U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

AVALIAÇÃO DE RISCOS OCUPACIONAIS NUMA LITOTECA

AMILCAR HUMBERTO ANTÓNIO LOPES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Orientadora: Professora Doutora Maria Luísa Matos

Coorientadora: Professora Doutora Jaqueline Castelo Branco da Silva

OUTUBRO, 2026

"Tudo o que temos de decidir é o que fazer com o tempo que nos é dado."

Gandalf em O Senhor dos Anéis

Em memória da minha mãe, 1959-2026

AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos vão às Professoras Maria Luísa Matos e Jaqueline Castelo Branco, pela orientação, disponibilidade infatigável e acima de tudo muita paciência, demonstradas ao longo destes meses todos de concretização desta dissertação.

Ao curso de Mestrado em Engenharia da Segurança e Higiene Ocupacionais como um todo e os respetivos professores, o meu sincero obrigado.

À minha família e amigos, pela força e motivação demonstradas. Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) pela disponibilidade e possibilidade de acesso à informação e às instalações.

RESUMO

Introdução – As litotecas são infraestruturas técnicas especializadas destinadas à receção, preparação, catalogação e armazenamento de amostras geológicas, desempenhando um papel relevante no apoio à investigação científica, à prospeção de recursos e à análise laboratorial. Esta diversidade operacional expõe os trabalhadores a diferentes riscos ocupacionais. Apesar da existência de enquadramento legal e de orientações para laboratórios e armazéns industriais, verifica-se uma lacuna significativa de estudos específicos sobre a avaliação de riscos ocupacionais em litotecas, o que justifica a relevância e a necessidade da presente investigação.

Objetivos – O principal objetivo da dissertação é avaliar os riscos ocupacionais associados às atividades desenvolvidas numa litoteca, através do estudo de caso da Litoteca do LNEG em São Mamede de Infesta, com vista a apoiar a definição de medidas de prevenção e controlo adequadas às características específicas deste tipo de instalação.

Metodologia – O estudo foi desenvolvido com base na observação direta das atividades realizadas na litoteca. Os riscos identificados foram avaliados através dos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR, procedendo-se posteriormente à comparação dos resultados obtidos e à sua análise estatística. A caracterização da exposição ocupacional foi complementada com medições de poeiras inaláveis e respiráveis, segundo os métodos NIOSH 0500 e NIOSH 0600, e de ruído ocupacional, de acordo com a legislação portuguesa aplicável.

Resultados – A avaliação dos riscos permitiu identificar o armazenamento do acervo central como a atividade de maior criticidade, enquanto o processo de registo e catalogação apresentou os níveis de risco mais reduzidos. A comparação entre os métodos demonstrou diferenças na classificação e priorização dos riscos, verificando-se que o William Fine apresentou uma distribuição mais equilibrada dos níveis de risco, a NTP 330 evidenciou uma abordagem mais conservadora na definição das prioridades de intervenção e o MIAR apresentou uma distribuição predominantemente centrada em níveis intermédios de priorização. A monitorização gravimétrica revelou concentrações de poeiras inferiores aos valores-limite considerados, enquanto a avaliação do ruído identificou uma situação de exposição diária superior ao valor-limite legal, tornando necessária a implementação de medidas de controlo e a utilização de proteção auditiva adequada.

Conclusões – Os resultados obtidos permitiram caracterizar os principais riscos ocupacionais existentes na litoteca e demonstraram que a utilização conjunta dos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR proporciona uma avaliação mais abrangente dos riscos do que a aplicação isolada de qualquer uma das metodologias. A integração da avaliação de riscos com a monitorização de poeiras e ruído permitiu complementar a caracterização das condições de trabalho, constituindo um suporte técnico para a definição de medidas preventivas e para a melhoria das condições de segurança e saúde neste tipo de instalações.

PALAVRAS-CHAVE: litoteca, riscos ocupacionais, avaliação de riscos, segurança e saúde no trabalho, higiene ocupacional.

ABSTRACT

Introduction – Core repositories are specialised technical facilities dedicated to the reception, preparation, cataloguing, and storage of geological samples. They play a fundamental role in supporting scientific research, mineral resource exploration, and laboratory analysis. The wide range of activities carried out in these facilities exposes workers to different occupational hazards. Although a legal framework and occupational safety guidelines exist for laboratories and industrial warehouses, there is a significant lack of studies addressing occupational risk assessment in core repositories, which highlights the relevance and necessity of the present research.

Objectives – The main objective of this dissertation was to assess the occupational risks associated with the activities performed in a core repository through a case study of the LNEG Core Repository in São Mamede de Infesta, with the aim of supporting the definition of preventive and control measures tailored to the specific characteristics of this type of facility.

Methodology – The study was based on the direct observation of the activities carried out in the core repository. The identified risks were assessed using the William Fine, NTP 330, and MIAR methods, followed by a comparative analysis and statistical evaluation of the results. Occupational exposure assessment was complemented by measurements of inhalable and respirable dust, according to the NIOSH 0500 and NIOSH 0600 methods, and occupational noise measurements, in accordance with the applicable Portuguese legislation.

Results – The risk assessment identified the central repository storage area as the most critical activity, whereas the registration and cataloguing process presented the lowest risk levels. The comparison of the three methods revealed differences in risk classification and prioritisation. William Fine provided a more balanced distribution of risk levels, NTP 330 adopted a more conservative approach in establishing intervention priorities, and MIAR produced a distribution predominantly centred on intermediate prioritisation levels. Gravimetric monitoring showed dust concentrations below the adopted occupational exposure limit values, whereas the noise assessment identified a daily exposure level exceeding the legal exposure limit value, requiring the implementation of additional control measures and the use of appropriate hearing protection.

Conclusions – The results made it possible to characterise the main occupational risks present in the core repository and demonstrated that the combined application of the William Fine, NTP 330, and MIAR methods provides a more comprehensive assessment of occupational risks than the isolated use of any individual methodology. The integration of risk assessment with occupational dust and noise monitoring complemented the characterisation of working conditions, providing a sound technical basis for the definition of preventive measures and for improving occupational safety and health in this type of facility.

KEYWORDS: core repository, occupational hazards, risk assessment, occupational health and safety, occupational hygiene.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO 1

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO 4

2 FUNDAMENTAÇÃO DO TRABALHO 7

2.1 APRESENTAÇÃO DA INSTITUIÇÃO 7

2.2 REVISÃO TÉCNICA DA GESTÃO DE RISCO OCUPACIONAL 9

2.3 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO 10

2.4 ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO 12

2.5 CONHECIMENTO CIENTÍFICO 16

2.5.1 Metodologia de pesquisa bibliográfica 16

2.5.2 Resultados da Pesquisa 22

2.6 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO 24

3 MATERIAIS E MÉTODOS 27

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO 27

3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO OPERATIVO 29

3.2.1 Receção de Testemunhos 29

3.2.2 3.Preparação e Tratamento de testemunhos 31

3.2.3 Catalogação e Inventariação 32

3.2.4 Armazenamento e Gestão de Acervo 33

3.2.5 Consulta e Cedência 34

3.3 METODOLOGIAS AVALIAÇÃO DOS RISCOS E CARACTERIZAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL 34

3.3.1 Método William Fine 34

3.3.2 Método NTP 330 35

3.3.3 Método Integrado de Avaliação de Risco 35

3.3.4 Avaliação da exposição ocupacional a poeiras 36

3.3.5 Avaliação da exposição ocupacional ao ruído 37

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 39

4.1 SETORES AVALIADOS 39

4.1.1 Zona de Receção de Material 39

4.1.2 Zona de Preparação de testemunhos e amostras 45

4.1.3 Zona de Registo e Catalogação 49

4.1.4 Zona de Armazenamento do Acervo Central 54

4.2 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DOS DIFERENTES MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RISCO 62

4.3 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A POEIRAS 64

4.4 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL AO RUÍDO E EFICÁCIA DA PROTEÇÃO AUDITIVA 66

5 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS 68

5.1 CONCLUSÕES 68

5.2 PERSPETIVAS FUTURAS 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Armazenamento de testemunhos. 8
Figura 2: Processo de gestão do risco 14
Figura 3: Fluxo de informação aplicado às distintas fases da revisão bibliográfica 18
Figura 4: Fluxograma do Processo metodológico 28
Figura 5: Fluxograma do processo produtivo da Litoteca 29
Figura 6: Despaletização de testemunhos de sondagens 30
Figura 7: Sala de Corte de testemunhos e amostras 31
Figura 8: Serra diamantada de bancada 31
Figura 9: Catalogação de Testemunhos 32
Figura 10: Área de catalogação de testemunhos 32
Figura 11: Área de Armazenamento e uma Plataforma Elevatória 33
Figura 12: Operação de *Stacker* na despaletização 40
Figura 13: Classificação do risco - Método William Fine 44
Figura 14: Nível de intervenção - Método NTP 330 44
Figura 15: Nível de priorização - Método MIAR 44
Figura 16: Corte de Testemunhos 46
Figura 17: Fragmentação de amostras 46
Figura 18: Classificação do risco - Método William Fine 48
Figura 19: Nível de intervenção - Método NTP 330 48
Figura 20: Nível de priorização - Método MIAR 48
Figura 21: Identificação do Material Geológico 50
Figura 22: Classificação do risco - Método William Fine 53
Figura 23: Nível de intervenção - Método NTP 330 53
Figura 24: Nível de priorização - Método MIAR 53
Figura 25: Manobra da Plataforma Elevatória Móvel de Pessoal 55
Figura 26: Classificação do risco - Método William Fine 60
Figura 27: Nível de intervenção - Método NTP 330 60
Figura 28: Nível de priorização - Método MIAR 60
Figura 29: Nível de Risco - Comparação entre métodos 62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Vantagens e limitações dos principais tipos de métodos de avaliação do risco adaptado de (Botelho, 2015; Mendonça, 2013) 11
Tabela 2: Listagem de Diplomas legais usados na dissertação 12
Tabela 3: Listagem de normas usadas na dissertação 15
Tabela 4: síntese dos artigos selecionados para a revisão bibliográfica 19
Tabela 5: Valoração do nível de risco pelos três métodos: William Fine, NTP330 e MIAR - Receção e Triagem de material geológico 42
Tabela 6: Resultado estatístico do processo receção de material obtidos pelos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR 44
Tabela 7: Valoração do nível de risco pelos três métodos: William Fine, NTP330 e MIAR - Preparação de amostras e testemunhos 47
Tabela 8: Resultado estatístico do processo de preparação de amostras e testemunhos obtidos pelos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR 48
Tabela 9: Valoração do nível de risco pelos três métodos: William Fine, NTP330 e MIAR - Registo e Catalogação 51
Tabela 10: Resultado estatístico do processo de registo e catalogação obtidos pelos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR 53
Tabela 11: Valoração do nível de risco pelos três métodos: William Fine, NTP330 e MIAR - Armazenamento do acervo central 57
Tabela 12: Resultado estatístico do processo de armazenamento do acervo central obtidos pelos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR 60
Tabela 13: Resultados da avaliação gravimétrica de exposição de poeiras 64
Tabela 14: Caracterização da exposição ao ruído por tarefa e diagnóstico de conformidade legal 66
Tabela 15: Comparação da atenuação por banda de frequência e do nível de exposição no ouvido para os protetores auditivos avaliados 66

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

EU-OSHA – European Agency for Safety and Health at Work

FMEA – Failure Modes and Effects Analysis (Análise dos Modos de Falha e dos seus Efeitos)

HAZOP – Hazard and Operability study (Estudos de Perigo e Operabilidade)

HIRARC – Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (Identificação de Perigo, Avaliação de Risco e Controlo de Risco)

I.A – Inteligência Artificial

LAeq – Nível de pressão sonora contínuo equivalente, ponderado em A

LEx, 8h – Valor Limite de exposição diária normalizada para 8 horas

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MIAR – Método Integrado de Avaliação de Riscos

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health (Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional)

OSHA – Occupational Safety and Health Administration

PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (Itens Preferenciais de Reporte para Revisões Sistemáticas e Meta-Análises)

VLE – Valor Limite Exposição

PARTE 1

1
INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As litotecas caracterizam-se como infraestruturas técnicas destinadas à receção, preparação, catalogação e armazenagem de amostras geológicas, exercendo um papel crucial no apoio a atividades de investigação científica, exploração mineral e análise laboratorial (Ramírez-Amador et al., 2025).

Na literatura técnica, estas infraestruturas são descritas como acervos técnico-científicos que garantem a manutenção e identificação de coleções de amostras geológicas ao longo do tempo, possibilitando o seu manuseamento metódico para investigações posteriores[1].

Essas instalações reúnem características simultâneas de arquivo técnico, laboratório e armazém, combinando operações que compreendem a movimentação de cargas, o corte e disposição de amostras rochosas, o registo e catalogação, e a gestão do armazenamento de grande volume (U.S. Geological Survey, 2015).

A complexidade operacional de uma litoteca reside na transição constante entre a logística de armazenamento e o processamento mecânico de materiais de elevada dureza. Esta dinâmica expõe os operadores à uma matriz de perigos onde os agentes físicos, como o ruído de alta frequência e as vibrações segmentares (mão-braço), não são apenas subprodutos, mas elementos intrínsecos ao corte diamantado de testemunhos (Hanieh & Al Balasie, 2021).

[1] Repositório Geológico Nacional - Serviço Geológico Britânico

Do ponto de vista da segurança de máquinas, a utilização de serras e picadeiras, sem sistemas de exaustão ou enclausuramento eficaz introduz riscos mecânicos críticos, nomeadamente o contacto inadvertido com órgãos móveis e a projeção de fragmentos rochosos sob alta energia cinética (IEC/ISO 16089, 2025).

No contexto similar das litotecas, as exigências físicas ligadas ao manuseio manual de caixas contendo amostras geológicas impõem desafios significativos do ponto de vista ergonómico. A norma IEC/ISO 11228-1 (2021) explica que o peso elevado, a geometria das embalagens e a necessidade de transporte frequente contribuem para uma exposição significativa a esforços físicos, ampliando a probabilidade de surgimento de lesões músculo-esqueléticas, especialmente quando estas tarefas são realizadas de forma repetitiva ou sem apoio mecânico adequado.

A configuração das zonas de armazenamento em litotecas, caracterizada por conjuntos de prateleiras vertical de elevada densidade, introduz variáveis de risco que transcendem a mera gestão de espaço. A verticalização, embora otimize a capacidade do acervo, altera severamente o centro de gravidade das operações de carga, onde a interface entre o operador e o sistema de elevação (PEMP e *Stacker*) ocorre em corredores de circulação limitada. Estas condições aumentam a complexidade das operações logísticas e potenciam riscos associados a colisões com equipamentos móveis, queda de materiais e dificuldades ergonómicas no acesso às zonas superiores de armazenamento, particularmente em atividades de transporte e armazenagem com elevada densidade operacional (EU-OSHA, 2023).

A literatura técnica demonstra que ambientes que combinam operações de corte, preparação de amostras, movimentação de cargas e armazenamento em altura apresentam riscos que exigem uma avaliação sistemática e a aplicação de medidas de controlo estruturadas. Apesar disso, observa-se uma lacuna significativa na literatura científica relativamente à caracterização dos riscos ocupacionais em litotecas, particularmente no que respeita à ocorrência de acidentes, mecanismos de lesão e fatores contribuintes. A maioria dos estudos disponíveis centra-se predominantemente na preservação e gestão de coleções geológicas, existindo limitada produção científica dedicada à segurança ocupacional neste tipo de infraestrutura.

Neste contexto, torna-se necessário recorrer à evidência proveniente de setores operacionais comparáveis, nomeadamente laboratórios geológicos, atividades laboratoriais e sistemas de armazenagem industrial.

No contexto de laboratórios geológicos, foram reportados mais de 50 acidentes laboratoriais fatais a nível mundial entre 2000 e 2021, evidenciando que, apesar de não serem frequentes, podem apresentar consequências graves. Adicionalmente, cerca de 98% dos acidentes estão associados a fatores humanos, nomeadamente erros operacionais e falhas de procedimento, incluindo riscos mecânicos associados a equipamentos de corte, suscetíveis de originar cortes e lesões graves (Al-Bakri et al., 2023).

De acordo com dados do Eurostat referentes a 2023, registaram-se cerca de 2,83 milhões de acidentes de trabalho não fatais e 3.298 acidentes mortais na União Europeia. Ao nível setorial, a categoria de transporte e armazenagem, é responsável por aproximadamente 16,4% dos acidentes mortais, evidenciando um contributo relevante para a sinistralidade laboral[2]. Importa, contudo, referir que o Eurostat não disponibiliza dados desagregados exclusivamente para o armazenamento, ainda assim, esta agregação é metodologicamente aceitável, uma vez que abrange operações logísticas e de manuseamento de cargas diretamente comparáveis aos contextos de armazenagem. E segundo o mesmo Eurostat, os acidentes mais frequentemente reportados nestes contextos incluem quedas de objetos, colisões com equipamentos móveis, esmagamentos, cortes e lesões músculo-esqueléticas associadas ao manuseamento de cargas.

