



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

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

A PROBLEMÁTICA DOS TRABALHOS EM ARBORISMO

Carlos Rafael Ribeiro Peixoto

Orientador: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista (FEUP)

Arguente: Professor Doutor Paulo Antero Alves de Oliveira (ESTG)

Presidente do Júri: Professor Mário Augusto Pires Vaz (FEUP)

2025



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

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

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt

ISN: 3599*654



Telephone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



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



Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

A realização deste mestrado e, em particular, a concretização desta dissertação não teria sido possível sem o apoio e compreensão de várias pessoas, às quais expresso aqui a minha mais profunda gratidão.

À minha mulher, Bárbara, pelo amor, paciência e resiliência demonstrados ao longo deste percurso. Obrigado por teres suportado, com serenidade, a ausência de muitos momentos a dois e os longos períodos em que estive totalmente absorvido pelo trabalho académico.

À minha filha, Benedita, que teve menos tempo com o pai do que merece, mas que, sem saber, foi uma das maiores fontes de motivação para terminar este desafio.

Aos meus sogros e aos meus pais, que com enorme generosidade e disponibilidade cuidaram da minha filha ao fim de semana, permitindo que eu me dedicasse aos estudos e à escrita desta dissertação com maior tranquilidade.

Agradeço de forma muito especial à Professora Doutora Jaqueline Branco, pelo apoio decisivo nas fases iniciais desta dissertação. A sua disponibilidade, orientação e sugestões metodológicas foram determinantes para a definição do problema, a estruturação dos capítulos e o rigor das opções técnicas adotadas. Qualquer erro remanescente é da minha exclusiva responsabilidade.

Aos meus orientadores, Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista e Professora Doutora Joana Alexandra Silva Duarte, pela orientação rigorosa, pela disponibilidade constante e pelas valiosas contribuições ao longo de todo o processo.

Ao Diogo Carvalho, que acompanhou cada passo deste trabalho com atenção, incentivo e espírito crítico. O teu apoio foi essencial para manter o foco e a confiança, especialmente nos momentos mais exigentes.

E por fim, aos meus colegas de trabalho, que me viram mais atarefado, menos disponível e, muitas vezes, com menos disposição do que o habitual. A vossa compreensão e espírito de entajuda fizeram toda a diferença.

A todos, o meu sincero obrigado.

DESTAQUES

- Avaliação detalhada e comparativa dos riscos ocupacionais em trabalhos de arborismo com acesso por corda.
- Aplicação prática das metodologias 3×3, MIAR e William Fine a tarefas reais e representativas da atividade.
- Integração de evidência científica através de revisão sistemática (PRISMA).
- Identificação dos riscos mais críticos: quedas em altura, cortes com ferramentas, sobrecarga músculo-esquelética/fadiga em suspensão e falhas de comunicação.
- Conclusão: o MIAR é o método mais adequado à complexidade do arborismo, com 3×3 e William Fine como abordagens complementares.
- Reforço da necessidade de normalização nacional (guia técnico específico) e de uma base de dados de sinistralidade para uniformizar critérios e suportar decisão.

HIGHLIGHTS

- Detailed and comparative assessment of occupational risks in arboriculture rope-access (tree climbing) operations.
 - Practical application of the 3×3, MIAR, and William Fine methodologies to real, representative tasks.
 - Integration of scientific evidence via a PRISMA-based systematic review.
 - Identification of the most critical risks: working-at-height falls, tool-related cuts, musculoskeletal load/fatigue in suspension, and communication failures.
 - Conclusion: MIAR is the most suitable method for the complexity of arboriculture, with 3×3 and William Fine as complementary approaches.
 - Emphasis on the need for national standardization (a dedicated technical guideline) and a national incident/accident database to harmonize criteria and support decision-making.
-

RESUMO

O arborismo com acesso por corda é cada vez mais utilizado na gestão de árvores em contextos urbanos e florestais, envolvendo trabalho em altura, uso de ferramentas cortantes motorizadas e tomada de decisão em ambientes pouco controlados. Esta dissertação compara três metodologias de avaliação de risco — 3×3, MIAR e William Fine — aplicadas a tarefas representativas (subida inicial, movimentação na copa, poda com motosserra, abastecimento e comunicação), após uma revisão sistemática da literatura (PRISMA) que integrou 24 estudos relevantes. Confirmaram-se como riscos críticos as quedas em altura, os cortes, a projeção de materiais, a sobrecarga músculo-esquelética/fadiga em suspensão e as falhas de comunicação. Observou-se divergência entre métodos: o William Fine classifica várias tarefas críticas como inaceitáveis (pela ênfase na consequência catastrófica), a matriz 3×3 posiciona-as maioritariamente em risco elevado (útil para triagem rápida em obra) e o MIAR evidencia maior adequação ao contexto da arboricultura ao permitir análise detalhada por tarefa e articulação com planos de SST, produzindo classificações coerentes com a severidade operacional. Conclui-se que o MIAR é o método mais ajustado para avaliação sistemática no setor, mantendo-se os outros como abordagens complementares. Recomenda-se, adicionalmente, a criação de um referencial técnico nacional específico, o desenvolvimento de uma base de dados de acidentes/incidentes, o reforço da formação com treino de resgate em altura e a integração progressiva de tecnologias de apoio (p. ex., RPAS e monitorização de fadiga).

Palavras-Chave: Arboricultura, Segurança

ABSTRACT

Rope-access arboriculture (tree climbing) is increasingly used in urban and forest settings, involving work at height, the use of powered cutting tools, and decision-making in partly uncontrolled environments. This dissertation compares three risk-assessment methodologies—3×3, MIAR, and William Fine—applied to representative tasks (initial ascent, canopy movement, chainsaw pruning, refuelling, and team communication) following a PRISMA-based systematic literature review that integrated 24 relevant studies. Critical risks were confirmed: falls from height, cuts, flying debris, musculoskeletal load/fatigue in suspension, and communication failures. A divergence across methods was observed: the William Fine method classifies several critical tasks as unacceptable (due to its emphasis on catastrophic consequences); the 3×3 matrix places them mostly at high risk (useful for rapid on-site triage); and MIAR shows the best fit to arboriculture by enabling task-level detail and alignment with occupational safety and health (OSH) plans, yielding classifications consistent with operational severity. It is concluded that MIAR is the most suitable method for systematic assessment in this sector, with the other two serving as complementary approaches. Additionally, the study recommends establishing a dedicated national technical guideline, developing a national incidents/accidents database, strengthening training with vertical-rescue drills, and progressively integrating supporting technologies (e.g., RPAS and fatigue monitoring).

Keywords: Arboriculture, Safety

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	ESTADO DE ARTE.....	3
2.1	Evolução das técnicas de arborismo	3
2.2	Acidentes e riscos associados	6
2.3	Revisão da Literatura.....	8
2.4	Enquadramento legal e normativo	10
2.5	Pesquisa bibliográfica.....	12
2.6	CrITÉrios de Seleção da Pesquisa	13
2.6.1	Comparação dos Estudos Relevantes da Revisão	15
2.7	Objetivos da Dissertação	23
3	METODOLOGIA.....	25
3.1	Enquadramento geral da metodologia	25
3.2	Observação técnica e decomposição das tarefas	26
3.3	Enquadramento das metodologias aplicadas	27
4	RESULTADOS	35
4.1	Resultados por tarefa representativa.....	35
4.2	Considerações Finais sobre a Comparação das Metodologias	39
5	DISCUSSÃO	41
5.1	A especificidade da atividade e os seus riscos estruturais.....	41
5.2	Análise crítica das metodologias de avaliação de risco.....	42
5.3	Reflexão sobre a eficácia das medidas preventivas.....	42
5.4	Articulação com a literatura internacional.....	43
5.5	Desafios futuros identificados	43
5.6	Limitações	44
6	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	47
6.1	Perspetivas futuras.....	48
7	BIBLIOGRAFIA	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Operação de arborismo com acesso por corda..	1
Figura 2 - Métodos de acesso em arboricultura: plataforma elevatória (esq.) e por corda (dir.).	2
Figura 3 - Técnicas DdRT e SRT para progressão em árvore..	4
Figura 4 - Áreas acessíveis na copa: DdRT (esq.) vs. SRT (dir.).	6
Figura 5 - Zona de kick-back da motosserra, responsável por movimentos descontrolados e acidentes em altura.	8
Figura 6 - Diagrama de fluxo de revisão sistemática de acordo com o PRISMA 2020.	14
Figura 7 - Distribuição Geográfica dos Artigos.	15
Figura 8 - Fórmula de cálculo de Nível de Risco (Método MIAR).	29
Figura 9 - Fórmula de cálculo de Nível de Risco (Método 3×3).	30
Figura 10 - Fórmula de cálculo de Nível de Risco (Método William Fine).	32

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação técnica entre os sistemas DdRT e SRT utilizados em arborismo.	5
Tabela 2 - Comparação entre DdRT e SRT.	6
Tabela 3 - Resumo dos Artigos Selecionados relativos ao Arborismo	16
Tabela 4 - Escala de Gravidade (Método MIAR).	27
Tabela 5 - Escala de Frequência (Método MIAR).	28
Tabela 6 - Extensão do Impacto (Método MIAR).	28
Tabela 7 - Desempenho dos Sistemas de Prevenção e Controle, DPC (Método MIAR).	28
Tabela 8 - Critérios de classificação de risco segundo o método MIAR (adaptado).	29
Tabela 9 - Escala de Probabilidade (Método 3×3).	30
Tabela 10 - Escala de Gravidade (Método 3×3).	30
Tabela 11 - Escala de Exposição (Método 3×3).	30
Tabela 12 - Critérios de classificação de risco segundo o método 3×3 (adaptado).	31
Tabela 13 - Escala de Probabilidade (Método William Fine).	31
Tabela 14 - Escala de Frequência/Exposição (Método William Fine).	32
Tabela 15 - Escala de Consequência (Método William Fine).	32
Tabela 16 - Critérios de classificação de risco segundo o método William Fine (adaptado).	33
Tabela 17 - Avaliação comparativa dos riscos na tarefa “Subida inicial com corda” segundo os três métodos aplicados.	36
Tabela 18 - Avaliação comparativa dos riscos na tarefa “Movimentação na copa” segundo os três métodos aplicados.	36
Tabela 19 - Avaliação comparativa dos riscos na tarefa “Poda de ramos” segundo os três métodos aplicados.	37
Tabela 20 - Avaliação comparativa dos riscos na tarefa “Presença de fonte de ignição durante o abastecimento” segundo os três métodos aplicados.	38
Tabela 21 - Avaliação comparativa dos riscos na tarefa “Comunicação deficiente durante o trabalho em altura” segundo os três métodos aplicados.	38

LISTA DE SIGLAS

ANSI — American National Standards Institute

ANSI Z133.1 — Norma ANSI de segurança para operações de arboricultura

BMP — Best Management Practices (usado em “ISA BMP”)

DAP — Diâmetro à Altura do Peito

DdRT — Doubled Rope Technique (Técnica de corda dupla)

DPC — Desempenho dos Sistemas de Prevenção e Controlo (MIAR)

EN — European Norm (Norma Europeia)

ETW — European Tree Worker

EU-OSHA — European Agency for Safety and Health at Work (Agência Europeia para SST)

EPI — Equipamento de Proteção Individual

GIS — Geographic Information System (Sistema de Informação Geográfica)

ISA — International Society of Arboriculture

MIAR — Matriz Integrada de Avaliação de Riscos

NR — Nível de Risco (MIAR)

NRP — Nível de Risco Ponderado (MIAR)

OSHA — Occupational Safety and Health Administration (EUA)

OSH — Occupational Safety and Health (aparece no resumo em inglês; equiv. a SST)

PRISMA — Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

QTRA — Quantified Tree Risk Assessment

RPAS — Remotely Piloted Aircraft System (drones)

RJSST — Regime Jurídico da Promoção da Segurança e Saúde no Trabalho

SRT — Single Rope Technique (Técnica de corda única)

SST — Segurança e Saúde no Trabalho

TRAQ — Tree Risk Assessment Qualification (credencial ISA)

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO

O arborismo com acesso por corda, internacionalmente referido como *tree climbing operations*, é uma prática especializada da arboricultura e da silvicultura que permite executar trabalhos em altura na copa das árvores mediante o uso de cordas, arnês e sistemas de progressão vertical. Esta abordagem é amplamente utilizada em contextos urbanos, florestais e de manutenção de infraestruturas, possibilitando intervenções como poda, remoção de ramos mortos ou danificados, cortes controlados e avaliações estruturais (Kane, 2018; Dozier & Machtmes, 2005).

Ao contrário de outras atividades em altura realizadas com plataformas elevatórias ou andaimes, o arborista atua suspenso numa estrutura viva e, frequentemente, em ambientes não controlados. O terreno pode ser irregular, a vegetação densa, a copa instável e as condições meteorológicas adversas. Além disso, o trabalho envolve com frequência o manuseamento de ferramentas motorizadas, como a motosserra, o que eleva significativamente o risco de acidente (Crawford, 1991; Kuhns & Reiter, 2009). A Figura 1 apresenta um exemplo real de operação de arborismo com corda, ilustrando o posicionamento do profissional, os sistemas de retenção e o equipamento típico da atividade.



Figura 1 - Operação de arborismo com acesso por corda.

Fonte: Fotografia cedida por ZPRO, 2025.

Em determinadas situações — sobretudo em meio urbano — o acesso às copas pode ser realizado com plataformas elevatórias. No entanto, esta solução é muitas vezes inviável (terreno acidentado, ruas estreitas ou árvores de grande porte). A Figura 2 ilustra essa comparação, evidenciando diferenças operacionais e contextuais entre ambas as abordagens.

A execução deste tipo de trabalhos exige preparação física, coordenação motora, domínio técnico e resistência mental elevados. As operações combinam progressão vertical, avaliação estrutural da árvore, cortes com motosserra em altura e comunicação constante com a equipa no solo. Estas exigências aumentam a exposição ao risco, tornando a atividade particularmente crítica do ponto de vista da segurança e saúde no trabalho (Ellison, 2005; Kane & Ryan, 2009; Pavlikova et al., 2024). A crescente valorização

do património arbóreo tem ampliado a frequência de intervenções especializadas, mas também a exposição a riscos como quedas em altura, cortes acidentais, sobrecarga física e projeção de materiais, reforçando a necessidade de uma abordagem sistemática de gestão do risco.



Figura 2 - Métodos de acesso em arboricultura: plataforma elevatória (esq.) e por corda (dir.).

Fonte: Adaptado de Houston Tree Surgeons e Stonbury.

Apesar da existência de normas internacionais e literatura técnica relevante, verifica-se escassez de estudos aplicados à realidade nacional e insuficiente adaptação de metodologias de avaliação de risco à especificidade técnica e operacional do arborismo com corda (Lima, Meira Castro & Baptista, 2023). Este desalinhamento metodológico e a lacuna normativa em Portugal motivam a presente investigação.

Assim, o objetivo principal desta dissertação é analisar a problemática dos trabalhos de arborismo com acesso por corda e comparar diferentes metodologias de avaliação de risco — 3×3, MIAR e William Fine — para determinar qual a abordagem mais adequada à realidade técnica, física e operacional desta atividade. Pretende-se, com isso, fundamentar recomendações práticas que contribuam para melhorar a segurança dos profissionais, reduzir a sinistralidade e reforçar a cultura de prevenção no setor.

2 ESTADO DE ARTE

Este capítulo apresenta o enquadramento técnico e científico das operações de arborismo com acesso por corda, focando a evolução das práticas, os principais riscos ocupacionais identificados na literatura e as abordagens metodológicas existentes para avaliação desses riscos. A análise baseia-se numa revisão sistemática da literatura, que permitiu reunir estudos relevantes sobre segurança, ergonomia, metodologias de avaliação e conformidade com normas internacionais, com vista a fundamentar as opções metodológicas da presente investigação.

