentais e o público em geral. (Brachner, A. et al., 2020)

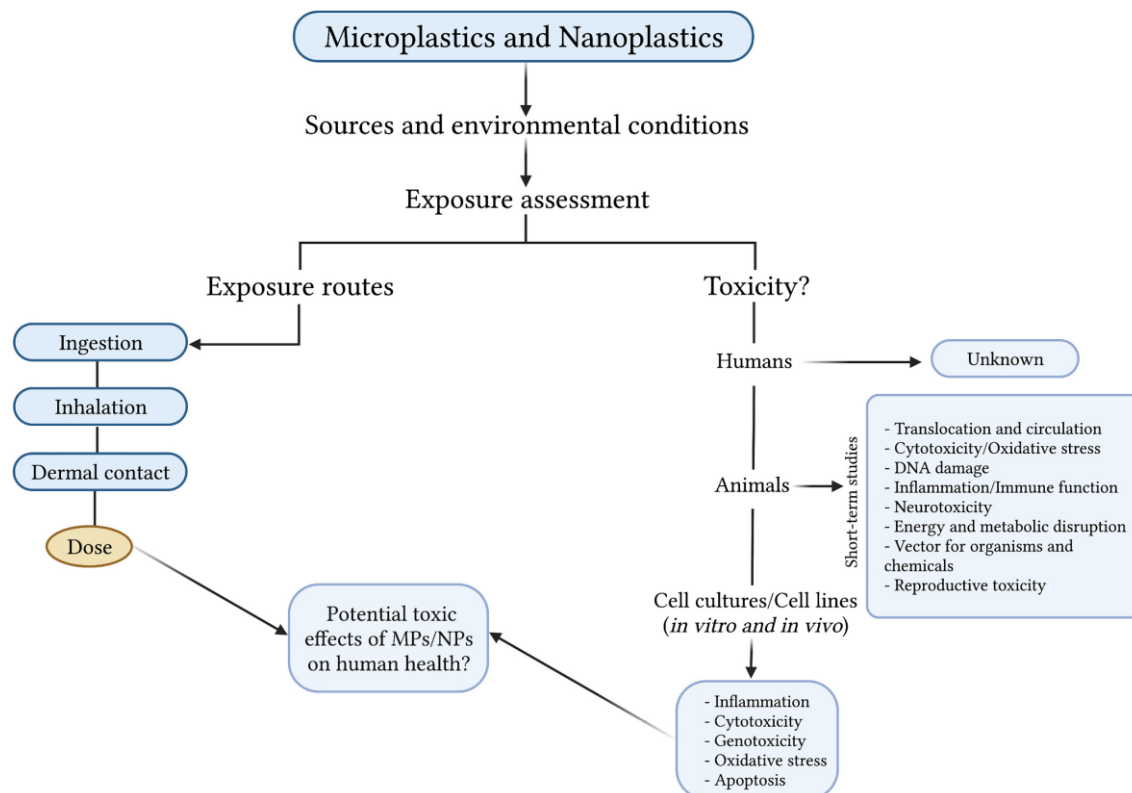


Figura 2 - Conceito de efeitos na saúde humana de MP/NP (Sangkham, S. et al., 2022)

A gestão do risco deve ser customizada de acordo com os contextos externo e interno da organização. Neste âmbito surgiu a oportunidade de realização da presente dissertação “Adaptação do método MIAR para avaliação de riscos da exposição a poeiras de micro e nanoplásticos de PET”.

Devido à limitação contínua no tamanho detetável, métodos de análise, faltas de amostragem e procedimentos analíticos padronizados, poucos estudos foram realizados em microplásticos transportados pelo ar (Munyanenza, J. et al., 2022)

A pertinência deste tema no âmbito da segurança e higiene ocupacionais centra-se sobretudo na melhoria de uma ferramenta de avaliação mais adequada ao cenário acima referido para apoio à decisão, com base numa escolha informada, e posteriores ações. O elevado número de empresas têxteis e trabalhar com PET, bem como o crescente número de empresas na área dos plásticos torne este tema pertinente.

Com a realização deste estudo pretende-se redefinir uma metodologia para a identificação de perigos, avaliação e controlo de riscos associados às atividades industriais relacionadas com a exposição a estas poeiras.

O presente trabalho é composto por sete capítulos divididos em duas partes, na primeira parte temos a introdução, fundamentação do trabalho, materiais e métodos, onde é feita a introdução ao tema com o enquadramento no qual se insere, no segundo capítulo a fundamentação do trabalho com a apresentação do local de estudo e fluxo produtivo, bem como a apresentação da toxicidade dos plásticos e seus efeitos na saúde, as vias de exposição, metabolismo e excreção, estudos feitos

neste âmbito e a apresentação da metodologia de riscos MIAR. A primeira parte termina com os materiais e métodos utilizados para a elaboração deste trabalho. Na segunda parte são apresentados os resultados obtidos, a discussão dos mesmos e as conclusões e perspectivas futuras, terminando com a bibliografia.

2 FUNDAMENTAÇÃO DO TRABALHO

2.1 Apresentação da entidade onde a Dissertação foi realizada

A empresa produz e exporta *flakes* de PET reciclado de elevada qualidade para fabrico de plástico reciclado de uso alimentar e não alimentar. Através da valorização de embalagens de PET pós-consumo por reciclagem mecânica, o produto pode ser utilizados em aplicações mais inovadoras: blister, contentores multiestrato, produtos para a indústria de construção, automóvel ou têxtil.

A empresa lidera em *flakes* de PET reciclado, atualmente, separa, tritura e lava 47,5 mil toneladas de plástico pós-consumo por ano, transformando-o em matéria-prima para toda a indústria de plásticos, desenvolvendo uma atividade vital para a economia verde, contribuindo para um planeta sustentável e contribuindo para a economia circular. E redução do impacto ambiental e redução das emissões de CO₂.

2.2 Organização do fluxo produtivo

De forma muito sucinta, o fluxo produtivo pode ser explicado neste ponto. Todas as matérias-primas utilizadas, reunidas em lotes, são identificadas sequencialmente para permitir a sua rastreabilidade ao longo de todo o processo de reciclagem:

Triagem

O plano de produção implementado determina quais as origens e tipologias de embalagens de PET que entram no ciclo produtivo: numa primeira fase são seleccionadas automaticamente e, numa segunda fase, são seleccionadas com apoio humano, no que se intitula de processo de triagem, como ilustrado na figura 3.

Lavagem

Após a triagem das embalagens, o material é moído em pequenas frações, entrando depois num complexo e contínuo processo de lavagem. Após esta é novamente moído em dimensões mais pequenas.

Descontaminação

O material passa por um novo sistema de separação ótico, onde são eliminados todos os contaminantes, que possam existir, garantindo assim um elevado padrão de qualidade do produto final. O processo de produção para contacto alimentar requer o uso de equipamento específico de descontaminação.

Ensaque

O Produto final (figura 5) é embalado, pesado e devidamente etiquetado.

Armazenagem

O produto final e subprodutos são armazenados e/ou expedido para o cliente.

Estas restantes fases podem ser observadas na figura 4.

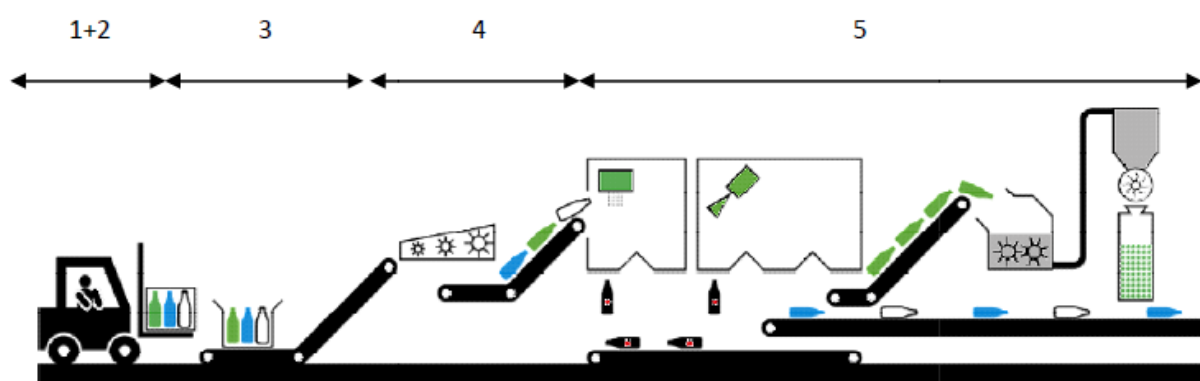


Figura 3 - Esquema do processo produtivo de triagem mecânica

Legenda:

1. Os fardos de garrafas são descarregados. Os lotes são identificados e armazenado separadamente;
2. O produto é armazenado e efetuado o planeamento da produção;
3. Os fardos de garrafas de PET são pesados e inseridos no fluxo produtivo;
4. Os rótulos são removidos mecanicamente;
5. As garrafas são triadas por sistemas óticos por tipo de plástico e cor, os rejeitados são extraídos e encaminhados para resíduo;
- 6.

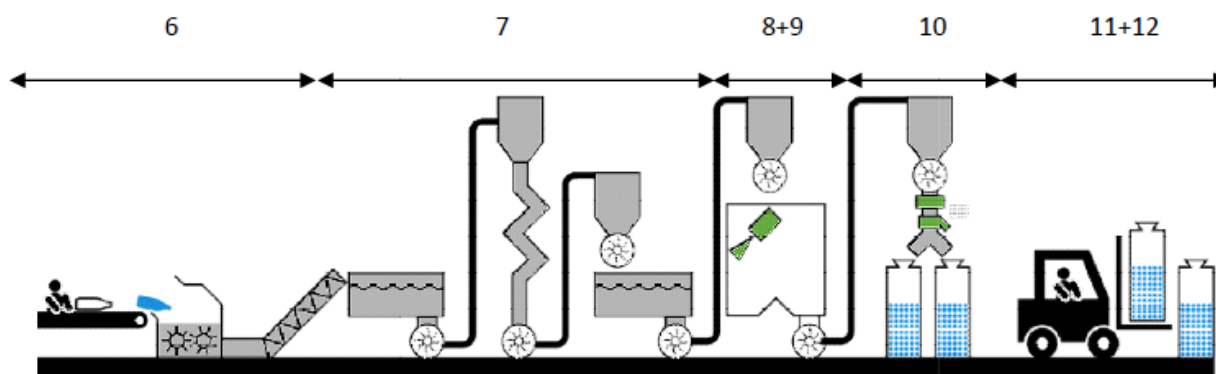


Figura 4 - Esquema do restante processo produtivo

Legenda:

7. As garrafas triadas são trituradas;
8. Os *flakes* são lavados a frio, separados dos contaminantes, lavados a quente com detergentes, separados uma segunda vez dos contaminantes.
9. Os *flakes* são misturados em silos de homogeneização;
10. Os *flakes* são novamente triados por seletores óticos e os metais, cores não conformes e plásticos não pretendidos, que não foram removidos anteriormente, são rejeitados;
11. O produto resultante deste processo é embalado, pesado, etiquetado e armazenado;
12. Os resíduos plásticos, metálicos e subprodutos são extraídos e embalados;
13. O produto é armazenado e expedido.



Figura 5 - Vários tipos de *flakes* produzidos

O PET, foi inicialmente utilizado sob a forma de fibra têxtil e embalagens, mas hoje é essencialmente valorizado em embalagens alimentares e farmacêuticas. Atualmente, o PET permite a criação de garrafas; embalagens diversas; placas para estufas; fios de pesca; matrículas para automóveis; malhas polares; fibras têxteis (poliéster); fios de vassouras, entre muitas outras aplicações. O desenvolvimento de componentes para automóveis e de soluções de iluminação são ainda duas das áreas em crescente expansão com o recurso a este plástico. Em suma, o PET é uma forma de poliéster transparente, leve, forte, que permite a criação de materiais e embalagens seguras, inquebráveis e recicláveis.

O conceito "Bottle to bottle" (figura 6) faz parte de uma perspetiva de economia circular para as garrafas de plástico em Portugal, tem como principal objetivo o aumento da reciclagem das

garrafas de plástico, através de soluções inovadoras neste sector e de equipamentos e tecnologias modernas que permitirão a reintrodução de uma matéria-prima de elevada qualidade (PET *flakes* reciclados), para produção de novas garrafas de plástico.



Figura 6 - Processo bottle to bottle

Este produto será utilizado na produção de novas garrafas de plástico, diminuindo a percentagem de plástico cuja reciclagem termina em *downcycling* e a percentagem de plástico que termina nos oceanos.

2.3 Conceitos básicos de ordem tecnológica

2.3.1 Toxicidade dos plásticos

A fabricação de plástico disparou nos últimos 70 anos, de 1,7 milhão de toneladas na década de 1950 (Sangkham, S. et al., 2022) (Enyoh, C. et al., 2019) para mais de 359 milhões de toneladas em 2018 (Prata, J.C. et al., 2021). A produção de plástico em todo o mundo continua a aumentar anualmente em aproximadamente 3% e o uso generalizado de produtos plásticos tem gerado grandes quantidades de resíduos plásticos. Resultados recentes preveem que os resíduos plásticos globais triplicarão de 2015 a 2060 (Zhang, Q. et al., 2020).

A distribuição e abundância de microplásticos no mundo são tão extensas que muitos cientistas os utilizam como indicadores-chave do período recente e contemporâneo definindo uma nova época histórica: o Plasticeno. (Campanale, C. et al., 2020)

Wright e Kelly (2017) citado por Amato-Lourenço, L. et al., (2020) refere que na indústria, os processos de corte e retificação de polímeros podem contribuir para a formação e libertação dessas partículas no ar. O que revela um potencial risco para os trabalhadores expostos a estas atividades.

Os plásticos são classificados como macroplásticos (>25 mm), mesoplásticos (5–25 mm), microplásticos (<5 mm) e nanoplásticos (0,1 µm) (Ng et al., 2018). (Ebrahimi, P. et al., 2021)

Os MP são partículas de diâmetro entre 0,1 μm e 5 mm. (Sánchez, A. et al., 2022) (Wu, P. et al., 2022) (Zhanga, Y. et al., 2020) (Batool, I. et al., 2021) (Prata, J.C. et al., 2021) (Munyaneza, J. et al., 2022) (Sangkham, S. et al., 2022) (Wu, P. et al., 2022) (Zarus, G. et al., 2021). Os MP podem ser chamados de MP primários ou MP secundários. (figura 7)

Os primeiros são provenientes de produção intencional, sendo adicionados propositadamente como, por exemplo, microsferas, usadas em exfoliantes, pastas dentais, cosméticos, agentes de limpeza, entre outros, podendo ser libertados tanto de forma indireta quanto direta no meio ambiente.

Os secundários são originados pela fragmentação ou degradação de peças plásticas maiores, sob a influência de processos químicos, biológicos e físicos, por exemplo, garrafas, roupas, pneus, entre outros. (Prata, J.C. et al., 2021) e (Munyaneza, J. et al., 2022) e (Wu, P. et al., 2022) (Sangkham, S. et al., 2022).