De forma semelhante, a International Labour Organization (2024) destaca que tarefas caracterizadas por esforço físico repetitivo, circulação em espaços condicionados e interação homem-máquina apresentam maior vulnerabilidade à ocorrência de acidentes ocupacionais. Estas condições tornam-se particularmente relevantes em litotecas, onde coexistem operações de armazenamento em altura, utilização de *stackers* e plataformas elevatórias, corte de materiais geológicos e movimentação frequente de caixas de elevado peso.

[2] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents_at_work_statistics (acedido em 23/03/2026)

A análise da literatura demonstra igualmente que os acidentes em ambientes laboratoriais e de armazenagem raramente resultam de uma única causa isolada, estando frequentemente associados à interação entre fatores técnicos, humanos e organizacionais. Estudos recentes evidenciam que falhas de comunicação, insuficiência de formação, inadequação dos procedimentos operacionais e ausência de cultura de segurança constituem fatores contribuintes recorrentes em acidentes ocupacionais envolvendo equipamentos mecânicos, movimentação de cargas e operações laboratoriais (Floeder et al., 2025).

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O primeiro capítulo, de carácter Introdutório, é dedicado à contextualização da temática da avaliação de riscos ocupacionais aplicada a ambientes técnicos e laboratoriais, com particular enfoque nas litotecas. Neste capítulo é apresentada a relevância do tema, o enquadramento geral do estudo e a problemática de investigação que fundamenta o desenvolvimento do trabalho.

O segundo capítulo corresponde à Fundamentação do Trabalho e encontra-se organizado em duas vertentes complementares. Numa primeira parte é apresentado o enquadramento da Litoteca do LNEG em São Mamede de Infesta. Numa segunda parte é desenvolvido o enquadramento teórico e científico, através de uma revisão sistemática da literatura sobre avaliação de riscos ocupacionais em ambientes laboratoriais e técnicos comparáveis, bem como do enquadramento legal e normativo aplicável.

O terceiro capítulo, dedicado aos Materiais e Métodos, descreve o percurso metodológico proposto para a realização do estudo. Neste capítulo são apresentados os métodos de identificação e avaliação de riscos a aplicar, os critérios de análise adotados, os equipamentos de medição previstos e os procedimentos a seguir, de forma a assegurar a coerência e a reprodutibilidade do trabalho.

No quarto capítulo, Resultados e Discussão, centra-se apresentação e interpretação dos resultados obtidos no âmbito da identificação e avaliação de riscos na litoteca, conforme descrito no capítulo terceiro.

O quinto capítulo dedica-se à apresentação das Considerações Finais do estudo, integrando uma síntese dos principais resultados alcançados. São igualmente analisadas as limitações e os constrangimentos identificados ao longo do trabalho, bem como os potenciais enviesamentos associados à sua condução, sendo ainda indicadas possíveis linhas de investigação futura.

2
FUNDAMENTAÇÃO DO TRABALHO

2.1 APRESENTAÇÃO DA INSTITUIÇÃO

A presente dissertação foi realizada na Litoteca do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) em São Mamede de Infesta (SMI) que é uma das três infraestruturas que integram o sistema nacional de armazenamento de amostras geológicas.

A litoteca do LNEG tem como principal função a preservação, organização e disponibilização de materiais geológicos e respetiva documentação técnica, assegurando a conservação de um património científico de elevado valor estratégico e económico. Estes recursos encontram-se acessíveis a investigadores, estudantes, entidades públicas e empresas, constituindo um suporte fundamental para atividades de investigação, prospeção e desenvolvimento científico.

Nestes arquivos são armazenadas e organizadas coleções de testemunhos de sondagens, amostras de rochas, fósseis, minerais, solos e sedimentos aluvionares, bem como informação resultante de levantamentos geológicos realizados no território nacional. Este conjunto de materiais encontra-se sob responsabilidade do LNEG, ao abrigo do (Decreto n.º 39669 de 20 de maio de 1954, 1954).

No caso específico da Litoteca do LNEG em São Mamede Infesta, esta unidade constitui o principal arquivo nacional de sondagens geológicas referentes às regiões Norte e Centro do país. O acervo atualmente preservado integra mais de 124 000 metros de testemunhos de sondagem, correspondentes a 1538 registos distintos, a que se somam cerca de 30 000 amostras geológicas[3]. A Figura 1 ilustra uma estante ou *rack* de armazenamento de testemunhos de sondagens.



Figura 1: Armazenamento de testemunhos.

Fonte: Fotografia do autor, 2026

Paralelamente à sua função técnica, a Litoteca do LNEG em São Mamede Infesta acolhe uma mostra didática dedicada à evolução do conhecimento cartográfico geológico em Portugal, concebida para receber visitas de estudo de escolas, universidades e do público em geral. Esta componente expositiva encontra-se integrada na Rede de Museus de Matosinhos, reforçando a dimensão educativa e de divulgação científica associada à litoteca.

[3] https://www.lneg.pt/other-infrastructure/litoteca/litoteca-sao-mamede-infesta/ (acedido em 29/03/2026)

2.2 REVISÃO TÉCNICA DA GESTÃO DE RISCO OCUPACIONAL

A gestão do risco ocupacional constitui um processo contínuo e estruturado orientado para a identificação, análise, avaliação e controlo dos fatores suscetíveis de comprometer a segurança e a saúde dos trabalhadores (IEC/ISO 45001, 2019). A crescente complexidade dos ambientes de trabalho, associada à mecanização dos processos e à interação entre fatores técnicos, humanos e organizacionais, tem reforçado a necessidade de abordagens preventivas integradas e sistemáticas (Badri et al., 2018).

Os principais referenciais de segurança e saúde no trabalho salientam a importância de integrar a gestão do risco nos processos organizacionais, através da identificação dos perigos, avaliação das condições de exposição e implementação de medidas de prevenção e controlo adequadas. A ILO (2023) destaca, neste âmbito, a prevenção, a melhoria contínua e a participação dos trabalhadores como elementos fundamentais para o desenvolvimento de sistemas eficazes de segurança e saúde no trabalho.

A identificação de perigos constitui uma etapa fundamental deste processo, permitindo reconhecer condições, atividades ou fatores com potencial para provocar lesões ou danos à saúde. Em ambientes técnicos e laboratoriais, esta identificação pode abranger equipamentos de trabalho, movimentação e armazenamento de materiais, exposição a agentes físicos e químicos e condições organizacionais das tarefas (Fatemi et al., 2022). A análise e avaliação subsequentes permitem apreciar a probabilidade de ocorrência, a severidade das consequências e, quando aplicável, as condições de exposição, possibilitando a hierarquização dos riscos e o apoio à definição de prioridades de intervenção (Dehdashti et al., 2024).

O tratamento do risco compreende a definição e implementação de medidas destinadas à eliminação ou redução dos riscos identificados. Neste âmbito, a hierarquia de controlo privilegia, sempre que possível, medidas de eliminação, substituição e controlo de engenharia, relativamente a medidas administrativas ou à utilização isolada de equipamentos de proteção individual (Ajslev et al., 2022). A seleção das medidas deve considerar as características das atividades, as condições de trabalho e os fatores técnicos, organizacionais e humanos envolvidos (Liu et al., 2023).

2.3 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO

A avaliação do risco pode recorrer a diferentes tipos de metodologias, cuja escolha depende da natureza dos perigos identificados, da informação disponível e do grau de detalhe pretendido. De forma geral, estas metodologias podem ser classificadas em qualitativas, semi-quantitativas e quantitativas**,** apresentando diferentes níveis de complexidade, precisão e requisitos de informação (Aven, 2016).

Os métodos qualitativos baseiam-se na descrição e classificação das situações de risco, recorrendo frequentemente à apreciação da probabilidade de ocorrência e da severidade das consequências. São particularmente úteis em fases iniciais de identificação de perigos e em situações nas quais a informação quantitativa disponível é limitada. Contudo, os resultados podem apresentar maior dependência do julgamento dos avaliadores e menor capacidade de comparação entre diferentes situações de risco (Khan et al., 2015; Popov et al., 2016).

Os métodos semi-quantitativos atribuem valores numéricos a diferentes parâmetros de avaliação, permitindo obter um nível de risco através de relações matemáticas simples. Estas abordagens proporcionam um compromisso entre a simplicidade dos métodos qualitativos e o maior grau de quantificação dos métodos quantitativos, sendo particularmente úteis na hierarquização dos riscos e na definição de prioridades de intervenção quando a disponibilidade de dados é limitada (IEC/ISO 31010, 2019; Radu, 2009). Entre as metodologias deste tipo encontram-se o método de William Fine, o método da NTP 330 e o método MIAR, utilizados em diferentes contextos ocupacionais para apoiar a avaliação e hierarquização dos riscos.

Os métodos quantitativos recorrem a dados numéricos e modelos matemáticos para representar a probabilidade de ocorrência e as consequências dos eventos perigosos, permitindo uma análise mais detalhada e resultados mensuráveis. A sua aplicação pode, contudo, ser condicionada pela necessidade de dados fiáveis em quantidade suficiente, pela complexidade dos modelos e pelos recursos técnicos necessários à sua implementação (IEC/ISO 31010, 2019; Olewski & Snakard, 2017; Radu, 2009).

No contexto específico das litotecas, a literatura analisada não permitiu identificar metodologias de avaliação de risco desenvolvidas especificamente para este tipo de infraestrutura. A avaliação tende, por isso, a apoiar-se em metodologias generalistas, adaptadas às características das atividades desenvolvidas e aos perigos presentes. Nesta conjuntura, a utilização de métodos semi-quantitativos constitui uma abordagem adequada quando se pretende estruturar a avaliação e estabelecer prioridades de intervenção com base em critérios definidos, particularmente perante uma disponibilidade limitada de dados quantitativos (IEC/ISO 31010, 2019).

A Tabela 1 sintetiza as principais vantagens e limitações dos diferentes tipos de métodos de avaliação do risco.

Tabela 1: Vantagens e limitações dos principais tipos de métodos de avaliação do risco adaptado de (Botelho, 2015; Mendonça, 2013)

Tipo de método	Vantagens	Limitações
Métodos qualitativos	• Aplicação simples e rápida; • Não exigem quantificação nem modelos matemáticos; • Facilitam a identificação inicial de perigos e situações críticas; • Promovem o envolvimento dos diferentes intervenientes da organização.	• Elevado grau de subjetividade; • Resultados fortemente dependentes da experiência dos avaliadores; • Dificuldade na comparação entre riscos distintos; • Não permitem análises custo-benefício estruturadas.
Métodos quantitativos	• Produzem resultados mensuráveis e comparáveis; • Permitem avaliar o impacto da implementação de medidas de controlo; • Suportam análises custo-benefício; • Utilizam linguagem objetiva, facilitando a tomada de decisão.	• Exigem modelos matemáticos complexos; • Necessitam de grandes volumes de dados fiáveis; • Requerem recursos humanos especializados; • Apresentam elevada exigência em termos de tempo e custos.

Métodos semi-quantitativos	• Equilibram simplicidade e capacidade de hierarquização do risco; • Permitem definir prioridades de intervenção de forma estruturada; • São aplicáveis em contextos com dados limitados; • Facilitam a comunicação do risco dentro da organização.	• Mantêm algum grau de subjetividade nas escalas utilizadas; • Dependem da consistência dos critérios de avaliação; • Podem produzir resultados distintos conforme o método aplicado.

2.4 ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO

A atividade desenvolvida no âmbito de litoteca encontra-se incluída por um diverso conjunto de diplomas legais e normativos relacionados com a segurança e saúde no trabalho, utilização de equipamentos, exposição a agentes físicos e químicos. Neste contexto, a Tabela 2 apresenta os principais diplomas legais considerados relevantes para o desenvolvimento da presente dissertação e para a caracterização das condições de segurança e saúde existentes numa litoteca.

Tabela 2: Listagem de Diplomas legais usados na dissertação

Diploma Legal	Descrição sumária
Decreto n.º 39669, de 20 de maio de 1954	Estabelece a responsabilidade dos serviços geológicos na recolha, conservação e gestão de informação e materiais geológicos de interesse público
Decreto-Lei n.º 243/86, de 20 de agosto	Define as condições de segurança, higiene e saúde nos locais de trabalho
Decreto-Lei n.º 330/93, de 25 de setembro	Regula a movimentação manual de cargas, visando a prevenção de lesões músculo-esqueléticas
Decreto-Lei n.º 348/93, de 1 de outubro	Estabelece os requisitos relativos à utilização de equipamentos de proteção individual no trabalho

Decreto-Lei n.º 141/95, de 14 de junho	Define as prescrições mínimas para a sinalização de segurança e saúde no trabalho
Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro	Regula a utilização de equipamentos de trabalho, estabelecendo requisitos de segurança para a sua utilização
Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de fevereiro	Estabelece as prescrições mínimas relativas à exposição dos trabalhadores a vibrações mecânicas
Decreto-Lei n.º 182/2006, de 6 de setembro	Define os limites de exposição ao ruído nos locais de trabalho
Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro	Regulamenta o regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho, alterada pela Lei n.º 42/2012, de 28 de agosto e pela Lei n.º 3/2014, de 28 de janeiro
Decreto-Lei n.º 24/2012, de 6 de fevereiro	Estabelece as regras para a proteção dos trabalhadores contra riscos associados a agentes químicos no trabalho
Decreto-Lei n.º 102-A/2020, de 9 de dezembro	Introduz alterações ao regime aplicável à exposição ocupacional à sílica cristalina respirável, estabelecendo regime transitório e atualização dos valores limite de exposição profissional.

Igualmente para o desenvolvimento dessa dissertação foram considerados diversos referenciais normativos aplicáveis à gestão e avaliação de riscos. A norma IEC/ISO 31000 (2018) estabelece os princípios e o modelo estruturado para a gestão do risco, incluindo diferentes etapas que vão desde o estabelecimento do contexto até ao tratamento dos riscos, incluindo atividades de comunicação, consulta e monitorização contínua. A Figura 2, apresenta o processo de gestão do risco proposto por esta norma.

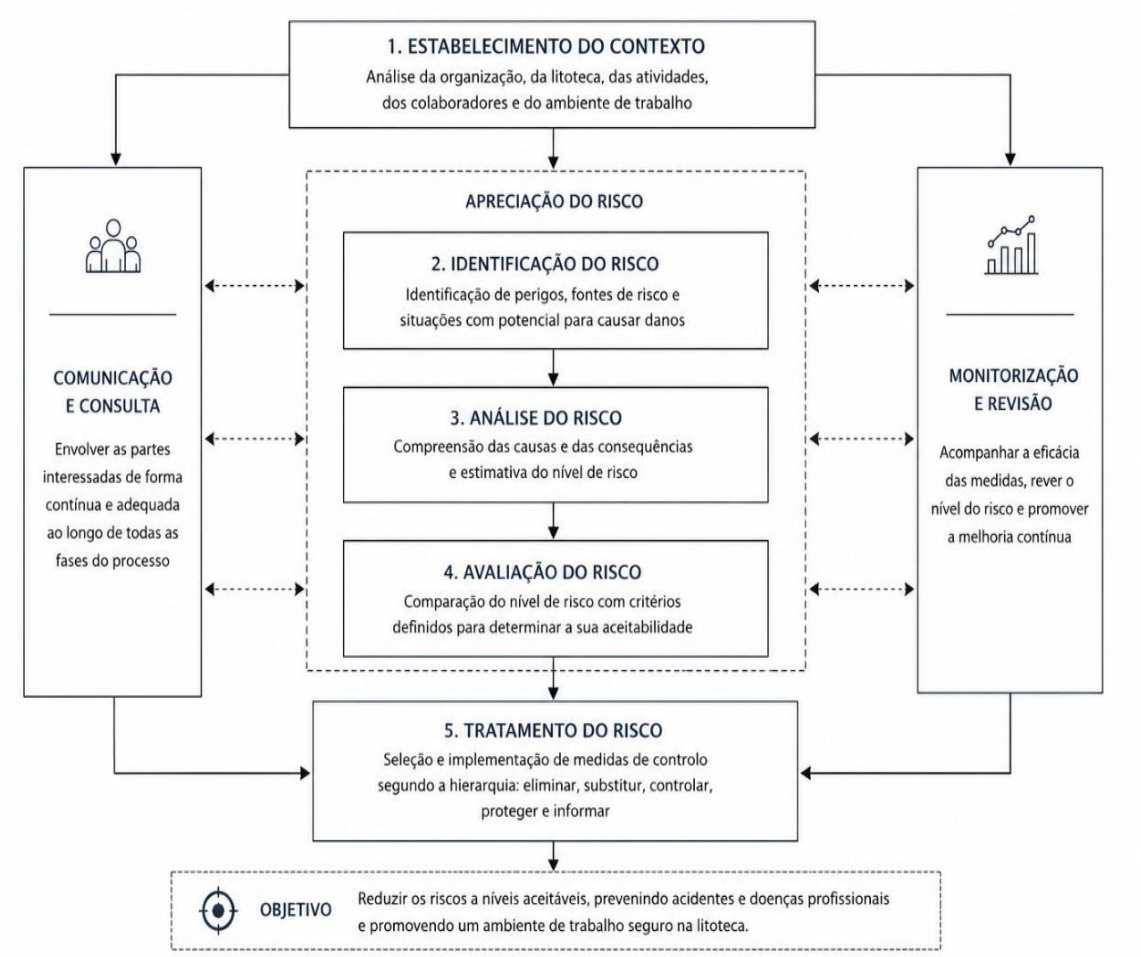


Figura 2: Processo de gestão do risco

Fonte: Adaptado de IEC/ISO 31000 (2018), gerado por I.A

Complementarmente, a IEC/ISO 31010 (2019) fornece orientação para a seleção e aplicação de técnicas de avaliação de risco, incluindo métodos como análise de cenários, Análise dos Modos de Falha e dos seus Efeitos (FMEA), árvores de falhas e matrizes de risco, utilizados para apoiar a tomada de decisão em condições de incerteza.