2.1 Evolução das técnicas de arborismo

Historicamente, os trabalhos em altura relacionados com árvores eram realizados por trabalhadores não especializados, recorrendo a escadas, andaimes ou mesmo à escalada direta dos troncos com auxílio de esporas. Estas práticas apresentavam riscos elevados, com escassas medidas de segurança e baixa eficiência operacional. Com o avanço das preocupações em torno da segurança e da gestão sustentável do arvoredo, surgiram técnicas especializadas de escalada com corda, impulsionadas pelo desenvolvimento de equipamentos certificados e metodologias padronizadas. A emergência do arborismo moderno coincidiu com uma maior profissionalização do setor, exigindo formação técnica, certificações internacionais (ex.: ETW – European Tree Worker) e normas de segurança mais exigentes. A literatura mostra que esta evolução foi também impulsionada pela crescente responsabilização legal dos operadores e entidades contratantes (Julius et al., 2014), bem como pelo aumento da procura por serviços de poda especializada em contexto urbano.

O arborismo moderno assenta essencialmente em dois sistemas principais de progressão vertical: o DdRT – Doubled Rope Technique (também designado DRT) e o SRT – Single Rope Technique. Ambos são utilizados para aceder às copas das árvores e permitir a execução de tarefas como poda, corte, instalação de dispositivos ou avaliação da estrutura arbórea. A escolha entre os dois depende da natureza da intervenção, da morfologia da árvore, da experiência do arborista e das condições de segurança exigidas.

Na técnica DdRT, a corda é dobrada sobre um ponto de ancoragem — geralmente uma forquilha ou ramo robusto — permitindo que o arborista fique suspenso em ambas as extremidades. Este sistema requer que o operador alcance previamente o ponto de ancoragem superior para instalar o cambium saver. Destaca-se pela sua ergonomia no regresso ao tronco, aproveitando o efeito de fulcro, e pela possibilidade de resgate a partir do solo, dado que ambas as extremidades da corda permanecem acessíveis. Contudo, a eficiência de movimentação pode ser reduzida caso a corda não esteja bem alinhada ou existam obstáculos na copa.

No SRT, utiliza-se uma corda única, frequentemente instalada com linha de lançamento e dispositivos mecânicos. Permite iniciar trabalho logo durante a subida e oferece maior liberdade de movimento perante desvios/obstáculos. A carga no ponto de ancoragem depende do tipo de âncora: em âncora na copa (canopy tie), as cargas situam-se tipicamente próximas de 1× do peso do operador (variando

com ângulos e atrito); em âncora basal com redirecionamento superior, pode verificar-se aproximação a 2× (efeito “polia”). Em qualquer caso, a verificação da robustez do ponto e do trajeto da corda é crítica, sobretudo em árvores altas.

A adoção destas técnicas representou um avanço significativo ao nível da segurança, eficiência e capacidade de evacuação de emergência nas operações em altura. A sua diferenciação permite selecionar o método mais adequado consoante o contexto operacional. A Figura 3 apresenta uma comparação visual entre os dois sistemas de progressão mais utilizados.

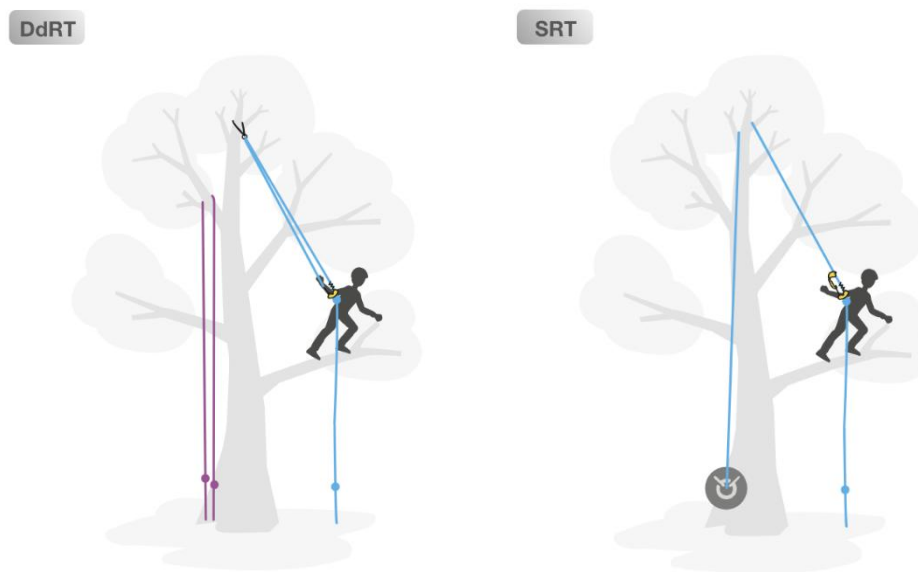


Figura 3 - Técnicas DdRT e SRT para progressão em árvore.

Fonte: Adaptado de manuais do fabricante PETZL).

A seleção do sistema de progressão vertical é um dos aspetos mais críticos na organização de uma operação de arborismo. O DdRT (Doubled Rope Technique) e o SRT (Single Rope Technique) diferem significativamente em termos de esforço físico exigido, facilidade de resgate, mobilidade na copa e requisitos de equipamento. Segundo Kane (2018), a distribuição de carga e a eficiência de subida variam consideravelmente entre métodos, podendo influenciar a fadiga do operador e o risco de acidente. Bianchini et al. (2021) identificaram uma adoção crescente do SRT, especialmente em intervenções de maior altura, pela sua versatilidade operacional. Crawford (1991), em testes com sistemas de retenção, reforça a importância de considerar o tipo de arnês e a ancoragem para cada técnica. Julius et al. (2014) destacam que a formação e certificação contribuem para escolhas mais seguras e informadas por parte dos operadores. Já a ISA (2019) e manuais técnicos da Petzl (2025) consolidam boas práticas e recomendações internacionais aplicáveis ao contexto europeu.

A Tabela 1 resume os principais critérios comparativos entre os dois sistemas, facilitando a escolha técnica mais adequada à realidade da árvore e às condições do terreno.

Tabela 1 - Comparação técnica entre os sistemas DdRT e SRT utilizados em arborismo.

Fontes: Bianchini et al. (2021), Crawford (1991), Kane (2018), ISA (2019), Petzl (2025).

Critério	DdRT (Doubled Rope Technique)	SRT (Single Rope Technique)
Acesso à árvore	Requer alcançar o topo	Pode iniciar sem alcançar o topo
Resgate e apoio	Elevada: ambas as pontas acessíveis	Requer planeamento (âncora basal libertável ou canopy tie preparado)
Eficiência de movimento	Reduz se houver atrito/muitos desvios	Menos afetada por desvios; grande mobilidade
Ergonomia no regresso ao tronco	Autoajuda (fulcro), esforço menor	Exige mais esforço do operador
Carga no ponto de ancoragem	$\approx 1\times$ (varia com ângulo/atrito)	$\approx 1\times$ (canopy tie); $\approx 2\times$ (âncora basal com redirecionamento superior)
Equipamento específico	Arnês, mosquetões, <i>cambium saver</i> , sistema bloqueador	Arnês, mosquetões, ascensores/descensores, âncoras específicas
Verificação da ancoragem	Visual, ao chegar ao ponto	Pode ser incerta (instalada por lançamento); requer validação
Facilidade de evacuação	Elevada (remoção por ambas as pontas)	Requer técnica e equipamento específicos
Versatilidade na copa	Maior perto do ponto de ancoragem	Alta — grande raio de ação
Curva de aprendizagem	Menor – técnica mais tradicional e amplamente ensinada	Maior – (dispositivos/procedimentos)

A compreensão profunda destas diferenças é essencial não só para a operação segura em altura, mas também para a avaliação rigorosa dos riscos específicos associados a cada tarefa. Como será demonstrado nos capítulos seguintes, esta diferenciação tem impacto direto na construção da matriz de risco e na definição de medidas preventivas adequadas.

Esta distinção técnica entre os dois métodos tem ainda implicações na estratégia de planeamento da intervenção, uma vez que o DdRT tende a limitar o alcance do arborista às zonas próximas do ponto de ancoragem, podendo exigir a reinstalação do sistema para alcançar outras áreas da copa. Já o SRT permite um raio de ação mais alargado, com menor necessidade de reposicionamento, o que se traduz numa maior eficiência em árvores de grande porte ou com ramos espalhados em múltiplos planos. No entanto, esta maior amplitude exige uma avaliação rigorosa da ancoragem e do trajeto da corda, sob pena de comprometer a segurança. Acresce que a escolha do sistema deve ter em conta a tipologia do trabalho a realizar, as condições do terreno, a experiência do arborista e os recursos da equipa de apoio no solo.

Para além das características técnicas, importa ainda considerar as diferenças práticas na abrangência operacional de cada sistema. A Figura 4 ilustra, de forma clara, como a localização do ponto de ancoragem afeta a capacidade de deslocação na copa da árvore, consoante o método adotado.

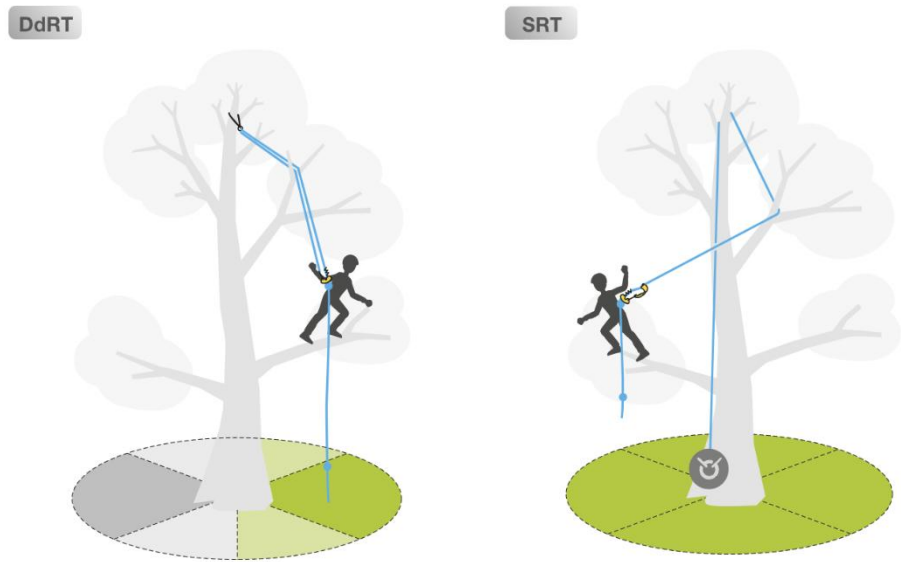


Figura 4 - Áreas acessíveis na copa: DdRT (esq.) vs. SRT (dir.).

Fonte: Adaptado de Petzl (2025).

Para complementar a análise visual anteriormente apresentada, a Tabela 2 - Comparação entre DdRT e SRT. sintetiza de forma objetiva as diferenças práticas entre os dois sistemas em termos de alcance na copa, eficiência de movimento e implicações operacionais. Esta comparação permite reforçar a importância da escolha adequada do sistema de progressão em função da morfologia da árvore e da natureza da intervenção a realizar.

Tabela 2 - Comparação entre DdRT e SRT.

Sistema	Alcance	Eficiência de movimento	Observações
DdRT	Limitado a zonas próximas do ponto de ancoragem	Reduzida se a corda não estiver esticada em linha reta	Pode obrigar a reposicionar o sistema
SRT	Muito mais abrangente	Eficiência menos afetada por dobras ou ângulos	Ideal para árvores com copa irregular

2.2 Acidentes e riscos associados

As operações de arborismo com acesso por corda decorrem em ambientes complexos e não controlados, envolvendo trabalho em altura, esforço físico intenso e a utilização de ferramentas motorizadas, frequentemente em condições adversas. Estas características tornam a atividade particularmente suscetível a acidentes e a exposições prolongadas a fatores de risco que afetam a saúde e segurança dos trabalhadores.

Segundo Stanek et al. (2022), os cortes com serrotes manuais representam 78% dos acidentes registados entre arboristas, sendo seguidos por quedas e lesões por ferramentas motorizadas. O mesmo

estudo destaca ainda que cerca de 30% dos trabalhadores realizam tarefas isoladamente, sem apoio no solo, o que agrava o risco em caso de emergência. Estes dados refletem a elevada exposição a perigos característicos da atividade, especialmente em contextos de poda, desmontagem ou intervenção em altura. Estudos posteriores, como Hanum et al. (2020), reforçam que fatores humanos — como a má avaliação do ramo de suporte, posturas incorretas ou falhas de comunicação com o solo — estão frequentemente associados a ocorrências graves, podendo ser agravados por fadiga ou deficiente formação prática.

A avaliação de riscos no contexto do arborismo deve respeitar as categorias de perigos profissionais reconhecidas pelas normas de Segurança e Saúde no Trabalho, agrupadas segundo a sua natureza:

- **Perigos físicos**, como a exposição ao ruído da motosserra, vibrações transmitidas pelo equipamento, calor excessivo ou radiação solar direta, que podem originar riscos de fadiga, perda auditiva ou desidratação;
- **Perigos químicos**, associados ao contacto com combustíveis, óleos lubrificantes, fumos de combustão e resíduos de corte, suscetíveis de provocar irritações cutâneas ou intoxicações;
- **Perigos biológicos**, resultantes de picadas de insetos, exposição a fungos em árvores em decomposição ou contacto com excrementos de aves ou roedores;
- **Perigos ergonómicos**, relacionados com suspensão prolongada, posturas forçadas, manipulação de equipamentos pesados ou repetição de movimentos intensos, que podem originar riscos musculoesqueléticos;
- **Perigos psicossociais**, como o stress associado à pressão para cumprir prazos, o trabalho isolado ou falhas na comunicação entre membros da equipa.

Entre os perigos mais críticos identificados na atividade, destacam-se:

- **Trabalho em altura**, que pode originar o risco de queda por falha de ancoragem, utilização incorreta do sistema de retenção ou desequilíbrio durante a progressão;
- **Operação de motosserra**, que representa risco de corte por instabilidade do operador ou erro de posicionamento da lâmina;
- **Presença de ramos e ferramentas suspensas**, que podem originar o risco de impacto sobre o arborista ou a equipa em terra;
- **Esforço físico intenso e posições forçadas**, associados ao risco de lesões musculoesqueléticas;
- **Fatores humanos**, como fadiga, pressa ou rotinas excessivas, que potenciam o risco de erro humano e acidentes secundários.

Um aspeto crítico relacionado com os cortes acidentais é o fenómeno de kick-back da motosserra — movimento brusco e descontrolado que ocorre quando a extremidade superior da lâmina entra em contacto com o material a cortar. Esta zona é responsável por um número significativo de acidentes em arborismo,

sendo especialmente perigosa pela sua proximidade ao rosto, ombros ou cordas de retenção. A Figura 5 representa a zona de risco associada ao kick-back.

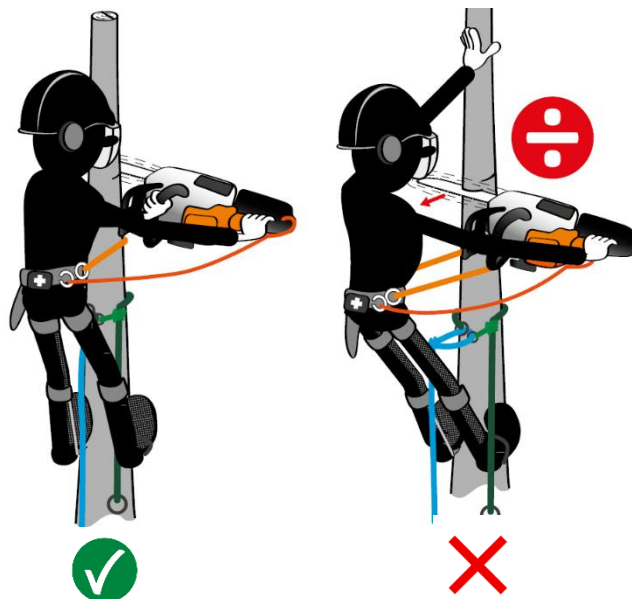


Figura 5 - Zona de kick-back da motosserra, responsável por movimentos descontrolados e acidentes em altura.