Tabela 1 - Classificação dos detritos de plástico com base no seu tamanho e forme no ambiente

Categorias dos fragmentos plásticos	Tamanho do diâmetro	Formas
Nanoplásticos (NP)	1 – 1000 nm e < 20 μm	fragmentos, <i>pellets</i> , <i>nurdles</i> , microesferas, contas esféricas, contas irregulares, grânulos, espuma, fibras e fragmentos comerciais (aparência plástica derretida)
Microplásticos (MP)	1 – 5 mm (0.1 – 0.5 cm)	
Mesoplásticos (MSP)	5 – 25 mm (0.5 – 2.5 cm)	
Macroplásticos (MCP)	> 25 mm (> 2.5 cm)	

Fonte: (Sangkham, S. et al., 2022)

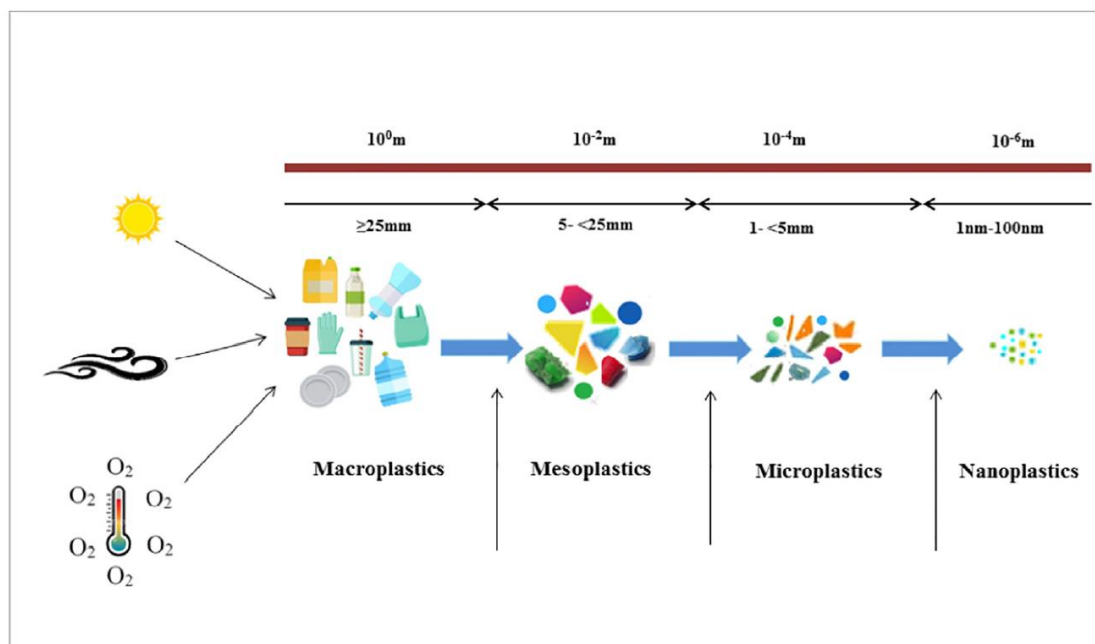


Figura 7 – Ciclo de degradação dos plásticos e seus tamanhos. (Batool, I. et al., 2021)

O risco para os ecossistemas e para a saúde humana, é uma das principais preocupações da poluição por MP. Contudo, ainda há muita incerteza associada a esta questão. É necessário obter mais dados relativos à exposição aos MP e os efeitos da mesma, para podermos avaliar corretamente os riscos para a saúde humana.

Nos últimos anos, essa exposição humana perpétua e crescente ganhou atenção científica e pública, sendo reconhecida por autoridades políticas como a Comissão Europeia, a Agência Europeia de Produtos Químicos e a Organização Mundial da Saúde, como perigo potencial para a saúde do homem e da vida selvagem. (Brachner, A. et al., 2020)

Os efeitos tóxicos de MPs e NPs são determinados por suas características e pela fonte de produção, ou seja, fontes sintéticas ou naturais. (Sangkham, S. et al., 2022)

Podemos dividir os efeitos adversos aos organismos em duas categorias: efeitos físicos e efeitos químicos.

Os efeitos físicos estão relacionados com o tamanho, a forma e a concentração de partículas de microplásticos, enquanto que os efeitos químicos estão relacionados com produtos químicos perigosos associados aos MP.

Efeitos físicos

Vários parâmetros, incluindo tamanho, forma, solubilidade, carga de superfície, reação de superfície e estrutura de banda de energia, estão associados à potencial toxicidade relevante para células e tecidos das partículas circulantes (Ebrahimi, P. et al., 2021)

As propriedades das partículas, como tamanho e densidade, influenciarão sua deposição no sistema respiratório, com partículas menos densas e menores atingindo mais profundamente os pulmões. (Prata, J. et al., 2021)

Tamanho

Relativamente ao tamanho, Ebrahimi, P. et al., (2021) admite que os MP menores sejam mais reativos e tóxicos. Os impactos dos MPs na saúde humana são desconhecidos, mas MP finos inalados ou ingeridos podem ser translocados para o sistema circulatório e outros órgãos (Wright e Kelly, 2017). Banerjee, A. e Shelver, W. (2021) citam (Florence et al., 1995) dizendo que as células geralmente internalizam partículas pequenas em maior extensão em comparação com as grandes. Os mesmos autores afirmam que as partículas menores podem ser absorvidas por processos endocíticos ou passivos, mas partículas maiores geralmente requerem fagocitose por células especializadas. Berico et al. (1997) e Wang et al. (2009) afirmam que os diferentes tamanhos têm a capacidade de impactar a saúde humana de forma diferente e com gravidades variadas. (Khamraev, K. et al., 2020) Devido ao seu potencial para entrar no trato respiratório inferior, especialmente partículas $< 10 \mu\text{m}$ são toxicologicamente relevantes (Wieland, S. et al., 2021). Quanto menor for o diâmetro do MP, maior o risco à saúde que ele representa, dado que as partículas mais finas podem transportar substâncias tóxicas mais profundamente no sistema

respiratório humano, por exemplo, PM menores como PM_{2,5} (2,5 µm) podem atingir o sistema circulatório através dos pulmões. (Khamraev, K. et al., 2020)

Forma

A exposição a MP no ambiente de trabalho é influenciada pela sua forma, na medida em que, os trabalhadores que trabalham com materiais de fibras sintéticas, por exemplo, nylon, poliamida ou plásticos apresentam maior incidência de distúrbios respiratórios (Prata, 2018). Isso mostra que algumas microfibras sobrevivem à eliminação em tecidos pulmonares malignos e que sua persistência tem o potencial de causar inflamação aguda e crônica. (Ebrahimi, P. et al., 2021) Em Wieland, S. et al. (2021) cita Allegri et al. (2016) referindo que a forma de uma MP influencia sua toxicidade, modificando as interações com células e tecidos. Por exemplo, as microfibras interagem com células e tecidos de maneira diferente das microesferas, fragmentos ou filmes. Essas interações alteradas podem levar à toxicidade específica da forma de diferentes micropartículas.

Efeitos químicos

Os plásticos podem conter dois tipos de produtos químicos: matérias-primas poliméricas e/ou aditivos e os produtos químicos absorvidos do ambiente circundante. (Campanale, C. et al., 2020)

Conti, I. et al., 2021, refere que os metais, como Bário e Zinco, plastificantes como ftalatos, solventes como o benzeno, e outros aditivos, não estão ligados às cadeias de polímeros plásticos, podendo ser libertados no meio ambiente. Estes aditivos são produtos químicos adicionados intencionalmente durante a produção de plásticos para dar qualidades plásticas como cor e transparência e para melhorar o desempenho de produtos plásticos no que toca a resistência à temperatura, radiação, bactérias e humidade, bem como resistência mecânica, térmica e elétrica. Apesar de esses aditivos melhorem as propriedades dos plásticos, muitos deles são tóxicos e seu potencial de contaminação do solo, ar e água é alto, como por exemplo os retardadores de chama. (Campanale, C. et al., 2020)

Corantes solúveis ou insolúveis, são substâncias orgânicas ou inorgânicas na forma de pós finos, que conferem ao polímero a cor desejada. Muitos dos pigmentos inorgânicos contêm metais pesados. No caso das garrafas de PET, o acetato de cobalto é usado em tintas azuis, tendo sido referido por (Campanale, C. et al., 2020) a relação com efeitos neurológicos, como deficiência auditiva e visual, bem como, défices cardiovasculares e endócrinos.

Além destas substâncias, os plásticos podem adsorver poluentes ambientais, como pesticidas, antibióticos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, bifenilos policlorados (PCBs) e bisfenol A (Conti, I. et al., 2021).

Os órgãos internos normalmente afetados incluem o fígado, rins, coração, sistema neurológico (incluindo o cérebro) e sistema reprodutivo. (Ebrahimi, P. et al., 2021).

Mesmo havendo um aumento de dados publicados sobre os níveis de exposição a microplásticos em ambientes e organismos, a informação sobre os produtos químicos associados aos MP é limitada. (Campanale. C, et al., 2020)

No caso dos plásticos para contacto alimentar, garrafas de água por exemplo, estas substâncias não são utilizadas dado que não é permitido pela Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) a aplicação destas substâncias.

Os MP submicrómetros têm a capacidade de serem translocados por difusão ou penetrando celular para o sistema circulatório e outros órgãos (Prata, et al., 2019). As fibras à base de petróleo, particularmente o polipropileno, podem representar um risco perceptível no ambiente interno (Abbasi et al., 2021). (Ebrahimi, P. et al., 2021) A exposição crónica aos plásticos pode levar à bioacumulação e consequentes efeitos biológicos, como foi observado com a exposição ocupacional ao pó de PVC.

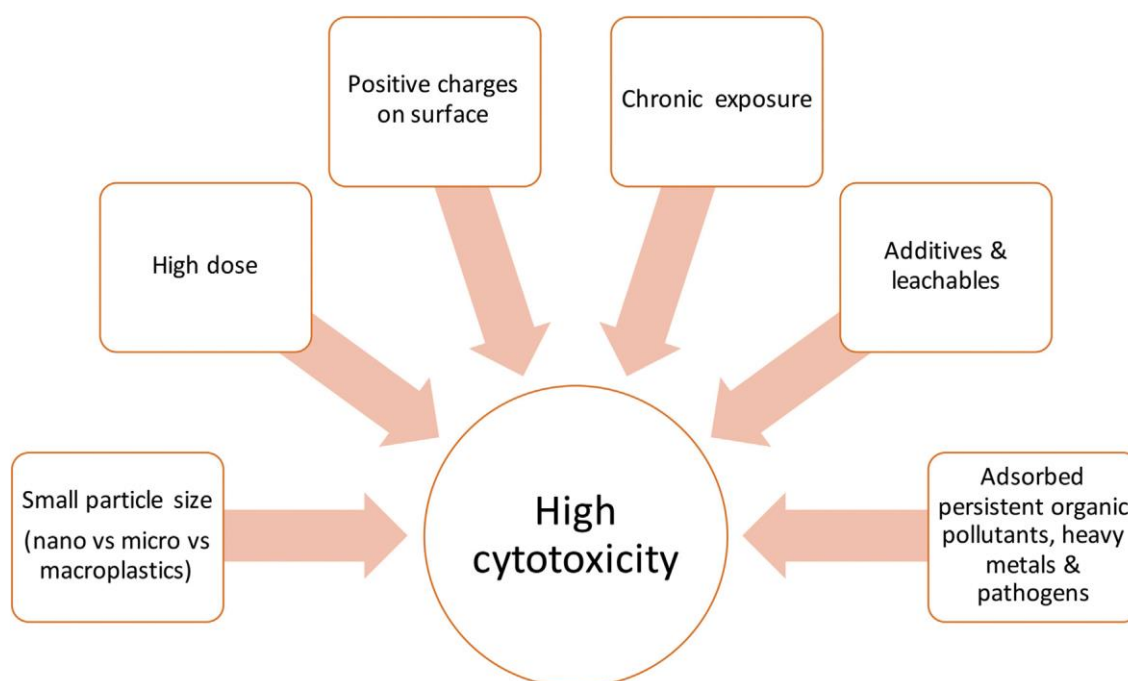


Figura 8 - Fatores que aumentam a citotoxicidade dos MNP. (Banerjee, A. e Shelver, W. 2021)

Ebrahimi, P. et al. (2021) afirma que os fatores físicos e químicos (figura 8) devem ser considerados para avaliar de forma abrangente o risco para a saúde humana devido à exposição a MP por via de ingestão e inalação.

2.3.2 Efeitos na Saúde

Nos últimos anos, os cientistas debruçaram-se sobre os possíveis problemas de saúde causados pelos MP, embora nenhuma pesquisa publicada tenha documentado diretamente os efeitos

negativos dos MP em humanos. Os impactos nocivos da exposição são controversos e ainda não são totalmente compreendidos. (Wu, P. et al., 2022)

O mesmo autor afirma que é preciso explorar as discrepâncias técnicas em estudos sobre a toxicidade dose MP.

Prata, J.C. et al., (2021) informa que, atualmente, não há evidências de efeitos adversos diretos dos MP na saúde humana para as atuais concentrações ambientalmente relevantes, mas ainda destacando a necessidade de preencher as lacunas de conhecimento.

Já Yee, M.S.-L. et al., (2021) cita estudos in vitro e in vivo (Koelmans, B. et al., 2019 e Oliveira, M. et al., 2019) para mostrar que os MP e NP foram capazes de causar sérios impactos no corpo humano, incluindo estresse e danos físicos, apoptose, necrose, inflamação, estresse oxidativo e respostas imunes.

D'Angelo, S. e Meccariello, R. (2021) citador por Zhang, C. et al., (2022) indicam que os MP podem causar problemas na fertilidade masculina.

2.3.3 Vias de exposição

Conhecer as vias de exposição de MP e NP é fundamental para a provável redução do risco. (Sangkham, S. et al., 2022)

No caso da exposição geral dos ser humano, Prata, et al., (2020), Sánchez, A. et al., (2022) e Wu P. et al., (2022) identificam as três vias de entrada de MP no corpo humano como sendo: inalação, ingestão e contacto dérmico. A presença de MP no ar deve-se principalmente à libertação de fibras de tecidos, abrasão de materiais (por exemplo, pneus de carros, prédios) e ressuspensão de MP em superfícies.

Efeitos sobre a saúde nos sistemas respiratório, hepático, imunológico e gastrointestinal foram relatados por Zarus, G. et al., (2021) em humanos e outros mamíferos em resposta a exposições elevadas de partículas ou fibras. Esses efeitos na saúde diferiram pelo tipo e tamanho do plástico.

A ameaça potencial dos MP à saúde humana tem motivado vários pedidos por mais pesquisas que avaliem os efeitos nocivos do em humanos. (Akanyange, S. et al., 2021)

Tal como acontece com outros poluentes orgânicos persistentes, há muito se suspeita que os MP podem entrar no corpo humano por ingestão, inalação e absorção dérmica (figura 9), Leslie et al. (2022) recentemente detetaram MP no sangue humano, prova direta de exposição a MP no ser humano. (Sangkham, S. et al., 2022), Há pesquisas que confirmando a inalação e ingestão.

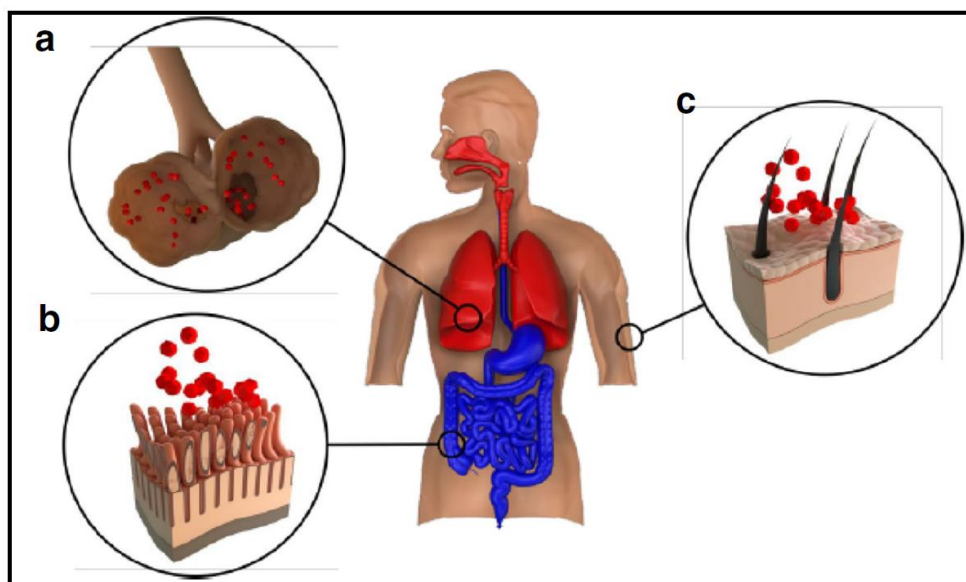


Figura 9 - vias de exposição de MP e NP e seu potencial risco para a saúde humana (Sana, S. et al., 2020)

Inalação

Sangkham, S. et al., (2022) apresenta resultados das pesquisas de Chen et al., (2020) e Dris et al., (2017) indicando que a inalação é a principal via de exposição para MP e NP a nível atmosférico.