A Tabela 3, reúne as normas técnicas consideradas no âmbito da gestão, identificação e avaliação de riscos.

Tabela 3: Listagem de normas usadas na dissertação

Norma	Descrição sumária
ISO 11228-1 (2003)	Define recomendações ergonómicas para a movimentação manual de cargas, incluindo levantamento e transporte
NP 4410 (2004)	Estabelece linhas de orientação para a implementação de sistemas de gestão do risco
NP 4397 (2008)	Define requisitos para sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho
NP 1796 (2014)	Segurança e saúde do trabalho. Valores-limite e índices biológicos de exposição profissional a agentes químicos
ISO 12100 (2010)	Estabelece princípios para a apreciação e redução do risco em máquinas
EN 458 (2016)	Fornece recomendações relativas à seleção, à utilização, aos cuidados e à manutenção dos protetores auditivos
NP EN ISO 9612 (2011)	Acústica. Determinação da exposição ao ruído ocupacional. Método de Engenharia.
ISO 31000 (2018)	Define princípios e diretrizes para a gestão do risco
ISO 45001 (2018)	Estabelece requisitos para sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho
ISO/IEC 31010 (2019)	Define técnicas para a identificação, análise e avaliação de riscos

2.5 CONHECIMENTO CIENTÍFICO

2.5.1 Metodologia de pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida com base nas orientações do PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*)**,** conforme é referido por Page et al. (2021) sobre procedimento estruturado de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos considerados relevantes. Esta abordagem permitiu sistematizar o processo de revisão, assegurando a transparência dos critérios adotados, a rastreabilidade das decisões tomadas e a possibilidade de replicação da pesquisa.

2.5.1.1 Definição da estratégia de pesquisa

A estratégia de pesquisa foi definida com o objetivo de identificar estudos relacionados com a avaliação de riscos ocupacionais em contextos laboratoriais, de armazenamento e de manipulação de amostras geológicas, bem como em ambientes com características operacionais semelhantes às litotecas.

A pesquisa foi realizada nas bases de dados científicas *Scopus, Web of Science* e *Dimensions*, recorrendo à combinação de palavras-chave organizadas em dois grupos temáticos. Os termos foram combinados através de operadores booleanos (AND, OR), permitindo ampliar e refinar os resultados obtidos.

1. *("Geological Collections" OR "Geological Sample Storage" OR "Petrology Collections" OR "Core Analysis Laboratory") AND ("risk assessment" OR "risk management" OR "Risk analysis" OR "Risk Treatment" OR "Preventive Measures" OR "Corrective Actions")*
2. *("Geological Collections" OR "Geological Sample Storage" OR "Petrology Collections" OR "Core Analysis Laboratory") AND ("Hazards")*
3. *("Core Analysis Laboratory") AND ("Hazards Identification" OR "Occupational Exposure" OR "Risk Mitigation" OR "Risk Treatment" OR "Preventive measures")*
4. *(“Warehouse activities”) AND (“Ergonomics Risk” OR “Risk Assessment”)*

Estas combinações foram definidas de forma a identificar estudos que relacionassem a avaliação de riscos ocupacionais com atividades de armazenamento, manuseamento e preparação de amostras geológicas, refletindo contextos operacionais comparáveis aos de uma litoteca. Sempre que possível, a pesquisa foi aplicada aos campos de título, resumo e palavras-chave, de forma a garantir a relevância dos resultados obtidos.

2.5.1.2 Critérios de inclusão e exclusão

A seleção dos estudos foi feita com base em critérios previamente definidos, para a adequação dos trabalhos aos objetivos desta dissertação. Foram considerados elegíveis, artigos científicos revisados por pares, publicados em inglês e relacionados à avaliação de riscos ocupacionais, segurança e saúde no trabalho, análise de perigos ou metodologias de gestão do risco aplicadas a ambientes laboratoriais e a sistemas de armazenamento técnico similares a litoteca. Também foram priorizadas publicações dos últimos dez anos, devido a escassez de publicações nesse assunto.

Os critérios de exclusão definidos são: estudos que não têm relação direta com o contexto ocupacional ou com avaliação de riscos, documentos sem acesso ao texto integral, publicações duplicadas entre bases de dados e artigos com baixa contribuição técnica ou aplicação prática para o desenvolvimento da pesquisa.

Foram identificados 421 Artigos nas bases de dados referidas anteriormente. Deste número de artigos identificados, 343 artigos foram removidos por não cumprirem os critérios de elegibilidade que foram definidos. Ainda foram removidos 42 artigos duplicados, tendo permanecido para a etapa seguinte 36 artigos elegíveis.

Durante a pesquisa científica, nas bases de dados "*Scopus*" e "*Web of science*", foram identificados 4 artigos científicos cujas palavras-chave utilizadas não estavam vinculadas, sendo que foram acrescentados a lista de artigos identificados, perfazendo o número total de 40 artigos.

Após a leitura dos textos, ainda foram excluídos 15 artigos por não tratarem de informações pertinentes ao tema em questão, ficando com 25 artigos finais.

A Figura 3, apresenta o fluxograma do processo de seleção dos estudos, de acordo com a metodologia PRISMA 2009 Flow Diagram, evidenciando as diferentes etapas e o número de artigos considerados em cada fase.

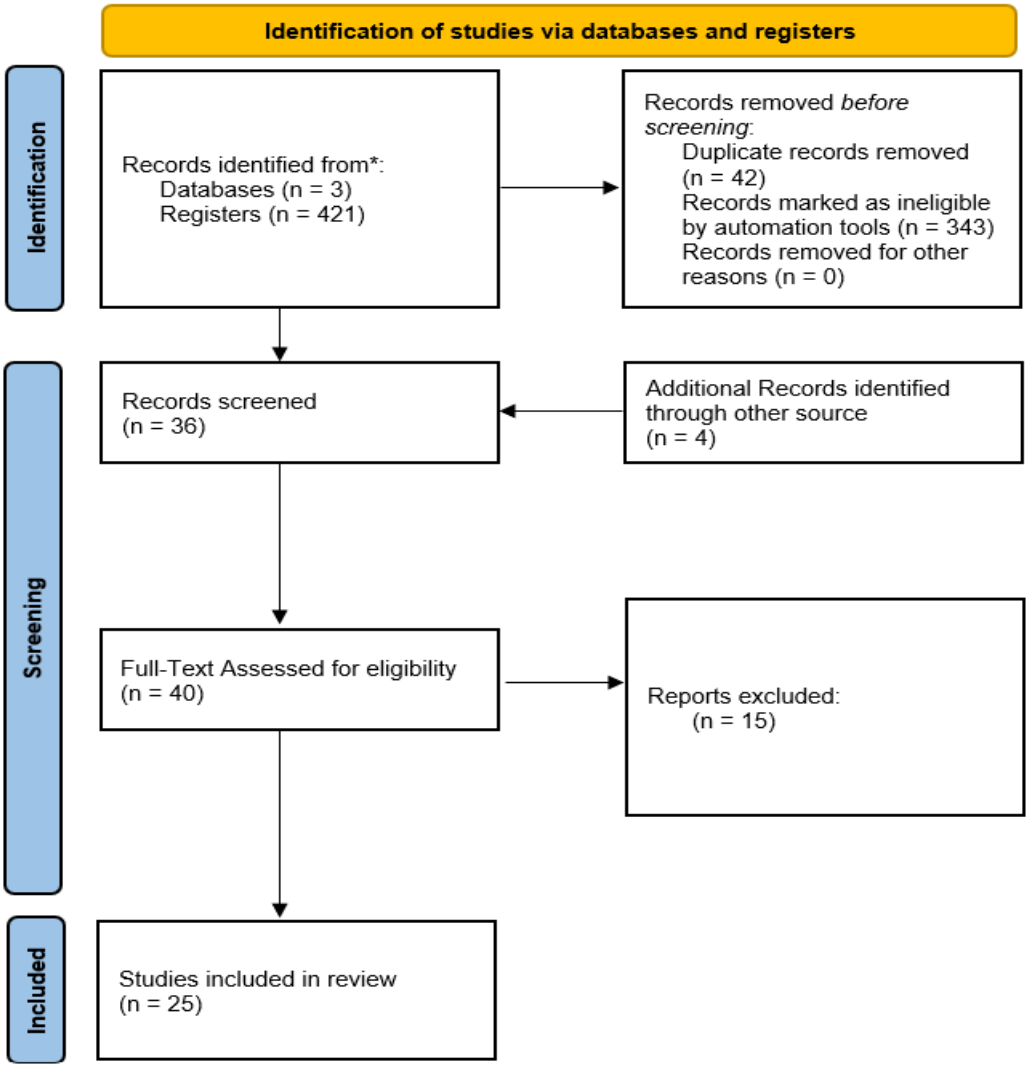


Figura 3: Fluxo de informação aplicado às distintas fases da revisão bibliográfica

Os 25 artigos científicos encontram-se sumariados na tabela 4.

Tabela 4: síntese dos artigos selecionados para a revisão bibliográfica

Autores	Ano	Título	Síntese
Royce & Baars	2021	Caring for Geological Collections: Unresolved Questions	Analisa os desafios associados à conservação de coleções geológicas e identifica necessidades de investigação para melhorar a sua preservação.
Ramírez-Amador et al.	2025	Design and Development of a Scientific Lithotheque: Application to the LitUCA Case Study	Apresenta o desenvolvimento de uma litoteca científica baseada em procedimentos normalizados de catalogação, rastreabilidade e gestão digital das amostras geológicas, propondo um modelo aplicável a outras litotecas.
Strong, Turnbull & Markwitz	2018	Managing Hazardous Materials in New Zealand's National Petrology Reference Collection	Descreve procedimentos para identificação, armazenamento e gestão segura de amostras contendo minerais radioativos e asbestos em coleções geológicas, garantindo simultaneamente a segurança dos trabalhadores e a preservação das amostras.
Baars & Horak	2018	Storage and Conservation of Geological Collections – A Research Agenda	Discute os desafios associados ao armazenamento de coleções geológicas e evidencia a inexistência de normas internacionais específicas para a sua conservação, propondo linhas de investigação futuras.
Ramdeen	2015	Preservation Challenges for Geological Data at State Geological Surveys	Analisa os desafios relacionados com a preservação e gestão de dados e coleções geológicas, salientando a importância destas infraestruturas para a investigação científica e para a gestão dos recursos naturais.
Balaram & Subramanyam	2022	Sample Preparation for Geochemical Analysis	Revê as principais técnicas de preparação de amostras para análise geoquímica.
Floeder et al.	2025	Risk Assessment Methods in Occupational Health and Hygiene	Revê os principais métodos de avaliação de riscos utilizados em higiene ocupacional.
Wang & Sifamen	2024	Exploring Industrial Hazards and Implementing Risk Control Measures in the Mining Sector	Analisa os principais riscos da indústria mineira e medidas para o seu controlo.

Autores	Ano	Título	Síntese
Burtan et al.	2025	Methodology for Identification of Occupational Hazards Using Their Characteristic Features	Propõe uma metodologia para identificação sistemática de perigos na indústria mineira.
Al-Bakri et al.	2023	Occupational Hazards and Associated Risks in University Laboratories	Identifica e avalia os principais riscos ocupacionais em laboratórios de engenharia mineira.
Almutairi et al.	2019	Determine the Risk Level of Occupational Hazards among Laboratory Staffs in Makkah	Avalia os riscos ocupacionais em laboratórios recorrendo à metodologia HIRARC
Yarahmadi et al.	2016	Health, Safety and Environmental Risk Management in Laboratory Fields	Apresenta uma abordagem integrada para avaliação e gestão de riscos em laboratórios.
Fatemi et al.	2022	Implementation of Chemical Health, Safety, and Environmental Risk Assessment in Laboratories	Desenvolve um método para avaliação e priorização dos riscos químicos em laboratórios.
Dehdashti et al.	2024	Assessing the Safety Situation in the Laboratories of Educational and Research Centers	Avalia as condições de segurança em laboratórios de ensino e investigação.
Ortega et al.	2025	Archaeological Lithotheques of Siliceous Rocks in Spain: First Diagnosis of the Lithotheque Thematic Network	Apresenta um diagnóstico das litotecas arqueológicas em Espanha, identificando o seu estado de desenvolvimento e propondo estratégias para a normalização, gestão e partilha digital das coleções.
Polukarov et al.	2021	Assessment of Occupational Risks: New Approaches, Improvement, and Methodology	Revê novas abordagens para a avaliação de riscos ocupacionais, destacando a importância da integração de metodologias de avaliação e da prevenção na gestão da segurança e saúde no trabalho.
Boyaci, Dundar & Senel	2021	Laboratory Employees' Perception of Occupational Risk Factors	Avalia a perceção dos fatores de risco por trabalhadores de laboratório, identificando os principais riscos ocupacionais e reforçando a importância da formação para melhorar a cultura de segurança.
Strong et al.	2016	Petlab: New Zealand's National Rock Catalogue and Geoanalytical Database	Apresenta a base de dados nacional Petlab, destinada à gestão, catalogação e disponibilização de amostras geológicas e respetivos dados geoanalíticos.

Autores	Ano	Título	Síntese
Kostrzewski	2017	Securing of Safety by Monitoring of Technical Parameters in Warehouse Racks, in High-Bay Warehouses and High Storage Warehouses	Revê métodos de monitorização de parâmetros técnicos em estantes de armazéns, propondo estratégias para aumentar a segurança estrutural e operacional.
Iza et al.	2025	Inventory of Geological Samples Collected from the Rio Grande Rise: Caeté Lithotheque (Minas Gerais State), Geological Survey of Brazil	Descreve o inventário e a reorganização de uma litoteca geológica, evidenciando a importância da catalogação e gestão de amostras para investigação e preservação científica.
Chambi Quiroz et al.	2025	Systematic Literature Review of Ergonomic Evaluation Methods in the Mining Sector (2015–2024)	Realiza uma revisão sistemática dos métodos de avaliação ergonómica utilizados na mineração, identificando fatores de risco, regiões corporais afetadas e metodologias mais aplicadas.
Kusumawardhani, Djamalus & Lestari	2023	Ergonomic Risk Assessment and MSDs Symptoms Among Laboratory Workers Using SNI 9011-2021	Avalia os riscos ergonómicos e a prevalência de distúrbios musculoesqueléticos em trabalhadores de laboratório, identificando as atividades com maior necessidade de intervenção.
Horak et al.	2016	Identifying and managing asbestiform minerals in geological collections	Aborda a identificação e gestão de minerais asbestiformes em coleções geológicas, propondo procedimentos para o seu armazenamento e manuseamento seguro.
Cusack-McVeigh et al.	2024	A Collaborative Approach to Hazardous & Contaminated Collections Conundrums	Analisa os perigos presentes em coleções museológicas, incluindo coleções geológicas, propondo uma abordagem integrada para a sua identificação e gestão.

2.5.2 Resultados da Pesquisa

A pesquisa bibliográfica realizada permitiu identificar estudos com diferentes abordagens sobre a gestão de coleções geológicas, a organização de litotecas, a segurança associada aos materiais armazenados e a avaliação de riscos em contextos laboratoriais, mineiros e de armazenamento. Embora uma parte significativa dos trabalhos não tenha como objeto específico a segurança e saúde ocupacional em litotecas, os seus resultados permitem enquadrar diferentes aspetos das atividades desenvolvidas nestas instalações e identificar metodologias e medidas de prevenção com potencial de aplicação a este contexto.