Fonte: Adaptado de Lyhne (2018), *Safe Use of Chainsaw in Trees*.

A simultaneidade de vários fatores de risco — como cansaço físico, posicionamento inadequado e uso de motosserra em zona instável — aumenta exponencialmente a probabilidade de acidente grave. A sua identificação e controlo exige uma abordagem estruturada, baseada em metodologias de avaliação de risco como a que será explorada no capítulo seguinte.

A identificação destes riscos e das suas consequências reforça a importância de aplicar metodologias adequadas de avaliação, capazes de traduzir a complexidade da atividade em medidas concretas de prevenção. Este será o foco do ponto seguinte.

2.3 Revisão da Literatura

A presente investigação apoia-se numa revisão sistemática da literatura centrada na segurança e saúde ocupacional em trabalhos de arborismo com acesso por corda, conduzida de acordo com o protocolo PRISMA – *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (Page et al., 2021). Esta metodologia visou garantir transparência e reprodutibilidade na seleção e análise dos artigos, permitindo uma base científica sólida para os capítulos seguintes.

A pesquisa bibliográfica teve como foco a identificação de estudos que abordassem os riscos ocupacionais associados ao arborismo, as metodologias de avaliação de risco aplicadas nesta atividade, os equipamentos utilizados, e as boas práticas recomendadas internacionalmente. Foram considerados apenas artigos científicos revistos por pares, publicados em português ou inglês, e disponíveis nas bases de dados

Scopus, Web of Science e ScienceDirect. A combinação principal de termos usada foi (*Arboriculture AND Safety*), complementada por critérios de inclusão e exclusão previamente definidos.

Após a eliminação de duplicados e a aplicação dos filtros de elegibilidade, foram selecionados 24 artigos científicos para análise integral. Estes trabalhos representam uma diversidade geográfica (Europa, América do Norte, Ásia e Oceania) e metodológica (estudos experimentais, observacionais, ergonômicos, análises de acidente, simulações ou testes laboratoriais), permitindo uma visão transversal da problemática.

Entre os contributos mais relevantes destacam-se os seguintes estudos:

- Proto et al. (2016): investigação pioneira em Itália sobre acidentes ocupacionais em arborismo, evidenciando o papel da formação inadequada e da falha nos EPI como fatores críticos de sinistralidade.
- Pavlikova et al. (2024): estudo ergonómico que analisou alterações fisiológicas em arboristas durante tarefas cognitivas e físicas, sublinhando a importância da fadiga e da destreza manual na prevenção de acidentes.
- Crawford (1991): avaliação experimental de sistemas de retenção (arneses e cintos), com destaque para os riscos de queda associados à utilização de cintos simples não certificados.
- Kane (2018): medição da carga exercida nos pontos de ancoragem durante a subida em corda, com implicações relevantes para a seleção da técnica (SRT vs. DdRT) e para o dimensionamento dos dispositivos de segurança.
- Stanek et al. (2022): estudo realizado na República Checa com 121 arboristas, que identificou os serrotes manuais e o trabalho solitário como fatores associados a lesões recorrentes.
- Hanum et al. (2020): análise comparativa entre métodos de inspeção visual e tomografia sónica para avaliar a estabilidade interna das árvores, salientando a subvalorização de danos estruturais em diagnósticos puramente visuais.
- Bianchini et al. (2021): caracterização atualizada do uso de técnicas SRT e DdRT, com destaque para a evolução dos equipamentos e para a valorização da certificação profissional dos arboristas.

Outros estudos, como Koeser et al. (2020), Klein et al. (2023), Kane et al. (2009) e Burduhos Nergis et al. (2019), complementam esta base científica com contributos técnicos relevantes ao nível da fiabilidade dos equipamentos (cordas, mosquetões), do impacto das metodologias de inspeção na prevenção de falhas, e da importância da padronização de critérios de avaliação.

De forma geral, a literatura revê de forma consistente que:

- Os trabalhos em arborismo com corda apresentam risco elevado e requerem formação contínua e procedimentos normalizados;
- A escolha do sistema de progressão e a ergonomia do operador influenciam diretamente a ocorrência de acidentes;

- A avaliação visual, embora amplamente utilizada, deve ser complementada por métodos instrumentais sempre que possível;
- Existem lacunas significativas no cumprimento de normas de segurança, mesmo entre arboristas certificados;
- A comunicação e a atuação em equipa são fatores críticos na resposta a emergências em altura.

Estes resultados contribuíram para o aprofundamento do enquadramento técnico do presente estudo, possibilitando a formulação de critérios de avaliação de risco mais ajustados à realidade operacional. A evidência recolhida também orientou a escolha das metodologias comparadas na dissertação, que serão apresentadas nos capítulos seguintes. Ainda que não permitam uma “validação” formal da metodologia MIAR, os dados identificados reforçam a pertinência da sua aplicação no contexto do arborismo, dada a sua capacidade de estruturação de perigos e desagregação de fatores de risco — aspetos frequentemente negligenciados nas abordagens tradicionais.

2.4 Enquadramento legal e normativo

O enquadramento legal e normativo que sustenta a presente dissertação incide sobre o regime da Segurança e Saúde no Trabalho (SST), com especial foco nas exigências aplicáveis aos trabalhos em altura, ao manuseamento de equipamentos motorizados, e às atividades de arborismo com acesso por corda.

A nível nacional, o principal referencial é a Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, na sua redação atual, que estabelece o Regime Jurídico da Promoção da Segurança e Saúde no Trabalho (RJSST). Este diploma aplica-se a todas as atividades laborais, incluindo as desenvolvidas em ambiente florestal, urbano ou em altura, como é o caso do arborismo.

O Artigo 15.º define as obrigações gerais do empregador, que incluem:

- Avaliar e prevenir os riscos em todas as fases do processo produtivo;
- Combater os riscos na origem e adaptar o trabalho ao trabalhador;
- Fornecer formação adequada e EPI ajustados à tarefa;
- Garantir planos de emergência e meios de proteção coletiva;
- Assegurar a vigilância da saúde dos trabalhadores expostos a riscos.

Estas medidas devem ser integradas de forma continuada e permanente, devendo o empregador mobilizar os meios humanos, técnicos e organizacionais necessários à sua aplicação.

Por sua vez, o Artigo 17.º estabelece as obrigações do trabalhador, nomeadamente:

- Cumprir as normas legais e instruções de segurança definidas pela entidade empregadora;
- Utilizar corretamente os equipamentos e os EPI fornecidos;

- Zelar pela sua segurança e pela dos seus colegas;
- Comunicar de imediato situações de risco ou falhas de segurança;
- Adotar os procedimentos definidos em caso de perigo grave e iminente.

Este enquadramento legal é particularmente relevante nas operações de arborismo com acesso por corda, onde o risco é acentuado por variáveis como a altura, o uso de motosserra, o esforço físico prolongado e a instabilidade do meio envolvente.

A estes requisitos legais somam-se as normas técnicas de segurança aplicáveis ao trabalho em altura e ao acesso por corda, que definem os requisitos de conceção, desempenho e ensaio dos equipamentos de proteção individual:

- **EN 363** – define os sistemas de proteção individual contra quedas, especificando a combinação de componentes necessários para travar ou prevenir quedas;

- **EN 365** – estabelece os requisitos gerais de marcação, instruções e verificação periódica dos EPI contra quedas de altura;

- **EN 12841** – determina as exigências de desempenho e segurança para dispositivos de regulação de corda utilizados em sistemas de acesso por corda;

- **EN 1891** – especifica os critérios de resistência e elasticidade das cordas de baixa extensibilidade, adequadas a trabalhos verticais;

- **EN 813, EN 358 e EN 361** – caracterizam os diferentes tipos de arnês (de suspensão, de posicionamento e antichoque) utilizados em operações de arborismo com cordas.

No que respeita ao manuseamento de ferramentas motorizadas, como motosserras e motorroçadoras, destacam-se diplomas que fixam prescrições mínimas de segurança:

- **Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro** – estabelece as prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização de equipamentos de trabalho pelos trabalhadores;

- **Portaria n.º 988/93, de 6 de outubro** – define as prescrições mínimas de segurança e saúde para a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI);

- **Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de fevereiro** – regula a proteção dos trabalhadores contra os riscos decorrentes da exposição a vibrações mecânicas;

- **Decreto-Lei n.º 182/2006, de 6 de setembro** – estabelece as prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos ao ruído, transpondo a Diretiva 2003/10/CE.

No plano europeu, a Diretiva-Quadro 89/391/CEE fornece os princípios basilares da prevenção em matéria de segurança e saúde no trabalho, constituindo o referencial estruturante da legislação nacional.

A nível internacional, ganham relevo documentos de apoio técnico e boas práticas específicos do setor da arboricultura:

- **ANSI Z133** – norma norte-americana reconhecida como o principal referencial de segurança em arboricultura;
- **Diretrizes da International Society of Arboriculture (ISA)** – orientações sobre formação, certificação e práticas seguras de poda e abate;
- **Guia técnico da OSHA – Tree Care Operations** – documento de referência em matéria de planeamento, avaliação de risco e procedimentos de emergência em trabalhos de arboricultura.

O conjunto deste enquadramento legal e normativo constitui a base de sustentação da justificação técnica das medidas preventivas e dos critérios de avaliação de risco adotados nos capítulos seguintes, assegurando a conformidade com os princípios de prevenção consagrados nas normas europeias e nas boas práticas internacionais do setor.

2.5 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi conduzida com o objetivo de identificar literatura científica relevante sobre a problemática da segurança e saúde ocupacional em atividades de arborismo com acesso por corda. Para garantir a fiabilidade e representatividade dos resultados, recorreu-se a três bases de dados internacionais de elevada reputação científica: SCOPUS, Web of Science e ScienceDirect.

A estratégia de pesquisa teve por base a combinação dos termos “Arboriculture” e “Safety”, aplicados como expressão de pesquisa: (arboriculture AND safety).

Esta expressão permitiu localizar estudos centrados em operações técnicas em árvores — em contexto urbano ou florestal — que abordassem aspetos como:

- Avaliação de riscos ocupacionais;
- Acidentes e lesões relacionadas com o trabalho;
- Medidas de prevenção e controlo;
- Boas práticas operacionais;
- Equipamentos, ergonomia e formação de arboristas.

Foram considerados apenas artigos científicos revistos por pares, publicados em português ou inglês, com acesso ao texto integral. A seleção foi realizada em três fases: leitura dos títulos, análise dos resumos e leitura integral dos artigos elegíveis, aplicando critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, tal como descrito no protocolo PRISMA (Page et al., 2021).

2.6 Critérios de Seleção da Pesquisa

Após a definição da expressão de pesquisa (“arboriculture AND safety”), procedeu-se à aplicação de um conjunto de critérios de seleção destinados a garantir a relevância, atualidade e rigor científico da literatura incluída na análise.

Foram definidos os seguintes critérios de inclusão:

- **Tipo de documento:** artigos científicos;
- **Tipo de fonte:** revistas científicas indexadas;
- **Idioma:** português ou inglês;
- **Relevância temática:** análise da adequação entre palavras-chave, resumo e conteúdo.

Adicionalmente, foram excluídos artigos que:

- Não estivessem disponíveis em texto integral;
- Apresentassem um grau de generalidade excessivo, sem ligação direta a operações técnicas em arborismo ou segurança ocupacional;
- Não apresentassem variáveis, metodologia ou objetivos claramente definidos.

Os artigos foram exportados em formato BibTeX para o Mendeley Reference Manager, de forma a facilitar a remoção de duplicados e permitir a organização da base de análise.

Numa fase posterior, foi feita uma análise mais fina com base nos seguintes critérios de refinamento:

- Descrição de tarefas ou atividades operacionais relacionadas com arborismo ou trabalho em altura;
- Identificação da população-alvo e do respetivo contexto profissional;
- Definição da amostra e das variáveis medidas;
- Existência de metodologias estruturadas (avaliação de riscos, análise ergonómica, investigação de acidentes ou inspeção técnica).

Neste sentido, na Tabela 3 - Resumo dos Artigos Seleccionados relativos ao Arborismo, são apresentados os artigos selecionados para análise e exibido o resumo de cada um, descrevendo os seus objetivos e os seus resultados.

A revisão sistemática da literatura foi conduzida de acordo com o modelo PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), que estabelece um conjunto de etapas padronizadas para a identificação, triagem, elegibilidade e inclusão de estudos.

O objetivo deste processo foi garantir transparência, rastreabilidade e rigor metodológico na seleção dos artigos científicos que sustentam o enquadramento teórico da presente dissertação.

A aplicação do método PRISMA permitiu registrar, de forma estruturada, todas as fases do processo de revisão: desde a identificação inicial dos 84 registos nas bases de dados, passando pela eliminação de duplicados e exclusão de artigos por critérios de relevância temática, data, tipo de documento ou idioma, até à seleção final de 24 artigos considerados elegíveis para análise detalhada.

A Figura 6 - Diagrama de fluxo de revisão sistemática de acordo com o PRISMA 2020, apresenta o diagrama de fluxo PRISMA, que ilustra o percurso completo da revisão sistemática da literatura — desde a recolha inicial dos registos até à inclusão final dos estudos na síntese qualitativa, garantindo uma representação clara e transparente do processo de filtragem e seleção da informação.