Segundo Chen et al. (2020) e Prata (2018) citados por Sangkham, S. et al., (2022), os MP e NP atmosféricos podem ser inalados diretamente devido ao seu pequeno tamanho e representam riscos à saúde humana, acumulando-se nas vias respiratórias e potencialmente atravessando a barreira hematoencefálica.

O mesmo autor afirma que as fibras MP com tamanho maior que 250 μm foram relatadas em tecido pulmonar humano. Citando Gasperi et al. (2018), Sangkham, S. et al. (2022) refere ainda que alguns desses MP fibrosos podem ser inalados, e a maioria delas será eliminada por depuração mucociliar; no entanto, alguns podem permanecer nos pulmões, desencadeando uma resposta biológica localizada, incluindo inflamação, particularmente naqueles que têm sistemas de depuração limitados.

Estudos identificaram essas partículas em pulmões humanos nos locais mais profundos, o que confirma sua capacidade de penetrar nas vias aéreas humanas. (Munyanza, J. et al., 2022) Campanale, C. et al., (2020) refere que, para o ponto de entrada de MP por inalação, o pulmão humano tem uma superfície de alveolamento bastante ampla, com uma barreira de tecido muito fina, menor que 1 micrómetro e que pode permitir que as nanopartículas penetrem na corrente sanguínea e em todo o corpo humano.

Para simular a exposição humana a microplásticos transportados pelo ar interior, Vianello et al., (2019) conduziu uma investigação utilizando um *Breathing Thermal Manikin*, essa investigação revelou que os MP podem ser inalados através do ar interno. (Sangkham, S. et al., 2022)

O tamanho e a densidade das partículas vão determinar a que profundidade se depositarão no sistema respiratório. Se a concentração de partículas no ar for alta o suficiente, pode levar à

inflamação crónica. A exposição crónica a altas concentrações de MP transportados pelo ar pode levar a doenças das vias aéreas e pulmonares intersticiais, potencialmente levando ao desenvolvimento de lesões malignas, como tem sido observado na exposição ocupacional (figura 10) (Prata, J.C. et al., 2021).

2.3.4 Metabolismo e excreção

A excreção foi discutida com as possíveis formas de depuração, por exemplo, urina e fezes. Wu, P. et al., (2022) a mesma publicação refere que uma investigação encontrou uma ampla gama de MP (0,8–41,6 itens/g) em amostras de fezes. E para alguns mais finos (<10 nm), eles podem penetrar ainda mais no rim e finalmente ser eliminados pela via renal.

De acordo com Smith e cols. (2018) citado por Akanyange, S. et al. (2021), cerca de 90% das MPs inaladas ou ingeridas são descartadas durante a excreção.

Na publicação de Zarus, G. et al., (2021) é afirmado que os marcadores biológicos MP e NP foram detetados na urina e nas fezes.

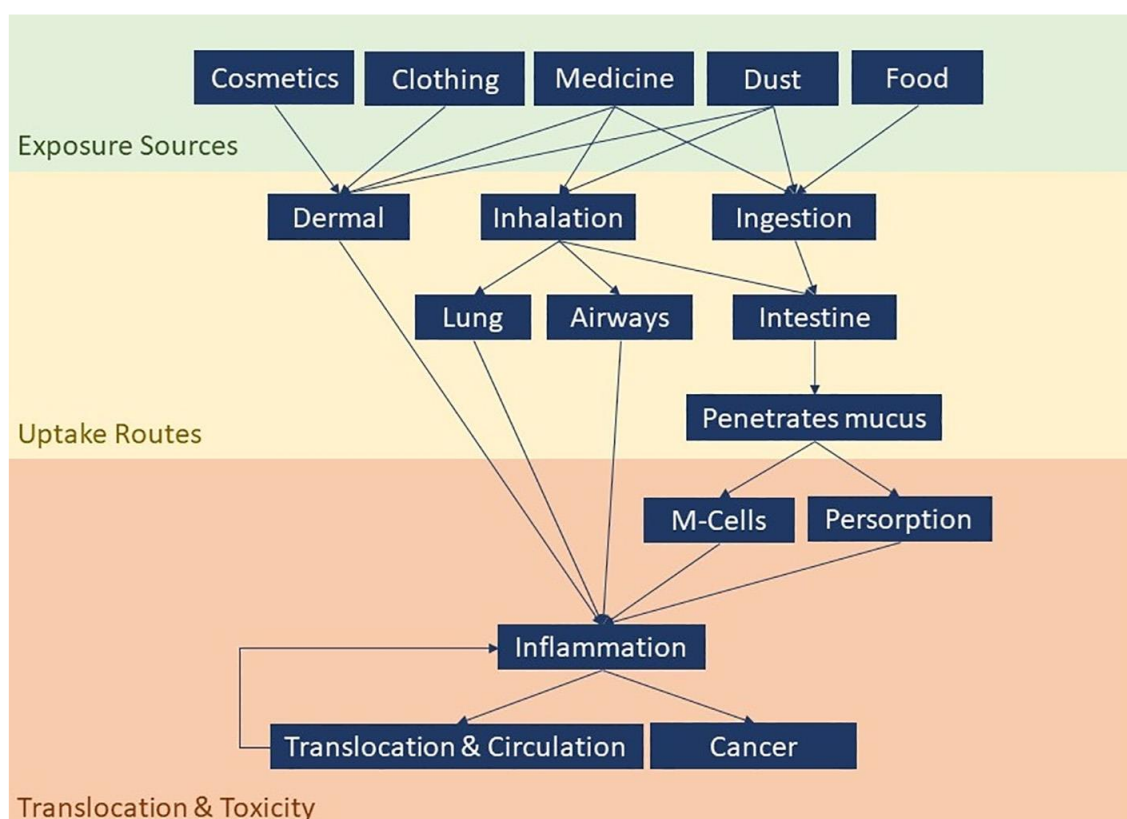


Figura 10 - Rotas potenciais de exposição e vias de toxicidade para MP no corpo humano (Prata, J. et al., 2020)

Um estudo de Azarmi e Kumar (2016) constata que trabalhadores do sexo masculino inalam mais MP em comparação com suas contrapartes do sexo feminino devido à maior taxa de inalação e intensidade do trabalho. (Khamraev, K., et al., 2020)

2.3.5 Estudos conduzidos no contexto ocupacional

Amato-Lourenço et al. (2020) cita Abbasi et al. (2018) referindo estudos de exposição ocupacional que associam a inalação de MP com um aumento da incidência de doença pulmonar intersticial. O autor refere ainda a associação da dispneia de esforço e diminuição da função pulmonar em trabalhadores fabris à exposição ocupacional ao pó de PVC, bem como, o aumento em 3,6 vezes do risco de sintomas respiratórios em trabalhadores expostos aos flocos de PP num estudo de Atis et al. (2005) e ainda as inflamações, granulomas e fibroses intersticial encontradas por Pimentel et al. (1975) em biopsias pulmonares de trabalhadores expostos a diferentes fibras sintéticas (acrílico, poliéster e nylon).

Citado por Yang, X. et al. (2022), Wright e Kelly (2017) indicam que indivíduos com doenças respiratórias ou pessoas sob exposição ocupacional crónica a MP, como por exemplo trabalhadores da indústria têxtil e fábricas de PE e PP, demonstraram desenvolver doenças pulmonares intersticiais e das vias aéreas.

Akanyange, S. et al. (2021) afirma que fibras sintéticas foram encontradas no tecido pulmonar de trabalhadores da indústria têxtil e foi verificada a ocorrência de irritação respiratória como um dos efeitos. Embora não haja evidências suficientes sobre a toxicidade das MP, pesquisas mostraram que a inflamação pulmonar é um dos principais problemas causados pela inalação e ingestão de MP.

Kacprzak, S. e Tijning, L. (2022) citando Facciola, A. et al. (2021) referem que a exposição a uma maior concentração de MP em contexto ocupacional, como na indústria têxtil ou de PVC, aumenta o risco dos trabalhadores de inalar mais MP e, posteriormente, sofrer maiores incidentes de doenças respiratórias.

Wu, P. et al, (2022) citando Kremer, et al., (1994) mostra que investigações epidemiológicas relataram a prevalência de doença pulmonar intersticial entre trabalhadores de fábricas de polímeros na Holanda.

Segundo Wright e Kelly (2017) citados por (Zhanga, Y. et al., 2020), partículas de MP (>100 µm) também demonstraram ser biopersistentes e passar pelo epitélio do trato gastrointestinal.

2.3.6 Comparação com outras partículas não plásticas

Apesar dos MP serem quimicamente muito diferentes, as propriedades físico-químicas que conduzem as diferentes interações das micropartículas não plásticas e plásticas com células e tecidos ainda podem ser comparáveis. Semelhanças de partículas em tamanho, forma, moléculas e microorganismos adsorvidos, e biopersistência podem explicar semelhanças em sua toxicidade e os mecanismos toxicológicos subjacentes. Portanto, uma comparação das propriedades e toxicologia de partículas não plásticas com MP pode melhorar a compreensão do papel das propriedades físico-químicas na toxicidade do MP. (Wieland, S. et al., (2021). Segundo o autor, algumas micropartículas não plásticas são quimicamente mais relacionadas ao MP do que outras. Por exemplo, a madeira, algodão e feno consistem principalmente de celulose, um polímero

orgânico e, portanto, são mais semelhantes ao MP do que amianto ou sílica, que são cristais inorgânicos.

Comparando com outros estudos de partículas não plásticas, analisando o exemplo de valores encontrados em outras exposições em partículas orgânicas temos o pó de madeira, pó de algodão e pó de feno, vemos que:

No primeiro exemplo, pó de madeira, este é gerado durante o processamento da madeira. Os níveis de exposição típicos para carpinteiros são $0,2 \pm 2,6 \text{ mg/m}^3$ para partículas de pó de madeira com tamanho $< 4 \text{ }\mu\text{m}$, $0,3 \pm 2,8 \text{ mg/m}^3$ para partículas na faixa de tamanho de 4 a $10 \text{ }\mu\text{m}$ e $1,5 \pm 2,7 \text{ mg/m}^3$ para poeira na faixa de tamanho de 10 – $100 \text{ }\mu\text{m}$. (Wieland, S. et al., (2021)

Já a exposição ao pó de algodão em fábricas têxteis varia entre diferentes processos e fábricas, com concentrações totais de poeira entre os 0,1 a 10 mg/m^3 . (Wieland, S. et al., (2021)

Por último vemos que os níveis de exposição ao pó de feno variam amplamente, com operações a chegar a um nível total de poeiras no intervalo de 10 a 70 mg/m^3 . (Wieland, S. et al., (2021)

Nos três exemplos a forma, o tamanho e as propriedades afetam a sua toxicidade respetivamente.

Tabela 2 - Estudos de perigo e exposição ocupacional e medições de poeiras disponíveis

Autor (ano)	Materiais	Metodologia do estudo [tipo de amostragem]	Descobertas
(Burkhart et al., 1999)	Nylon	Questionário do trabalhador, radiografia de tórax, espirometria; e testes de capacidade de difusão pulmonar; PR = 5–40 mg/m ³ , UE, UFC; estudos toxicológicos <i>in vivo</i> para avaliar a toxicidade do pó da planta.	Sintomas respiratórios ou sistêmicos frequentes com o número de dias ou horas trabalhadas/semana. Estudos toxicológicos (ratos): inflamação aguda.
(Eschenbacher et al., 1999)	Nylon	Relatórios de pacientes.	Volume pulmonar reduzido em 13 dos 20 pacientes; capacidade pulmonar reduzida em 10 de 20 pacientes.
(Kern et al., 1998)	Nylon	Revisão e questionário de biópsia pulmonar.	Nódulos linfoides intersticiais peribroncovasculares em 7 pacientes. A fibra de nylon é a causa suspeita desta condição.
(Barroso, et al., 2002)	Polietileno	Estudo de caso de operárias sintomáticas.	Função pulmonar reduzida e volume pulmonar reduzido ao longo de 4 anos.
(Atis et al., 2005)	Polipropileno	Estudo caso controle com questionário respiratório, exame físico, radiografia de tórax e teste de função pulmonar; [PT = 4,4 a <10mg/m ³ , PR <0,2 a 5 mg/m ³].	Os sintomas respiratórios (por exemplo, dispneia, tosse, catarro, sibilos ou aperto no peito) aumentaram 3,6 × nos trabalhadores do lote em comparação com os controles. As interleucinas séricas foram várias vezes maiores nas operárias do rebanho (indicadores de inflamação contínua).
(Vobecky, Devroede, & Caro, 1984)	Fibras sintéticas manufaturadas	Estudo caso controle de cancro colorretal.	Os cancros colorretais foram maiores nas áreas de secagem de fibras: 44% dos pacientes com cancro (n=43) trabalhavam em um dos três departamentos em comparação com 21% dos controles.
(Zuskin et al., 1998)	Meias de fibra sintética; ventilação instalada.	Estudo transversal; pó de poliéster não medido. O processo de fabricação incluía fiação e tecelagem de fibras e meias de corte e acabamento.	Maior prevalência de todos os sintomas respiratórios crônicos (dispneia, sinusite e catarro nasal); sistemas agudos (tosse, secura da garganta) e diminuição da função pulmonar em expostos vs controle.
(Valic & Zuskin, 1977)	Vários operadores têxteis	Um grupo exposto apenas a fibras sintéticas; os demais expostos a pó de cânhamo ou algodão (antes da exposição a fibras sintéticas) [PT = 1,04 mg/m ³ , PR = 0,53 mg/m ³].	Menor prevalência de sintomas respiratórios em trabalhadores de fibra sintética em comparação com cânhamo e algodão; no entanto, o grupo de trabalhadores sintéticos foi exposto a níveis mais baixos de poeira total e respirável.
(Goldberg & Theriault, 1994)	Operadores têxteis sintéticos	Estudo de grupo retrospectivo.	As taxas de mortalidade para todas as causas de morte e cancro colorretal foram baixas.