Um primeiro grupo de trabalhos incide sobre a organização, conservação e gestão das coleções geológicas e das litotecas. O artigo de Royce & Baars (2021) analisa os principais desafios associados à conservação de coleções geológicas e identificam necessidades de investigação orientadas para a melhoria da sua preservação. Na mesma linha, Baars & Horak (2018) discutem os desafios relacionados com o armazenamento e a conservação destas coleções, salientando a inexistência de normas internacionais específicas e apontando algumas áreas que justificam investigação futura. Por outro lado, Ramdeen (2015) aborda a preservação e gestão de dados e coleções geológicas em serviços geológicos estatais, destacando a importância destas infraestruturas para a investigação científica e para a gestão dos recursos naturais. Mais recentemente, Ramírez-Amador et al. (2025) apresentam o desenvolvimento de uma litoteca científica assente em procedimentos normalizados de catalogação, rastreabilidade e gestão digital das amostras, propondo um modelo que poderá ser aplicado a outras litotecas. A importância da organização da informação associada às coleções é igualmente evidenciada por Strong et al. (2016), através da apresentação da base de dados nacional Petlab, destinada à gestão, catalogação e disponibilização de amostras geológicas e dos respetivos dados geoanalíticos. No mesmo âmbito, Iza et al. (2025) descrevem o inventário e a reorganização de uma litoteca geológica, evidenciando a importância da catalogação e da gestão das amostras para a investigação e preservação científica. Por sua vez, Ortega et al. (2025) apresentam um diagnóstico das litotecas arqueológicas de rochas siliciosas em Espanha, identificando o seu

estado de desenvolvimento e propondo estratégias relacionadas com a normalização, gestão e partilha digital das coleções.

A segurança associada aos materiais presentes nas coleções geológicas constitui outra temática identificada na literatura. O estudo de Strong et al. (2018) descreve procedimentos para a identificação, armazenamento e gestão segura de materiais geológicos contendo minerais radioativos e asbestos, procurando conciliar a preservação das coleções com a segurança dos trabalhadores. Estes estudos demonstram que a gestão de uma coleção geológica não deve considerar apenas a sua preservação, devendo igualmente atender aos perigos que podem estar associados à natureza dos próprios materiais armazenados.

Relativamente às atividades de preparação e processamento de materiais geológicos, Balaram & Subramanyam (2022) apresentam uma revisão das principais técnicas utilizadas na preparação de amostras para análise geoquímica. O estudo permite identificar diferentes operações associadas à preparação e tratamento de amostras geológicas. Complementarmente, Wang & Sifamen (2024) analisam os principais perigos associados à indústria mineira e as medidas de controlo aplicáveis, enquanto Burtan et al. (2025) propõem uma metodologia para a identificação sistemática de perigos na indústria mineira. Apesar de estes trabalhos não incidirem diretamente sobre litotecas, permitem enquadrar diferentes perigos associados a atividades de natureza geológica, constituindo uma referência complementar para a identificação dos riscos presentes em determinadas operações realizadas numa litoteca.

Outra área com expressão na literatura analisada corresponde à avaliação e gestão dos riscos ocupacionais em laboratórios e outros ambientes técnicos. Pesquisa de Floeder et al. (2025) apresenta uma revisão dos principais métodos utilizados na avaliação de riscos em Segurança e Higiene Ocupacionais. No contexto específico dos laboratórios de engenharia mineira, Al-Bakri et al. (2023) identificam e avaliam os principais riscos ocupacionais existentes, enquanto Almutairiri et al. (2019) recorrem à metodologia HIRARC para determinar os níveis de risco associados às atividades desenvolvidas por trabalhadores de laboratório. Estudos feitos por Yarahmadi et al. (2016) apresentam uma abordagem integrada para a avaliação e gestão dos

riscos em laboratórios, considerando as componentes de saúde, segurança e ambiente. Por sua vez, Fatemi et al. (2022) desenvolvem um método orientado para a avaliação e priorização dos riscos químicos em laboratórios, e Dehdashti et al. (2024) avaliam as condições de segurança existentes em laboratórios de ensino e investigação. Estes trabalhos evidenciam a diversidade de abordagens utilizadas na avaliação dos riscos ocupacionais e a importância de adequar os métodos às características das atividades e dos locais de trabalho.

2.6 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Atendendo à temática desta dissertação, o objetivo principal consiste em implementar o processo de gestão do risco ocupacional numa litoteca**,** através da identificação dos perigos existentes, da análise e avaliação dos riscos associados às atividades desenvolvidas e da sua hierarquização, de modo a suportar a definição de medidas de prevenção, controlo e mitigação adequadas ao contexto específico deste tipo de instalação.

Com vista à concretização do objetivo geral, são definidos os seguintes objetivos específicos**,** que estruturam as diferentes etapas do processo de gestão do risco:

- Caracterizar a litoteca em estudo, identificando as atividades desenvolvidas, as áreas funcionais e os equipamentos existentes, com relevância para a segurança e saúde no trabalho.
- Identificar os perigos associados às diferentes atividades e tarefas realizadas na litoteca, considerando os vários tipos de risco presentes no contexto ocupacional, nomeadamente físicos, químicos, mecânicos, ergonómicos e organizacionais.
- Avaliar os riscos ocupacionais identificados, recorrendo a critérios que permitam a sua análise, classificação e hierarquização em função da probabilidade de ocorrência e da gravidade das consequências.
- Analisar a adequação e a eficácia das medidas de prevenção e proteção existentes, face aos riscos avaliados e aos níveis de aceitabilidade definidos.

- Propor medidas de melhoria, técnica e organizacionalmente fundamentadas, orientadas para a redução dos riscos ocupacionais identificados e para o reforço das condições de segurança e saúde na litoteca.

3
MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

A metodologia adotada foi definida em função dos objetivos do estudo e das características operacionais da litoteca do LNEG, em São Mamede Infesta, tendo como finalidade identificar os perigos associados às atividades desenvolvidas, avaliar os riscos ocupacionais e apoiar a definição de medidas de prevenção e controlo. A abordagem seguiu uma sequência estruturada, alinhada com os princípios da norma IEC/ISO 31000 (2018), que compreendeu a caracterização das atividades, a identificação dos perigos, a análise e avaliação dos riscos, a apreciação das medidas de prevenção existentes e a identificação de oportunidades de melhoria.

Atendendo à natureza das atividades desenvolvidas na litoteca e à necessidade de integrar diferentes tipologias de perigos, optou-se por uma abordagem semi-quantitativa baseada no método William Fine (Fine, 1971), pelo método NTP 330 e pelo método MIAR. A aplicação conjunta destas metodologias permitiu classificar e hierarquizar os riscos identificados segundo os critérios específicos de cada método, possibilitando a comparação dos resultados obtidos. Os princípios, parâmetros e procedimentos de aplicação de cada metodologia são descritos na secção 3.3.

Complementarmente, procedeu-se à caracterização da exposição ocupacional a poeiras e ruído, através de procedimentos de amostragem e medição adequados a cada agente. Esta componente permitiu comparar os resultados obtidos com os respetivos valores de referência e critérios legais aplicáveis, contribuindo para uma apreciação mais completa das condições de trabalho na Litoteca.

A metodologia adotada para a avaliação e hierarquização de riscos assenta no fluxograma apresentado na Figura 4.

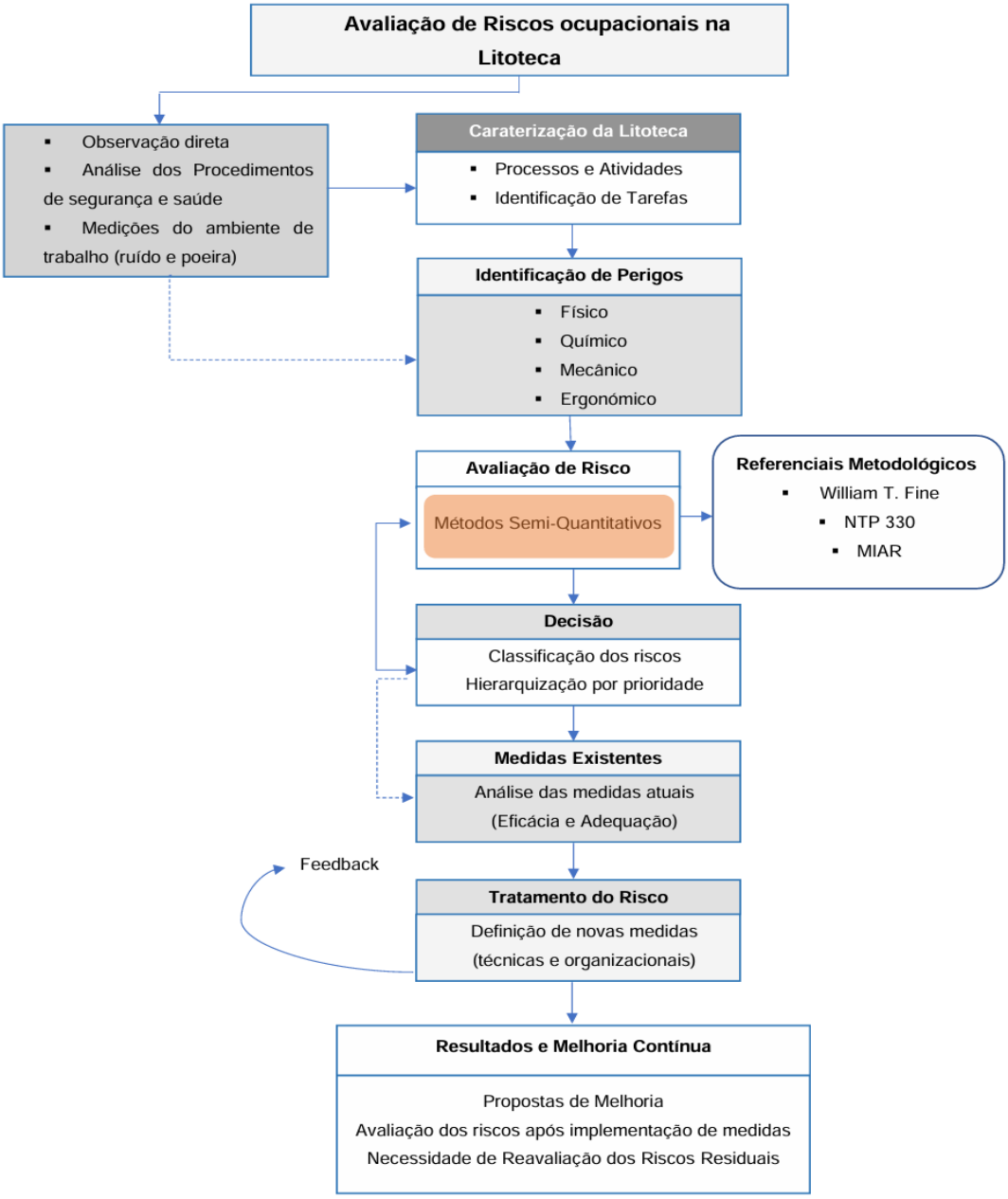


Figura 4: Fluxograma do Processo metodológico

Fonte: adaptado da ISO 31010

3.2 Descrição do Processo Operativo

O processo operativo da Litoteca do LNEG, em São Mamede de Infesta, compreende um conjunto de atividades relacionadas com a receção, preparação, catalogação, armazenamento, consulta e cedência de materiais geológicos. Estas operações asseguram a organização e preservação do acervo, bem como a sua disponibilização para fins científicos e técnicos.

Nas subsecções seguintes, descrevem-se as principais etapas do processo, os equipamentos utilizados e as condições de execução das tarefas relevantes para a avaliação dos riscos ocupacionais. A sequência geral das operações encontra-se representada na Figura 5:



Figura 5: Fluxograma do processo produtivo da Litoteca

Fonte: gerado por I.A

3.2.1 Receção de Testemunhos

A receção constitui a etapa inicial do processo operativo da Litoteca do LNEG, em São Mamede de Infesta, e envolve a entrada de materiais geológicos provenientes de campanhas de sondagem, projetos de investigação ou atividades de prospeção mineral.

Os testemunhos de sondagem são transportados em caixas de madeira com dimensões exteriores de 1,10 × 0,35 × 0,10 m, subdivididas em quatro compartimentos longitudinais. À chegada à instalação, as caixas são entregues paletizadas. O camião permanece no exterior do armazém, sendo as paletes transportadas para o interior por meio de empilhadores, através de uma rampa de acesso.

A descarga e a despaletização são realizadas na zona de receção, situada no mesmo espaço físico do armazenamento do acervo central, mas afastada das estantes destinadas ao armazenamento definitivo. Nestas operações são também utilizados equipamentos de movimentação de cargas, nomeadamente o Stacker e o porta-paletes, para a movimentação e organização dos materiais antes do seu encaminhamento para as etapas seguintes do processo, conforme ilustrado na Figura 6.



Figura 6: Despaletização de testemunhos de sondagens

Fonte: Fotografia do autor, 2026

3.2.2 3.Preparação e Tratamento de testemunhos

Após a receção e triagem, os testemunhos e as amostras que necessitam de tratamento são encaminhados para a área de preparação. Nesta fase, são realizadas operações de limpeza, secagem e redução das dimensões dos materiais, de acordo com as necessidades de análise e acondicionamento.

O corte e a fragmentação dos materiais são efetuadas com recurso aos equipamentos disponíveis na área de preparação, nomeadamente uma serra diamantada de bancada, apresentada na Figura 8. Estas operações permitem obter fragmentos de dimensões adequadas aos procedimentos de análise subsequentes.

A Figura 7 e Figura 8, ilustram a sala de corte e o equipamento utilizado no processamento dos testemunhos de sondagem e das amostras geológicas.



Figura 7: Sala de Corte de testemunhos e amostras

Fonte: Fotografia do autor, 2026



Figura 8: Serra diamantada de bancada

Fonte: Fotografia do autor, 2026

3.2.3 Catalogação e Inventariação

Após a preparação, as amostras são encaminhadas para a fase de catalogação, onde é atribuída uma identidade própria e inequívoca a cada unidade do acervo. Este processo envolve a marcação física da amostra, o registo de dados georreferenciados, a descrição litológica e a introdução de dados em sistemas de informação digital.

Esta etapa permite associar cada amostra à informação que a caracteriza, assegurando a sua identificação e facilitando a consulta e a gestão do acervo.

A Figura 9 e Figura 10, ilustra uma das operações de catalogação de testemunhos de sondagem realizadas na Litoteca

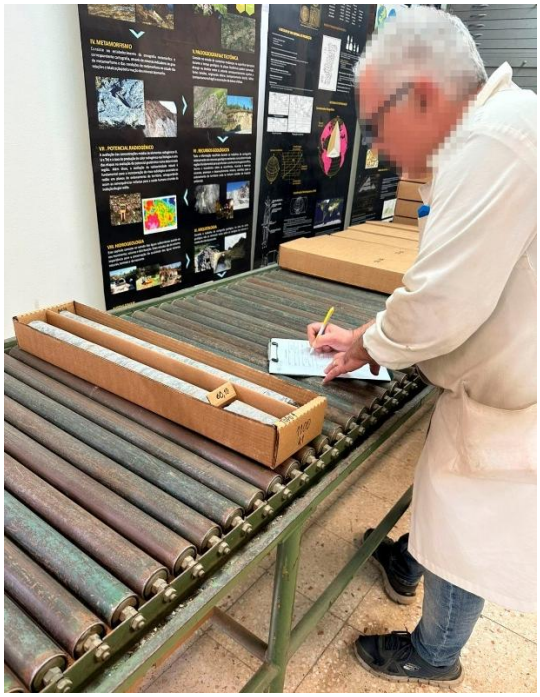


Figura 9: Catalogação de Testemunhos

Fonte: Fotografia do autor, 2026



Figura 10: Área de catalogação de testemunhos

Fonte: Fotografia do autor, 2026

3.2.4 Armazenamento e Gestão de Acervo

Após a catalogação, os testemunhos e as amostras são encaminhados para a área de armazenamento definitivo, onde são organizados de acordo com o sistema de gestão do acervo da Litoteca.

Para o acondicionamento dos testemunhos são utilizados três modelos de caixas de cartão, com dimensões de 0,79 × 0,20 × 0,10 m, 0,79 × 0,30 × 0,08 m e 0,79 × 0,30 × 0,15 m, adequados a materiais com diferentes dimensões e volumes.

A movimentação e a organização dos materiais no espaço de armazenamento são apoiadas por equipamentos mecânicos, nomeadamente *Stackers* (empilhadores elétricos manuais) e plataformas elevatórias móveis de pessoal (PEMP), utilizados nas operações de acesso e organização dos materiais nas estantes.