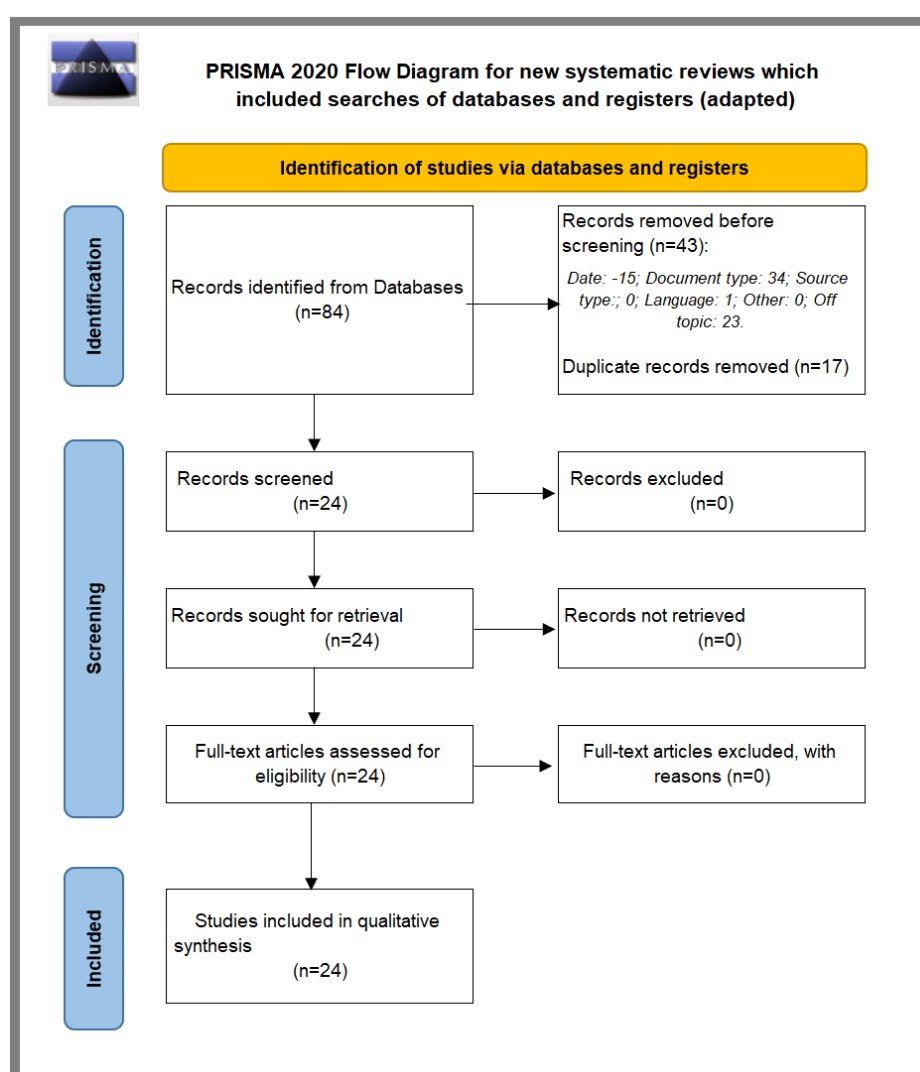


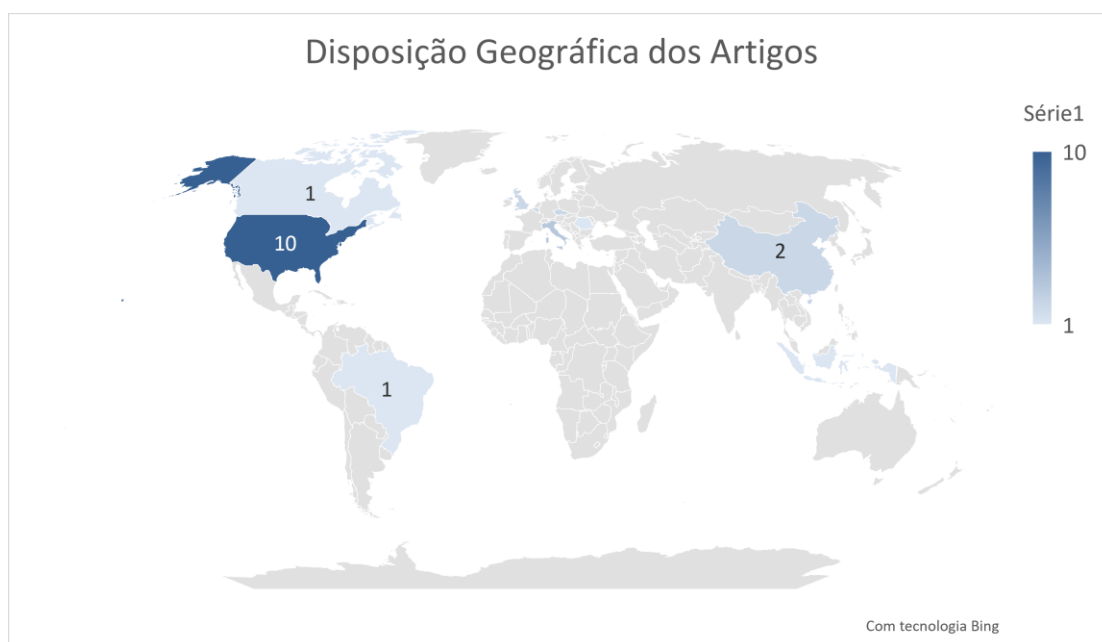
Figura 6 - Diagrama de fluxo de revisão sistemática de acordo com o PRISMA 2020.

A Figura 7 apresenta a distribuição geográfica dos 24 artigos seleccionados na revisão sistemática da literatura. Verifica-se uma predominância clara dos Estados Unidos da América (10 artigos), país com forte tradição regulamentar na arboricultura. Seguem-se países europeus como Itália (2), República Checa (2),

Reino Unido (2) e Bélgica (1), bem como contributos oriundos da China/Macau (2) e de outras regiões como o Canadá, Roménia, Indonésia e Brasil, com um artigo cada.

Esta distribuição revela não só o foco da investigação científica em países com arboricultura mais desenvolvida, mas também a necessidade de mais estudos em contextos lusófonos e em países do sul da Europa, onde a atividade cresce, mas ainda é pouco estudada do ponto de vista académico.

Figura 7 - Distribuição Geográfica dos Artigos.



2.6.1 Comparação dos Estudos Relevantes da Revisão

A análise dos 24 artigos selecionados na revisão sistemática, realizada segundo a metodologia PRISMA, permitiu identificar diferentes abordagens científicas à problemática dos riscos e das práticas de segurança em arborismo com acesso por corda. Esta síntese temática tem como objetivo organizar os principais contributos da literatura em torno de quatro dimensões fundamentais: população estudada, amostras e tipo de tarefa, variáveis analisadas e metodologias utilizadas.

População Alvo e Contexto de Estudo

Os estudos analisados incidem predominantemente sobre arboristas profissionais, operando tanto em contextos urbanos como florestais. Pavlikova et al. (2024) e Stanek et al. (2022) caracterizam o perfil fisiológico e ergonómico dos trabalhadores, com destaque para a exposição a cargas físicas elevadas e riscos associados à postura e fadiga. Bianchini et al. (2021) e Julius et al. (2014) exploram a certificação profissional e o uso de técnicas como SRT e DdRT, bem como o grau de conformidade com normas como a ANSI Z133. Por outro lado, estudos como Dozier & Machtmes (2005) e Campanella et al. (2008) alargam o enfoque à gestão municipal do arvoredo e às práticas organizacionais, incluindo a perceção de risco e a comunicação institucional.

Tabela 3 - Resumo dos Artigos Seleccionados relativos ao Arborismo

Referência	Objetivo	Conclusões
Pavlikova et al., 2024	Investigar as diferenças entre atividades físicas e cognitivas de arboristas, avaliando força de preensão manual, pressão arterial, destreza manual e consciência espacial.	• Primeira análise ergonómica detalhada no contexto de arboricultura na Europa Central; • Sugerida investigação futura com amostras maiores e mais diversificadas.
Pallafray et al., 2024	Avaliar se o corte de raízes afeta a estabilidade de duas espécies comuns em parques urbanos (A. platanoides e T. cordata) e identificar fatores influenciadores	• As zonas de proteção atualmente recomendadas podem ser excessivamente conservadoras; • A estabilidade é pouco afetada por cortes superficiais a 1 m do tronco, mesmo com múltiplos cortes; • T. cordata tem menor estabilidade inicial, mas não foi desestabilizada pelos cortes; • Cortes devem ser realizados com técnica adequada para evitar infeção e declínio fisiológico a longo prazo.
Klein et al., 2023	Analisar diferenças nos resultados de avaliação de risco entre os métodos TRAQ e QTRA e verificar o impacto da experiência e do período de avaliação (1 ano vs. 3 anos) na consistência das classificações	• A formação e a metodologia têm impacto significativo nas classificações e medidas propostas; • O aumento do período de avaliação não afetou a consistência das avaliações; • Existe grande variabilidade entre avaliadores, destacando a importância de protocolos claros e formação adequada.
Wang et al., 2023	Avaliar o potencial de falha de árvores London plane em Nanjing; criar uma base de dados e modelo de avaliação aplicável à gestão urbana	• 4,47% das árvores apresentaram elevado potencial de falha. • As características mais críticas foram inclinação da copa, danos por pragas e podridão.
Stanek et al., 2022	Identificar os acidentes ocupacionais mais frequentes entre arboristas e destacar as suas causas.	• A principal causa de acidentes são cortes com serrote manual (78%); • Quase 30% trabalham sozinhos, o que representa risco elevado; • Apenas 62% levam kit de primeiros socorros para a árvore; • A maioria tem formação em primeiros socorros (75%).
Hui et al., 2022	Demonstrar como sensores de inclinação podem prever falhas estruturais de árvores urbanas durante tufões	• O padrão de inclinação permite prever falhas estruturais. A espécie é um fator determinante na resposta ao vento.

Bianchini et al., 2021	Investigar as técnicas, equipamentos e formação dos arboristas que utilizam métodos de acesso por corda, incluindo uso de SRT, DdRT e equipamentos auxiliares.	• A maioria usa técnicas SRT (70%) com equipamentos avançados; • Formação técnica elevada entre os participantes; • Tendência crescente para certificações ETW e uso de descensores mecânicos.
Klein et al., 2021	Avaliar a capacidade de arboristas de diferentes níveis de experiência e formação para estimar tamanhos de ramos, distâncias de queda e consequências de falha, e identificar fatores que influenciam a variabilidade nas classificações de risco.	• A variabilidade na classificação das consequências decorre mais de interpretação profissional do que de erros na estimativa do diâmetro; • Recomenda-se padronização para reduzir subjetividade.
Sterken, 2021	Verificar se um modelo matemático simples baseado em turbinas eólicas rígidas pode reproduzir resultados de softwares comerciais.	• O modelo simples apresenta resultados altamente correlacionados com softwares comerciais ($r=0.99$); • Pode ser uma ferramenta acessível e útil na avaliação preliminar de risco de árvores.
Koeser et al., 2020	Avaliar a validade do método visual básico de avaliação de risco (ISA BMP) e o impacto de defeitos externos na falha das árvores durante um evento tempestuoso.	• Avaliações visuais foram eficazes, especialmente para casos “iminentes”; • Espécie, DAP e defeitos estruturais são preditores significativos de falha; • Métodos ISA BMP são úteis, mas podem melhorar, especialmente nas categorias intermediárias.
Hanum et al., 2020	Avaliar o risco de árvores em áreas públicas do BBG utilizando observação visual e tomografia sônica (ArborSonic 3D) para auxiliar na gestão e priorização de intervenções.	• A avaliação visual isolada subestima o risco; • ArborSonic revelou árvores com elevado grau de deterioração não visível; • Recomenda-se avaliação combinada.
De Petris et al., 2020	Propor uma metodologia baseada em RPAS para estimar parâmetros dendrométricos e calcular o índice de estabilidade das árvores (Safety Factor - SF), visando reduzir os custos e melhorar a gestão em arboricultura.	• Metodologia com RPAS é viável e custo-efetiva; • Modelo SIA permite avaliação rápida; • Mapas ajudam a priorizar recursos.

Burduhos Nergis et al. (2019)	Avaliar propriedades tribológicas de revestimentos de fosfato e tinta de borracha em mosquetões de aço carbono usados em arborismo.	• Desgaste; • Revestimentos; • Coeficiente de atrito; • Recomendações de inspeção/substituição.
Ivasko Junior et al. (2019)	Avaliar a probabilidade de falha de árvores protegidas por lei em praças públicas de Curitiba, utilizando adaptação do protocolo ISA.	• A maioria das árvores apresentou risco moderado; • A avaliação adaptada permitiu diagnóstico prático e de baixo custo; • Método útil para arboristas em contexto urbano.
Kane 2018	Determinar a amplitude e frequência de carga associadas a diferentes técnicas de subida e avaliar a frequência natural do ponto de amarração.	• A técnica de subida influencia significativamente a carga; • O footlock gera cargas menores e menos frequentes; • A frequência de carga é sempre superior à frequência natural dos pontos de amarração, sugerindo baixo risco de amplificação dinâmica; • Os resultados fornecem dados úteis para melhorar a avaliação de risco em arborismo.
Proto et al., 2016	Identificar o número, tipo e causas de acidentes em trabalhos de arboricultura e propor medidas para reduzir a frequência e a gravidade.	• Quedas representam a principal causa de morte; • Procedimentos inadequados e falta de formação são fatores críticos; • É essencial promover formação específica e cultura de segurança; • Necessidade de melhorias no cumprimento das normas legais.
Julius et al., 2014	Avaliar se empresas acreditadas ou com arboristas certificados cumprem melhor as normas de segurança ANSI Z133.1 e identificar quais práticas são mais e menos seguidas	• Certificação e acreditação estão associadas a maior conformidade com normas de segurança, mas não garantem plena adesão; • Práticas relacionadas a EPI e motosserras precisam de atenção em todas as empresas; • A formação contínua e estratégias de intervenção são essenciais para melhorar a segurança.

Kulhavy et al., 2014	Comparar a condição de saúde, biodiversidade e valor monetário de árvores em campus universitário com as de parques urbanos	• Necessidade de diversificação e manutenção contínua; • GIS útil para planeamento; • Valor e saúde melhores no campus.
Poulos & Camp, 2010	Desenvolver um sistema de apoio à decisão para gestão de risco de falha de árvores em linhas de transmissão	• Sistema desenvolvido permite identificar árvores com maior risco de falha com ferramentas simples
Kane et al. (2009)	Determinar a facilidade com que um arborista pode cortar acidentalmente a corda com um serrote e avaliar se certos modelos de lâmina ou corda são mais propensos a falhar	• Serrotes cortam cordas com relativa facilidade, sendo risco frequentemente subestimado; • Lâminas com mais dentes por mm e menos curvatura cortam mais facilmente; • Recomenda-se abordar o problema através de formação e consciencialização, e não apenas restringindo ferramentas.
Kane et al. (2009)	Determinar se os mosquetões usados por arboristas mantêm a resistência após um ano de uso e avaliar indicadores visuais de desgaste.	• Os mosquetões usados mantêm, em geral, a resistência dentro dos limites de segurança; • A rugosidade da superfície não é um bom preditor de falha; • A falha ocorre acima da carga nominal mesmo após uso de um ano.
Campanella et al. (2008)	Avaliar o estado da gestão arbórea comunal na Região da Valónia e identificar carências em meios técnicos, humanos e ferramentas de gestão	• Forte heterogeneidade na gestão do património arbóreo; • Baixo nível de planeamento e formação; • Necessidade de reforço técnico e organizacional.
Dozier & Machtmes (2005)	Desenvolver uma descrição de base sobre a segurança e profissionalismo dos arboristas da Louisiana e avaliar a eficácia de formações contínuas.	• Profissionalismo e segurança estão interligados; • Há lacunas significativas em segurança no trabalho e adesão a normas;

-
- Reforçar a formação e participação em associações é essencial.
-

Ellison (2005)

Permitir que o inspetor quantifique o risco de falha significativa de árvores

- Sistema reduz subjetividade e permite gestão baseada em risco real
-

Amostra e Tipo de Tarefa

As metodologias aplicadas refletem uma diversidade significativa na recolha de dados: desde inquéritos e entrevistas a ensaios em contexto real de trabalho. Por exemplo:

- Kane (2018) e Kane et al. (2009) realizaram medições técnicas de carga nos pontos de amarração e resistência de equipamentos como cordas e mosquetões;
- Hanum et al. (2020) e De Petris et al. (2020) utilizaram tecnologias avançadas como tomografia sónica e drones (RPAS) para avaliar estabilidade interna e condições estruturais das árvores;
- Sterken (2021) aplicou modelos matemáticos simplificados para simular a influência do vento na estabilidade arbórea e nos riscos associados ao arborista.

Variáveis Medidas

A diversidade de variáveis estudadas confirma a complexidade multidimensional do arborismo. Destacam-se:

- Parâmetros fisiológicos e ergonómicos, como força de preensão, pressão arterial e consciência espacial (Pavlikova et al., 2024);
- Frequência e tipologia de acidentes, incluindo cortes, quedas e falhas técnicas (Stanek et al., 2022; Proto et al., 2016; Kane et al., 2009);
- Estabilidade das árvores e fatores de risco estruturais, como podridões, inclinação ou corte de raízes (Pallafray et al., 2024; Wang et al., 2023; Hui et al., 2022);
- Comportamento de ferramentas e equipamentos críticos, como serrotes manuais, cordas e sistemas de retenção (Kane et al., 2009; Crawford, 1991);
- Condições ambientais adversas, especialmente vento e chuva, como variáveis condicionantes do desempenho e da segurança (Hui et al., 2022; Sterken, 2021).