Autor (ano)	Materiais	Metodologia do estudo [tipo de amostragem]	Descobertas
(De Roos et al., 2005)	Operadores têxteis	Análise de grupos de casos [somente EU]	>20 anos de exposição associada ao aumento do risco de cancro colorretal; corantes aumentaram o cancro de cólon.
(Pimentel et al., 1975)	Têxteis sintéticos	Trabalhadores e transferência de doenças para cobaias. Fibras têxteis e poeira examinadas.	Trabalhadores sintomáticos (respiratórios), biópsias pulmonares identificaram inflamação e danos. Apenas antígenos de poliéster produziram precipitinas (não nylon, lã/poliéster).
(NIOSH, 2000)	Aramida	Estudo de caso de exposições no local de trabalho em dois departamentos [PT <0,099 mg/m ³ , F<0,053 fibras/cm ³ , ácidos].	Sintomas respiratórios superiores relatados (56% trabalhadores de fiação, 27% trabalhadores de acabamento) (glândula infectada, dor de garganta e infecções).
(Mastrangelo et al., 2003)	PVC	Estudo de referência de caso em nicho de trabalhadores [PT >10 mg/m ³ , PR = 4,5–50%].	Aumento do risco de cancro de pulmão associado à exposição ao pó de PVC.
(Mastrangelo et al., 1979)	PVC	Estudo de grupo de 1.216 trabalhadores [PT = 0,38–2,88 mg/m ³ ; PR = 40,3%].	Pneumoconiose em trabalhadores. Relatou baixo risco de câncer de pulmão, mas estudo separado por trabalho e não por área de trabalho.
(Chivers et al., 1980)	PVC	Testes de função pulmonar de trabalhadores de diferentes grupos de exposição. [PT = 0,2–11,5 mg/m ³].	Não houve diferença estatística entre a população exposta ao pó de PVC; solventes; ou mistura de poeira e solventes.
(Casula et al., 1977)	PVC	Microscopia de pó de PVC e [PT = 5–7 mg/m ³ ; PR>90%].	Estudo para caracterização e estimativa de poeira ambiental em uma fábrica de PVC.
(Jones et al., 1988)	PVC	Correlações entre 5.498 trabalhadores por trabalho (durante 1940–1974) e tipo de câncer [PT = 0,23–2,88 mg/m ³].	Excesso significativo de tumores hepáticos não secundários com 11 óbitos.
(Boffetta, et al., 2003)	PVC	Meta-análise de 6 estudos de trabalhadores.	Aumento do risco de cancro em trabalhadores de PVC de 6 estudos.
(Gennaro et al., 2008)	PVC	Comparando as taxas de mortalidade dependendo das quatro categorias de trabalho [PT = 0,23–2,88 mg/m ³ para PVC Baggers em Jones et al., 1988].	Trabalhadores de autoclave tiveram maiores riscos de tumor no fígado; Os ensacadores de PVC apresentaram riscos significativos para todas as mortes e mortes por doenças cardiovasculares.

Legenda: UE = unidades de endotoxina; UFC = unidades formadoras de colônias; PR = poeira respirável; PT = poeira total (inalável); F = Fibras. Apenas medições de poeira e fibra foram incluídas na tabela. Fonte: (Zarus, G. et al., 2021)

Os trabalhadores das três indústrias relatam efeitos respiratórios associados à inalação de poeiras de MP. Na mesma revisão, citando Valic e Zuskin (1977), as pessoas que trabalham mais tempo ou em áreas mais empoeiradas (MP) tiveram efeitos mais graves na saúde. Também é referido que alguns dos estudos revistos (Atis et al., 2005; Burkhardt et al., 1999; Valic & Zuskin, 1977; Pimentel et al., 1975) incluíram medições de poeira total, mas não amostras suficientes para determinar uma resposta à dose.

Segundo Zarus, G. et al., (2021) esses efeitos são diferentes dos efeitos associados à inalação de fibras naturais. Os mecanismos de toxicidade são muito menos compreendidos em comparação com exposições a partículas minerais naturais. Os primeiros estudos de toxicidade mineral, como os do amianto, indicam que as fibras finas depositam-se e acumulam-se no pulmão inferior em taxas mais altas do que as fibras grossas. As fibras sintéticas não eram tão finas quanto as fibras naturais mais prejudiciais. No entanto, as fibras sintéticas tornaram-se muito mais finas nos últimos 20 anos.

2.3.7 Método de avaliação de riscos

O Regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho, Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, alterada pela Lei 3/2014 de 28 de janeiro, refere que a prevenção dos riscos profissionais deve assentar numa correta e permanente avaliação de riscos.

O objetivo fundamental de uma gestão integrada de riscos é eliminar o risco ou, caso não seja possível, garantir que os riscos para os trabalhadores sejam mantidos o mais baixo possível ou dentro de limites aceitáveis. Para isso é necessário definir uma metodologia para a identificação de perigos, avaliação e controlo de riscos associados às atividades industriais da empresa.

A avaliação de risco ajuda a entender a relação entre o risco para a saúde humana e a exposição. Uma avaliação de risco envolve a investigação de uma tarefa ou trabalho específico para identificar os perigos presentes e decidir que tipo de medidas de controle direcionadas devem ser tomadas para reduzir os riscos a um nível aceitável. (Khamraev, K. et al, 2020)

Método Integrado de Avaliação de Riscos (MIAR)

Neste trabalho foi utilizado o método MIAR. Este método calcula avalia o risco em cinco níveis, de acordo com um conjunto de cinco equações.

- 1) A primeira serve para determinar o Nível de Risco, traduz-se por:

Nível de Risco = Gravidade x Extensão do impacto x Frequência com que ocorre o aspeto

E calcula-se através das tabelas 3, 4 e 5:

Tabela 3 - Parâmetros para avaliação da Gravidade

Parâmetros de Avaliação	Descrição	Valor
Gravidade	Aspetos que podem causar a morte.	16
	Aspetos que podem causar lesões graves, com incapacidade permanente absoluta (IPA) para todo e qualquer trabalho.	
	Aspetos que podem causar lesões graves, com incapacidade temporária absoluta (ITA) > 30 dias ou incapacidade permanente absoluta (IPA) não incluída no item anterior.	8
	Aspetos que podem causar lesões menores com incapacidade temporária parcial (ITP) ou incapacidade temporária absoluta (ITA) <30 dias.	4
	Aspetos que não apresentem perigosidade, unicamente podem causar lesões menores sem qualquer tipo de incapacidade associada.	2
	Aspetos que podem causar um incidente, mas sem qualquer tipo de lesão.	1

Tabela 4 - Parâmetros para avaliação da Extensão

Parâmetros de Avaliação	Descrição	Valor
Extensão do impacto	Aspeto cuja extensão pode atingir 5 ou mais trabalhadores.	5
	Aspeto cuja extensão pode atingir 4 trabalhadores.	4
	Aspeto cuja extensão pode atingir 3 trabalhadores.	3
	Aspeto cuja extensão pode atingir 2 trabalhadores.	2
	Aspeto cuja extensão pode atingir 1 trabalhador.	1

Tabela 5 - Parâmetros para avaliação da Frequência

Parâmetros de Avaliação	Descrição	Valor
Frequência com que ocorre o aspeto	Periodicidade diária: correspondente a aspetos que ocorrem de forma contínua e diariamente.	5
	Aspetos que ocorrem ao longo do dia de forma não contínua, 3 ou mais dias por semana.	4
	Aspetos que ocorrem uma a duas vezes por semana.	3
	Aspetos que ocorrem de forma pontual até 3 vezes por mês.	2
	Aspetos que corresponde a trabalhos de manutenção, a situações de emergência, acidentais ou pontuais.	1

2) A segunda equação é usada para determinar o Nível de Risco Ponderado, traduz-se por:

$$\text{Nível de Risco Ponderado} = \text{Nível de Risco} / \text{Desempenho dos sistemas de prevenção e controlo}$$

E calcula-se através do valor da primeira equação e com recurso à tabela 6:

Tabela 6 - Parâmetros para avaliação da Desempenho dos sistemas

Parâmetros de Avaliação	Descrição	Valor
Desempenho dos sistemas de prevenção e controlo	Não existe sistema de prevenção nem de controlo implementado	0,5
	Não existe sistema de gestão da prevenção implementado e as práticas de segurança resumem-se à utilização pontual de EPI	0,75
	Não existe sistema de gestão da prevenção implementado, mas existem práticas de segurança funcionais	1
	Existe um sistema de gestão da prevenção implementado, mas sem evidências da sua adequada funcionalidade	1,1
	Existe um sistema implementado de melhoria continua interligado ao sistema de gestão de segurança	1,25

3) A terceira equação é usada para determinar o Nível de Priorização, traduz-se por:

$$\text{Nível de Priorização} = \text{Nível de Risco Ponderado} \times \text{Critérios de priorização da intervenção}$$

E calcula-se através das tabelas 7 e 8:

Tabela 7 - Níveis de Risco / Níveis de Risco Ponderado

Bandas de Risco	Risco (NR)
1 – Baixo	≤ 8
2 – Médio	$8 < \text{índice de risco} \leq 24$
3 – Elevado	$24 < \text{índice de risco} \leq 64$
4 – Muito elevado	$64 < \text{índice de risco} \leq 160$
5 – Risco extremo	≥ 160

Tabela 8 - Critérios de priorização da intervenção

Parâmetros de Avaliação	Descrição	Valor
Critérios de priorização da intervenção	Medidas de prevenção de baixo investimento e complexidade técnica básica (resolvem-se com procedimentos e instruções de trabalho)	400
	Medidas de prevenção/correção com baixo investimento e complexidade técnica reduzidas (intervenção simples, pequenas alterações em equipamentos, EPI, formação, ...)	72
	Medidas de prevenção/correção de investimento médio e complexidade técnica média (Contratação de TSSHT, alterações pontuais em equipamentos ou nos processos...)	48
	Metodologia de prevenção/correção com investimento e complexidade técnica alta (Proteções coletivas, pequenas alterações de processos, ...)	12
	Metodologia de prevenção/correção com investimento e complexidade técnica elevadas (Novas tecnologias, novos processos, alterações de Layout, Contratação de especialistas externos)	1

Tabela 9 - Tabela de Níveis de Priorização

Priorização	Risco (NR)
1 – Priorização Baixa	≤ 800
2 – Priorização Média	$800 < \text{índice de priorização} \leq 2\,500$
3 – Priorização Elevada	$2\,500 < \text{índice de priorização} \leq 15\,000$
4 – Priorização Muito elevada	$15\,000 < \text{índice de priorização} \leq 50\,000$
5 – Situações Urgentes	$\geq 50\,000$

2.4 Conhecimento Científico

A pesquisa bibliográfica teve por base a metodologia de revisão sistemática referenciada em PRISMA Statement¹. A pesquisa bibliográfica foi efetuada em quatro bases de dados: Pubmed², Web of Science³, Scopus⁴ e Science Direct⁵. Para efetuar a procura por documentos elegíveis para este projeto, foi feita uma triagem nas referidas bases de dados, a fim de reduzir o número de documentos ao que cumprissem um determinado critério de elegibilidade. A literatura foi pesquisada em junho de 2022 e foi restrita a artigos originais revistos por pares escritos em inglês.

A revisão bibliográfica foi baseada em estudos de MPs e NPs com especial atenção em busca dos trabalhos efetuados no contexto da exposição ocupacional, mas também analisando a exposição ambiental como base de partida para o contexto ocupacional, dado que esses trabalhos já

¹ <http://www.prisma-statement.org/> (acedido em 30/06/2022)

² <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/> (acedido em 30/06/2022)

³ <http://www.webofknowledge.com/> (acedido em 30/06/2022)

⁴ <https://www.scopus.com/freelookup/form/author.uri> (acedido em 30/06/2022)

⁵ <https://www.sciencedirect.com/> (acedido em 30/06/2022)

apresentam vias de entrada e reações no corpo humano. E os trabalhos com metodologias de avaliação de poeiras plásticas e outras poeiras orgânicas.

Na base de dados Science Direct, foram usados os termos: *Occupational*, “*Risk Assessment*”, *Dust*. Foram devolvidos 5925 artigos, os quais foram filtrados por data entre 2019-2022 ficando 1640, filtrados por tipo de artigo *review article* passando a 286, todos em língua inglesa. Após a análise dos documentos em busca do tema MP e poeiras orgânicas, concluiu-se que apenas 46 tinham relevância para o tema.

Na base de dados Web of Science, foram usados os termos: *Occupational*, *Risk Assessment*, *Dust*. Foram devolvidos 1034 artigos, os quais foram filtrados por data entre 2019-2022 ficando 275, filtrados por tipo de artigo *review article* passando a 35, por fim aplicamos um filtro para a língua inglesa ficando 34 artigos. Após a análise dos documentos em busca do tema MP e poeiras orgânicas, concluiu-se que apenas 9 tinham relevância para o tema.

Na base de dados Scopus, foram usados os termos: *Occupational*, *Risk Assessment*, *Dust*. Foram devolvidos 2088 artigos, os quais foram filtrados por data entre 2019-2022 ficando 333, filtrados por tipo de artigo *review article* passando a 36, por fim aplicamos um filtro para a língua inglesa ficando 33 artigos. Após a análise dos documentos em busca do tema MP e poeiras orgânicas, concluiu-se que apenas 10 tinham relevância para o tema.

Na base de dados Pubmed, foram feitas 4 pesquisas. Atendendo à natureza dos artigos encontrados nesta base de dados, na primeira foram usados os termos: *Human Health*, *Microplastic*. Foram devolvidos 1032 artigos, os quais foram filtrados por data entre 2019-2022 ficando 961, filtrados por tipo de artigo *review article* passando a 289, todos em língua inglesa. Após a análise dos documentos em busca do tema MP e poeiras orgânicas, concluiu-se que apenas 37 tinham relevância para o tema.

Na segunda foram usados os termos: *Human Health*, *PET*. Foram devolvidos 86 artigos, os quais foram filtrados por data entre 2019-2022 ficando 71, filtrados por tipo de artigo *review article* passando a 13, todos em língua inglesa. Após a análise dos documentos em busca do tema MP e poeiras orgânicas, concluiu-se que apenas 8 tinham relevância para o tema.

Na terceira foram usados os termos: *Human Health*, *Dust*. Foram devolvidos 1190 artigos, os quais foram filtrados por data entre 2019-2022 ficando 550, filtrados por tipo de artigo *review article* passando a 70, todos em língua inglesa. Após a análise dos documentos em busca do tema MP e poeiras orgânicas, concluiu-se que apenas 25 tinham relevância para o tema.

Por último na quarta foram usados os termos: *Human Health*, *Microplastic*, *Inhalation*. Foram devolvidos 94 artigos, os quais foram filtrados por data entre 2019-2022 ficando 90, filtrados por tipo de artigo *review article* passando a 37, todos em língua inglesa. Após a análise dos documentos em busca do tema MP e poeiras orgânicas, concluiu-se que apenas 12 tinham relevância para o tema.

Após remoção dos duplicados, ficamos com 35 artigos elegíveis com enquadramento no tema, que pode ser consultada a relevância na tabela 10.