A Figura 11 ilustra a área de armazenamento do acervo e uma das plataformas elevatórias utilizadas nesta área.



Figura 11: Área de Armazenamento e uma Plataforma Elevatória

Fonte: Fotografia do autor, 2026

3.2.5 Consulta e Cedência

A etapa final do processo operativo na litoteca corresponde à consulta do acervo e à eventual cedência de amostras para estudos externos. Este serviço é essencial para a rentabilização do património geológico nacional, mas obriga a um manuseamento repetido de materiais que já passaram por todas as fases de tratamento prévio.

3.3 METODOLOGIAS AVALIAÇÃO DOS RISCOS E CARACTERIZAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

A avaliação dos riscos ocupacionais foi realizada através da aplicação de três metodologias semi-quantitativas: o método de William Fine, a NTP 330 e o Método Integrado de Avaliação de Risco (MIAR). A aplicação destas metodologias permitiu classificar e hierarquizar os riscos identificados nas diferentes atividades da Litoteca, de acordo com os critérios específicos de cada método.

Complementarmente, foi caracterizada a exposição ocupacional a poeiras e ruído, recorrendo a procedimentos de amostragem e medição adequados a cada agente. Os resultados foram analisados face aos valores de referência e aos critérios legais aplicáveis, permitindo complementar a avaliação dos riscos com informação sobre as condições de exposição observadas.

As subsecções seguintes descrevem os princípios de aplicação das metodologias de avaliação dos riscos e os procedimentos utilizados na caracterização da exposição ocupacional.

3.3.1 Método William Fine

O método William Fine, desenvolvido em 1971 constitui uma metodologia amplamente utilizada na avaliação de riscos ocupacionais, particularmente em contextos onde coexistem múltiplos perigos de natureza mecânica, física e organizacional. O método permite estimar o nível de risco através da combinação de três fatores fundamentais:

- Consequências (C) é o resultado mais provável de um potencial acidente;
- Exposição (E) é a frequência temporal com que se interagem com as fontes de perigo;

- Probabilidade (P) é representa a probabilidade associada à ocorrência do acidente no momento em que a exposição ocorre.

Tendo como fundamento as três variáveis mencionadas, o risco ou grau de perigosidade é determinada pela seguinte expressão (ver equação 1.1) e a descrição mais detalhada encontra-se no apêndice I da presente dissertação.

$$R = C * E * P \tag{1.1}$$

3.3.2 Método NTP 330

O método NTP 330, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Segurança e Saúde no Trabalho de Espanha, constitui uma metodologia de avaliação de riscos ocupacionais que possibilita identificar, analisar e hierarquizar os riscos presentes nos locais de trabalho por meio da combinação da probabilidade de ocorrência de um evento perigoso com a severidade das suas consequências. A avaliação é realizada com recurso a uma matriz de risco que permite classificar os riscos em diferentes níveis de criticidade e estabelecer prioridades de intervenção de acordo com a sua relevância (Belloví & Malagón, 1993).

O nível de risco (NR) resulta do produto entre o nível de probabilidade (NP) e o nível de consequência (NC) determinada através da expressão 1.2 e a descrição mais detalhada encontra-se no apêndice I da presente dissertação.

$$NR = NP * NC \tag{1.2}$$

3.3.3 Método Integrado de Avaliação de Risco

O Método MIAR desenvolvido para apoiar a avaliação integrada dos riscos ocupacionais e dos impactes ambientais ligados às atividades de uma organização. O método fundamenta-se numa abordagem por processos, promovendo a identificação sistemática das atividades e seus dos riscos, possibilitando a análise e hierarquização de modo estruturado (Antunes et al., 2010). A avaliação é feita por meio da combinação dos parâmetros gravidade (G), extensão do impacte (E), e frequência de ocorrência (F), conforme a expressão 1.3.

$$NR = G * E * F \quad (1.3)$$

O nível de priorização (NP) e o nível de risco ponderado (NRP) obtidos através da conjugação com os parâmetros desempenho de sistemas de prevenção (D) e controlo e os critérios de priorização da intervenção (C), são determinados pelas expressões 1.4 e 1.5 e descrição mais detalhada encontra-se no Anexo I da presente dissertação.

$$NRP = NR/D \quad (1.4)$$

$$NP = NRP * C \quad (1.5)$$

3.3.4 Avaliação da exposição ocupacional a poeiras

A avaliação da exposição ocupacional a poeiras foi realizada nas áreas de armazenamento central e de preparação da Litoteca do LNEG, com o objetivo de determinar as concentrações de poeiras no ar e compará-las com os valores de referência aplicáveis. A amostragem foi efetuada com recurso a uma bomba de amostragem *Universal SKC, Deluxe* e a um calibrador de caudal, *Defender 520*, utilizado para a verificação do caudal de amostragem.

A seleção dos procedimentos de amostragem e análise teve em consideração os métodos NIOSH 0500 e NIOSH 0600, bem como os princípios técnicos descritos por Barbosa et al. (2010), que abordam os equipamentos e as técnicas utilizados na recolha e análise de poeiras ocupacionais. Os autores salientam a importância de adequar o sistema de amostragem à fração de partículas em estudo e de controlar o caudal de amostragem, seguindo-se a determinação gravimétrica da massa recolhida.

Após a amostragem, a concentração de partículas no ar foi determinada por análise gravimétrica, relacionando a massa recolhida com o volume de ar amostrado, calculado a partir do caudal e do tempo de amostragem. Os resultados foram expressos em mg/m³ e comparados com os valores de referência estabelecidos no Anexo B da NP 1796 (2014) , permitindo avaliar as concentrações determinadas nas duas áreas de trabalho.

3.3.5 Avaliação da exposição ocupacional ao ruído

A avaliação da exposição ocupacional ao ruído teve como objetivo caracterizar os níveis sonoros associados às atividades desenvolvidas na Litoteca do LNEG em São Mamede Infesta e verificar a conformidade da exposição dos trabalhadores com os requisitos legais aplicáveis. Para este efeito, foram realizadas medições na área de preparação de sondagens e na sala de corte, considerando os respetivos períodos de exposição.

As medições foram efetuadas com recurso a um sonómetro SVANTEK, modelo SV 979. Para a verificação acústica do equipamento foi utilizado um calibrador acústico SVANTEK, modelo SV 36 de classe 1. A utilização deste calibrador permite verificar a resposta do sonómetro através da aplicação de um sinal acústico de referência. Para as medições foi utilizada uma estratégia baseada nas tarefas, segunda a norma NP EN ISO 9612 (2011).

Os resultados das medições foram expressos em decibéis ponderados pela curva A, dB(A). Para caracterizar a exposição ao ruído, foram considerados os níveis sonoros equivalentes (L_{Aeq}) registados em cada posto de trabalho e os respetivos períodos de exposição. Com base nestes parâmetros, foi determinado o nível de exposição pessoal diária normalizado para um período de referência de oito horas ($L_{EX,8h}$), integrando a contribuição dos diferentes períodos de exposição.

A avaliação da conformidade foi realizada de acordo com os critérios estabelecidos no Decreto-Lei n.º 182/2006 de 6 de setembro, considerando os valores de ação inferior e superior e o valor-limite de exposição. Complementarmente, foi analisada a atenuação proporcionada pelos protetores auditivos considerados no estudo, estimando-se os níveis sonoros no ouvido com proteção, com base nos respetivos valores de atenuação e nos critérios da EN 458 (2016).

Este procedimento permitiu caracterizar a exposição ocupacional ao ruído nos postos de trabalho avaliados, verificar a sua conformidade com os requisitos legais aplicáveis e apreciar a proteção proporcionada pelos protetores auditivos considerados.

PARTE 2

4
RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SETORES AVALIADOS

A litoteca em estudo encontra-se estruturada em quatro principais áreas funcionais, cuja organização consiste na otimização do fluxo de testemunhos de sondagens e amostras: a Zona do Cais de Receção, destinada ao descarregamento de materiais; Área de Preparação, onde se concentram as operações de corte e tratamento físico; a Área de Catalogação e Inventário, focada na gestão de dados e identificação do material geológico; e, por fim, o Acervo Central, que corresponde ao armazenamento de alta densidade em estantes industriais.

4.1.1 Zona de Receção de Material

A Zona de Receção constitui o ponto de entrada de todo o fluxo material geológico da litoteca, que se localiza no mesmo compartimento de armazenamento do acervo central. No entanto, verificou-se que esta área se encontra estrategicamente deslocada das estantes de armazenamento final, criando uma zona visivelmente notória entre a área de receção e armazenamento final.

O processo começa com o descarregamento de testemunhos de sondagens, transportadas em paletes. O camião com o material de sondagens fica estacionado na parte exterior do armazém e as paletes são transportadas por empilhadores através de uma rampa que dá acesso ao armazém. Esta área de descarga final caracteriza-se por ser um armazém amplo coberto, o que permite a manobra de empilhadores e a operação de porta-paletes, conforme é ilustrado na Figura 12.



Figura 12: Operação de *Stacker* na despaletização

Fonte: Fotografia do autor, 2026

4.1.1.1 Levantamento de perigos e riscos associados

Com base na observação direta das operações na zona de receção de testemunhos de sondagens, identificaram-se os seguintes perigos e riscos associados, categorizados pela sua natureza ocupacional:

- Esmagamento e entalamento de membros inferiores: devido à circulação de equipamentos de movimentação de carga (*Stacker* e porta-paletes) em áreas de espaço reduzido durante a descarga de paletes.
- Cortes, golpes e perfurações: resultantes do contacto direto com arestas vivas de caixas de testemunhos em madeira.
- Entalamento e esmagamento por queda de objetos: devido à instabilidade de pilhas de caixas durante a despaletização ou falha mecânica dos órgãos de elevação dos equipamentos.
- Queda ao mesmo nível: motivada pela irregularidade do pavimento, presença de resíduos de madeira (lascas) ou derrames de fluidos hidráulicos das máquinas.

- Atropelamento e colisão: resultantes da inexistência de barreiras físicas, sinais circulação longitudinais no pavimento e da sobreposição de fluxos entre técnicos apeados e equipamentos de movimentação em zonas de visibilidade reduzida.
- Sobrecarga biomecânica e Lesões Músculo-Esqueléticas (LME): devido ao manuseamento manual de caixas de testemunhos de elevada densidade mineralógica, frequentemente realizado com adoção de posturas forçadas e movimentos de torção do tronco.
- Exposição a poeiras minerais e agentes químicos: durante a abertura de caixas provenientes de sondagens, onde pode ocorrer a libertação de partículas em suspensão acumuladas ou gases retidos no interior das embalagens.
- Choque elétrico e eletrocussão: por contacto direto ou indireto com pontos de carregamento de baterias dos equipamentos de elevação ou cablagens expostas em zonas de passagem.

Através da Tabela 5 podem-se verificar os riscos relacionados aos perigos identificados anteriormente.

Tabela 5: Valoração do nível de risco pelos três métodos: William Fine, NTP330 e MIAR - Receção e Triagem de material geológico

Receção e Triagem de material geológico								
Tarefa	**Perigo**	**Risco**	**William Fine**		**NT330**		**MIAR**	
			Nível de Risco	**Classificação Risco**	**Nível de Risco**	**Nível Intervenção**	**Nível de Risco**	**Nível de Priorização**
Descarga de paletes com stacker e porta-paletes	Equipamento móvel	Esmagamento, entalamento, atropelamento e colisão	270	Muito elevado	1080	I	4320	Priorização elevada
Manuseamento de caixas	Arestas vivas das caixas de testemunhos em madeira	Cortes, golpes e perfurações	90	Médio	150	II	12	Priorização Baixa
Remoção das caixas das paletes	Instabilidade das pilhas de caixas e falha dos órgãos de elevação	Entalamento e esmagamento por queda de objetos	135	Médio	720	I	288	Priorização Baixa
Deslocação dos trabalhadores com os equipamentos	Pavimento irregular, resíduos de madeira e derrames de fluidos hidráulicos	Queda ao mesmo nível	90	Médio	150	II	864	Priorização Média

Receção e Triagem de material geológico								
Tarefa	**Perigo**	**Risco**	**William Fine**		**NT330**		**MIAR**	
			Nível de Risco	**Classificação Risco**	**Nível de Risco**	**Nível Intervenção**	**Nível de Risco**	**Nível de Priorização**
Levantamento e transporte de caixas	Manuseamento manual de caixas de elevada densidade	Sobrecarga biomecânica e lesões músculo-esqueléticas	300	Muito elevado	600	I	2304	Priorização Média
Carregamento das baterias dos equipamentos	Pontos de carregamento de baterias e cablagens elétricas	Choque elétrico e eletrocussão	30	Baixo	120	III	192	Priorização baixa

De acordo com a Tabela 5, a tarefa de descarga de paletes com *stacker* e porta-paletes que pode originar os riscos de esmagamento, entalamento, atropelamento e colisão com equipamento móvel, juntamente com a tarefa de levantamento e transporte de caixas que também pode originar risco de sobrecarga biomecânica e lesões músculo-esqueléticas devido ao manuseio de caixas de elevada densidade, são as que possuem a classificação de risco mais elevadas pelos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR no caso da primeira tarefa e priorização média para a segunda tarefa respetivamente.

Tabela 6: Resultado estatístico do processo receção de material obtidos pelos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR

	William Fine					**NTP 330**					**MIAR**				
	Classificação do risco	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coefici-ente de variação	Nível de interven-ção	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coefici-ente de variação	Nível de Priori-zação	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
Receção e Triagem de material geológico	Baixo	28%	137.14 (Médio)	106.92	77.96%	I	43%	408.57 (II)	395.23	96.7%	Priorização baixa	57%	1201.71 (Média)	1576.65	131.2%
	Médio	43%				II	29%				Priorização média	29%			
	Elevado	0%				III	28%				Priorização elevada	0%			
	Muito elevado	29%				IV	0%				Priorização muito elevada	14%			
	Extremo	0%									Situações urgentes	0%			

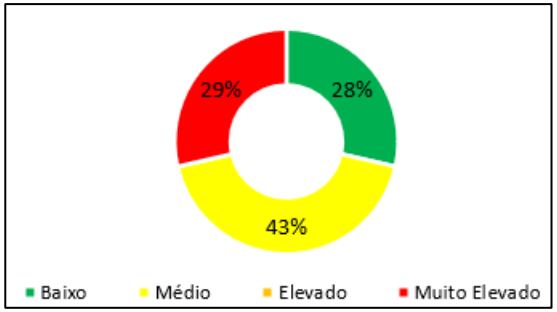


Figura 13: Classificação do risco - Método William Fine

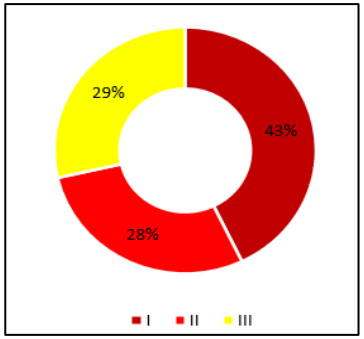


Figura 14: Nível de intervenção - Método NTP 330

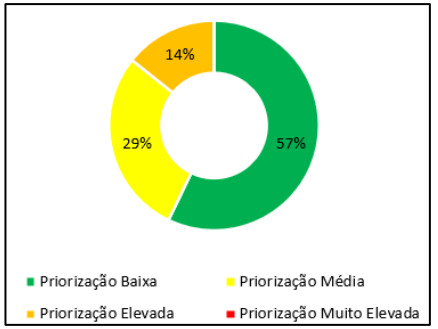


Figura 15: Nível de priorização - Método MIAR

Analisando a Figura 13, que mostra a disposição percentual da classificação do risco e a Tabela 6**,** verifica-se que o método William Fine apresentou um índice médio de 137,14. Os resultados apontam para uma dispersão moderada dos índices de risco, evidenciando que os riscos identificados expõem uma variabilidade relativamente homogénea.

A Figura 14 e a mesma tabela 6 sobre o método NTP 330 expôs um valor médio de 408,57. O aumento do coeficiente de variação relativamente ao William Fine evidencia uma maior dispersão dos níveis de intervenção atribuídos aos riscos avaliados.

Por outro lado, a Figura 15, relativamente ao MIAR, obteve o índice médio 1201,71**,** correspondente a uma priorização média. Este resultado evidencia uma maior heterogeneidade na distribuição dos índices de risco, indicando uma maior capacidade de distinção entre as prioridades de intervenção estabelecidas por esta metodologia.

4.1.2 Zona de Preparação de testemunhos e amostras

A Zona de Preparação constituiu o núcleo onde os materiais geológicos são intervencionados para fins de catalogação e análise. Esta área caracteriza-se por existência de equipamentos de processamento mecânico como a serra diamantada de bancada, operando num regime de interface direta com o técnico.