Metodologias Utilizadas

A investigação científica nesta área assenta numa ampla gama de metodologias qualitativas e quantitativas, entre as quais:

- Estudos de campo observacionais e experimentais, como os de Koeser et al. (2020) e Hanum et al. (2020), focados na prática real em arboricultura urbana;
- Inquéritos estruturados e entrevistas dirigidas a profissionais certificados (Bianchini et al., 2021; Dozier & Machtmes, 2005; Julius et al., 2014);

- Modelações computacionais para análise estrutural e previsão de falhas (Sterken, 2021; De Petris et al., 2020; Ellison, 2005);
- Ensaaios laboratoriais controlados, como os realizados por Crawford (1991), que testou arneses e cintos em simulações de queda com manequins articulados.

Conclusões Relevantes

A análise detalhada da literatura científica permitiu identificar um conjunto de conclusões transversais que sustentam a pertinência da presente dissertação e reforçam a complexidade dos riscos envolvidos no arborismo com acesso por corda.

Um dos aspetos mais recorrentes diz respeito à segurança e avaliação de risco. Diversos autores (Klein et al., 2021; Koeser et al., 2020; Proto et al., 2016) evidenciam a ausência de métodos padronizados de avaliação no setor, alertando para abordagens inconsistentes e por vezes intuitivas por parte dos profissionais. Esta lacuna torna premente a necessidade de formação contínua, bem como a integração de modelos de análise mais estruturados e adaptados à realidade prática do trabalho em altura.

A incorporação de tecnologia nos processos de diagnóstico é outro ponto amplamente sublinhado. Hanum et al. (2020) e De Petris et al. (2020), por exemplo, demonstram que a utilização de tomografia sónica e drones (RPAS) pode colmatar as limitações das inspeções visuais tradicionais, especialmente no que respeita à avaliação da integridade interna das árvores e à identificação de defeitos estruturais não visíveis a olho nu.

No domínio da ergonomia e das condições físicas dos trabalhadores, o estudo de Pavlikova et al. (2024) realça a importância de considerar variáveis como a fadiga muscular, a força de preensão e a destreza manual, uma vez que estas influenciam diretamente a ocorrência de erros operacionais e a exposição ao risco. A autora apela ainda ao desenvolvimento de mais estudos nesta área, dada a escassez de dados ergonómicos aplicados ao contexto real do arborismo.

Outro eixo de análise incide sobre a conformidade com normas de segurança. Julius et al. (2014) e Dozier & Machtmes (2005) sublinham que a certificação profissional, ainda que associada a uma maior sensibilização para as boas práticas, não garante por si só a adoção sistemática dos procedimentos recomendados. Estes estudos sugerem que, mesmo entre arboristas certificados, persistem comportamentos inseguros e rotinas que desvalorizam a avaliação prévia dos riscos.

Por fim, merece destaque a discussão sobre o desempenho dos equipamentos técnicos. Trabalhos como os de Kane et al. (2009) e Crawford (1991) evidenciam riscos frequentemente subestimados no uso de ferramentas e dispositivos de retenção, como o caso dos serrotes que podem cortar cordas, ou dos cintos não certificados que falham na contenção durante quedas. Estes resultados reforçam a necessidade de uma verificação sistemática dos equipamentos e da sua adequação às normas técnicas aplicáveis.

No seu conjunto, estas conclusões demonstram que a avaliação de risco no arborismo exige uma abordagem multidisciplinar, que considere simultaneamente fatores humanos, técnicos e organizacionais. Este enquadramento fundamenta a escolha das metodologias comparadas nos capítulos seguintes e justifica a aplicação de um modelo estruturado como o MIAR no contexto específico dos trabalhos em altura com acesso por corda.

2.7 Objetivos da Dissertação

A presente dissertação tem como objetivo geral avaliar os principais riscos associados à prática do arborismo com acesso por corda, identificando os fatores críticos que afetam a segurança dos trabalhadores, com o intuito de propor medidas de prevenção e mitigação ajustadas à realidade operacional, técnica e normativa do setor.

Neste contexto, a investigação estrutura-se em torno dos seguintes objetivos específicos:

1. Caracterizar a atividade de arborismo com acesso por corda, enquadrando-a no contexto das operações florestais, urbanas e de manutenção de infraestruturas, e distinguindo-a de outras formas de trabalho em altura;
2. Identificar e classificar os perigos inerentes às diferentes fases da operação arborícola, com base em fontes bibliográficas, experiências profissionais e observação de campo;
3. Aplicar metodologias estruturadas de avaliação de risco, nomeadamente o método MIAR (Matriz de Identificação e Avaliação de Riscos), o método 3×3 e o método William Fine, a diferentes tarefas realizadas durante o arborismo, comparando a sua aplicabilidade e eficácia;
4. Analisar criticamente as medidas preventivas atualmente utilizadas nas práticas arborícolas, identificando lacunas nos procedimentos e na formação dos operadores;
5. Propor recomendações práticas de melhoria, com base na evidência científica e na experiência operacional, visando reforçar a segurança dos profissionais e a eficiência das intervenções em arborismo.

Estes objetivos foram operacionalizados através de uma revisão sistemática da literatura, conduzida com base na metodologia PRISMA, bem como da aplicação prática de metodologias de avaliação de riscos a cenários reais de trabalho, permitindo obter uma base comparativa robusta para fundamentar propostas de melhoria técnica e normativa.

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia adotada na presente dissertação, detalhando as etapas que permitiram desenvolver uma abordagem estruturada à identificação e avaliação de riscos em atividades de arborismo com acesso por corda. A metodologia foi desenhada para responder aos objetivos definidos na introdução, com foco na segurança e saúde ocupacional dos trabalhadores.

3.1 Enquadramento geral da metodologia

A investigação seguiu uma abordagem qualitativa e aplicada, baseada na experiência profissional do autor como Técnico Superior de Segurança no Trabalho (TSST) numa empresa de silvicultura e exploração florestal.

A recolha de informação foi realizada por observação direta em contextos reais de execução de trabalhos de arborismo com acesso por corda, em diferentes cenários operacionais: meio urbano, áreas florestais e manutenção de infraestruturas. Este acompanhamento decorreu ao longo de vários meses de atividade profissional, permitindo registar as operações tal como são desenvolvidas no terreno.

Complementarmente, foi realizada uma revisão sistemática da literatura científica, segundo a metodologia PRISMA, para assegurar que a análise se fundamenta em boas práticas internacionais e em contributos empíricos validados por estudos anteriores.

A metodologia adotada organiza-se em cinco etapas principais:

1. **Observação direta de contextos reais de trabalho em arborismo**, com registo sistemático das atividades desenvolvidas, equipamentos utilizados e situações de risco recorrentes.
2. **Decomposição das operações em tarefas específicas**, desde o planeamento até à execução e finalização, identificando os momentos críticos do ponto de vista da segurança.
3. **Aplicação comparativa de três metodologias de avaliação de risco** (MIAR, 3×3 e William Fine) às mesmas tarefas operacionais, com o objetivo de aferir a sua adequação à realidade do arborismo.
4. **Organização e sistematização dos dados**, garantindo a coerência entre os diferentes métodos e preparando a informação para análise comparativa posterior;
5. **Interpretação crítica dos resultados obtidos**, permitindo avaliar a pertinência de cada metodologia e fundamentar recomendações práticas.

3.2 Observação técnica e decomposição das tarefas

A observação foi realizada durante o acompanhamento de equipes de arboristas profissionais em diferentes frentes de trabalho. Recolheram-se dados sobre:

- Atividades executadas;
- Equipamentos e ferramentas utilizados;
- Condições ambientais;
- Situações de risco identificadas;
- Procedimentos de controle aplicados no terreno.

De forma a possibilitar uma análise detalhada, as operações observadas foram segmentadas em tarefas específicas, representativas do ciclo de trabalho em arborismo com acesso por corda:

- **Avaliação prévia da árvore e do local** – inspeção visual da estrutura arbórea, identificação de defeitos, ramos em tensão e condicionantes ambientais.
- **Preparação do local de intervenção** – delimitação da zona de trabalho, sinalização, verificação de acessos e organização da equipe.
- **Abastecimento de equipamentos** – preparação e reabastecimento de motosserras e motorroçadoras, garantindo o uso de combustível adequado e condições de segurança.
- **Preparação e verificação do sistema de ancoragem e progressão** – instalação das cordas de vida, nós e dispositivos de progressão, com validação das condições de ancoragem.
- **Subida e deslocação na árvore** – progressão vertical e horizontal utilizando técnicas de arborismo com corda, assegurando pontos de ancoragem redundantes quando necessário.
- **Execução de cortes (com motosserra ou serrote)** – realização de podas e desmontes, com gestão da trajetória dos ramos e controle do risco de chicote.
- **Descida e recolha de material** – retirada dos equipamentos e ferramentas da árvore, desmontagem das cordas e organização do material no solo.
- **Comunicação com a equipa de solo** – utilização de sinais gestuais, verbais ou rádio para coordenação das operações e resposta a emergências.

Cada tarefa foi tratada como unidade de análise para a aplicação dos três métodos de avaliação de risco.

3.3 Enquadramento das metodologias aplicadas

Para garantir consistência e comparabilidade entre as tarefas analisadas, foram definidos como constantes alguns fatores contextuais presentes na matriz de risco: condições meteorológicas, tipo de vegetação, presença de animais silvestres/riscos biológicos e características do terreno. Esta decisão metodológica permitiu isolar a análise dos riscos diretamente associados à execução das tarefas, evitando que variações externas pudessem enviesar os resultados. Apenas em situações específicas, como rajadas de vento imprevistas, instabilidade estrutural da árvore ou contacto inesperado com fauna, estes fatores foram tratados como variáveis críticas e avaliados de forma diferenciada.

Com o objetivo de avaliar os riscos identificados em cada tarefa, foram selecionadas três metodologias distintas, que permitem análises complementares: MIAR, William Fine e Matriz 3×3.

A escolha destas metodologias fundamentou-se: na sua utilização recorrente em contextos de segurança ocupacional, na adequação ao tipo de riscos presentes no arborismo e na possibilidade de comparação entre abordagens qualitativas, semi-quantitativas e simplificadas.

a) Método MIAR (Matriz de Identificação, Avaliação e Redução de Riscos)

O método MIAR adota uma abordagem qualitativa e estruturada, que permite identificar perigos, avaliar riscos e definir medidas de controlo. Para a sua aplicação foram considerados os seguintes parâmetros:

- **Gravidade (G);**
- **Frequência (F);**
- **Extensão (E);**
- **DPC (Desempenho dos Sistemas de Prevenção e Controlo).**

As escalas utilizadas estão descritas nas tabelas seguintes.

Tabela 4 - Escala de Gravidade (Método MIAR).

Valor	Descrição	Exemplos típicos
1	Incidente sem lesão	Evento perigoso sem dano físico
2	Lesões menores sem incapacidade	Arranhões, hematomas
4	Lesões com incapacidade temporária < 30 dias	Entorses, cortes com afastamento
8	Lesões com ITA > 30 dias ou IPA parcial	Fraturas, lesão grave
16	Incapacidade permanente ou morte	Amputação, óbito

Tabela 5 - Escala de Frequência (Método MIAR).

Valor	Frequência	Exemplo
1	Muito rara/pontual	Manutenção anual, emergência
2	Até 3x/mês	Intervenções esporádicas
3	1–2 vezes/semana	Atividade planejada recorrente
4	3+ vezes/semana	Atividade frequente
5	Diária/contínua	Operações repetitivas

Tabela 6 - Extensão do Impacto (Método MIAR).

Valor	Nº de trabalhadores afetados
1	1 trabalhador
2	2 trabalhadores
3	3 trabalhadores
4	4 trabalhadores
5	5 ou mais trabalhadores

Tabela 7 - Desempenho dos Sistemas de Prevenção e Controle, DPC (Método MIAR).

Valor	Situação
0.50	Ausência total de medidas de controle
0.75	Apenas EPI utilizados de forma pontual
1.00	Boas práticas implementadas (EPI, inspeções, delimitações)
1.10	Práticas formais com verificação esporádica
1.25	Práticas consolidadas e continuamente melhoradas

O cálculo do risco segue as fórmulas:

$$NR = G \times F \times E$$

$$NRP = \frac{NR}{DPC}$$

Figura 8 - Fórmula de cálculo de Nível de Risco (Método MIAR).

A classificação final baseia-se no valor do NRP, conforme a Tabela 8:

Tabela 8 - Critérios de classificação de risco segundo o método MIAR (adaptado).

NRP (Índice Ponderado)	Classificação	Significado e Ação Recomendada
≤ 8	Baixo	Risco controlado. Manter medidas existentes e vigilância ocasional.
> 8 a 24	Médio	Risco significativo. Rever a eficácia das medidas de prevenção e aplicar melhorias se necessário. Monitorizar.
> 24 a 64	Elevado	Risco importante. Implementar medidas corretivas. Reforçar os controlos existentes e melhorar o desempenho preventivo.
> 64 a 160	Muito elevado	Risco grave. A atividade deve ser revista com urgência. É necessária intervenção técnica, gestão do risco e controlo reforçado.
> 160	Extremo	Risco intolerável. Parar imediatamente a atividade. Aplicar medidas estruturais e de engenharia antes da retoma.

b) Método 3×3

O método 3×3 é uma ferramenta de **avaliação simplificada**, de carácter qualitativo, adequada para decisões rápidas em campo. Baseia-se em três fatores principais:

Este método considera três fatores principais:

- **Probabilidade de ocorrência (P);**
- **Gravidade (G);**
- **Exposição (E).**

Seguem os critérios usados para a avaliação das atividades:

Tabela 9 - Escala de Probabilidade (Método 3×3).

Valor	Descrição
1	Baixa – evento raro/improvável
2	Moderada – já aconteceu ocasionalmente
3	Alta – acontece com frequência

Tabela 10 - Escala de Gravidade (Método 3×3).

Valor	Descrição
1	Ligeira – feridas ligeiras sem afastamento
2	Moderada – lesões com afastamento temporário
3	Grave – morte, amputação ou dano irreversível

Tabela 11 - Escala de Exposição (Método 3×3).

Valor	Descrição
1	Ocasional – exposição < 15 min/dia
2	Intermitente – 15 min a 1h por tarefa
3	Contínua – > 1h ou repetida várias vezes

O cálculo do risco é obtido pela fórmula:

$$Risco = P \times G \times E$$

Figura 9 - Fórmula de cálculo de Nível de Risco (Método 3×3).

Os resultados possíveis variam entre 1 e 27. A classificação e ações recomendadas encontram-se descritas na Tabela 12.

Tabela 12 - Critérios de classificação de risco segundo o método 3×3 (adaptado).

Risco (P × G × E)	Nível	Ação Recomendada
1 – 3	Baixo	Sem ação adicional. Monitorizar.
4 – 9	Médio	Reforçar medidas preventivas e monitorizar.
10 – 27	Elevado	Corrigir de imediato ou suspender até mitigação.

c) Método William Fine

O método William Fine é uma abordagem semi-quantitativa, que permite avaliar riscos através da atribuição de escalas numéricas a três parâmetros:

- **Probabilidade (P);**
- **Frequência/Exposição (F);**
- **Consequência (C).**

Seguem os critérios utilizados para a avaliação das diversas tarefas:

Tabela 13 - Escala de Probabilidade (Método William Fine).