Tabela 10 - Artigos selecionados com relevância para o tema

Autores	Ano de publicação	Título do artigo	Conteúdo relevante
Claudia Campanale, Carmine Massarelli, Ilaria Savino, Vito Locaputo e Vito Felice Uricchio	2020	A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health	Características dos MP; Efeitos químicos; Inalação de MP;
Joana C. Prata, João P. da Costa, Isabel Lopes, Anthony L. Andrady, Armando C. Duarte e Teresa Rocha-Santos	2021	A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health	Características dos MP; Toxicidade dos MP; Efeitos na saúde;
Janvier Munyaneza, Qilong Jia, Fahim A. Qaraah, Md Faysal Hossain, Chengzi Wu, Huajun Zhen e Guangli Xiu	2022	A review of atmospheric microplastics pollution: In-depth sighting of sources, analytical methods, physiognomies, transport and risks	Características dos MP; Definições; Efeitos na saúde;
Gregory M. Zarus, Custodio Muianga, Candis Hunter e R. Steven Pappas	2021	A Review of Data for Quantifying Human Exposures to Micro and Nanoplastics and Potential Health Risks	Características dos MP; Efeitos na saúde; Trabalhos em contexto ocupacional;
Qun Zhang, Elvis Genbo Xu, Jiana Li, Qiqing Chen, Liping Ma, Eddy Y. Zeng e Huahong Shi	2020	A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure	Características dos MP; Toxicidade dos MP; Efeitos na saúde; Trabalhos em contexto ocupacional;
Jun-Li Xu, Xiaohui Lin, Jing Jing Wang e Aoife A. Gowen	2022	A review of potential human health impacts of micro-and nanoplastics exposure	Exposição humana
Khusniddin Khamraev, Daniel Cheriyan, Jae-ho Choi	2020	A review on health risk assessment of PM in the construction industry –Current situation and future directions	Efeitos físicos; Metabolismo e excreção;
Sarawut Sangkham, Orasai Faikhaw, Narongsuk Munkong, Pornpun Sakunkoo, Chumlong Arunlertaree, Murthy Chavali, Milad Mousazadeh e Ananda Tiwari	2022	A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies, and potential effects on human health	Características dos MP; Toxicidade dos MP; Vias de exposição; Efeitos na saúde;
Pengfei Wu, Siyi Lin, Guodong Cao, Jiabin Wu, Hangbiao Jin, Chen Wang, Ming Hung Wong, Zhu Yang e Zongwei Cai	2022	Absorption, distribution, metabolism, excretion and toxicity of microplastics in the human body and health implications	Características dos MP; Toxicidade dos MP; Vias de exposição; Metabolismo e excreção; Efeitos na saúde; Trabalhos em contexto ocupacional;
Yi Wang, Jian Huang, Fengxiao Zhu e Shaoda Zhou	2021	Airborne Microplastics: A Review on the Occurrence, Migration and Risks to Humans	Efeitos físicos das MP;
Luís Fernando Amato-Lourenço, Luciana dos Santos Galvão, Letty A. de Weger, Pieter S. Hiemstra, Martina G. Vijver e Thais Mauad	2020	An emerging class of air pollutants: Potential effects of microplastics to respiratory human health?	Trabalhos em contexto ocupacional;

Autores	Ano de publicação	Título do artigo	Conteúdo relevante
Andreas Brachner, Despina Fragouli, Iola F. Duarte, Patricia M. A. Farias, Sofia Dembski, Manosij Ghosh, Ivan Barisic, Daniela Zdziebło, Jeroen Vanoirbeek, Philipp Schwabl e Winfried Neuhaus	2020	Assessment of Human Health Risks Posed by Nano-and Microplastics Is Currently Not Feasible	Toxicidade dos MP;
Yulan Zhanga, Shichang Kanga, Steve Allenc, Deonie Allenc, Tanguang Gaod e Mika Sillanpää	2020	Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives	Características dos MP; Trabalhos em contexto ocupacional;
Alicia Sánchez, Pilar Rodríguez-Viso, Adrián Domene, Helena Orozco, Dinoraz Vélez e Vicenta Devesa	2022	Dietary microplastics: Occurrence, exposure and health implications	Características dos MP; Vias de exposição;
Stephen Nyabire Akanyange, Xianjun Lyu, Xiaohan Zhao, Xue Li, Yan Zhang, John C. Crittenden, Cosmos Anning, Tianpeng Chen, Tianlin Jiang e Huaqing Zhao	2021	Does microplastic really represent a threat? A review of the atmospheric contamination sources and potential impacts	Vias de exposição; Metabolismo e excreção; Trabalhos em contexto ocupacional;
Magne Bråtveit, Samson Wakuma Abaya, Gloria Sakwari e Bente E. Moen	2021	Dust Exposure and Respiratory Health Among Workers in Primary Coffee Processing Factories in Tanzania and Ethiopia	Avaliação de riscos;
Iffat Batool, Abdul Qadir, Joseph M. Levermore e Frank J. Kelly	2021	Dynamics of airborne microplastics, appraisal and distributional behaviour in atmosphere; a review	Características dos MP; Toxicidade dos MP;
Siva Sankar Sana, Lakshman Kumar Dogiparthi, Lekshmi Gangadhar, Arghya Chakravorty e Nalluri Abhishek	2020	Effects of microplastics and nanoplastics on marine environment and human health	Vias de exposição;
Sonia Kacprzak e Leonard D. Tijing	2022	Microplastics in indoor environment: Sources, mitigation and fate	Trabalhos em contexto ocupacional;
Nell Hirt e Mathilde Body-Malapel	2020	Immunotoxicity and intestinal effects of nano- and microplastics: a review of the literature	Características dos MP;
Maxine Swee-Li Yee, Ling-Wei Hii, Chin King Looi, Wei-Meng Lim, Shew-Fung Wong, Yih-Yih Kok, Boon-Keat Tan, Chiew-Yen Wong e Chee-Onn Leong	2021	Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health	Efeitos na saúde;
Simon Wieland, Aylin Balmes, Julian Bender, Jonas Kitzinger, Felix Meyer, Anja F.R.M. Ramsperger, Franz Roeder, Caroline Tengelmann, Benedikt H. Wimmer, Christian Laforsch e Holger Kress	2021	From properties to toxicity: Comparing microplastics to other airborne microparticles	Efeitos físicos; Comparação a outras partículas;

Autores	Ano de publicação	Título do artigo	Conteúdo relevante
Xi Yang, Yu Bon Man, MingHungWong, Richard Bernhart Owen e Ka Lai Chow	2022	Environmental health impacts of microplastics exposure on structural organization levels in the human body	Trabalhos em contexto ocupacional;
M.O. Rodrigues, N. Abrantes, F.J.M. Gonçalves, H. Nogueira, J.C. Marques e A.M.M. Gonçalves	2019	Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health: What is known?	Características dos MP;
Pooria Ebrahimi, Sajjad Abbasi, Reza Pashaei, Aleksandra Bogusz e Patryk Oleszczuk	2021	Investigating impact of physicochemical properties of microplastics on human health: A short bibliometric analysis and review	Toxicidade dos MP; Efeitos físicos; Efeitos químicos;
Ilaria Conti, Carolina Simioni, Gabriele Varano, Cinzia Brenna, Eva Costanzi e Luca Maria Neri	2021	Legislation to limit the environmental plastic and microplastic pollution and their influence on human exposure	Toxicidade dos MP; Efeitos químicos;
Marta Dias, Bianca Gomes, Renata Cervantes, Pedro Pena, Susana Viegas e Carla Viegas	2022	Microbial Occupational Exposure Assessments in Sawmills—A Review	Avaliação de riscos;
Jie Chen e Gerard Hoek	2020	Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis	Vias de exposição;
Joana Correia Prata, João P. da Costa, Isabel Lopes, Armando C. Duarte e Teresa Rocha-Santos	2019	Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects	Características dos MP; Toxicidade dos MP; Efeitos na saúde;
Ioanna Katsikantami, Claudio Colosio, Athanasios Alegakis, Manolis N. Tzatzarakis, Elena Vakonaki, Apostolos K. Rizos, Dimosthenis A. Sarigiannis e Aristides M. Tsatsakis	2018	Estimation of daily intake and risk assessment of organophosphorus pesticides based on biomonitoring data – The internal exposure approach	Avaliação de riscos;
Chenming Zhang, Jianshe Chen, Sicheng Ma, Zixue Sun e Zulong Wang	2022	Microplastics May Be a Significant Cause of Male Infertility	Características dos MP; Toxicidade dos MP; Efeitos na saúde; Trabalhos em contexto ocupacional;
Alessio Facciola, Giuseppa Visalli, Marianna Pruiti Ciarello e Angela Di Pietro	2021	Newly Emerging Airborne Pollutants: Current Knowledge of Health Impact of Micro and Nanoplastics	Trabalhos em contexto ocupacional;
Amrita Banerjee e Weilin L. Shelver	2020	Micro- and nanoplastic induced cellular toxicity in mammals: A review	Efeitos físicos; Efeitos químicos;
Stefania D'Angelo e Rosaria Meccariello	2021	Microplastics: A Threat for Male Fertility	Efeitos na saúde;

Autores	Ano de publicação	Título do artigo	Conteúdo relevante
Ruipeng Tong, Jiefeng Liu, Xiaofei Ma, Yunyun Yang, Guohua Shao, Jianfeng Li e Meng Shi	2019	Occupational exposure to respirable dust from the coal-fired power generation process: sources, concentration, and health risk assessment	Avaliação de riscos;

2.5 Objetivos da Dissertação

A dissertação tem por objetivo apresentar uma adaptação de um método, que permita avaliar os riscos de exposição a poeiras de micro e nanoplásticos de PET, de uma forma mais ajustada à realidade da gravidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais e Métodos

Para poder avaliar o risco, primeiro devemos caracterizar a amostra. Para essa caracterização pretende-se quantificar os MP no ar, em mg/m^3 , por monitorização através da recolha de amostras para a determinação a exposição a poeiras respiráveis e totais, ou seja, quantificar as poeiras no Ar. E verificar as dimensões e contagem das partículas, neste caso contagem partícula a partícula, por equipamentos normalmente usados para medir e classificar as salas limpas (salas de operações, laboratórios, etc.). Para a determinação da massa de poeiras totais e respiráveis foi utilizada a técnica de gravimetria.

A pesquisa pelos agentes químicos terá como alvo os agentes identificados na literatura como: bário, zinco, cobalto, ftalatos, benzeno, acetaldeído, bisfenol A e outros aditivos, não ligados às cadeias de polímeros plásticos, por cromatografia gasosa. (Campanale, C. et al., 2020)

As fibras podem ser quantificadas por pirólise acoplada à espectrometria de massa por cromatografia gasosa (Py-GC-MS), a técnica foi aplicada com sucesso para identificar e caracterizar PET como um componente em amostras de partículas de ar. (Zhang, Q. et al., 2020)

Para esta avaliação foram recolhidas amostras nos posto de trabalho que, potencialmente, podem apresentar para os trabalhadores que os ocupam, um maior risco de exposição a poeiras totais e respiráveis. No quadro 33 são indicados os postos de trabalho onde se recolheram as amostras, o método de referência do ensaio e a técnica de análise utilizada.

Os riscos para a saúde foram então determinados, levando em consideração a via de exposição por inalação.

3.1.1 Equipamentos

A realização do estudo de avaliação da exposição dos trabalhadores a poeiras totais e respiráveis, no ar ambiente de trabalho, é feito com recurso a bombas de amostragem ativas, com filtro de PVC de diâmetro: 37 mm, porosidade: 2-5 μm para recolher as amostras de PM suspensas. Em suma, foram utilizados ao seguinte equipamento:

- Calibrador primário de fluxo de ar;
- Termo higrómetro;
- Cassetes de recolha de amostra, composta por três componentes encastráveis entre si, com tampa superior e inferior;
- Filtros de PVC (diâmetro: 37 mm, porosidade: 2-5 μm);
- Suporte de celulose de 37mm, devidamente identificado;
- Bomba de amostragem;
- Ciclones 37mm (seletor de granulometrias);
- Clip de suporte da cassete e tubos de ligação à bomba;

- Caudalímetro;
- Folha de registo;
- Medidor de temperatura e humidade relativa.

Calibrador primário de fluxo de ar

- Marca: Drycal
- Modelo: DCL/ML

Microbalança

- Marca: Sartorius
- Modelo: ME5-F R SARBME5-F

Termo higrómetro

- Marca: TESTO
- Modelo: 175H1

Bomba de amostragem

- Marca: SKC
- Modelo: AirChek

3.1.2 Metodologia

Uma vez que a gravidade não tem o peso que deveria ter para esta avaliação, o proposto é verificar a adaptação do método MIAR, para que parâmetro gravidade seja mais representativo da realidade, ou seja, para permitir avaliar os riscos das poeiras de MP e NP de PET, de uma forma mais ajustada ao contexto da exposição.

Serão testados vários cenários de forma a apresentar a diferença entre o método atual e o novo proposto.

Os locais foram analisados previamente e selecionados para medição por entidade acreditada pela norma NP EN ISO/IEC 17025:2005.

Análise do local do estudo e do trabalho

Foram analisados quatro locais de estudo: Triagem, Ensaque, Lavagem e Abertura de Fardos. Os três primeiros são interiores e o último é coberto, mas não é confinado por paredes. Nenhum dos locais tem sistemas de aspiração ou extração localizada junto aos locais produtores de poeiras. A Triagem dispõe de sistema de ventilação e climatização, por modelo de climatização evaporativa, com 100% de ar novo, com 14 renovações do ar por hora, num total de 12.500 m³/h, fazendo aproximadamente um caudal de ar novo de 2084m³/h por trabalhador. O valor legal é entre 30 a 50m³/h por trabalhador.

Os locais que previsivelmente poderão apresentar valores mais elevados são a Lavagem e o Ensaque, devido aos equipamentos associados ao primeiro, nomeadamente um moinho e plataformas vibratórias e o método do segundo, onde as poeiras são depositadas por gravidade num saco.

Todos os locais têm trabalhadores em permanência, operando continuamente, sendo o trabalho igual durante todo o dia.

Escolha da população do estudo

Foram selecionados quatro trabalhadores para o estudo, todos indivíduos do género masculino, com idades entre os 20 e os 47 anos. Na Triagem foi selecionado um trabalhador aleatoriamente entre os elementos do grupo, a linha de Lavagem opera com dois trabalhadores, foi selecionado o que executa tarefas mais próximas do moinho e das plataformas vibratórias. No Ensaque e na Abertura de Fardos foi selecionado o único elemento do local. A seleção dos turnos foi irrelevante, dado que o trabalho é igual durante todo o dia.

Escolha dos equipamentos

Os equipamentos foram selecionados de acordo com os referenciais das medições e o trabalho a executar, garantindo a necessária certificação de calibração.

Definição das condições de medição

As tarefas desempenhadas foram as usuais para estes postos de trabalho. Todos os locais têm laboração continua, operando 24 horas por dia, continuamente, sem diferenças entre os períodos do dia. Foram selecionados períodos de forma a não coincidir com as pausas de descanso e interrupções previstas nas linhas de produção, por exemplo manutenções preventivas.

Recolha dos dados

Para os ensaios de exposição dos trabalhadores foram seguidos os referenciais NIOSH 0500 e 0600. Os ensaios foram feitos por laboratório acreditado. A amostragem foi realizada nas condições consideradas normais para o funcionamento destes locais de trabalho e junto dos trabalhadores, à altura das vias respiratórias.

Tabela 11 - Caracterização do ar ambiente de trabalho

Posto de Trabalho	Poluente	Método de referência	Técnica de análise
Triagem	Poeiras Respiráveis e Poeiras Totais	NIOSH 0600 – 1998 e	Gravimetria
Ensaque			
Lavagem		NIOSH 0500 - 1994	
Abertura de fardos			

Não foi levantado nenhum relato de doenças agudas ou crônicas associadas, os *flakes* de PET não tem químicos adicionados (comprovado em análise laboratorial dos *flakes*).

Não foi confirmada a presença de fibras ou NP por ausência de equipamento disponível em tempo útil, mas atendendo à natureza do produto triturado não é expectável a presença de fibras. O laboratório precisa de triturar em moagem criogénica o produto atual para análise de produto químicos e para isso a dimensão necessária são 500µm, logo por teoria se o *flake* é grande e precisa reduzir até 500µm não o encontramos em NP no estado normal.

Tratamento dos dados e restituição dos resultados

Para a avaliação e interpretação dos resultados obtidos, foram comparados os valores obtidos com a Norma Portuguesa 1796, de 2014, que estabelece os valores limite de exposição profissional a agentes químicos.

Os limites Valor Limite de Exposição - Média Monderada (VLE-MP), segundo a NP 1796, para as Poeiras Respiráveis e Poeiras Totais é de 3 mg/m³ de ar e 10 mg/m³ de ar, respetivamente. Os referenciais de amostragem para nanopartículas, não são muitos, trata-se de uma área recente, sem valores limite específicos definidos. Existem algumas áreas em particular, como por exemplo os nanotubos de carbono, mas não para este contexto ocupacional.

3.2 Adaptação do modelo de avaliação de riscos

Para melhor representar a gravidade, de forma que a escala se aproxime mais das consequências para a saúde da exposição a poeiras e menos da realidade dos acidentes de trabalho, atendendo às características das partículas, vias de exposição e condições de saúde observadas, os critérios da gravidade seriam assim alterados para o descrito na tabela 12.