A atividade principal nesta zona perfez o seccionamento transversal de testemunhos de sondagem que, pelas suas dimensões originais, algumas excedem as dimensões das caixas de cartão de arquivo. Para o efeito, utiliza-se uma serra diamantada de bancada, acoplado ao disco um sistema de aspersão de água, destinado à refrigeração e à mitigação parcial da dispersão de poeiras. Através da observação direta, diagnosticou-se a inexistência de sistemas de extração localizada (LEV) ou ventilação forçada na sala.

Uma outra atividade é fragmentação manual e mecânica de amostras que é realizada numa bancada técnica composta de rocha e base de madeira. O recurso utilizado nesta tarefa é uma picadeira manual (martelo) para a quebra de exemplares de elevada dureza.

As duas tarefas são ilustradas nas Figura 16 e Figura 17.



Figura 16: Corte de Testemunhos

Fonte: Fotografia do autor, 2026



Figura 17: Fragmentação de amostras

Fonte: Fotografia do autor, 2026

4.1.2.1 Levantamento de perigos e riscos

Com base na observação direta das operações na zona de preparação de material geológico, identificaram-se os seguintes perigos e riscos ocupacionais associados:

- Exposição a poeiras de minerais: devido à ausência de extração localizada durante o corte diamantado.
- Exposição a ruído: resultante do contacto disco-pedra e do uso da picadeira na bancada, esta última identificada como fonte primária de ruído impulsivo.
- Projeção de fragmentos e partículas: durante a fragmentação manual com martelo.
- Cortes e Golpes: por contacto inadvertido com o disco da serra em rotação ou com a picadeira manual.
- Queda ao mesmo nível: pavimento molhado devido ao sistema de aspersão sem drenagem eficiente.
- Vibrações mão-braço: transmitidas pela utilização da picadeira manual em materiais de elevada resistência.

Os resultados da análise desses perigos revelaram diferentes níveis de risco em cada uma das tarefas, que são demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7: Valoração do nível de risco pelos três métodos: William Fine, NTP330 e MIAR - Preparação de amostras e testemunhos

Preparação de amostras e testemunhos								
Tarefa	**Perigo**	**Risco**	**William Fine**		**NT330**		**MIAR**	
			Nível de Risco	**Classificação Risco**	**Nível de Risco**	**Nível Intervenção**	**Nível de Risco**	**Nível de Priorização**
Corte de testemunhos com serra diamantada	Geração de poeiras minerais durante o corte	Exposição a poeiras minerais respiráveis	90	Médio	450	II	1728	Priorização Média
Operação da serra diamantada e utilização da picadeira manual	Emissão de ruído	Exposição ao ruído ocupacional	90	Médio	450	II	1728	Priorização Média
Fragmentação manual com picadeira	Projeção de fragmentos e partículas	Lesões provocadas pela projeção de fragmentos	90	Médio	450	II	1296	Priorização Média
Operação da serra diamantada e utilização da picadeira manual	Contacto com superfícies cortantes e ferramentas de impacto	Cortes e golpes	270	Muito elevado	1080	I	1728	Priorização Média
Operação da serra diamantada	Pavimento molhado	Queda ao mesmo nível	90	Médio	150	II	1296	Priorização Média

De acordo com Tabela 7, a tarefa operação da serra diamantada e utilização da picadeira manual que podem resultar no risco de cortes e golpes é a que possuía a classificação de risco mais alta pelos métodos William Fine e NTP 330, enquanto que o método MIAR coloca com nível de priorização média.

Tabela 8: Resultado estatístico do processo de preparação de amostras e testemunhos obtidos pelos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR

	William Fine					**NTP 330**					**MIAR**				
	Classificação do risco	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coefici-ente de variação	Nível de interven-ção	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coefici-ente de variação	Nível de Priori-zação	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
Preparação de amostras e testemu-nhos	Baixo	16%	112.5 (Médio)	79.23	70.4%	I	16%	466.67 (II)	349.1	96.7%	Priorização baixa	17%	1376 (Média)	487.30	35.4%
	Médio	66.67%				II	67%				Priorização média	83%			
	Elevado	0%				III	16%				Priorização elevada	0%			
	Muito elevado	17%				IV	0%				Priorização muito elevada	0%			
	Extremo	0%									Situações urgentes	0%			

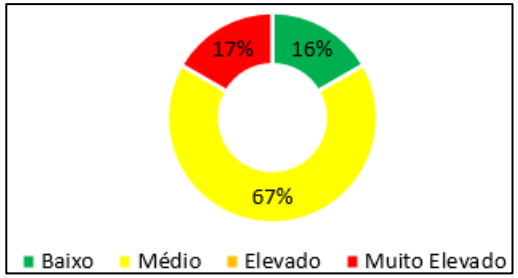


Figura 18: Classificação do risco - Método William Fine

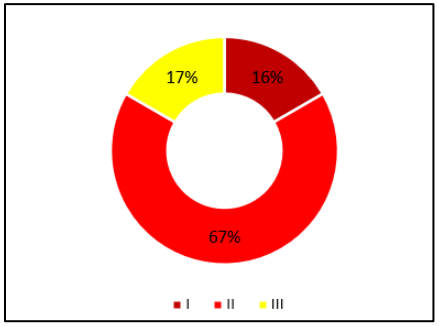


Figura 19: Nível de intervenção - Método NTP 330

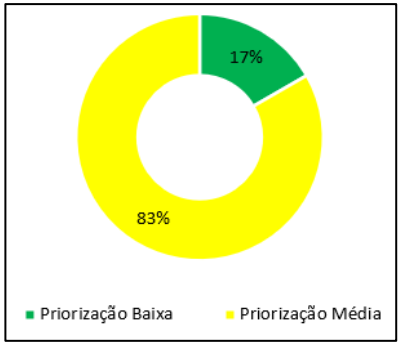


Figura 20: Nível de priorização - Método MIAR

Analisando a Figura 18 que apresenta a disposição percentual do risco e Tabela 8, fica evidente que o método William Fine apresentou um índice médio de 112,5, correspondente à classificação de risco Médio. Os resultados deste método evidenciam uma dispersão moderada dos índices de risco, indicando uma distribuição relativamente homogénea dos riscos identificados.

O método NTP 330, representado na mesma tabela e com distribuição percentual representada na Figura 19, apresentou uma média de 466,67, correspondente ao nível de intervenção II, sendo que o desvio é de 349,1 e um coeficiente de variação de 96,7%, demostrando uma maior dispersão dos resultados comparativamente ao método William Fine.

Relativamente ao MIAR, representado igualmente na Tabela 8 e na Figura 20 apresenta a percentual de risco, obteve-se um índice médio de 1376, correspondente a uma priorização média, com desvio-padrão de 487,30 e coeficiente de variação de 35,4%. Este método apresentou o menor coeficiente de variação dentre os três métodos, demonstrando maior homogeneidade na priorização dos riscos avaliados.

4.1.3 Zona de Registo e Catalogação

Esta zona constitui o centro de gestão de informação da litoteca, onde se procede à ponte entre o suporte físico (amostras) e o suporte digital (base de dados). Esta zona encontra-se subdividida em duas áreas funcionais com dinâmicas operacionais de segurança distintas:

A Área de Digitalização de Dados localizada numa sala administrativa isolada do ambiente laboratorial. Esta área é destinada à digitalização e tratamento informático de toda a informação técnica associada a cada amostra ou testemunho de sondagem.

A Área de Expedição e Identificação caracteriza-se pela existência de uma bancada equipada com transportadores de rolos, onde as caixas de cartão são manipuladas fisicamente.

Após o corte e preparação do material geológico, estes são colocados em caixas de cartão previamente assinaladas com um identificador único. O uso de rolos transportadores visa minimizar o esforço de arrasto manual, permitindo o deslizamento das unidades de carga ao longo da linha de identificação, conforme ilustrado na Figura 21.



Figura 21: Identificação do Material Geológico

Fonte: Fotografia do autor, 2026

4.1.3.1 Levantamento de Perigos e Riscos

Com base na observação direta os perigos e riscos identificados para esta zona são:

- Entalamento de membros superiores: Nos rolos transportadores durante a movimentação das caixas.
- Sobrecarga Biomecânica (LME): Devido à postura ortostática (de pé) prolongada e movimentos repetitivos de etiquetagem.
- Queda de objetos em manipulação: Queda das caixas da bancada de rolos sobre os membros inferiores.
- Fadiga Visual e Postural: Na área de digitalização, devido à utilização prolongada de ecrãs de visualização de dados.

A Tabela 9 demostra a análise dos riscos identificados nesses postos de trabalho:

Tabela 9: Valoração do nível de risco pelos três métodos: William Fine, NTP330 e MIAR - Registo e Catalogação

Registo e Catalogação								
Tarefa	**Perigo**	**Risco**	**William Fine**		**NT330**		**MIAR**	
			Nível de Risco	**Classificação Risco**	**Nível de Risco**	**Nível Intervenção**	**Nível de Risco**	**Nível de Priorização**
Movimentação de caixas sobre a bancada de rolos	Rolos transportadores	Entalamento de membros superiores	90	Médio	150	II	864	Priorização Média
Etiquetagem e acondicionamento das caixas	Postura ortostática prolongada e movimentos repetitivos	Sobrecarga biomecânica e lesões músculo-esqueléticas	150	Médio	600	I	2304	Priorização Média
Manipulação das caixas de cartão	Material geológico com alta densidade	Queda de objetos em manipulação	90	Médio	150	II	1620	Priorização Média
Introdução e tratamento informático de dados	Utilização prolongada de equipamentos dotados de visor	Fadiga visual e postural	90	Médio	80	III	1152	Priorização Média
Introdução e tratamento informático de dados	Iluminação inadequada do posto de trabalho	Desconforto visual e fadiga ocular	60	Baixo	80	III	864	Priorização Média

Observando a Tabela 9, constata-se que, para o processo de Registo e Catalogação, o método William Fine categorizou a maioria dos riscos como: Médios. Estando apenas o risco relacionado ao desconforto visual e fadiga ocular, categorizado como Baixo. Estes resultados demonstram que os riscos identificados nesta área evidenciam, de forma geral, uma severidade moderada, não estando identificadas situações encaixadas nas categorias Elevadas.

Comparativamente ao método NTP 330, observou-se uma distribuição dos riscos pelos níveis de intervenção I, II e III, destacando-se unicamente o risco de sobrecarga biomecânica e lesões músculo-esqueléticas com nível de intervenção I, apontando a necessidade de implementação prioritária de medidas de controlo. Os riscos remanescentes foram classificados nos níveis II e III, refletindo distintos níveis de intervenção.

Por sua vez, o MIAR caraterizou os riscos com Priorização Média. Apesar de os índices de risco variarem entre 864 e 2304, todos permaneceram dentro da mesma categoria de priorização, evidenciando que, para este conjunto de riscos, a metodologia conduz a uma classificação homogénea das prioridades de intervenção.

Tabela 10: Resultado estatístico do processo de registo e catalogação obtidos pelos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR

	William Fine					**NTP 330**					**MIAR**				
	Classificação do risco	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coefici-ente de variação	Nível de interven-ção	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coefici-ente de variação	Nível de Priori-zação	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
Registo e Catalogação	Baixo	20.0%	96 (Médio)	32.86	34.2%	I	20%	212 (II)	219.7	103.6%	Priorização baixa	0%	1360.8 (Média)	611.15	44.9%
	Médio	80.0%				II	40%				Priorização média	100%			
	Elevado	0%				III	40%				Priorização elevada	0%			
	Muito elevado	0%				IV	0%				Priorização muito elevada	0%			
	Extremo	0%									Situações urgentes	0%			

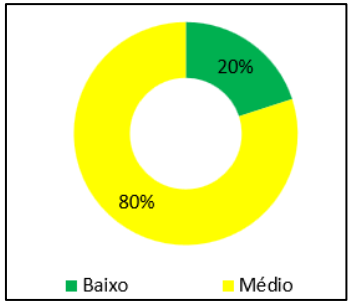


Figura 22: Classificação do risco - Método William Fine

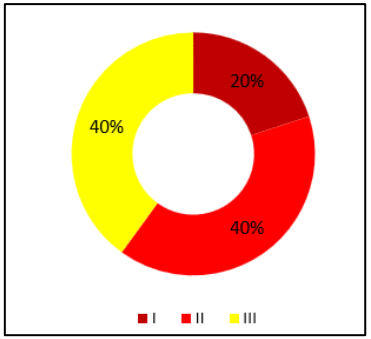


Figura 23: Nível de intervenção - Método NTP 330

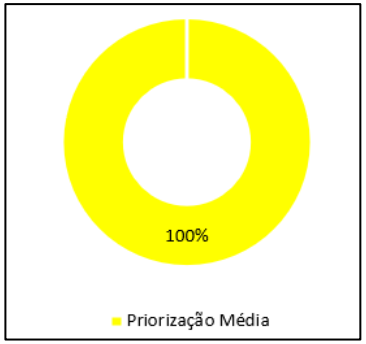


Figura 24: Nível de priorização - Método MIAR

A análise da Tabela 10 demonstra que os três métodos expõem comportamentos diferenciados relativo à dispersão dos resultados adquiridos para o processo de Registo e Catalogação. O método William Fine apresentou um valor médio de 96, enquadrado na classificação de risco Médio, acompanhado de um coeficiente de variação de 34,2%, o mais reduzido dos três métodos, indicando uma distribuição relativamente homogénea dos índices de risco que também pode ser observado na Figura 22.

No caso da NTP 330, a análise Tabela 10, regista o valor médio de 212 correspondente ao nível de intervenção II, sendo acompanhada por um coeficiente de variação de 103,6%. Este resultado demonstra uma maior variação entre os riscos avaliados, refletindo uma distribuição não uniforme dos níveis de intervenção, que igualmente pode se constatar na Figura 23.

Por sua vez o método MIAR, obteve a média de 1360,8, que corresponde a uma priorização média dos riscos, conforme é ilustrado na Figura 24, apresentando um coeficiente de variação de 44,9%. Em comparação com o método NTP 330, os resultados exibem menor dispersão, embora seja superior à registada pelo método William Fine, indicando uma distribuição intermédia dos índices de risco.

4.1.4 Zona de Armazenamento do Acervo Central

O Acervo Central constitui a área de armazenamento definitivo e de alta densidade da litoteca. Esta zona foi dimensionada para a conservação de longo prazo de testemunhos de sondagem e amostras geológicas, organizando-se em estantes metálicas verticais de seis (6) níveis.

O processo de arrumação e gestão do acervo segue um processo de interface entre a *Stacker* e a Plataforma Elevatória Móvel. A atividade estrutura-se nas seguintes fases:

1. Posicionamento de Carga: As caixas de testemunhos, já paletizadas, são transportadas pelo *Stacker* até ao corredor correspondente. Os garfos *do Stacker* são elevados até à altura da prateleira de destino, funcionando como uma base de apoio elevada.
2. Acesso e Posicionamento do Técnico: Simultaneamente, o operador utiliza a plataforma elevatória para subir até ao nível desejado, posicionando o cesto da PEMP adjacente aos garfos do *Stacker*.

3. Transferência Manual: Com ambos os equipamentos estabilizados em altura, o técnico procede à retirada manual das caixas da palete (apoiada no *Stacker*) para a sua localização final na prateleira.

A operação dessa atividade é demonstrada na Figura 25.



Figura 25: Manobra da Plataforma Elevatória Móvel de Pessoal

Fonte: Fotografia do autor, 2026

4.1.4.1 Levantamento de Perigos e Riscos no Acervo Central

Com base na observação direta da dinâmica de interface entre o Stacker e a Plataforma Elevatória Móvel de Pessoal (PEMP) no armazenamento em altura, identificaram-se os seguintes perigos e riscos associados:

- Queda de pessoas em altura: devido à necessidade de o operador trabalhar no cesto da PEMP a níveis elevados para transferir as caixas para as prateleiras superiores.
- Queda de objetos em altura: durante a transferência manual da palete (apoiada nos garfos do *Stacker*) para a prateleira, podendo atingir técnicos ou equipamentos no solo.

- Colisão entre equipamentos móveis: resultante da operação simultânea e em proximidade do *Stacker* e da PEMP em corredores estreitos.
- Esmagamento e entalamento do operador: entre o cesto da plataforma elevatória e as estruturas fixas das estantes ou os garfos do *Stacker* durante manobras de aproximação.
- Sobrecarga biomecânica e posturas forçadas: devido ao alcance horizontal necessário para retirar as caixas da palete e as colocar na prateleira.
- Queda de cargas por falha mecânica/hidráulica: risco de perda de sustentação da palete por parte do *Stacker* enquanto o técnico manipula as caixas em altura.
- Capotamento do equipamento: caso ocorra uma irregularidade no pavimento ou uma distribuição de carga assimétrica nos garfos do *Stacker* ou na PEMP enquanto estendidos.
- Cortes e golpes: contacto com as arestas metálicas das estantes ou cantos vivos das prateleiras, das paletes e garfos do *Stacker*.