Valor	Definição	Exemplo no contexto do arborismo
1	Raríssimo	Evento só ocorreria com falha grosseira e várias omissões
2	Muito improvável	Ocorrência possível, mas só com combinação rara de fatores
3	Improvável	Possível, mas improvável em condições normais
4	Pouco provável	Pode ocorrer ocasionalmente, em condições específicas
5	Possível	Acontece se não forem cumpridas boas práticas
6	Provável	Pode acontecer mesmo com algumas medidas
7	Muito provável	Comum em campo se não controlado
8	Quase certo	Já ocorreu várias vezes, pouco controlável
9	Frequente	Ocorre em quase todas as execuções da tarefa
10	Certo	Vai acontecer se nada for feito para evitar

Tabela 14 - Escala de Frequência/Exposição (Método William Fine).

Valor	Definição	Exemplo no contexto do arborismo
1	Muito rara (menos de 1 vez/ano)	Tarefa pontual de emergência
2	Rara (1 vez/ano)	Subida a árvore muito esporádica
3	Ocasional (várias vezes por ano)	Intervenção eventual em arborismo
4	Mensal	Poda ou inspeção mensal em projeto fixo
5	Quinzenal	Tarefa em planos regulares de manutenção
6	Semanal	Intervenções recorrentes nas equipas de campo
7	Diária (1x por dia)	Atividade rotineira da equipa operacional
8	Várias vezes ao dia	Troca de ferramentas, movimentações frequentes
9	Contínua (mais de 50% do tempo de trabalho)	Trabalhos de poda sucessiva durante várias horas
10	Permanente	Exposição ininterrupta durante o turno

Tabela 15 - Escala de Consequência (Método William Fine).

Valor	Definição	Exemplo no contexto do arborismo
1	Dano insignificante	Pequena dor ou arranhão, não requer tratamento
3	Dano ligeiro	Ferida leve, primeiros socorros apenas
7	Dano moderado	Necessário afastamento temporário do trabalho
15	Grave	Fratura ou lesão com incapacidade prolongada
40	Muito grave	Hospitalização prolongada, incapacidade parcial permanente
100	Catastrófico / Morte	Óbito ou incapacidade total permanente

O cálculo do risco segue a fórmula:

$$Risco = P \times F \times C$$

Figura 10 - Fórmula de cálculo de Nível de Risco (Método William Fine).

A classificação é apresentada na Tabela 16.

Tabela 16 - Critérios de classificação de risco segundo o método William Fine (adaptado).

Resultado ($P \times F \times C$)	Nível de Risco	Ação Necessária
1 – 20	Aceitável	Sem ação adicional.
21 – 70	Melhorável	Reforçar medidas ou monitorizar.
71 – 200	Elevado	Implementar medidas corretivas urgentes.
> 200	Inaceitável	Suspender atividade até mitigação.

PARTE 2

4 RESULTADOS

A presente investigação resultou na aplicação prática de três metodologias distintas de avaliação de riscos — MIAR, William Fine e a Matriz 3×3 — a um conjunto representativo de tarefas da atividade de arborismo com acesso por corda, englobando desde a inspeção inicial, preparação do sistema de ancoragem, subida e movimentação na copa, até às fases de poda, troca de ferramentas e encerramento da operação.

O objetivo consistiu em identificar, quantificar e comparar os riscos ocupacionais inerentes a cada etapa, de forma a fundamentar recomendações práticas para a melhoria contínua das condições de segurança.

A escolha destas metodologias decorreu da sua complementaridade:

- O método **MIAR**, desenvolvido especificamente para contextos florestais em Portugal, revelou-se prático e ágil para aplicação no terreno.
- O método **William Fine**, de carácter semi-quantitativo, destacou-se pela sensibilidade a fatores como a exposição e a gravidade, sendo capaz de identificar situações de risco inaceitável.
- A **Matriz 3×3** demonstrou utilidade em avaliações rápidas de campo, sobretudo em tarefas repetitivas que exigem decisões imediatas.

Esta abordagem permitiu não apenas a análise isolada de cada tarefa, mas também a comparação transversal entre metodologias, identificando convergências e divergências de classificação, bem como a validação dos resultados à luz da literatura científica.

4.1 Resultados por tarefa representativa

A subida inicial representa um dos momentos mais críticos do trabalho em arborismo com acesso por corda, devido à dependência direta da fiabilidade do sistema de ancoragem e da técnica do operador. Os riscos associados incluem quedas em altura, falhas de ancoragem e erros de progressão, frequentemente agravados pela fadiga e pelas condições ambientais.

A tarefa de subida inicial com corda foi avaliada como de risco Muito Elevado pela metodologia MIAR (NRP=96), de risco Elevado pela Matriz 3×3 (R=16) e de risco Inaceitável pelo William Fine (R=400). Os três métodos apontam para a criticidade desta etapa inicial, embora com diferentes amplitudes de classificação. No MIAR, o resultado numérico reflete a gravidade máxima atribuída à queda em altura, conjugada com extensão e frequência relevantes. Na 3×3, a classificação elevada decorre da combinação entre a probabilidade e a consequência do evento.

Tabela 17 - Avaliação comparativa dos riscos na tarefa “Subida inicial com corda” segundo os três métodos aplicados.

Método	Parâmetros avaliados	Valor obtido	Nível de risco	Interpretação
MIAR	G = 16; F = 3; E = 2	96	Muito Elevado	Consequência máxima de queda em altura; requer dupla ancoragem e verificação cruzada.
William Fine	P = 2; F = 2; C = 100	400	Inaceitável	Atividade não deve ser realizada sem revisão do sistema de segurança.
Matriz 3×3	P = 2; G = 4; E = 2	16	Elevado	Avaliação simples, mas confirma criticidade da tarefa.

Já no William Fine, o resultado numérico atinge o patamar mais alto pela valorização da consequência extrema. Em síntese, ainda que com escalas distintas, todos os métodos identificam a subida inicial como uma fase crítica do trabalho em arborismo. Esta etapa marca igualmente a transição para a fase seguinte — a movimentação na copa — onde se mantêm níveis de risco elevados e se acrescentam fatores adicionais associados ao deslocamento em altura.

Tabela 18 - Avaliação comparativa dos riscos na tarefa “Movimentação na copa” segundo os três métodos aplicados.

Método	Parâmetros avaliados	Valor obtido	Nível de risco	Observação descritiva
MIAR	G = 16; F = 3; E = 2	96	Muito Elevado	Classificação no intervalo de risco muito elevado.
William Fine	P = 2; F = 2; C = 100	400	Inaceitável	Risco quantificado como inaceitável.
Matriz 3×3	P = 2; G = 4; E = 3	24	Elevado	Confirma criticidade com exposição contínua.

A movimentação na copa mantém o mesmo perfil de criticidade identificado na subida inicial, sendo classificada como Muito Elevado pelo MIAR, Elevado pela 3×3 e Inaceitável pelo William Fine. A principal diferença entre os métodos observa-se no peso atribuído à consequência (C) no William Fine, que maximiza o risco face à possibilidade de queda em altura com impacto grave ou fatal. Já a matriz 3×3 eleva a classificação devido ao fator exposição (E = 3), refletindo a natureza prolongada e repetitiva desta tarefa,

que exige permanência em suspensão e deslocação contínua. O MIAR, com G=16 (queda em altura), mantém o patamar de Muito Elevado, coerente com a severidade potencial do evento.

Em termos práticos, a movimentação na copa acrescenta camadas adicionais de risco face à subida inicial:

- aumento da fadiga muscular pela permanência em suspensão;
- possibilidade de apoio em ramos instáveis ou comprometidos;
- necessidade de utilização simultânea de ferramentas;
- maior dependência da coordenação com a equipa no solo.

Esta acumulação de fatores explica porque, mesmo mantendo classificações semelhantes, a tarefa apresenta um perfil de risco mais complexo, sendo frequentemente apontada na literatura (ex.: Crawford, 1991; Dozier & Machtmes, 2005) como uma das fases mais críticas da atividade arborícola.

Após a subida inicial e a estabilização do arborista na copa da árvore, a tarefa seguinte consiste na poda com motosserra, considerada uma das fases mais críticas de todo o processo. Enquanto a subida concentra o risco de queda por falha de ancoragem ou apoio instável, a poda acumula esse risco com o uso simultâneo de ferramenta cortante em altura, expondo o trabalhador a múltiplos perigos combinados.

Tabela 19 - Avaliação comparativa dos riscos na tarefa “Poda de ramos” segundo os três métodos aplicados.

Método	Parâmetros avaliados	Valor obtido	Nível de risco	Observação descritiva
MIAR	G = 4; F = 3; E = 3	36	Elevado	Risco elevado pela combinação de corte em altura e execução repetitiva em suspensão.
William Fine	P = 5; F = 3; C = 15	225	Inaceitável	Risco confirmado como inaceitável.
Matriz 3×3	P = 2; G = 3; E = 3	18	Elevado	Criticidade confirmada pela exposição contínua.

A poda de ramos é considerada uma das operações mais críticas no arborismo com acesso por corda, pois combina o risco de queda já identificado na subida com a utilização de uma ferramenta de corte de elevada perigosidade. Os dois métodos MIAR e 3×3 classificam a tarefa como risco Elevado, enquanto o William Fine a posiciona como Inaceitável (R=225), pela combinação entre probabilidade, frequência e consequência associada ao uso de motosserra em altura. Do ponto de vista operacional, a poda concentra riscos de elevada gravidade (queda, corte accidental, projeção de ramos, fadiga em suspensão e falhas de comunicação). A literatura confirma a perigosidade desta atividade: Crawford (1991) evidencia a queda

como cenário mais crítico e a importância dos sistemas de retenção; Kane (2018) destaca as cargas no ponto de ancoragem e o efeito da fadiga; Kane & Ryan (2009) sublinham a relevância da fiabilidade dos equipamentos auxiliares.

Para além destes cenários diretamente associados à poda de ramos, a análise da matriz de riscos evidencia outras tarefas que, embora ocorram em fases distintas da operação, apresentam igualmente elevada perigosidade e forte variação de classificação consoante o método utilizado. Duas tarefas foram selecionadas por reunirem estas características: (i) presença de fonte de ignição durante o abastecimento, associada ao risco de incêndio em ambiente florestal; (ii) comunicação deficiente em altura, frequentemente apontada como uma das principais causas de acidentes em arborismo.

Tabela 20 - Avaliação comparativa dos riscos na tarefa “Presença de fonte de ignição durante o abastecimento” segundo os três métodos aplicados.

Método	Parâmetros avaliados	Valor obtido	Nível de risco	Observação descritiva
MIAR	G = 8; F = 3; E = 2	48	Elevado	Classificação elevada pela gravidade, mas ponderada pelos controlos já existentes.
William Fine	P = 2; F = 3; C = 100	600	Inaceitável	Peso da consequência (C=100) conduz a resultado inaceitável.
Matriz 3×3	P = 1; G = 3; E = 2	6	Médio	Avaliação simples reduz a classificação, sem captar o potencial catastrófico.

Neste cenário observa-se a maior disparidade entre metodologias: o William Fine eleva o risco para nível Inaceitável, refletindo o potencial de incêndio florestal; o MIAR mantém Elevado; e a matriz 3×3 suaviza para Médio. A literatura confirma este perigo como crítico (e.g., Landekić et al., 2023; Bianchini et al., 2021).

Tabela 21 - Avaliação comparativa dos riscos na tarefa “Comunicação deficiente durante o trabalho em altura” segundo os três métodos aplicados.

Método	Parâmetros avaliados	Valor obtido	Nível de risco	Observação descritiva
MIAR	G = 4; F = 3; E = 3	36	Elevado	Mantém risco elevado, refletindo falha crítica em coordenação.

William Fine	P = 4; F = 5; C = 15	300	Inaceitável	Considera a consequência de acidente grave por queda de ramos/cortes mal coordenados.
Matriz 3×3	P = 2; G = 3; E = 2	12	Elevado	Resultado elevado, mas sem discriminar entre falha parcial ou acidente catastrófico.

Neste caso, os três métodos convergem na elevada perigosidade, mas apenas o William Fine a considera Inaceitável, devido ao peso atribuído à consequência combinada com a frequência. A literatura sustenta esta perigosidade (e.g., Dozier & Machtmes, 2005; Crawford, 1991).

4.2 Considerações Finais sobre a Comparação das Metodologias

A comparação entre as metodologias MIAR, William Fine e Matriz 3×3 evidencia que a forma como cada uma estrutura e pondera os parâmetros de risco influencia de modo significativo a classificação final.

- **William Fine:** pela escala alargada e pela ponderação expressiva da consequência (C), tende a enfatizar os cenários mais severos, sendo particularmente sensível a acidentes com potencial catastrófico.
- **Matriz 3×3:** pela simplicidade e clareza, valoriza de forma imediata a exposição (E), destacando-se em tarefas repetitivas e de longa duração.
- **MIAR:** prática e de aplicação ágil no terreno; ao integrar $G \times E \times F$ (com possibilidade de ajuste por DPC), oferece leitura rápida e consistente. A escala de Gravidade (2, 3, 4, 8, 16), reflete de forma robusta a severidade potencial, mantendo coerência com eventos de queda em altura ($G=16$).

Em suma, os resultados obtidos demonstram que cada metodologia privilegia dimensões distintas do risco, conduzindo a classificações diferentes para a mesma tarefa. Esta diversidade confirma a importância da escolha do método em função do contexto específico da atividade arborícola. O capítulo seguinte discutirá criticamente estas diferenças, articulando-as com a literatura e com a aplicabilidade prática no terreno.

5 DISCUSSÃO

A presente dissertação abordou, de forma estruturada e crítica, a complexidade da atividade de arborismo com acesso por corda, com foco na identificação, avaliação e controlo dos riscos ocupacionais. A articulação entre a observação em campo, os resultados das matrizes de risco e a revisão sistemática de literatura (tabela PRISMA) evidenciou um conjunto consistente de fatores críticos — alguns ainda pouco explorados no contexto português.

5.1 A especificidade da atividade e os seus riscos estruturais

O arborismo distingue-se de outras áreas da silvicultura pelo facto de o próprio suporte do trabalhador coincidir com o objeto de intervenção — a árvore. Essa condição introduz instabilidade e imprevisibilidade adicionais, resultantes de fatores como a resistência estrutural variável dos ramos, o comportamento elástico da copa, a possibilidade de efeito chicote das cordas e a necessidade de progressão em múltiplos planos. Estas características constituem fontes de perigo estruturais, que exigem não apenas competências técnicas especializadas, mas também preparação física e psicológica que permita ao operador atuar em ambientes de elevada incerteza.

Em comparação com atividades mecanizadas, o arborismo apresenta riscos acrescidos em várias dimensões. A fadiga em suspensão, identificada por Kane (2018), representa um fator perigoso que pode reduzir a capacidade de reação e aumentar a probabilidade de queda — um risco com potenciais danos graves ou fatais. Os impactos de objetos em queda, documentados por Proto et al. (2016), correspondem a perigos que expõem os trabalhadores ao risco de lesões por trauma direto, tanto para o arborista em altura como para a equipa em solo. A falha de comunicação entre o arborista e o elemento de apoio em terra, destacada por Dozier & Machtmes (2005), constitui igualmente uma condição perigosa que pode originar riscos de erro operacional, resultando em colisões, quedas de material ou execução incorreta de cortes.

Acrescem ainda perigos associados ao trabalho próximo de linhas elétricas, amplamente referidos em normas internacionais como a ANSI Z133.1 e pela EU-OSHA, que expõem os operadores ao risco de choque elétrico ou arco voltaico, com danos potencialmente letais. De igual modo, o contacto com superfícies ou equipamentos aquecidos, como motores, escapes ou lâminas após utilização prolongada, constitui um perigo que gera o risco de exposição térmica e pode resultar em queimaduras.

Estas particularidades confirmam que a aplicação de referenciais de segurança genéricos, concebidos para o trabalho em altura em contextos convencionais, não é suficiente para responder às exigências do arborismo. Torna-se necessária a construção de um enquadramento metodológico específico, capaz de capturar as particularidades da atividade e de fornecer orientações preventivas adaptadas à realidade operacional, integrando a análise de perigos, a estimativa dos riscos e a definição de medidas de controlo ajustadas ao contexto dinâmico da arboricultura com acesso por corda.