Tabela 12 - Novos parâmetros para avaliação da Gravidade

Parâmetros de Avaliação	Descrição	Valor
Gravidade	EXISTE HISTÓRICO DE DOENÇA CRÓNICA ASSOCIADA	16
	OU EXISTE HISTÓRICO DE DOENÇA AGUDA ASSOCIADA OU AS PARTÍCULAS MEDIDAS ESTÃO ACIMA DO VLE-MP	8
	AS PARTÍCULAS SÃO COMPOSTAS POR FIBRAS OU CONTEM AGENTES QUÍMICOS ADICIONADOS	4
	EXISTE EXPOSIÇÃO A PARTÍCULAS DE NP (< 1µm)	2
	EXISTE EXPOSIÇÃO A PARTÍCULAS DE MP (1µm – 5mm)	1

Onde critérios podem ser explicados por:

Existe histórico de doença crónica associada

Caso existe um ou mais casos de doença crónica associada, nomeadamente, diagnóstico médico confirmando sintomatologia associada a patologias respiratórias. Por exemplo: Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica (DPOC), Asma, Enfisema pulmonar ou Cancro.

Existe histórico de doença aguda associada ou as partículas medidas estão acima do VLE-MP

Caso existe um ou mais casos de sintomatologia aguda associada, nomeadamente, por exemplo: tosse, dificuldade respiratória, pneumonia. Ou se o VLE-MP, para fração respirável ou total, estão acima do designado por Lei.

As partículas são compostas por fibras ou contêm agentes químicos adicionados

Determinada a presença de fibras em suspensão ou comprovada a existência de químicos associados às partículas em suspensão.

Existe exposição a partículas de NP (< 1µm)

Determinada a presença de partículas respiráveis de dimensão inferior a < 1µm.

Existe exposição a partículas de MP (1µm – 5mm)

Determinada a presença de partículas respiráveis de dimensão entre 1µm – 5mm.

PARTE 2

4 RESULTADOS

4.1 Resultados da monitorização

A monitorização efetuada, necessária para aplicar o a recolha das amostras variou entre 63 e 66 minutos, o volume de ar recolhido variou de 0,128m³ a 0,134m³ para as poeiras totais e de 0,158m³ e 0,165m³ para as poeiras respiráveis, detalhes mostrados nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13 – Dados da amostragem para poeiras respiráveis

Posto de Trabalho	Poluente	Nº do Filtro	Volume de ar recolhido (m ³)	Tempo de amostragem (min)
Triagem	Poeiras Respiráveis	C22/421	0,158	63
Ensaque		C22/394	0,161	64
Lavagem		C22/420	0,163	65
Abertura de fardos		C22/423	0,165	66

Tabela 14 - Dados da amostragem para poeiras totais

Posto de Trabalho	Poluente	Nº do Filtro	Volume de ar recolhido (m ³)	Tempo de amostragem (min)
Triagem	Poeiras Totais	C22/381	0,128	63
Ensaque		C22/387	0,128	64
Lavagem		C22/422	0,130	65
Abertura de fardos		C22/424	0,134	66

De seguida, apresenta-se o valor determinado na amostragem e o valor limite de exposição - média ponderada (VLE - MP), segundo a NP 1796, de 2014.

Tabela 15 - Resultados - Poeiras Respiráveis

Posto de Trabalho	Poluente	Massa da Amostra (mg)	Inc. (+/-) Pesagem	Volume de ar recolhido (m ³)	Inc. (+/-) Amostragem	VD (mg/m ³ ar)	Inc. (+/-) Determinação	VLE (mg/m ³ ar)
Triagem	Poeiras Respiráveis	< LQ*	0,0055	0,158	0,048	<0,63	0,026	3
Ensaque		< LQ*	0,0053	0,161	0,048	<0,62	0,024	
Lavagem		0,1	0,0054	0,163	0,048	0,6	0,024	
Abertura de fardos		< LQ*	0,0054	0,165	0,048	<0,61	0,024	

Tabela 16 - Resultados - Poeiras Totais

Posto de Trabalho	Poluente	Massa da Amostra (mg)	Inc. (+/-) Pesagem	Volume de ar recolhido (m ³)	Inc. (+/-) Amostragem	VD (mg/m ³ ar)	Inc. (+/-) Determinação	VLE (mg/m ³ ar)
Triagem	Poeiras Totais	< LQ*	0,0053	0,128	0,048	<0,78	0,005	10
Ensaque		< LQ*	0,0054	0,128	0,048	<0,78	0,005	
Lavagem		0,1	0,0054	0,130	0,048	0,8	0,005	
Abertura de fardos		< LQ*	0,0054	0,134	0,048	<0,75	0,005	

Legenda: VD - valor determinado; VLE-MP - valor limite de exposição - média ponderada, segundo a NP 1796, de 2014; * Valor inferior ao limite de quantificação (0,1 mg)

Os resultados obtidos, apresentados nas tabelas 15 e 16, variem entre 0,75 e 0,8mg/m³ para as poeiras totais e de 0,6 e 0,63mg/m³ para as poeiras respiráveis. Os resultados foram comparados com os valores limite da norma a NP 1796 de 2014 como forma de verificação de conformidade. A incerteza dos respetivos ensaios é apresentada e a mesma não é tida em consideração para verificação a conformidade. Posto isto, face aos resultados apresentados, verificou-se que a exposição a poeiras totais e respiráveis nos postos de trabalho avaliados encontram-se abaixo dos respetivos valores limite de exposição.

Por não ser ter sido possível efetuar a deteção do número de partículas e a sua dimensão pelo método inicialmente proposto, efetuou-se um ensaio num equipamento de granulometria, SCAN SCI AS 200, igual ao representado na figura 11, o que revelou presença de poeiras de 4mm a 1mm, coincidente com a gama dos MP, ficamos assim sem resultado para os NP.



Figura 11 - Equipamento de granulometria SCI AS200

Para a detecção dos produtos químicos, foram usados os dados da monitorização diária efetuada pelo departamento de Qualidade que mede a presença de Acetaldeído, Benzeno e Bisfenol A. O equipamento usado foi um Agilent 8880 e 5977 GC System, de cromatografia gasosa igual ao representado na figura 12.



Figura 12 - Equipamento de cromatografia gasosa Agilent 8800/5977 GC System

4.2 Resultado da nova metodologia

Atendendo aos dados e valores obtido durante os trabalhos: presença confirmada de MP, ausência de NP, ausência de fibras, ausência de produtos químicos adicionados, ausência de histórico de doença aguda ou ausência de crónica, usando o método proposto MIAR adaptado para a avaliação do posto de trabalho às condições atuais e comparando com o anterior MIAR, temos o exposto na tabela 17.

Tabela 17 – Comparação Método MIAR vs MIAR adaptado (caso real)

Parâmetros de Avaliação	Método MIAR	Método MIAR adaptado
Gravidade	16	1
Extensão do impacte	5	5
Frequência	5	5
NÍVEL DE RISCO (NR):	400	25
Desempenho dos sistemas de prevenção e controlo	0,75	0,75
NÍVEL DE RISCO PONDERADO (NRP):	533	33
Critérios de priorização da intervenção	12	12
NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO:	6396	396
RESULTADO:	Priorização elevada	Priorização baixa

Assumindo a possibilidade de testar o método introduzindo de dados novos, por exemplo, um colaborador que apresentou tosse ou dificuldade respiratória pontual ou de curta duração (5dias).

Então teríamos a simulação apresentada na tabela 18. Aí vemos o desempenho do método adaptado face ao anterior.

Tabela 18 – Comparação Método MIAR vs MIAR adaptado (simulação A)

Parâmetros de Avaliação	Método MIAR	Método MIAR adaptado
Gravidade	16	8
Extensão do impacte	5	5
Frequência	5	5
NÍVEL DE RISCO (NR):	400	200
Desempenho dos sistemas de prevenção e controlo	0,75	0,75
NÍVEL DE RISCO PONDERADO (NRP):	533	267
Critérios de priorização da intervenção	12	12
NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO:	6396	3204
RESULTADO:	Priorização elevada	Priorização elevada

Para um novo cenário de um colaborador que apresentou tosse ou dificuldade respiratória pontual ou de curta duração (5 dias), mas o posto de trabalho dispõe de condições mais controladas. Então teríamos a simulação apresentada na tabela 19.

Tabela 19 – Comparação Método MIAR vs MIAR adaptado (simulação B)

Parâmetros de Avaliação	Método MIAR	Método MIAR adaptado
Gravidade	16	8
Extensão do impacte	5	5
Frequência	5	5
NÍVEL DE RISCO (NR):	400	200
Desempenho dos sistemas de prevenção e controlo	1,1	1,1
NÍVEL DE RISCO PONDERADO (NRP):	364	182
Critérios de priorização da intervenção	12	12
NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO:	4368	2184
RESULTADO:	Priorização elevada	Priorização média

Por último, testando a possibilidade de mais um dado novo, por exemplo, um colaborador diagnosticado com DPOC, nas piores condições de controlo. Então teríamos a simulação

apresentada na tabela 20. Testamos assim o cenário mais gravoso possível, o de um caso de doença crónica com péssimo controlo, e medidas simples, para atingíamos o topo da escala.

Tabela 20 – Comparação Método MIAR vs MIAR adaptado (simulação C)

Parâmetros de Avaliação	Método MIAR	Método MIAR adaptado
Gravidade	16	16
Extensão do impacte	5	5
Frequência	5	5
NÍVEL DE RISCO (NR):	400	400
Desempenho dos sistemas de prevenção e controlo	0,5	0,5
NÍVEL DE RISCO PONDERADO (NRP):	800	800
Critérios de priorização da intervenção	400	400
NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO:	320000	320000
RESULTADO:	Situações Urgentes	Situações Urgentes

5 DISCUSSÃO

5.1 Interpretação dos resultados das medições

Não foi possível verificar as dimensões e contagem de partículas, como o proposto, por não ter acesso ao equipamento necessário, não havia disponibilidade do laboratório o equipamento estava no fabricante. O esperado dessa medição teria sido o número de partículas recolhidas e a sua dimensão, numa gama de detecção de $0,3\mu\text{m}$ a $10\mu\text{m}$, o que levaria facilmente a perceber, através desse equipamento de leitura direta, se estávamos numa atmosfera com a presença de MP e/ou NP, obtendo assim dados para verificar os dois primeiros níveis da gravidade, da tabela 12, para sabermos em que posição estaríamos. Contudo, através do método de granulometria, através do equipamento Agilent 8880 e 5977 GC system foi possível obter dados que comprovem que pelo menos há partículas de PET entre 1mm e 4mm , mostrando a presença de MP.

Infelizmente não foi possível calcular com exatidão a presença de NP em tempo útil, pelo que tivemos de assumir que não temos a presença dessas partículas, dado o cruzamento com outros dados, nomeadamente a necessidade de o laboratório ter que produzir pós de $500\mu\text{m}$ para efetuar a detecção dos agentes voláteis aprisionados no PET.

O resultado da medição por gravimetria, não foi tão rápido de obter, mas também possibilitou o uso dos valores para confirmar que o VLE-MP está abaixo do valor limite. Com esses dados foi possível analisar o parâmetro da gravidade do método de avaliação, da tabela 12, para concluir que o valor 1 ainda se mantém. Esta operação foi incluída na medição legalmente exigida e prevista pela empresa, pelo que não acrescentou custos ao desenvolvimento da avaliação de riscos. Quanto aos resultados concretos, as medições mostram claramente que as partículas estão abaixo do VLE-MP, tanto para as poeiras respiráveis como para as totais incluindo a incerteza. No caso das poeiras respiráveis, os valores situam-se no intervalo de $0,6$ a $<0,63\text{ mg/m}^3$ para um VLE-MP de 3 mg/m^3 . E no caso das poeiras totais, para um VLE-MP de 10 mg/m^3 os resultados ficarem entre $0,75$ e $<0,78\text{ mg/m}^3$. Destaque para os resultados muito semelhantes em todas as linhas, mesmo com as particularidades dos locais, uns com bastante renovação de ar e outros com processos teoricamente mais produtores de poeiras de plástico.

O método atual MIAR coloca no mesmo patamar de gravidade, postos de trabalho onde poderemos ter mais ou menos partículas, não entra em conta com a quantidade medida.

O mesmo se passou com a análise das fibras por espectrometria de massa por cromatografia gasosa, não foi possível executar a medição em tempo útil, dado que teria de ser em laboratório externo, contudo não é expectável encontrar essas fibras dado que os flakes provem de garrafas de plásticas e não de fibras usadas na têxtil.

A pesquisa pelos agentes químicos é feita internamente e estavam em concentrações residuais, concretamente o Acetaldeído, Benzeno e Bisfenol A, porque são os aplicáveis aos produtos em questão.

Colocou-se a hipótese de efetuar uma análise para determinar as vias de exposição, nomeadamente colhendo amostra de sangue, urina ou fezes, em busca de presença de PET mas nenhum dos 5 laboratórios de análises contactados executava essa análise.

5.2 Comparação dos resultados das metodologias MIAR e MIAR adaptada

Como podemos ver nos resultados, ao verificar a aplicação dos dois métodos para o caso real verificamos que o método MIAR, por não entrar em linha de conta com quantidades de contaminantes e restantes fatores de agravamento, determina sempre gravidade máxima, na medida em que, como as poeiras de MP podem causar lesões graves, com incapacidade permanente absoluta (IPA) para todo e qualquer trabalho e até podem causar a morte (cancro), o valor de gravidade no MIAR é sempre 16.

Na adaptação proposta, a gravidade é 1, dado que: não existe histórico de doenças associadas, crónicas ou agudas, as partículas medidas estão abaixo dos VLE e não estão presentes fibras ou agentes químicos adicionados. Assumindo também que não temos NP. O que vai traduzir-se no valor de risco 6396 contra 396 – “Priorização elevada” contra “Priorização baixa”. Efetivamente, o local tem a exposição reduzida, logo não é viável o valor de risco mais elevado. Se assim fosse, então se o cenário piorar com o aparecimento de partículas mais pequenas, componentes químicos perigosos, fibras e colocando doenças crónicas o nível de risco e prioridade do MIAR seria o mesmo.

Na simulação A, alteramos as variantes e simulamos o aparecimento de um caso de doença aguda. Nesse contexto os resultados são 6396 contra 3204, ambos Priorização elevada, dado que apesar de a doença não ser crónica, a natureza das partículas, e falta de medidas de controlo na simulação justificam a “Priorização Elevada” do MIAR adaptado.

Na simulação B, o cenário contempla novamente doença aguda, mas o posto de trabalho já dispõe de condições mais controladas. Então o resultado é um 4368 contra 2184 – “Priorização elevada” contra “Priorização média”.

Por último, observando o cenário da simulação C, testamos um cenário mais gravoso possível, o de um caso de doença crónica com péssimo controlo, e medidas simples, para atingíamos o topo da escala. Ambos os cenários atingir o topo da valorização. Mostrando que o MIAR adaptado acompanha a realidade desde as escalas mais baixas, às mais altas.

5.3 Limitações e Vieses

Este método pode entrar em confronto com a disponibilidade de métodos e equipamentos para a deteção de fibras, por exemplo. Ele depende de um apoio laboratorial para obter os dados necessários à classificação, ou seja, necessita sempre de valores numéricos para efetuar a avaliação.

A falta de limites legais para as NP, quer sejam de PET ou mesmo genéricas, assim como o conhecimento claro sobre elas, em termos de afeção da saúde também são uma lacuna.

À algumas discrepâncias nos estudos pelos vários autores apresentados e nas suas comparações.

Outro ponto prende-se com o facto da maioria dos estudos sobre os efeitos na saúde foram feitos em contexto laboratorial e in vitro.

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Conclusões

Não só no contexto ocupacional, mas também no dia a dia, os MP estão presentes no ar interno, obviamente em menor quantidade e resultam por exemplo do desgaste de roupas, tapetes e móveis, feitos um pouco com todo o tipo de plásticos.