A Tabela 11 demostra a análise de risco identificados nesse posto de trabalho

Tabela 11: Valoração do nível de risco pelos três métodos: William Fine, NTP330 e MIAR - Armazenamento do acervo central

Armazenamento do Acervo Central								
Tarefa	**Perigo**	**Risco**	**William Fine**		**NT330**		**MIAR**	
			Nível de Risco	**Classificação Risco**	**Nível de Risco**	**Nível Intervenção**	**Nível de Risco**	**Nível de Priorização**
Transferência manual de caixas para as prateleiras superiores	Trabalho em altura na Plataforma Elevatória Móvel de Pessoas (PEMP)	Queda de trabalhadores em altura	270	Muito elevado	1080	I	2880	Priorização elevada
Transferência manual de caixas da palete para a estante	Movimentação manual de cargas em altura	Queda de objetos em altura	270	Muito elevado	1080	I	2880	Priorização elevada
Operação simultânea do stacker e da PEMP	Circulação simultânea de equipamentos móveis	Colisão entre equipamentos móveis	270	Muito elevado	1080	I	2880	Priorização elevada
Posicionamento do operador na PEMP	Espaço reduzido entre o cesto da PEMP, as estantes e os garfos do stacker	Esmagamento e entalamento do operador	540	Extremo	1800	I	2880	Priorização elevada

Armazenamento do Acervo Central								
Tarefa	**Perigo**	**Risco**	**William Fine**		**NT330**		**MIAR**	
			Nível de Risco	**Classificação Risco**	**Nível de Risco**	**Nível Intervenção**	**Nível de Risco**	**Nível de Priorização**
Transferência manual das caixas	Alcance horizontal e movimentação manual de cargas	Sobrecarga biomecânica e lesões músculo-esqueléticas	300	Muito elevado	600	I	2304	Priorização média
Transferência manual das caixas	Falha mecânica ou hidráulica do stacker	Queda de cargas por falha mecânica ou hidráulica	135	Médio	720	I	1536	Priorização média
Operação do stacker e da PEMP	Instabilidade dos equipamentos de elevação	Capotamento do equipamento	135	Médio	720	I	1536	Priorização média
Transferência e arrumação das caixas	Arestas metálicas das estantes, paletes e garfos do stacker	Cortes e golpes	90	Médio	150	II	1296	Priorização média

Atentando a Tabela 11, a avaliação do processo de Armazenamento do Acervo Central apresenta classificações elevadas nos três métodos de avaliação utilizados.

No método William Fine, 50% dos riscos avaliados foram classificados como muito elevado, 37,5% classificados como médio e os restantes 12,5% como extremo. Estes resultados indicam que as tarefas do processo de armazenamento expõem riscos com potencial de elevada gravidade, particularmente os relacionados à movimentação de cargas, ao trabalho em altura e à operação simultânea do *stacker* e da Plataforma Elevatória Móvel de Pessoas (PEMP).

Relativamente ao método NTP 330, constatou-se que 87,5% riscos foram classificados no nível de intervenção I, por outro lado apenas 12,5% risco foi enquadrado no nível II. Esta disposição demonstra a necessidade de implementação prioritária ou imediata de medidas de controlo para os riscos identificados.

Por sua vez, o MIAR classificou os riscos de modo equilibrado entre Priorização elevada e priorização média, adequando a 50% dos riscos em cada categoria. Não foram categorizados riscos de priorização baixa nem situações urgentes, demonstrando que o método concentra a avaliação em níveis intermédios e elevados de prioridade.

Tabela 12: Resultado estatístico do processo de armazenamento do acervo central obtidos pelos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR

	William Fine					**NTP 330**					**MIAR**				
	Classificação do risco	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coefici-ente de variação	Nível de interven-ção	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coefici-ente de variação	Nível de Priori-zação	% de Risco obtido	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
Armazena-mento do Acervo Central	Baixo	0%	251.25 (Muito ele-vado)	141.33	56.3%	I	0%	903.75 (I)	481.72	53.3%	Priorização baixa	0%	2274 (Média)	708.68	31.2%
	Médio	37%				II	12.5%				Priorização média	50%			
	Elevado	50%				III	87.5%				Priorização elevada	50%			
	Muito elevado	0%				IV	0%				Priorização muito elevada	0%			
	Extremo	13%									Situações urgentes	0%			

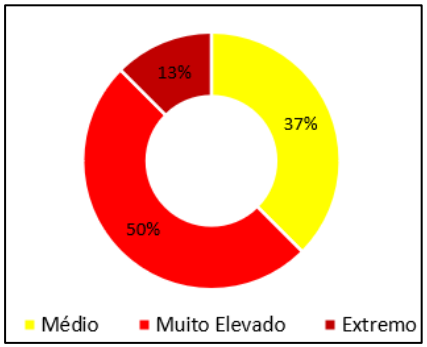


Figura 26: Classificação do risco - Método William Fine

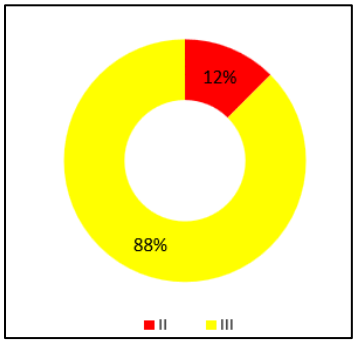


Figura 27: Nível de intervenção - Método NTP 330

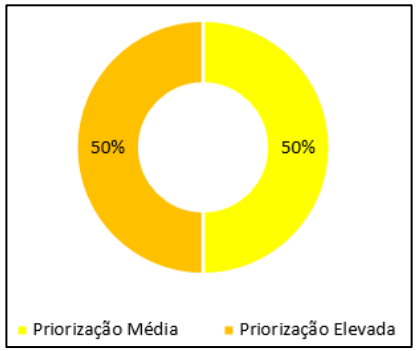


Figura 28: Nível de priorização - Método MIAR

A análise da Tabela 12 apresenta que o método William Fine registou um índice médio de 251,25, que corresponde à classificação de risco muito elevado. O desvio-padrão obtido foi de 141,33 e o coeficiente de variação de 56,3%, demonstrando uma dispersão comedida dos índices de risco e apontando que, apesar de existirem diferenças entre os riscos avaliados, estes se concentram em níveis de gravidade elevados

A inexistência de riscos classificados como baixos, conforme é apresentado na Figura 26 demonstra que todas as tarefas associadas ao armazenamento do acervo central apresentam um nível de risco que exige a implementação de medidas de controlo, destacando-se os riscos relacionados com o trabalho em altura e a movimentação de cargas.

De acordo com a Tabela 12, o método NTP 330 registou um valor médio de 903,75, que corresponde ao nível de intervenção I. O desvio-padrão e o coeficiente de variação foi de 481,72 e de 53,3% respetivamente, retratando uma dispersão moderada dos resultados e uma distribuição relativamente sólida dos níveis de intervenção atribuídos.

Esta distribuição é igualmente demonstrada na Figura 27, onde 88% dos riscos foram classificados no nível de intervenção I e somente 12% no nível II, não se constatando riscos enquadrados nos níveis III e IV. Estes resultados indicam que a quase totalidade dos riscos identificados requer uma intervenção prioritária ou imediata, evidenciando a criticidade das operações desenvolvidas nesta área.

Os resultados apresentados na Tabela 12 evidenciam que o método MIAR registou um índice médio de 2274, a qual corresponde a uma priorização média. O desvio-padrão foi de 708,68 e o coeficiente de variação de 31,2%, o menor dos três métodos, apontando uma menor variabilidade dos índices de risco obtidos.

Conforme se observa na Figura 28, os riscos distribuíram-se de modo idêntico entre priorização média (50%) e priorização elevada (50%), não tendo sido registadas situações de priorização baixa, muito elevada. Esta disposição demonstra que o método concentrou a avaliação em níveis intermédios e elevados de prioridade, diferenciando apenas os riscos que justificam uma intervenção mais célere daqueles cuja atuação pode ser planeada.

4.2 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DOS DIFERENTES MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RISCO

De forma a se obter um quadro geral do nível de risco de exposição a diferentes perigos em todas a tarefas realizadas na litoteca, com utilização das três metodologias de avaliação de risco, agrupou-se o significado dos níveis de risco de acordo com a Figura 29.

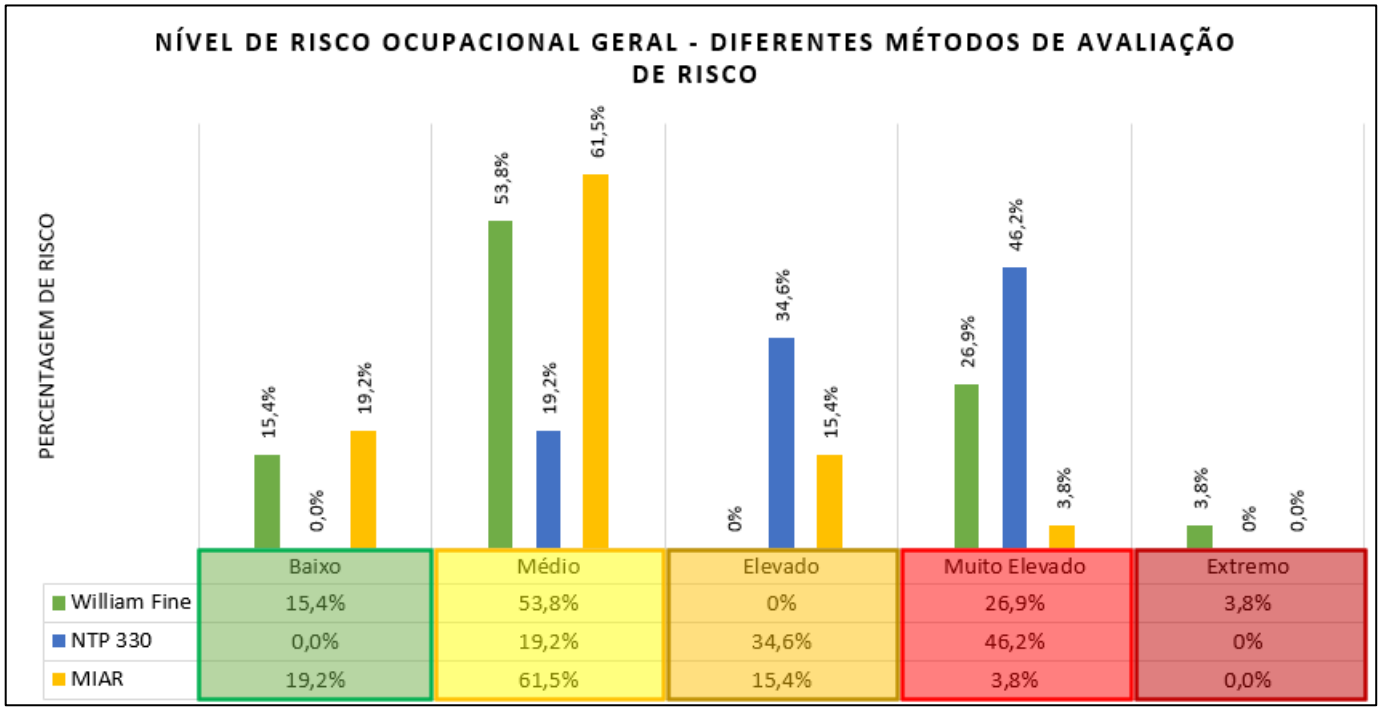


Figura 29: Nível de Risco - Comparação entre métodos

Observa-se que os três métodos apresentam distribuições distintas, refletindo diferenças na forma como classificam e priorizam os riscos ocupacionais.

O método William Fine concentra a maior percentagem de riscos na categoria "Médio" com 53,8%, seguida da categoria "Muito Elevado" com 26,9%. Somente 15,4% dos riscos foram classificados como "Baixos" e 3,8% como "Extremos", não se verificando classificações na categoria "Elevado". Esta distribuição demonstra uma tendência para concentrar os resultados em níveis intermédios de risco, distinguindo apenas um número reduzido de situações de criticidade extrema.

Já, o método NTP 330 apresenta uma distribuição que exigem rápida intervenção, classificando 46,2% dos riscos nos níveis de intervenção mais elevados, correspondentes à categoria "Muito Elevado", e 34,6% na categoria "Elevado". Apenas 19,2% dos riscos foram enquadrados na categoria "Médio", não se verificando classificações na categoria Baixo nem Extremo. Estes resultados evidenciam que esta metodologia tende a privilegiar a necessidade de intervenção, atribuindo maior prioridade à implementação de medidas preventivas.

Por sua vez, com o método MIAR, verifica-se que 61,5% dos riscos foram classificados como "Médios", 19,2% como "Baixos" e 19,2% como "Elevados", não tendo sido registadas classificações nas categorias "Muito Elevado" e "Extremo". Esta distribuição demonstra uma maior concentração dos resultados em níveis intermédios de priorização, distinguindo apenas um conjunto reduzido de riscos que justificam uma intervenção mais prioritária.

4.3 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A POEIRAS

Tabela 13: Resultados da avaliação gravimétrica de exposição de poeiras

Local de Amostragem	Tipo de poeira	Método	Tempo de amostragem (min)	Caudal médio (L/min)	Massa recolhida (mg)	Concentração (mg/m^3)	Valor limite (mg/m^3)	Conformidade
Armazenamento central	Poeiras inaláveis	NIOSH 0500	180	2,06	0,50	**1,34**	10	Sim
Sala de Preparação de Sondagens	Poeiras inaláveis	NIOSH 0500	180	2,05	0,02	**0,05**	10	Sim
Armazenamento central	Poeiras respiráveis	NIOSH 0600	60	2,13	0,01	**0,11**	3	Sim
Sala de Preparação de Sondagens	Poeiras respiráveis	NIOSH 0600	60	2,17	0,11	**0,82**	3	Sim

*Valor limite definido no Anexo B da NP 1796 (2014) a partículas insolúveis ou fracamente solúveis sem outra classificação (PSOC)

A Tabela 13 apresenta os resultados da avaliação gravimétrica das poeiras inaláveis e respiráveis nos locais de trabalho mais representativos na litoteca. Verifica-se que, em todas as amostragens, as concentrações se situam abaixo dos respetivos valores-limite de exposição, definidos no Anexo B da NP 1796 (2014) a partículas insolúveis ou fracamente solúveis sem outra classificação (PSOC).

No caso das poeiras inaláveis, a concentração determinada no Armazenamento do acervo central (1,34 mg/m³) foi superior à obtida na Sala de Preparação de Sondagens (0,05 mg/m³). Este resultado poderá estar relacionado com acumulação e remobilização de partículas depositadas durante as operações de movimentação, armazenamento e consulta dos testemunhos, uma vez que a fração inalável pode ser facilmente ressuspensa pela circulação de trabalhadores e pela movimentação manual de caixas.

Por outro lado, para as poeiras respiráveis, observou-se um comportamento oposto, tendo sido registada a concentração mais elevada na Sala de preparação de sondagens (0,82 mg/m³), enquanto na Armazenamento do acervo central foi obtido um valor de 0,11 mg/m³. Esta disparidade é coerente com a natureza das operações efetuadas, uma vez que o corte, a fragmentação e a preparação de testemunhos geológicos promovem a libertação de partículas de menor tamanho, suscetíveis de permanecerem em suspensão durante períodos mais prolongados.

Apesar dos resultados adquiridos indiquem conformidade com os valores-limite adotados, a presença de poeiras respiráveis na sala de preparação assegura que estas operações constituem a principal fonte potencial de exposição ocupacional. Desta maneira, a manutenção dos sistemas de aspersão, das práticas de limpeza adequadas e da utilização de equipamentos de proteção respiratória, sempre que necessário, continua a constituir um elemento essencial para assegurar o controlo da exposição, sobretudo em situações de maior intensidade de trabalho ou de processamento de materiais com potencial de libertação de sílica cristalina respirável.