5.2 Análise crítica das metodologias de avaliação de risco

A aplicação paralela das metodologias MIAR, William Fine e Matriz 3×3 demonstrou de forma clara que a forma como cada método estrutura e pondera os parâmetros de risco influencia diretamente os resultados.

O MIAR evidenciou-se pela sua capacidade de decompor cada tarefa em campos analíticos distintos, permitindo não apenas calcular um índice numérico de risco, mas também identificar com maior clareza os fatores desencadeantes e os danos potenciais. Essa granularidade revelou-se particularmente útil para destacar riscos menos evidentes, como o chicote resultante do corte de ramos em tensão, identificado também por Bianchini et al. (2021) e Kane & Ryan (2009). Os resultados confirmaram a severidade das tarefas críticas: a subida inicial e a movimentação na copa foram classificadas como de risco Muito Elevado, enquanto a poda de ramos se situou no patamar de risco Elevado, sobretudo pelo manuseamento simultâneo de motosserra em altura.

O método William Fine apresentou maior sensibilidade em tarefas em que a consequência plausível é catastrófica, mesmo com probabilidade moderada. Isto explica a classificação como Inaceitável das tarefas de subida inicial, movimentação na copa, poda de ramos e presença de fonte de ignição durante o abastecimento. Esta característica confere-lhe utilidade na tomada de decisão em contextos onde a tolerância ao risco deve ser nula, funcionando como um instrumento de alerta que força a implementação de controles adicionais ou a suspensão da atividade.

A Matriz 3×3, por sua vez, destacou-se pela simplicidade de aplicação e pela capacidade de captar riscos associados à exposição contínua. Embora os resultados numéricos sejam mais restritos em amplitude, a metodologia mostrou-se eficaz para tarefas de longa duração, como a movimentação na copa, que foi classificada como de risco Elevado devido ao prolongamento do tempo em suspensão e ao esforço físico contínuo. Essa sensibilidade ao risco acumulativo aproxima-se das conclusões de Pavlíková et al. (2024), que sublinham a importância de considerar o impacto ergonómico e repetitivo nas atividades de arborismo.

Assim, cada metodologia demonstrou pontos fortes distintos: o MIAR na decomposição e clareza da análise, o William Fine na valorização da consequência extrema e a Matriz 3×3 na percepção do risco acumulativo. Esta diversidade justifica a pertinência de abordagens comparativas e reforça a ideia de que nenhuma metodologia, isoladamente, é suficiente para captar a totalidade dos riscos presentes no arborismo.

5.3 Reflexão sobre a eficácia das medidas preventivas

A análise cruzada entre resultados e literatura mostrou que a eficácia da prevenção depende da integração de medidas em diferentes níveis. A redução da exposição revelou-se essencial, nomeadamente através da delimitação rigorosa das zonas de queda de ramos e da implementação de pausas programadas para mitigar a fadiga em suspensão. O controlo técnico, expresso na utilização de EPI adequados e na verificação diária de cordas e mosquetões, foi decisivo para reduzir a probabilidade de falhas críticas. Do

ponto de vista organizacional, a preparação prévia, com briefings de segurança e supervisão direta, revelou-se indispensável para garantir coordenação entre copa e solo. Finalmente, a formação contínua, incluindo simulações de resgate, consolidou-se como a base que sustenta todos os outros controlos.

A literatura sustenta estas conclusões. Ellison (2005) e Crawford (1991) enfatizam a importância do ajuste correto do sistema de retenção, em linha com a evidência prática desta dissertação. Contudo, em Portugal, a inexistência de referenciais técnicos específicos compromete a padronização destas medidas, conduzindo a uma aplicação fragmentada dependente da cultura organizacional de cada empresa.

5.4 Articulação com a literatura internacional

Os resultados obtidos alinham-se com as tendências internacionais documentadas na literatura PRISMA. Estudos como os de Dozier & Machtmes (2005) e De Petris et al. (2020) reforçam a importância de uma formação multidisciplinar, que integre competências de escalada, primeiros socorros, fitossanidade e leitura estrutural da árvore. Hanum et al. (2020) e De Petris et al. (2020) mostram o potencial de tecnologias como a tomografia acústica ou a fotogrametria com RPAS para avaliar a estabilidade da árvore antes da intervenção, ferramentas ainda pouco disseminadas em Portugal. Por outro lado, Pavlíková et al. (2024) destacam a carga cognitiva e a fadiga muscular como fatores muitas vezes negligenciados nos métodos tradicionais de avaliação, aspeto que nesta dissertação foi melhor captado pela matriz 3×3.

Em síntese, os resultados aqui apresentados confirmam a relevância de tendências internacionais, mas expõem também as limitações do contexto português, onde a ausência de normativos técnicos e a reduzida adoção de tecnologia dificultam a consolidação de boas práticas.

5.5 Desafios futuros identificados

A análise integrada entre a prática em campo, a literatura PRISMA e as metodologias aplicadas nesta dissertação permitiu identificar um conjunto de desafios estruturais que condicionam a evolução do arborismo em Portugal. O primeiro prende-se com a inexistência de uma norma técnica nacional específica que, à semelhança da ANSI Z133.1 nos Estados Unidos, estabeleça critérios mínimos de padronização. A ausência deste referencial conduz a abordagens heterogêneas, frequentemente baseadas em adaptações de normas genéricas de trabalho em altura, que não captam adequadamente as particularidades do arborismo.

Outro desafio relevante é a inexistência de um sistema de certificação obrigatória para arboristas, o que abre espaço a práticas empíricas de qualidade variável. Esta lacuna repercute-se não apenas na consistência técnica e na segurança das operações, mas também na credibilidade da profissão perante entidades públicas e privadas, que permanecem sem critérios uniformes para avaliar competências.

A escassez de dados estatísticos nacionais sobre acidentes em arborismo constitui igualmente um entrave significativo. A falta de registos sistematizados impede a análise de tendências, a identificação de

fatores recorrentes e a definição de prioridades de intervenção. Esta ausência de dados limita a capacidade de desenvolver políticas públicas baseadas em evidência, perpetuando um vazio de conhecimento que contrasta com a realidade de países onde a arboricultura se encontra mais estruturada.

Por fim, subsistem limitações logísticas e financeiras nas pequenas empresas do setor, que raramente dispõem de recursos para investir em tecnologia avançada, como drones, sensores ou sistemas de tomografia acústica, ou em metodologias robustas de avaliação de risco. Esta realidade mantém a dependência quase exclusiva da experiência empírica dos operadores, em detrimento de abordagens sistemáticas e baseadas em dados objetivos.

Neste contexto, torna-se premente o desenvolvimento de um referencial técnico nacional para a arboricultura com acesso por corda, ajustado às especificidades do território, da vegetação autóctone, do clima e da legislação portuguesa. A criação desse referencial permitiria uniformizar práticas, reforçar a segurança dos trabalhadores e alinhar Portugal com as boas práticas internacionais, respondendo de forma estruturada aos desafios identificados e contribuindo para a profissionalização e credibilização do setor.

5.6 Limitações

Durante o desenvolvimento desta dissertação foram identificadas várias limitações que condicionaram a abrangência da análise, mas que refletem sobretudo constrangimentos estruturais do setor e do estado atual do conhecimento em Portugal.

Uma primeira limitação resulta da escassez de documentação técnica sistematizada em contexto operacional. Em muitas empresas portuguesas de arboricultura não existem planos de resgate formalizados, relatórios técnicos estruturados ou registos padronizados de inspeção de equipamentos. Esta ausência de fontes secundárias dificultou a triangulação entre dados empíricos e documentais, conduzindo a uma maior dependência da observação direta em campo. Embora esta situação possa parecer uma limitação metodológica da investigação, na verdade traduz fielmente a realidade operacional do setor em Portugal, onde a normalização documental ainda não constitui prática corrente.

Outra limitação relaciona-se com a abrangência temporal e tipológica das atividades analisadas. A investigação não contemplou múltiplas épocas do ano ou tipologias de obra distintas (ex.: contextos urbanos muito densos ou intervenções em árvores contaminadas por pragas), o que restringe a variabilidade ambiental considerada nos cenários de risco. A opção metodológica de manter constantes fatores como as condições meteorológicas, o tipo de vegetação, a presença de fauna e as características do terreno garantiu consistência e comparabilidade entre tarefas, mas reduziu a possibilidade de simular cenários extremos. Assim, embora os resultados sejam representativos, não permitem extrapolar integralmente para contextos de inverno rigoroso, ambientes urbanos complexos ou operações em árvores com patologias graves.

Também do ponto de vista das tarefas avaliadas, a escolha metodológica privilegiou operações consideradas representativas — como subida inicial, movimentação na copa, poda e abastecimento — em

detrimento de outras mais específicas, como a instalação de sistemas de suporte dinâmico, intervenções em árvores afetadas por pragas ou trabalhos noturnos em contexto urbano. Esta decisão metodológica permitiu assegurar a comparabilidade entre as metodologias de avaliação de risco aplicadas (MIAR, William Fine e matriz 3×3), mas restringiu o espectro global de situações analisadas.

Um constrangimento particularmente relevante prende-se com a ausência de dados estatísticos nacionais sobre sinistralidade em arborismo. Atualmente, não existem bases de dados públicas que permitam caracterizar o número de acidentes, os fatores desencadeantes mais frequentes ou os danos associados a esta atividade. Esta lacuna impede a comparação direta dos resultados obtidos com tendências nacionais, obrigando a recorrer a estudos internacionais — maioritariamente realizados nos Estados Unidos, Canadá ou países da Europa Central. Embora esses estudos ofereçam um enquadramento valioso, a sua transposição para a realidade portuguesa deve ser feita com cautela, uma vez que diferenças ao nível da vegetação, das condições climáticas, da formação dos trabalhadores e da regulamentação legal podem alterar significativamente os riscos identificados.

Finalmente, deve ser salientada a inexistência de uma norma técnica portuguesa específica para trabalhos de arborismo com acesso por corda. Esta ausência condiciona o enquadramento legal e metodológico da análise, obrigando à utilização de normas internacionais, como a ANSI Z133.1, e de referenciais genéricos de segurança em altura, que tiveram de ser adaptados à realidade nacional. Embora essa adaptação não comprometa a validade da investigação, limita a consistência na aplicação prática das medidas preventivas e reforça a urgência de desenvolver um referencial técnico próprio que responda às especificidades do setor em Portugal.

Em síntese, as limitações identificadas não diminuem a relevância dos resultados obtidos, mas antes evidenciam a necessidade de aprofundar a investigação neste domínio. A escassez de documentação formal, a ausência de estatísticas nacionais e a inexistência de normativos técnicos ajustados demonstram que o arborismo com acesso por corda permanece um campo emergente em Portugal, que exige maior atenção científica, regulamentar e operacional para alcançar níveis de segurança comparáveis aos observados em países de referência.

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

A presente dissertação permitiu sistematizar e aprofundar o conhecimento técnico-científico sobre a segurança e saúde ocupacional nas operações de arborismo com acesso por corda — uma atividade de elevada exigência física e cognitiva, marcada pela exposição a riscos múltiplos, simultâneos e frequentemente subvalorizados em Portugal. Embora desempenhe um papel essencial na gestão sustentável de espaços arborizados, tanto urbanos como florestais, esta prática continua a carecer de reconhecimento normativo e técnico especializado no contexto nacional, o que fragiliza a padronização de procedimentos e a consistência da prevenção de acidentes.

A análise detalhada dos perigos e riscos associados às diferentes fases operacionais — desde a chegada ao local, a inspeção visual da árvore, a instalação de cordas e sistemas de ancoragem, a subida e movimentação na copa, até à poda, descida e comunicação com a equipa no solo — evidenciou a complexidade e variabilidade das condições de trabalho. Fatores como a instabilidade dos pontos de ancoragem, o efeito chicote dos ramos, a fadiga acumulada pela suspensão prolongada, a imprevisibilidade ambiental e o uso simultâneo de ferramentas cortantes em altura tornam esta atividade particularmente vulnerável à ocorrência de acidentes graves ou fatais.

A comparação entre as metodologias de avaliação de risco — MIAR, William Fine e Matriz 3×3 — demonstrou que a escolha da ferramenta influencia diretamente a perceção do risco e, consequentemente, a definição das medidas preventivas. O MIAR revelou-se o método mais consistente com a realidade do arborismo, pela sua estrutura detalhada por tarefa, pela capacidade de integrar fatores específicos da atividade e pela articulação direta com planos de segurança e saúde. O William Fine destacou-se pela valorização de cenários de consequência catastrófica, servindo como alerta em tarefas de baixa probabilidade, mas de elevada gravidade. Já a matriz 3×3, apesar da simplicidade, mostrou-se prática e eficaz em contextos de obra e em avaliações rápidas, constituindo uma ferramenta complementar de apoio à decisão.

O cruzamento com a literatura científica obtida através do método PRISMA reforçou estas conclusões. As falhas nos sistemas de verificação de ancoragens, na comunicação entre arborista e equipa de solo, e na fiabilidade dos equipamentos surgem como fatores recorrentes em acidentes graves, tal como descrito por Kane (2018), Staněk et al. (2022) e Dozier & Machtmes (2005). Estudos como os de Crawford (1991) e Kane & Ryan (2009) evidenciam a degradação estrutural de componentes como mosquetões e cordas após uso intensivo, confirmando a importância da inspeção sistemática. Pavlíková et al. (2024) reforçam ainda os efeitos cumulativos da carga física e mental sobre os operadores — riscos que permanecem insuficientemente considerados nas normas e procedimentos existentes.

Os resultados confirmam que a formação contínua, a verificação cruzada do equipamento, o planeamento rigoroso das tarefas e a adoção de metodologias específicas de avaliação de risco têm impacto direto na mitigação de acidentes, estando em consonância com as boas práticas internacionais preconizadas

pela ANSI Z133.1 e pela ISA. No entanto, estas práticas permanecem pouco institucionalizadas em Portugal, refletindo a necessidade de maior regulamentação e padronização técnica no setor.

Apesar dos contributos alcançados, identificaram-se lacunas estruturais: (i) a inexistência de uma norma técnica portuguesa dedicada ao arborismo; (ii) a ausência de certificação obrigatória de arboristas com formação em resgate vertical e resposta a emergências; e (iii) a falta de dados estatísticos nacionais sobre sinistralidade nesta atividade. Estas limitações dificultam a construção de políticas públicas baseadas em evidência e a consolidação de uma cultura de segurança sustentada por indicadores fiáveis.

Assim, conclui-se que o MIAR constitui o método mais ajustado para a avaliação sistemática dos riscos em arborismo com acesso por corda, sem desvalorizar a relevância dos demais em contextos específicos. O trabalho desenvolvido contribui para o fortalecimento da cultura de segurança, para a valorização da profissão e para a definição de bases metodológicas e científicas sólidas que possam apoiar decisões técnicas, regulatórias e pedagógicas no setor.

Em perspetiva futura, recomenda-se a integração de dados empíricos e estatísticos nacionais na validação das metodologias de avaliação de risco, o desenvolvimento de normas e guias técnicos portugueses específicos para o arborismo, e o reforço da investigação interdisciplinar que una engenharia, ergonomia, psicologia e ciências florestais. Estas iniciativas permitirão consolidar o conhecimento científico, uniformizar critérios de prevenção e alinhar Portugal com as melhores práticas internacionais de segurança e saúde no trabalho.