A bibliografia refere que a ingestão, inalação e contato dérmico de MP trazem potenciais consequências para a saúde humana, interferindo em vários sistemas do organismo humano. No entanto, os dados disponíveis sobre a presença de MP no ar e seus impactos na saúde humana são limitados, sobretudo a nível celular.

Assim conclui-se que as exposições ambientais a MP e NP são diferentes das ocupacionais, a apenas devem servir como ponto de partida analisando vias de exposição e efeitos no organismo, mas tendo a consciência que as quantidades expostas não são comparáveis. Embora atualmente não haja evidências de risco generalizado, concreto, à saúde humana, há necessidade de entender a exposição humana, especialmente a ocupacional. Existem muitos estudos e trabalhos publicados, mas a esmagadora maioria incide nos efeitos na saúde de animais, maioritariamente do meio aquático, também vemos surgir muitos estudos da contaminação atmosférica pelos MP. Ao verificar a literatura constatamos que as datas são muito recentes, o que mostra um aumento de publicação no passado recente.

Há muitos estudos dos efeitos sobre plásticos como PS e PVC, relativamente ao PET o mesmo não se verifica.

A dissertação tem por objetivo a adaptação de um método, que permita avaliar os riscos de exposição a poeiras de micro e nanoplásticos de PET, de uma forma mais ajustada à realidade da gravidade, foi possível estabelecer essa relação, embora ficamos dependentes de equipamentos e análises. Foi pensada uma nova tabela de classificação da gravidade e com ela foi possível avaliar as situações de forma mais assertiva. É visível que o método MIAR não se adequa a este contexto de doenças profissionais como se adequa à prevenção de acidentes de trabalho.

Não há estudos com metodologias de avaliação de riscos ocupacionais próprias para estes riscos emergentes.

O facto de estarmos a trabalhar com partículas muito pequenas limita bastante os métodos as sobretudo os equipamentos disponíveis para medir estas partículas, sobretudo abaixo de 1µm.

Os microplásticos estão no ar do posto de trabalho, e os trabalhadores respiram esse ar, a quantidade dessa inalação vai depender de vários fatores, como por exemplo, o esforço físico. Essas variáveis não estão devidamente exploradas.

O método não determina a quantidade respirada, ele avalia a quantidade e qualidade dos contaminantes disponíveis no posto de trabalho cruzando com históricos de doença. Assim, efetua a sequência lógica da análise do risco, ou seja, primeiro apura se há indícios da presença de certos contaminantes, em segundo lugar quantifica-os, não consegue efetuar a terceira componente que

seria verificar se houve exposição, por não analisar fezes, urina ou sangue, mas faz a última que é verificar se desenvolveu doença.

A vigilância da saúde deve ser feita com recurso a análises fezes, urina sangue em busca do PET para a sua inclusão na avaliação de riscos, mas também não conseguimos analisar fezes, urina e sangue em busca das partículas de PET, os laboratórios contactados não fazem essas análises, há falta de oferta no mercado para isto e nem existem biomarcadores publicados.

Após o trabalho conclui-se que, em Portugal, este tema é bastante relevante dada o contexto empresarial, ligado à têxtil e com grande desenvolvimento e crescimento na área dos plásticos.

6.2 Perspetivas Futuras

Os estudos no ramo da saúde ocupacional envolvendo MP e NP são muito poucos, as futuras pesquisas devem incidir neste aspeto, para que seja possível avaliar completamente o perigo desses MP e NP, mais pesquisas poderão trazer níveis de exposição e inalação em situações internas. É necessário desenvolver assim o tema, um pouco à semelhança dos restantes temas da ciência que envolvendo “nano”.

Seria importante que as futuras pesquisas se focassem na compreensão dos perigos e riscos da exposição crónica a MP e NP em concentrações relevantes para o contexto ocupacional.

7 BIBLIOGRAFIA

Akanyange, N., Lyu, X., Zhao, X., Li, X., Zhang, Y., Crittenden, J., Anning, C., (2021). Does microplastic really represent a threat? A review of the atmospheric contamination sources and potential impacts. *Science of the Total Environment*. 777 (2021). 146020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146020>

Amato-Lourenço, L.F., Galvão, L., Weger, L., Hiemstra, P., Vijver M., e Mauad, T. (2020). An emerging class of air pollutants: Potential effects of microplastics to respiratory human health? *Science of the Total Environment*. 749 (2020). 141676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141676>

Banerjee, A., e Shelver, W.L. (2021). Micro-and nanoplastic induced cellular toxicity in mammals: A review. *Science of the Total Environment*. 755 (2021). 142518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142518>

Batool, I., Qadir, A., Levermore J., e Kelly, F. (2021). Dynamics of airborne microplastics, appraisal and distributional behaviour in atmosphere; a review. *Science of the Total Environment*. 806 (2022). 150745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150745>

Brachner, A., Fragouli, D., Duarte, I., Farias, P., Dembski, S., Ghosh, M., Barisic, I., Zdzieblo, D., Vanoirbeek, J., Schwabl P., e Neuhaus, W. (2020). Assessment of Human Health Risks Posed by Nano-and Microplastics Is Currently Not Feasible. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020, 17, 8832. doi:10.3390/ijerph17238832

Bråtveit, M., Abaya, S., Sakwari G., e Moen, B. (2021). Dust Exposure and Respiratory Health Among Workers in Primary Coffee Processing Factories in Tanzania and Ethiopia. *Frontiers Public Health*. 9:730201. doi: 10.3389/fpubh.2021.730201

Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo V., e Uricchio V. (2020). A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 1212; doi:10.3390/ijerph17041212

Chen, J., e Hoek, G. (2020). Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*. 143 (2020). 105974. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>

Conti, I., Simioni, C., Varano, G., Brenna, C., Costanzi, E., e Neri, L. (2021). Legislation to limit the environmental plastic and microplastic pollution and their influence on human exposure. *Environmental Pollution*. 288 (2021). 117708. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>

D'Angelo, S. e Meccariello R. (2019) Microplastics: A Threat for Male Fertility. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 2392. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052392>

Dias, M., Gomes, B., Cervantes, R., Pena, P., Viegas S., e Viegas C. (2022). Microbial Occupational Exposure Assessments in Sawmills—A Review. *Atmosphere*. 2022, 13, 266. <https://doi.org/10.3390/atmos13020266>

Ebrahimi, P., Abbasi, S., Pashaei, R., Bogusz A., e Oleszczuk, P. (2021). Investigating impact of physicochemical properties of microplastics on human health: A short bibliometric analysis and review. *Chemosphere* 289 (2022) 133146. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133146>

Enyoh C., e Verla A., Verla E., e Ibe F., e Amaobi, C., (2019). Airborne microplastics: a review study on method for analysis, occurrence, movement and risks. *Environ Monit Assess* (2019) 191: 668. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7842-0>

Facciola, A., Visalli, G., Ciarello, M.P., e Di Pietro, A. (2020). Newly Emerging Airborne Pollutants: Current Knowledge of Health Impact of Micro and Nanoplastics. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 2997. <https://doi.org/10.3390/ijerph18062997>

Hirt, N., e Body-Malapel, M., (2020). Immunotoxicity and intestinal effects of nano- and microplastics: a review of the literature. *Particle and Fibre Toxicology*. (2020) 17:57. <https://doi.org/10.1186/s12989-020-00387-7>

Kacprzak S., e Tijning L., (2022). Microplastics in indoor environment: Sources, mitigation and fate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 10 (2022). 107359 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107359>

Katsikantami, I., Colosio, C., Alegakis, A., Tzatzarakis, M., Vakonaki, E., Rizos, A., Sarigiannis D., Tsatsakis, A. (2018). Estimation of daily intake and risk assessment of organophosphorus pesticides based on biomonitoring data – The internal exposure approach. *Food and Chemical Toxicology*. 123 (2019). 57–71. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.10.047>

Khamraev, K., Cheriyan, D., Choi, J.H. (2020). A review on health risk assessment of PM in the construction industry – Current situation and future directions. *Science of the Total Environment* 758 (2021) 143716. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143716>

Munyanaza, J., Jia, Q., Qaraah, F., Hossain, F., Wu, C., Zhen H., e Xiu G. (2022). A review of atmospheric microplastics pollution: In-depth sighting of sources, analytical methods, physiognomies, transport and risks. *Science of the Total Environment*. 822 (2022). 153339. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153339>

Prata, J.C., Costa, J.P., Lopes, I., Andrady, A., Duarte, A., e Rocha-Santos, T. (2021). A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health. *Science of the Total Environment*. 777 (2021). 146094. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146094>

Prata, J.C., Costa, J.P., Lopes, I., Duarte, A., e Rocha-Santos, T. (2019). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*. 702 (2020). 134455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>

Rodrigues, M.O., Abrantes, N., Gonçalves, F.J.M., Nogueira, H., Marques J.C. e Gonçalves A.M.M. (2019). Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health: What is known? *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 72 (2019). 103239. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.103239>

Sana, S., Dogiparthi, L., Gangadhar, L., Chakravorty A., e Abhishek, N., (2020). Effects of microplastics and nanoplastics on marine environment and human health. *Environmental Science and Pollution Research* (2020) 27:44743–44756. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10573-x>

Sánchez, A., Rodríguez-Viso, P., Domene, A., Orozco, H., Vélez, D., Devesa, V. (2022). Dietary microplastics: Occurrence, exposure and health implications. *Environmental Research* 212 (2022) 113150. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113150>

Sangkham, S., Faikhaw, O., Munkong, N., Sakunkoo, P., Arunlertaree, C., Chavali, M., Mousazadeh, M., e Tiwari, A. (2022). A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies, and potential effects on human health. *Marine Pollution Bulletin*. 181 (2022). 113832. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113832>

Tong, R., Liu, J., Ma, X., Yang, Y., Shao, G., Li, J., e Shi, M., (2019). Occupational exposure to respirable dust from the coal-fired power generation process: sources, concentration, and health risk assessment. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 75:5, 260-273, <https://DOI:10.1080/19338244.2019.1626330>

Wang, Y., Huang, J., Zhu, F. e Zhou, S. (2021). Airborne Microplastics: A Review on the Occurrence, Migration and Risks to Humans. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* (2021). 107:657–664. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03180-0>

Wieland, S., Balmes, A., Bender, J., Kitzinger, J., Meyer, F., Ramsperger, A., Roeder, F., Tengemann, C., Wimmer, B., Laforsch, C., e Kress, H. (2021). From properties to toxicity: Comparing microplastics to other airborne microparticles. *Journal of Hazardous Materials*. 428 (2022). 128151. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.128151>

Wu, P., Lin, S., Cao, G., Wu, J., Jin, H., Wang, C. e Wong, M. (2022). Absorption, distribution, metabolism, excretion, and toxicity of microplastics in the human body and health implications. *Journal of Hazardous Materials*. 437 (2022). 129361. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129361>

Xu, J.L., Lin, X., Wang, J.J. e Aoife A. Gowen, A. (2022). A review of potential human health impacts of micro-and nanoplastics exposure. *Science of the Total Environment*. 851 (2022) 158111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158111>

Yang, X., Man, Y., Wong, M., Owen, R., e Chow, K. (2022). Environmental health impacts of microplastics exposure on structural organization levels in the human body. *Science of the Total Environment*. 825 (2022). 154025. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154025>

Yee, M., Hii, L.W., Looi, C.K., Lim, W.M., Wong, S.F., Kok, Y.Y., Tan, B.K., Wong, C.Y. e Leong, C.O. (2021). Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health. *Nanomaterials* 2021, 11, 496. <https://doi.org/10.3390/nano11020496>

Zarus, G., Muianga, C., Hunter C., e Pappas, R. (2021). A Review of Data for Quantifying Human Exposures to Micro and Nanoplastics and Potential Health Risks. *Science of the Total Environment*. 2021 February 20; 756: 144010. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144010

Zhang, C., Chen, J., Ma, S. (2022). Microplastics May Be a Significant Cause of Male Infertility. *American Journal of Men's Health*. <https://doi.org/10.1177/15579883221096549>

Zhang, Q., Xu, E., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E. e Shi, H., (2020). A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure. *Environmental Science and Technology*. 2020, 54, 3740–3751. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.9b04535>

Zhang, Y., Kanga, S., Allenc, S., Allenc, D., Gaod T. e Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*. 203 (2020). 103118. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>

Zixue Sun, Z., e Wang, Z., (2021). Newly Emerging Airborne Pollutants: Current Knowledge of Health Impact of Micro and Nanoplastics.

.

ANEXOS

Anexo I: Integrated Risk Management Method – IRMM^(stone)

Parâmetros de Avaliação	Descrição	Valor
Gravidade	Aspetos que podem causar a morte.	16
	Aspetos que podem causar lesões graves, com incapacidade permanente absoluta (IPA) para todo e qualquer trabalho	
	Aspetos que podem causar lesões graves, com incapacidade temporária absoluta (ITA) > 30 dias ou incapacidade permanente absoluta (IPA) não incluída no item anterior.	8
	Aspetos que podem causar lesões menores com incapacidade temporária parcial (ITP) ou incapacidade temporária absoluta (ITA) < 30 dias.	4
	Aspetos que não apresentem perigosidade, unicamente podem causar lesões menores sem qualquer tipo de incapacidade associada.	2
	Aspetos que podem causar um incidente mas sem qualquer tipo de lesão.	1

Parâmetros de Avaliação	Descrição	Valor
Extensão do impacte	Aspeto cuja extensão pode atingir 5 ou mais trabalhadores	5
	Aspeto cuja extensão pode atingir 4 trabalhadores	4
	Aspeto cuja extensão pode atingir 3 trabalhadores	3
	Aspeto cuja extensão pode atingir 2 trabalhadores	2
	Aspeto cuja extensão pode atingir 1 trabalhador	1

Parâmetros de Avaliação	Descrição	Valor
Frequência com que ocorre o aspeto	Periodicidade diária: correspondente a aspetos que ocorrem de forma contínua e diariamente	5
	Aspetos que ocorrem ao longo do dia de forma não contínua, 3 ou mais dias por semana	4
	Aspetos que ocorrem uma a duas vezes por semana	3
	Aspetos que ocorre de forma pontual até 3 vezes por mês	2
	Aspetos que corresponde a trabalhos de manutenção, a situações de emergência, acidentais ou pontuais	1

Nível de Risco=Gravidade* Extensão do impacte* Frequência com que ocorre o aspeto

Parâmetros de Avaliação	Descrição	Valor
Desempenho dos sistemas de prevenção e controlo	Não existe sistema de prevenção nem de controlo implementado	0,5
	Não existe sistema de gestão da prevenção implementado e as práticas de segurança resumem-se à utilização pontual de EPI	0,75
	Não existe sistema de gestão da prevenção implementado mas existem práticas de segurança funcionais	1
	Existe um sistema de gestão da prevenção implementado mas sem evidências da sua adequada funcionalidade	1,1
	Existe um sistema implementado de melhoria continua interligado ao sistema de gestão de segurança	1,25

Nível de Risco Ponderado = Nível de Risco / Desempenho dos sistemas de prevenção e controlo

Tabela de Níveis de Risco / Níveis de Risco Ponderado

Bandas de Risco	Risco (NR)
1 - Baixo	≤ 8
2 - Médio	$8 < \text{índice de risco} \leq 24$
3 - Elevado	$24 < \text{índice de risco} \leq 64$
4 - Muito elevado	$64 < \text{índice de risco} \leq 160$
5- Risco Extremo	≥ 160

Parâmetros de Avaliação	Descrição	Valor
Critérios de priorização da intervenção	Medidas de prevenção de baixo investimento e complexidade técnica básica (resolvem-se com procedimentos e instruções de trabalho)	400
	Medidas de prevenção/correção com baixo investimento e complexidade técnica reduzidas (intervenção simples, pequenas alterações em equipamentos, EPI, formação, ...)	72
	Medidas de prevenção/correção de investimento médio e complexidade técnica média (Contratação de TSSHT, alterações pontuais em equipamentos ou nos processos...)	48
	Metodologia de prevenção/correção com investimento e complexidade técnica alta (Proteções coletivas, pequenas alterações de processos, ...)	12
	Metodologia de prevenção/correção com investimento e complexidade técnica elevadas (Novas tecnologias, novos processos, alterações de Layout, Contratação de especialistas externos)	1