4.4 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL AO RUÍDO E EFICÁCIA DA PROTEÇÃO AUDITIVA

Tabela 14: Caracterização da exposição ao ruído por tarefa e diagnóstico de conformidade legal

Posto de Trabalho	**L_{Aeq} [dB(A)]**	**Tempo (Te)**	**Enquadramento**	**Diagnóstico global ($L_{EX,8h}$) [dB(A)]**	**Conformidade**
Preparação de Sondagens	77,4	6h	Aceitável (< 80 dB)	--	
Sala de Corte	106,6	1h	Risco crítico (> 87 dB)	--	
Avaliação Global	--	7h	--	97.6	Não conformidade

Tabela 15: Comparação da atenuação por banda de frequência e do nível de exposição no ouvido para os protetores auditivos avaliados

Parâmetro	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	L_{Aeq} no ouvido	Estado da Proteção
Ruído sem proteção ($L_{EX,8h}$)	33.3	50.9	68.8	80.0	76.7	86.3	94.6	88.6	97.6 dB (A)	Sem Proteção
E-A-R UltraFit 14 (APVf)	6.0	3.8	3.4	6.0	4.4	4.4	6.8	7.8	79.2 dB (A)	Proteção ideal
E-A-R UltraFit 20 (APVf)	10.2	9.0	7.8	7.2	6.2	7.2	14.2	8.4	78.1 dB (A)	Proteção ideal

Verifica-se através da Tabela 14 que, na Preparação de sondagens registou-se um L_{Aeq} de 77,4 dB(A) para um período de exposição de seis horas, valor inferior ao nível de ação inferior previsto no Decreto-Lei n.º 182/2006, de 6 de setembro. Em contrapartida, na Sala de corte foi medido um L_{Aeq} de 106,6 dB(A) durante uma hora de exposição, valor que ultrapassa o valor-limite de exposição. A integração dos diferentes períodos de exposição resultou num $L_{EX,8h}$ de 97,6 dB(A), conduzindo a uma situação de não conformidade legal, uma vez que excede o valor-limite de exposição diária.

A análise da Tabela 15 demonstra que a utilização de proteção auditiva reduz significativamente a exposição efetiva do trabalhador ao ruído. O protetor E-A-R UltraFit 14 permite reduzir o nível de exposição no ouvido para um valor de $L_{Ex,8h,efct}$ de 79,2 dB(A), enquanto o E-A-R UltraFit 20 conduz a um nível de $L_{Ex,8h,efct}$ de 78,1 dB(A). Em ambos os casos, os níveis estimados situam-se abaixo dos valores de ação, indicando que os protetores selecionados proporcionam uma atenuação adequada para as condições de exposição avaliadas. Estes resultados evidenciam que, embora a exposição sem proteção ultrapasse o limite legal, a utilização correta dos protetores auditivos permite reduzir a exposição para níveis compatíveis com os requisitos legais, sem prejuízo da necessidade de privilegiar medidas de controlo na origem, em conformidade com a hierarquia das medidas de prevenção prevista na legislação de segurança e saúde no trabalho

De acordo com os critérios estabelecidos na Norma EN 458 (2016), os protetores auriculares avaliados apresentam um nível de proteção considerado satisfatório para as condições de exposição analisadas.

5
CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo avaliar os riscos ocupacionais associados às atividades desenvolvidas na Litoteca do LNEG, em São Mamede de Infesta, de modo a apoiar a definição de medidas de prevenção e controlo ajustadas às características desta instalação. A observação das atividades, a aplicação de três metodologias de avaliação de riscos e a caracterização da exposição ocupacional a poeiras e ruído permitiram identificar situações prioritárias de intervenção e aprofundar o conhecimento sobre as condições de segurança e saúde no trabalho.

A análise dos resultados evidenciou diferenças entre as áreas funcionais avaliadas. O armazenamento do acervo central destacou-se pela maior criticidade dos riscos identificados, particularmente devido à movimentação de cargas, ao trabalho em altura e à utilização simultânea do *stacker* e da plataforma elevatória móvel de pessoal (PEMP). Em contrapartida, no registo e catalogação predominaram classificações de risco inferiores, embora tenham sido identificadas situações que justificam medidas preventivas, nomeadamente as relacionadas com a sobrecarga biomecânica, as posturas de trabalho e a utilização prolongada de equipamentos dotados de visor.

A aplicação dos métodos William Fine, NTP 330 e MIAR demonstrou que a classificação e a priorização dos riscos dependem dos critérios específicos de cada metodologia. As diferenças observadas reforçam a importância de interpretar os resultados de acordo com os pressupostos de cada método, não sendo possível estabelecer uma superioridade geral de uma metodologia com base apenas na comparação dos índices obtidos.

A análise estatística complementou esta comparação, evidenciando diferentes níveis de dispersão dos resultados em função da metodologia e do processo avaliado. Contudo, os coeficientes de variação devem ser interpretados no contexto de cada método, uma vez que os índices são obtidos a partir de escalas e critérios distintos. Assim, esta análise contribui para caracterizar a distribuição dos resultados, mas não permite, isoladamente, determinar a fiabilidade ou a adequação global de cada metodologia.

Relativamente à exposição ocupacional a poeiras, as concentrações determinadas durante os períodos de amostragem ficaram abaixo dos valores de referência considerados no estudo. Ainda assim, os resultados evidenciaram diferenças entre as áreas avaliadas: a concentração associada às partículas designadas como inaláveis foi superior no armazenamento do acervo central, enquanto a concentração de poeiras respiráveis foi superior na sala de preparação de sondagens. Estes resultados justificam a manutenção das medidas de controlo existentes e a atenção às operações de corte e preparação dos testemunhos, sem que as medições realizadas permitam, por si só, caracterizar todas as condições de exposição possíveis ou excluir a necessidade de avaliação de agentes específicos, como a sílica cristalina respirável.

No que respeita ao ruído, a exposição diária normalizada determinada foi de $L_{EX,8h}$ de 97,6 dB(A), ultrapassando o valor-limite de exposição de 87 dB(A) estabelecido no Decreto-Lei n.º 182/2006, de 6 de setembro. Este resultado evidencia a necessidade de medidas de controlo, com particular incidência na sala de corte, onde foi registado o nível sonoro mais elevado. A avaliação dos protetores auditivos considerados no estudo indicou níveis estimados no ouvido de $L_{Ex,8h,efct}$ de 79,2 dB(A) para o E-A-R UltraFit 14 e de $L_{Ex,8h,efct}$ de 78,1 dB(A) para o E-A-R UltraFit 20. Estes valores apontam para uma redução relevante da exposição estimada quando os protetores são utilizados, devendo a proteção auditiva complementar, e não substituir, as medidas de controlo na origem e outras medidas técnicas e organizacionais adequadas.

Em termos globais, o estudo permitiu identificar os principais riscos ocupacionais nas áreas analisadas, comparar os resultados de diferentes metodologias de avaliação e complementar essa análise com dados relativos à exposição a poeiras e ruído. Os resultados constituem um suporte técnico para a definição de prioridades de intervenção e para o reforço da gestão da segurança e saúde no trabalho na Litoteca do LNEG em São Mamede Infesta. A sua aplicação a outras instalações deverá, contudo, considerar as características específicas de cada contexto operacional.

5.2 PERSPETIVAS FUTURAS

Os resultados alcançados demonstraram que a aplicação dos três métodos: William Fine**,** NTP 330 e MIAR permitiu avaliar e hierarquizar os riscos ocupacionais existentes na litoteca. Todavia, salienta-se que futuras teses poderão colaborar para o melhoramento da gestão do risco neste tipo de instalações por meio de:

- Da aplicação destas metodologias em outras litotecas ou instalações similares, permitindo comparar e validar os resultados obtidos;
- Da realização periódica de monitorização da exposição a poeiras e ao ruído;
- Da avaliação da exposição à sílica cristalina respirável durante as operações de corte e preparação de testemunhos geológicos;

- Da validação da eficácia das medidas de prevenção implementadas, através da reavaliação periódica dos riscos.

O desenvolvimento destes trabalhos permitirá aprofundar o conhecimento sobre os riscos ocupacionais associados às litotecas e contribuir para a melhoria contínua das condições de segurança e saúde dos trabalhadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ajslev, J. Z. N., Møller, J. L., Andersen, M. F., Pirzadeh, P., & Lingard, H. (2022). The Hierarchy of Controls as an Approach to Visualize the Impact of Occupational Safety and Health Coordination. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(5). https://doi.org/10.3390/ijerph19052731

Al-Bakri, A. Y., Ahmed, H. M., & Hefni, M. (2023). Occupational hazards and associated risks in university laboratories: A case study of mining engineering department laboratory. *JKAU: Eng. Sci*, *33*(2), 35–54. https://doi.org/10.4197/Eng

Almutairiri, N. S., Tamrin, S. B. B. M., Guan, N. Y., & How, V. (2019). Determine the risk level of occupational hazards among laboratories staffs in Makkah. *Año*, *35*(21), 11–19.

Antunes, F. A., Baptista, J. S., & Diogo, M. T. (2010). *Metodologia de avaliação integrada de riscos ambientais e ocupacionais*.

Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. Em *European Journal of Operational Research* (Vol. 253, Número 1, pp. 1–13). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023

Baars, C., & Horak, J. (2018). Storage and conservation of geological collections—a research agenda. *Journal of the Institute of Conservation*, *41*(2), 154–168. https://doi.org/10.1080/19455224.2018.1463921

Badri, A., Boudreau-Trudel, B., & Souissi, A. S. (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? Em *Safety Science* (Vol. 109, pp. 403–411). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.06.012

Balaram, V., & Subramanyam, K. S. V. (2022). Sample preparation for geochemical analysis: Strategies and significance. Em *Advances in Sample Preparation* (Vol. 1). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.sampre.2022.100010

Barbosa, F., Matos, ;, Luísa, Santos, ;, & Paula. (2010). *As diferentes metodologias de recolha e análise de Poeiras Ocupacionais: Equipamentos e Técnicas Different methods of sampling and analysis of Occupational Dust: Equipment and Techniques*.

Belloví, M. B., & Malagón, F. P. (1993). *NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente*. https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/9-serie-ntp-numeros-296-a-330-ano-1994/ntp-330-sistema-simplificado-de-evaluacion-de-riesgos-de-accidente-1993

Botelho, R. M. (2015). *Avaliação de Riscos pelos Métodos MIAR, NTP330 e WTF, numa Empresa de Triagem de Resíduos Industriais MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS*.

Burtan, Z., Nowak-Senderowska, D., & Szczepański, P. (2025). Methodology for Identification of Occupational Hazards Using Their Characteristic Features in Hard Coal Mining. *Applied Sciences (Switzerland)*, *15*(13). https://doi.org/10.3390/app15137079

Decreto n.º 39669 de 20 de maio de 1954. (1954). Decreto n.º 39669 de 20 de maio de 1954. *Diário da República*.

Dehdashti, A., Fatemi, F., & Janati, M. (2024). Assessing the Safety Situation in the Laboratories of Educational and Research Centers. *Health in Emergencies and Disasters Quarterly*, *9*(3), 183–190. https://doi.org/10.32598/hdq.9.3.154.1

EN 458. (2016). *Hearing protectors-Recommendations for selection, use, care and maintenance-Guidance document*.

EU-OSHA, E. A. for S. and H. at W. (2023). *Occupational safety and health in Europe-state and trends 2023 European Agency for Safety and Health at Work-EU-OSHA 2*. https://doi.org/10.2802/26873

Fatemi, F., Dehdashti, A., & Jannati, M. (2022). Implementation of Chemical Health, Safety, and Environmental Risk Assessment in Laboratories: A Case-Series Study. *Frontiers in Public Health*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.898826

Fine, W. T. (1971). *Mathematical evaluations for controlling hazards* (M. Naval Ordnance Laboratory (White Oak, Ed.; iii, 28 pages). Naval Ordnance Laboratory ; National Technical Information Service [distributor].

Floeder, A., Jones, R. M., & Arnold, S. F. (2025). Risk assessment methods in occupational health and hygiene: a scoping review. Em *Annals of Work Exposures and Health* (Vol. 69, Número 2, pp. 120–131). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/annweh/wxae095

Hanieh, A. A., & Al Balasie, A. (2021). Noise and Vibrations Reduction of Stone Cutting Factories. Em *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS*.

IEC/ISO 11228-1. (2021). *Ergonomics - Manual handling-Part 1: Lifting and carrying*. www.iso.org

IEC/ISO 16089. (2025). *Machine tools-Safety-Stationary grinding machines COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT*.

IEC/ISO 31000. (2018). *Norma Portuguesa NP ISO 31000 2018*. www.ipq.pt

IEC/ISO 31010. (2019). *Risk management: risk assessment techniques = Management du risque -Techniques d'appreciation du risque*. International Electrotechnical Commission.

IEC/ISO 45001. (2019). *Norma Portuguesa 45001 - Sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho Requisitos e orientação para a sua utilização*. www.ipq.pt

ILO, I. L. O. (2023). *The ILO Global Strategy on Occupational Safety and Health and its Plan of Action (2024-2030)*.

Iza, E. R. H. de F., Souza, M. L., Meira, M. M., Grissolia, E. M., Simões, H. A., Cavalcanti, J. A. D., Frazão, E. P., & Sobrinho, V. R. S. (2025). Inventory of Geological Samples Collected from the Rio Grande Rise: Caeté Lithotheque (Minas Gerais State), Geological Survey of Brazil. *Journal of the Geological Survey of Brazil*, *8*(3), 227–232. https://doi.org/10.29396/jgsb.2025.v8.n3.5

Khan, F., Rathnayaka, S., & Ahmed, S. (2015). Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future. Em *Process Safety and Environmental Protection* (Vol. 98, pp. 116–147). Institution of Chemical Engineers. https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.07.005

Liu, R., Liu, H. C., Shi, H., & Gu, X. (2023). Occupational health and safety risk assessment: A systematic literature review of models, methods, and applications. Em *Safety Science* (Vol. 160). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106050

Mendonça, A. L. (2013). *MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RISCOS CONTRIBUTO PARA A SUA APLICABILIDADE NO SETOR DA CONSTRUÇÃO*.

NP 1796. (2014). *Segurança e saúde do trabalho Valores-limite e índices biológicos de exposição profissional a agentes químicos*.

NP EN ISO 9612 (2011) Acústica. Determinação da exposição ao ruído ocupacional. Método de Engenharia.

Olewski, T., & Snakard, M. (2017). Challenges in applying process safety management at university laboratories. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *49*, 209–214. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.06.013

Ortega, D., Arrizabalaga, Á., Aura, E., Baena, J., Belmonte-Mas, D., Brià, J., Domingo, R., Domínguez-Bella, S., Duarte-Matías, E., Eixea, A., Fuertes, N., García-Puchol, O., García-Simón, L. M., de Soler, B. G., Herrero-Alonso, D., de Lombera-Hermida, A., Mangado, X., Molina-Hernández, F. J., Morgado, A., … Terradas, X. (2025). Archaeological Lithotheques of Siliceous Rocks in Spain: First Diagnosis of the Lithotheque Thematic Network. *Open Archaeology*, *11*(1). https://doi.org/10.1515/opar-2025-0063

Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., Mcdonald, S., … Mckenzie, J. E. (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: Updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. Em *The BMJ* (Vol. 372). BMJ Publishing Group. https://doi.org/10.1136/bmj.n160

Popov, Georgi., Lyon, B. K. ., & Hollcroft, Bruce. (2016). *Risk assessment: a practical guide to assessing operational risks*. John Wiley & Sons, Inc.

Radu, L. D. (2009). *Qualitative,Semi-Qualitative and, Quantitative Methods for Risk Assessment: Case of the Financial Audit*.

Ramdeen, S. (2015). Preservation challenges for geological data at state geological surveys. *GeoResJ*, *6*, 213–220. https://doi.org/10.1016/j.grj.2015.04.002

Ramírez-Amador, J. L., Molina-Piernas, E., Ramos-Muñoz, J., Pavón-González, L., & Domínguez-Bella, S. (2025). Design and Development of a Scientific Lithotheque: Application to the LitUCA Case Study (University of Cádiz). *Heritage*, *8*(8). https://doi.org/10.3390/heritage8080339

Royce, & Baars. (2021). *Caring for geological collections: unresolved questions*.

Strong, D. T., Turnbull, R. E., Haubrock, S., & Mortimer, N. (2016). Petlab: New Zealand's national rock catalogue and geoanalytical database. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, *59*(3), 475–481. https://doi.org/10.1080/00288306.2016.1157086

Strong, D. T., Turnbull, R. E., & Markwitz, A. (2018). Managing hazardous materials in New Zealand's National Petrology Reference collection. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, *61*(4), 562–569. https://doi.org/10.1080/00288306.2018.1495238

U.S. Geological Survey. (2015). *The U.S. Geological Survey Geologic Collections Management System (GCMS)—A master catalog and collections management plan for U.S. Geological Survey geologic samples and sample collections* (Circular). https://doi.org/10.3133/cir1410

Wang, J., & Sifamen, V. (2024). Exploring industrial hazards and implementing risk control measures in the mining sector. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, *8*(8). https://doi.org/10.24294/jipd.v8i8.6255

Yarahmadi, R., Moridi, P., & Roumiani, Y. (2016). *Health, safety and environmental risk management in laboratory fields*. http://mjiri.iums.ac.ir