6.1 Perspetivas futuras

Face aos resultados obtidos e aos desafios identificados, destacam-se como linhas de desenvolvimento prioritárias:

1. **Criação de uma base de dados nacional** sobre acidentes, incidentes e quase-acidentes em operações de arborismo, permitindo mapear padrões de risco, validar métodos de avaliação e fundamentar futuras alterações normativas. A inexistência de registos sistemáticos constitui uma das maiores fragilidades identificadas e a sua resolução teria impacto imediato na compreensão do risco.
2. **Desenvolvimento de um guia técnico normativo nacional**, adaptado à realidade ecológica, climática e legal portuguesa, mas alinhado com standards internacionais, como a ANSI Z133.1 e os ISA BMP. Tal documento permitiria uniformizar procedimentos, reduzir a heterogeneidade das práticas e reforçar a credibilidade da profissão.
3. **Integração de novas tecnologias no planeamento e execução das tarefas**, incluindo sensores biométricos para deteção precoce de fadiga, câmaras térmicas para monitorização de sobreaquecimento de ferramentas e drones para inspeção de copas e planeamento de intervenções.

Estas soluções já demonstraram eficácia em contextos internacionais e podem aumentar significativamente a segurança dos operadores.

4. **Realização de testes experimentais laboratoriais** com os principais equipamentos de retenção, cordas, mosquetões e dispositivos de progressão utilizados em arborismo, de modo a criar uma escala de fiabilidade operacional baseada em evidência empírica. Tal permitiria fundamentar recomendações técnicas nacionais e reduzir a dependência de ensaios realizados noutros países.
5. **Incorporação obrigatória de módulos de segurança avançada nos cursos de formação de arboristas**, incluindo avaliação de riscos, ergonomia aplicada, gestão de emergência e primeiros socorros em altura, com certificação periódica e treino prático em resgate vertical. Esta medida permitiria colmatar a ausência de certificação obrigatória e uniformizar o nível de preparação dos profissionais.
6. **Articulação com estudos de impacto ambiental e de ordenamento urbano**, reforçando o papel estratégico do arborismo técnico na preservação ecológica, na poda seletiva de árvores de risco, na remoção de exemplares instáveis e na reabilitação de zonas verdes críticas. Este alinhamento permitiria valorizar a profissão não apenas na dimensão da segurança ocupacional, mas também no contributo para a sustentabilidade.

7 BIBLIOGRAFIA

- Abramuszkinová Pavlíková, E., Robb, W., & Šácha, J. (2024). An ergonomic study of arborist work activities. *Heliyon*, 10(4), e26264. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26264>
- Agolli, M., Terpo, M., Terpo, D., & Meçi, E. (2014). Tourist-environmental assessment of Përmet district, traditional food processing and the typical products of the area. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(13 SPEC. ISSUE), 36–41. <https://doi.org/10.5901/mjss.2014.v5n13p36>
- Ball, D. J., & Watt, J. (2013). The risk to the public of tree fall. *Journal of Risk Research*, 16(2), 261–269. <https://doi.org/10.1080/13669877.2012.737827>
- Bianchini, L., Picchio, R., Colantoni, A., Scotolati, M., di Stefano, V., & Cecchini, M. (2021). Tensile strength of ropes and friction hitch used in tree climbing work. *Forests*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/f12111457>
- Boddy, M. (2009). British standards and arboriculture. *Arboricultural Journal*, 32(1), 5–17. <https://doi.org/10.1080/03071375.2009.9747550>
- Campanella, B., Empain, C., Toussaint, A., & Paul, R. (2008). Urban tree management in wallon municipalities: Overview of available means; [Gestion communale du patrimoine arboré non forestier: Aperçu des moyens disponibles]. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 12(3), 99–107. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84907169735&partnerID=40&md5=a976763bbe84152a897e465f121a009f>
- de Petris, S., Sarvia, F., & Borgogno-Mondino, E. (2020). RPAS-based photogrammetry to support tree stability assessment: Longing for precision arboriculture. *Urban Forestry & Urban Greening*, 55, 126862. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126862>
- Dowdell, J. (2002). More than machismo - Arborists emphasize safety in tree-climbing competition (Winners of the 26th annual International Climbing championship, sponsored by the International Society of Arboriculture). *LANDSCAPE ARCHITECTURE*, 92(12), 18.
- Dozier, H., & Machtmes, K. (2005). Arborists in Louisiana, U.S.: A baseline assessment of safety and professionalism. *Journal of Arboriculture*, 31(5), 228–234. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-24944579849&partnerID=40&md5=735f19d1be46028971e0c10a23155545>
- Ellison, M. J. (2005). Quantified tree risk assessment used in the management of amenity trees. *Journal of Arboriculture*, 31(2), 57–65. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-14844356349&partnerID=40&md5=f2f015ff4e76e5574234d44ef3676403>
- Elmendorf, W., Watson, T., & Lilly, S. (2005). Arboriculture and urban forestry education in the United States: Results of an educators survey. *Journal of Arboriculture*, 31(3), 138–149. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-18244385218&partnerID=40&md5=c97b88cca6f9b09515393c6bf72c5b48>

Glaeser, C. W. (2010). The Preservation and Protection of Urban Trees: Lessons from the Field from the City of New York. In G. P. Gianquinto & F. Orsini (Eds.), *II INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSCAPE AND URBAN HORTICULTURE* (Vol. 881, pp. 1063–1068).

Hanum, S. F., Darma, I. D. P., Atmaja, M. B., & Oktavia, G. A. E. (2020). Tree Risk Assessment with Sonic Tomograph Method at Bali Botanical Garden. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 26(3), 233–243. <https://doi.org/10.7226/JTFM.26.3.233>

Heimlich, J., Sydnor, T. D., Bumgardner, M., & O'Brien, P. (2008). Attitudes of residents toward street trees on four streets in Toledo, Ohio, U.S. before removal of ash trees (*Fraxinus* spp.) from Emerald ash borer (*Agilus planipennis*). *Arboriculture and Urban Forestry*, 34(1), 47–53. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-39049106457&partnerID=40&md5=eccdc35066feaaffa09a66dfefc241>

Helliwell, R. (2014). Management of tree populations II. “continuous cover urban Forestry.” *Arboricultural Journal*, 36(1), 45–56. <https://doi.org/10.1080/03071375.2014.890819>

Hodge, S. J. (1991). Research for practical arboriculture. Proceedings of a seminar held at the University of York, April 1990. *Forestry Commission Bulletin*, 97. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0026295874&partnerID=40&md5=4d85e0017f86e2b1888dc51c22137d>

Hui, K. K. W., Wong, M. S., Kwok, C. Y. T., Li, H., Abbas, S., & Nichol, J. E. (2022). Unveiling Falling Urban Trees before and during Typhoon Higos (2020): Empirical Case Study of Potential Structural Failure Using Tilt Sensor. *Forests*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/f13020359>

Ivasko Junior, S., Biondi, D., Ximenes, E., Nunho dos Reis, A. R., & Heck Bomm, B. F. (2019). Risk assessment of trees protected by law in Curitiba squares, Parana, Brazil. *BOSQUE*, 40(3), 347–354. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002019000300347>

Julius, A. K., Kane, B., Bulzacchelli, M. T., & Ryan, H. D. P. (2014). Compliance with the ANSI Z133.1 — 2006 safety standard among arborists in New England. *Journal of Safety Research*, 51, 65–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.09.010>

Kane, B., Cloyes, M., Freilicher, M., & Ryan, H. D. (2009). Damage inflicted on climbing ropes by handsaws. *Arboriculture and Urban Forestry*, 35(6), 305–310. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79952031729&partnerID=40&md5=6515b151fabbbcd5b1a780cd42f4494e>

Kane, B., & Ryan, H. D. (2009). Residual strength of carabiners used by tree climbers. *Arboriculture and Urban Forestry*, 35(2), 75–79. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79952022334&partnerID=40&md5=65017b5415d8cf67ba126764ae9ae2d5>

Klein, R. W., Koeser, A. K., Hauer, R. J., Miesbauer, J. W., Hansen, G., Warner, L., Dale, A., & Watt, J. (2021). Assessing the consequences of tree failure. *Urban Forestry and Urban Greening*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127307>

Klein, R. W., Koeser, A. K., McBride, L., Hauer, R. J., Warner, L. A., Smiley, E. T., Munroe, M. A., & Harchick, C. (2023). Evaluating the Reproducibility of Tree Risk Assessment Ratings Across Commonly Used Methods. *Arboriculture and Urban Forestry*, 49(6), 271–282. <https://doi.org/10.48044/jauf.2023.019>

- Klein, R. W., Koeser, A. K., Hauer, R. J., Hansen, G., & Escobedo, F. J. (2019). Risk assessment and risk perception of trees: A review of literature relating to arboriculture and urban forestry. *Arboriculture and Urban Forestry*, 45(1), 26–38. <https://doi.org/10.48044/jauf.2019.003>
- Klein, R. W., Koeser, A. K., Hauer, R. J., Miesbauer, J. W., Hansen, G., Warner, L., Dale, A., & Watt, J. (2021). Assessing the consequences of tree failure. *Urban Forestry & Urban Greening*, 65, 127307. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127307>
- Koeser, A. K., Thomas Smiley, E., Hauer, R. J., Kane, B., Klein, R. W., Landry, S. M., & Sherwood, M. (2020). Can professionals gauge likelihood of failure? – Insights from tropical storm Matthew. *Urban Forestry and Urban Greening*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126701>
- Kuhns, M. R., & Reiter, D. K. (2009). Tree care and topping beliefs, knowledge, and practices in six western u.s. cities. *Arboriculture and Urban Forestry*, 35(3), 122–128. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-66749157068&partnerID=40&md5=2c1e263257b43c594233798e2403d648>
- Kulhavy, D. L., Wu, D., Unger, D. R., Hung, I.-K., & Sun, J. (2014). Comparison of tree condition and value for city parks and Stephen F. Austin state university in Nacogdoches, Texas, U.S. *Arboriculture and Urban Forestry*, 40(3), 165–177. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84902183937&partnerID=40&md5=48389674c0943b1d3e3517997508897b>
- Kuo, F. E. (2003). The role of arboriculture in a healthy social ecology. *Journal of Arboriculture*, 29(3), 148–155. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-2342460076&partnerID=40&md5=cba7e8578d6fafa59f1ec1e602bbd7f1>
- Landekic, M., Martinic, I., Bakaric, M., Ricart, R. M., & Sporicic, M. (2017). VOCATIONAL TRAINING OF WORKERS IN THE FORESTRY SECTOR - THE SITUATION IN CROATIA AND TRENDS IN EUROPE. *SUMARSKI LIST*, 141(7–8), 395–407. <https://doi.org/10.31298/sl.141.7-8.6>
- Lim, J., Kane, B., & Bloniarz, D. (2020). Arboriculture safety standards: Consistent trends. *Urban Forestry & Urban Greening*, 53, 126736. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126736>
- Longo, D., Caruso, L., Conti, A., Camillieri, D., & Schillaci, G. (2013). A survey of safety issues in tree-climbing applications for forestry management. *Journal of Agricultural Engineering*, 44, 702–704. <https://doi.org/10.4081/jae.2013.s2.e141>
- Missaglia, A., Ambroselli, S., & Cinelli, F. (2010). Stage Overlooking Volterra's Landscape. In G. P. Gianquinto & F. Orsini (Eds.), *II INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSCAPE AND URBAN HORTICULTURE* (Vol. 881, pp. 367–371). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.881.55>
- Mynors, C. (1993). Trees and the law. *Arboricultural Journal*, 17(4), 413–423. <https://doi.org/10.1080/03071375.1993.9748074>
- Nergis, D. P. B., Cimpoesu, N., Vizureanu, P., Baci, C., & Bejinariu, C. (2019). Tribological characterization of phosphate conversion coating and rubber paint coating deposited on carbon steel carabiners surfaces. *Materials Today: Proceedings*, 19, 969–978. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.009>

Pallafray, C., Sivarajah, S., & Ruel, J.-C. (2024). Impact of Root Cutting on *Acer platanoides* and *Tilia cordata* Tree Stability in Urban Parks: A Case Study in Quebec City, Canada. *Forests*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/f15061041>

Pavlikova, E. A., Robb, W., & Sacha, J. (2024). An ergonomic study of arborist work activities. *HELIYON*, 10(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26264>

Petzl. (2025). *Movement and work in the tree using DdRT and SRT with the ZIGZAG*. Recuperado de <https://www.petzl.com/INT/en/Professional/Movement-and-work-in-the-tree-using-DdRT-and-SRT-with-the-ZIGZAG?ActivityName=Tree-care>

Poulos, H. M., & Camp, A. E. (2010). Decision Support for Mitigating the Risk of Tree Induced Transmission Line Failure in Utility Rights-of-Way. *ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 45(2), 217–226. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9422-5>

Proto, A. R., Mazzocchi, F., Cossio, F., Bortolini, L., Pascuzzi, S., Caruso, L., Diano, M., & Zimbalatti, G. (2016). A Survey on Occupational Injuries in Works on Trees in Italy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 223, 435–441. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.266>

Ricard, R. M., Legrand, A. I., Hirsch, D. W., Gabany-Guerrero, T., & Guerrero-Murillo, N. (2008). A mixed-methods analysis of the educational needs of employers and non-english speaking workers in arboriculture. *Journal of Extension*, 46(2). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-43049104987&partnerID=40&md5=656161346cec7dc79bedab3c42aa1517>

Roman, L. A., Conway, T. M., Eisenman, T. S., Koeser, A. K., Ordonez Barona, C., Locke, D. H., Jenerette, G. D., Ostberg, J., & Vogt, J. (2021). Beyond 'trees are good': Disservices, management costs, and tradeoffs in urban forestry. *AMBIO*, 50(3, SI), 615–630. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01396-8>

Sehlaoui, H., Hassikou, R., Dakak, H., Zouahri, A., el Hasini, S., Iaaich, H., Ghanimi, A., & Douaïk, A. (2022). Nitrate contamination and associated health risks of the Benslimane groundwater, Morocco. *Environmental Geochemistry and Health*, 44(12), 4343–4358. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01186-5>

Sramek, J., Stredova, H., & Fukalova, P. (2018). MANAGEMENT OF RIPARIAN VEGETATION IN TOURIST-EXPOSED LOCATIONS. In J. Fialova (Ed.), *PUBLIC RECREATION AND LANDSCAPE PROTECTION - WITH NATURE HAND IN HAND!* (pp. 242–246).

Stanek, L., Augustin, O., & Neruda, J. (2022). Analysis of Occupational Accidents in Tree Climbers. *FORESTS*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/f13091518>

Sterken, P. (2021). On trees and wind turbines. *Arboricultural Journal*, 43(4), 235–248. <https://doi.org/10.1080/03071375.2021.1903239>

Stevenson, T. R., Gerhold, H. D., & Elmendorf, W. F. (2008). Attitudes of municipal officials toward street tree programs in Pennsylvania, U.S. *Arboriculture and Urban Forestry*, 34(3), 144–151. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-44449125570&partnerID=40&md5=a5a671b4d9a864241d973859242970de>

Wang, Y., Wu, Y., Sun, Q., Hu, C., Liu, H., Chen, C., & Xiao, P. (2023). Tree Failure Assessment of London Plane (*Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd.) Street Trees in Nanjing City. *FORESTS*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/f14091696>

Wolf, K. L., & Bratton, N. (2006). Urban trees and traffic safety: Considering U.S. roadside policy and crash data. *Arboriculture and Urban Forestry*, 32(4), 170–179. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-33745539755&partnerID=40&md5=a880056b660b390633e88e949eb7b5d5>

Petzl. (2025). *Movement and work in the tree using DdRT and SRT with the ZIGZAG*. Petzl Professional — Tree care. Recuperado em 28 setembro 2025, de <https://www.petzl.com/INT/en/Professional/Movement-and-work-in-the-tree-using-DdRT-and-SRT-with-the-ZIGZAG?ActivityName=Tree-care>