Nível de Priorização = Nível de Risco Ponderado * Critérios de priorização da intervenção

Tabela de Níveis de Priorização

	Risco (NR)
1 - Priorização Baixa	≤ 800
2 - Priorização Média	$800 < \text{índice de priorização} \leq 2\,500$
3 - Priorização Elevada	$2\,500 < \text{índice de priorização} \leq 15\,000$
4 - Priorização Muito elevada	$15\,000 < \text{índice de priorização} \leq 50\,000$
5- Situações Urgentes	$\geq 50\,000$

Anexo II: Relatório da colheita de poeiras respiráveis e totais



adesus

COLHEITA DE POEIRAS RESPIRÁVEIS E TOTAIS DETERMINAÇÃO DA EXPOSIÇÃO A POEIRAS RESPIRÁVEIS E TOTAIS

Requerente:

Ref.^a Ensaio

0604LAB522

N.º Relatório de Ensaio

1004HS722

Data de Emissão

12 de outubro de 2022

Elaboração

Joaquim Lopes

Aprovação

Catarina Pereira



ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	3
2. DESCRIÇÃO DA AVALIAÇÃO.....	3
2.1. DATA E PERÍODO DE AMOSTRAGEM	3
2.2. LOCAIS DE AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTO DE ENSAIO.....	3
2.3. DEFINIÇÕES	4
2.4. EQUIPAMENTO UTILIZADO NA AMOSTRAGEM.....	4
2.5. AMOSTRAGEM	4
2.6. DETERMINAÇÃO DA MASSA DE POEIRAS.....	4
3. RESULTADOS.....	5
4. CONCLUSÕES	6
5. DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA.....	7
6. BOLETIM ANALÍTICO.....	9

1. INTRODUÇÃO

Por solicitação da empresa _____, a ADESUS, Lda., através do seu laboratório de ensaios, foi encarregue da realização de um estudo de avaliação da exposição de trabalhadores a poeiras totais e respiráveis, no ar ambiente de trabalho, das suas instalações situadas

2. DESCRIÇÃO DA AVALIAÇÃO

2.1. DATA E PERÍODO DE AMOSTRAGEM

A amostragem foi realizada no dia 29 de setembro de 2022, pelo laboratório de ensaios da ADESUS, Lda.

2.2. LOCAIS DE AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Para esta avaliação e de acordo com o solicitado pelo cliente, foram recolhidas amostras nos posto de trabalho que, potencialmente, podem apresentar para os trabalhadores que os ocupam, um maior risco de exposição a poeiras totais e respiráveis. De seguida, apresenta-se um quadro no qual são indicados os postos de trabalho onde se recolheram as amostras, o método de referência do ensaio e a técnica de análise utilizada.

CARATERIZAÇÃO DO AR AMBIENTE DE TRABALHO

Posto de Trabalho	Poluente	Método de referência	Técnica de análise
Cabine de Triagem	Poeiras Respiráveis e Poeiras Totais	NIOSH 0600 – 1998 e NIOSH 0500 - 1994	Gravimetria*
Ensaque			
Lavagem			
Abre-Fardos			

* Ensaio fora do âmbito da acreditação do laboratório de ensaios da Adesus, Lda; Ensaio contratado a laboratório externo.

A amostragem foi realizada nas condições consideradas normais para o funcionamento destes locais de trabalho e junto dos trabalhadores, à altura das vias respiratórias. As tarefas desempenhadas foram as usuais para estes postos de trabalho.

Para a avaliação e interpretação dos resultados obtidos, foram comparados os valores obtidos com a *Norma Portuguesa 1796*, de 2014, que estabelece os valores limite de exposição profissional a agentes químicos.

2.3. DEFINIÇÕES

☞ Valor limite de exposição – média ponderada (VLE - MP) – concentração média ponderada para um dia de trabalho de 8 horas e uma semana de 40 horas, à qual se considera que praticamente todos os trabalhadores possam estar expostos, dia após dia, sem efeitos adversos para a saúde.

☞ Poeiras (fração respirável) - Fração de Poeiras, definida segundo o critério do "British Medical Research Council" e colhida depois de passagem por um selector de granulometrias.

☞ Poeiras totais – Total de poeiras, respiráveis e não respiráveis.

2.4. EQUIPAMENTO UTILIZADO NA AMOSTRAGEM

1. Cassetes de recolha de amostra, composta por três componentes encastráveis entre si, com tampa superior e inferior;
2. Filtros de PVC (diâmetro: 37 mm, porosidade: 2-5 μm);
3. Suporte de celulose de 37mm, devidamente identificado;
4. Bomba de amostragem;
5. Ciclones 37mm (selector de granulometrias).
6. Clip de suporte da cassete e tubos de ligação à bomba;
7. Caudalímetro;
8. Folha de registo;
9. Medidor de temperatura e humidade relativa;

2.5. AMOSTRAGEM

Na tabela seguinte apresenta-se os dados de amostragem aquando a colheita das amostras:

Dados de Amostragem				
Posto de Trabalho	Poluente	Nº do Filtro	Volume de ar recolhido (m ³)	Tempo de amostragem min
Cabine de Triagem	Poeiras Respiráveis	C22/421	0,158	63
Ensaque		C22/394	0,161	64
Lavagem		C22/420	0,163	65
Abre-Fardos		C22/423	0,165	66

Dados de Amostragem

Posto de Trabalho	Poluente	Nº do Filtro	Volume de ar recolhido (m ³)	Tempo de amostragem min
Cabine de Triagem	Poeiras Totais	C22/381	0,128	63
Ensaque		C22/387	0,128	64
Lavagem		C22/422	0,130	65
Abre-Fardos		C22/424	0,134	66

2.6. DETERMINAÇÃO DA MASSA DE POEIRAS

Para a determinação da massa de poeiras totais e respiráveis foi utilizada a técnica de gravimetria*. O ensaio laboratorial decorreu a 6 de outubro de 2022.

* Ensaio fora do âmbito da acreditação do laboratório de ensaios da Adesus, Lda; Ensaio contratado a laboratório externo.

3. RESULTADOS

De seguida, apresenta-se o valor determinado na amostragem e o valor limite de exposição - média ponderada (VLE - MP), segundo a NP1796, de 2014.

RESULTADOS - Poeiras Respiráveis**

Posto de Trabalho	Poluente	Massa da Amostra (mg) *	Inc (+/-) Pesagem	Volume de ar recolhido (m ³)	Inc (+/-) Amostragem	VD (mg/m ³ ar)	Inc (+/-) Determinação	VLE (mg/m ³ ar)
Cabine de Triagem	Poeiras Respiráveis	<LQ*	0,0055	0,158	0,048	<0,63	0,026	3
Ensaque		<LQ*	0,0053	0,161	0,048	<0,62	0,024	
Lavagem		0,1	0,0054	0,163	0,048	0,6	0,024	
Abre-Fardos		<LQ*	0,0054	0,165	0,048	<0,61	0,024	

RESULTADOS - Poeiras Totais**

Posto de Trabalho	Poluente	Massa da Amostra (mg) *	Inc (+/-) Pesagem	Volume de ar recolhido (m ³)	Inc (+/-) Amostragem	VD (mg/m ³ ar)	Inc (+/-) Determinação	VLE (mg/m ³ ar)
Cabine de Triagem	Poeiras Totais	<LQ*	0,0053	0,128	0,048	<0,78	0,005	10
Ensaque		<LQ*	0,0054	0,128	0,048	<0,78	0,005	
Lavagem		0,1	0,0054	0,130	0,048	0,8	0,005	
Abre-Fardos		<LQ*	0,0054	0,134	0,048	<0,75	0,005	

VD - valor determinado

VLE-MP - valor limite de exposição - média ponderada, segundo a NP 1796, de 2014

* Valor inferior ao limite de quantificação (0,1 mg)

** Ensaio fora do âmbito da acreditação do laboratório de ensaios da Adesus, Lda; Ensaio contratado a laboratório externo acreditado.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos são comparados com os valores limite normativos como forma de verificação de conformidade. A incerteza dos respectivos ensaios é apresentada e a mesma não é tida em consideração para verificação da conformidade.

Posto isto, face aos resultados apresentados, verificou-se que a exposição a poeiras totais e respiráveis nos postos de trabalho avaliados encontram-se **abaixo** dos respectivos valores limite de exposição.

5. DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

INSTITUTO PORTUGUÊS DE ACREDITAÇÃO IPAC accreditação PORTUGUESE ACCREDITATION INSTITUTE Rua António Gálao, 2-2º 2829-513 CAPARICA, Portugal Tel: +351.212.948.201 Fax: +351.212.948.202 acredita@ipac.pt www.ipac.pt	
Certificado de Acreditação	Accreditation Certificate
O Instituto Português de Acreditação (IPAC) declara, como organismo nacional de acreditação, que ADESUS, Lda. Labdesus - Laboratório de ensaios Rua de Baguim, 10 4445-029 Alfena - Valongo cumprе com os critérios de acreditação para Laboratórios de Ensaio estabelecidos na NP EN ISO/IEC 17025:2005 Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração. A acreditação demonstra a competência técnica para o âmbito descrito no(s) Anexo(s) Técnico(s) com o mesmo número de acreditação, e o funcionamento de um sistema de gestão da qualidade. A acreditação é válida enquanto o laboratório continuar a cumprir com todos os critérios de acreditação estabelecidos. A acreditação foi concedida em 2007-06-21. O presente Certificado tem o número de acreditação L0448 e foi emitido em 2007-06-21.	The Portuguese Accreditation Institute (IPAC) hereby declares, as national accreditation body, that complies with the accreditation criteria for testing laboratories as laid down in ISO/IEC 17025 - General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. The accreditation demonstrates technical competence for scope described in the Annex(es) bearing the same accreditation number, and the operation of a quality management system The accreditation is valid provided that the laboratory continues to meet the accreditation criteria established. The accreditation was granted for the first time on 2007-06-21. This Certificate has the accreditation number L0448 and was issued on 2007-06-21.
 Leopoldo Cortez Director	
O IPAC é signatário dos Acordos de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC O presente Certificado e o(s) seu(s) Anexo(s) Técnico(s) estão sujeitos a modificações, suspensões temporárias e eventual anulação. A sua atualização e validade pode ser confirmada na página www.ipac.pt.	IPAC is a signatory to the EA MLA and ILAC MRA This Certificate and its Annex(es) can be modified, temporarily suspended and eventually withdrawn. Its actualization and validity can be confirmed at www.ipac.pt.

O anexo técnico referente ao certificado de acreditação L0448 pode ser consultado no seguinte link:

<http://www.ipac.pt/docsig/?K0S4-A0F6-C33O-MW93>



Digitally signed by
LABMETRO Online
Date: 2022.05.10
07:57:18 UTC

Labmetro de Calibração em Metrologia Física



Instalações Oeiras

Certificado de Calibração

Data de emissão: 2022.05.09

Certificado N.º : CGAS582/22

Página 1 de 2

Equipamento:	Calibrador primário de fluxo de ar	Indicação:	Digital
Marca:	Drycal	N.º ident.:	DC 01
Modelo:	DCL/ML	N.º série:	110207
Intervalo de medição:	5 mL/min a 99,99 mL/min	Resolução:	0,01 mL/min
		(do dispositivo afixador)	
Intervalo de medição:	100 mL/min a 999,9 mL/min	Resolução:	0,1 mL/min
		(do dispositivo afixador)	
Intervalo de medição:	1000 mL/min a 5000 mL/min	Resolução:	1 mL/min
		(do dispositivo afixador)	

Cliente: **ADESUS, LDA**
RUA DE BAGUIM, 10
4445-029 ALFENA

Data de Calibração: 2022.05.09

Condições Ambientais: Temperatura: (20,1 ± 0,5) °C Humidade Relativa: 52,3 %/hr

Procedimento: PO.M-DM/GÁS - 001 Ed.I Rev.01
PO.M-DM/GÁS - 004 Ed.F Rev.00

Rastreabilidade: Gasómetro 500 dm³ N.º ID LG 002, rastreado ao IPQ - Instituto Português da Qualidade.
Cronómetro N.º LG 048, rastreado ao ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade.

Estado do Equipamento: Não foram identificados aspectos relevantes que afectassem os resultados.

Resultados: Encontram-se apresentados na(s) folhas em anexo.
"A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão k=XX, o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02."

Elaborado por

Nuno Bento Dias

Responsável pela validação

Tânia Farinha

labmetro@isq.pt <http://metrologia.isq.pt>

Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal • Tel.: +351 214 228 100

DN/064.05/21

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é a signatária da EA, da ILAC e da ILAC-MRA para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é a signatária da EA, da ILAC e da ILAC-MRA para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é a signatária da EA, da ILAC e da ILAC-MRA para ensaios, calibrações e inspeções. Os resultados apresentados referem-se apenas aos equipamentos ensaiados/calibrados. The reported results relate only to the equipment tested/calibrated.

6. BOLETIM ANALÍTICO



MAIEUTICA - Cooperativa de Ensino Superior C.R.L. | Av. Carlos Oliveira Campos 4475-690 Maia | Telef: 22 986 60 81 | Fax: 22 982 53 31 | E-mail: catst@maeutica.pt

BOLETIM TÉCNICO

N.º RT2250/CATST_DA

DETERMINAÇÃO DE POEIRAS TOTAIS E RESPIRÁVEIS

07/10/2022

Ficha Técnica

Cliente ADESUS S.A.

Contacto Catarina Pereira

Morada Rua de Baguim, 10
4445-029 Alfena, Valongo

Atividade Prestação de Serviços

Proposta PS2110/CATST_DA

Local de realização do
ensaio CATST

Método de Ensaio NIOSH 0500 - PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED, TOTAL, de 15 de Agosto de 1994

NIOSH 0600 - PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED, RESPIRABLE, de 15 de Janeiro de 1998

Data de Entrega dos
Filtros 17/08/2022
20/09/2022Data de Receção dos
Filtros Amostrados 30/09/2022Técnico(s)
Responsável(eis) Rute Monteiro
João Tavares

Sistema de Medição

Entidade de calibração

Certificado de calibração

Micro balança marca Sartorius, modelo ME5-F R SARBME5-F, nº de série 25307281, resolução 0,001 mg

ISQ

CMAS 2463/22

Termo higrometro, marca TESTO, modelo 175H1, nº de série 40313880 203

ISQ

CHUM 9033/21

Filtros de PVC com 37 mm de diâmetro e 5 µm de porosidade

Apresentação de Resultados

Data Pesagem Inicial	Data Pesagem Final	Referência do filtro	Massa Inicial (mg)	Massa Final (mg)	Diferença Mássica (mg)	± Incerteza (mg)
07/07/2022	06/10/2022	C22/381	10,738	10,759	<LQ*	0,0053
		C22/387	10,596	10,632	<LQ*	0,0054
		C22/394	11,342	11,376	<LQ*	0,0053
16/09/2022	06/10/2022	C22/420	10,462	10,521	0,1	0,0054
		C22/421	10,130	10,140	<LQ*	0,0055
		C22/422	9,852	9,936	0,1	0,0054
		C22/423	9,785	9,808	<LQ*	0,0054
		C22/424	11,060	11,080	<LQ*	0,0054
		C22/442	9,789	9,792	<LQ*	0,0055

Nota 3: A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza padrão multiplicada por um factor de expansão $k = 2$, o que, para uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de expansão de aproximadamente 95%.

Elaborado

(Rute Monteiro)

Validado

(João Tavares)