



LISBON  
SCHOOL OF  
ECONOMICS &  
MANAGEMENT  
UNIVERSIDADE DE LISBOA

**MESTRADO EM**  
**ECONOMIA E GESTÃO DE CIÊNCIA,**  
**TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
**TRABALHO DE PROJETO**

Avaliação dos Benefícios Científicos e Tecnológicos da Parceria de Portugal com o CERN

**FAUSTA NORCHENE MIGUEL DOS SANTOS**

OUTUBRO- 2024

# TRABALHO FINAL DE MESTRADO

## TRABALHO DE PROJETO

Avaliação dos Benefícios Científicos e Tecnológicos da Parceria de Portugal com o CERN

FAUSTA NORCHENE MIGUEL DOS SANTOS

**Orientador:**

Prof. Doutor Manuel Mira Godinho

OUTUBRO- 2024

*À MINHA AVÓ, JOAQUINA, À MINHA MÃE, MARTA, AOS MEUS IRMÃOS, NILSA E BRUNO, AOS MEUS SOBRINHOS, HENZO E LUEJI E AO MEU CUNHADO, JORGE.*

## LISTA DE ABREVIATURAS

- ANI** - Agência Nacional de Inovação
- ATLAS** - *A Toroidal LHC ApparatuS*
- CERN** – Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*)
- CMU Portugal** - *Carnegie Mellon University Portugal*
- CMS** - *Compact Muon Solenoid*
- CTN/IST** - Centro de Tecnologias Nucleares do Instituto Superior Técnico
- DELPHI** - *Detector with Lepton, Photon and Hadron Identification*
- DUNE** - *Deep Underground Neutrino Experiment*
- ESA** – Agência Espacial Europeia (*European Space Agency*)
- ESO** - Observatório Europeu do Sul (*European Southern Observatory*)
- EU** - União Europeia (*European Union*)
- FCC** - Futuro Colisionador Circular (*Future Circular Collider*)
- FCT** - Fundação para a Ciência e a Tecnologia
- FLUKA** - *Fluktuierende Kaskade* (software de simulação para cálculos de transporte de partículas)
- GEANT** - *Gigabit European Academic Network*
- GESDA** - *Geneva Science and Diplomacy Anticipator*
- GRID** - *Grid Computing*
- HL-LHC** - *High-Luminosity Large Hadron Collider*
- HTTP** - *Hypertext Transfer Protocol*
- ILO** - *Industrial Liaison Officer*
- IPPOG** - *International Particle Physics Outreach Group*
- LEP** - Large Electron-Positron Collider (Grande Colisor de Eletrões e Positrões)
- LHC** – Colisionador de Hadrões (*Large Hadron Collider*)
- LHCb** - *Large Hadron Collider beauty experiment*
- LIP** - Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas
- MIT Portugal** - *Massachusetts Institute of Technology Portugal*
- NA38** - Experiência no CERN para estudar colisões de núcleos pesados e o possível estado de plasma de quarks e glúons
- OECD** - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (*Organization for Economic Cooperation and Development*)

**PALOP** - Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa

**PAW** - *Physics Analysis Workstation*

**PET** – Tomografia por Emissão de Positrões (*Positron Emission Tomography*)

**RPC** - *Resistive Plate Chambers*

**ROOT** - *A Data Analysis Framework for Particle Physics*

**SPS** - *Super Proton Synchrotron*

**STEM** – Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*)

**TeV** - *Tera-Electronvolt*

**UBS** - *Union Bank of Switzerland*

**WWW** - *World Wide Web*

## RESUMO

Este estudo analisa os benefícios e impactos da colaboração de Portugal com o CERN, uma das maiores infraestruturas científicas do mundo, destacando os efeitos científicos, tecnológicos, económicos e diplomáticos desta parceria.

A investigação adotou uma metodologia mista que incluiu análise bibliométrica de dados presentes na base de dados bibliométrica Scopus, fundamentação teórica, entrevistas com especialistas envolvidos no CERN e inquéritos a empresas portuguesas. Os resultados mostram que a colaboração com o CERN trouxe a Portugal acesso a infraestruturas de investigação avançadas, formação de profissionais altamente qualificados e uma maior influência na definição de agendas científicas internacionais. Contudo, foram identificadas limitações, como dificuldades na validação de dados financeiros devido à inconsistência entre fontes, destacando a necessidade de uma base de dados financeira centralizada e acessível. Além disso, a comunicação limitada sobre oportunidades de trabalho e formação no CERN indica a necessidade de estratégias de envolvimento mais eficazes para maximizar o retorno desta colaboração.

Como resposta a esses desafios, propõe-se a criação de uma plataforma online para centralizar e divulgar estas oportunidades, assim como campanhas informativas nas universidades para aumentar a visibilidade das ofertas do CERN. Este trabalho contribui para o entendimento do impacto da colaboração entre Portugal e o CERN, apresentando recomendações para maximizar os benefícios desta parceria, reforçar a competitividade científica e tecnológica do país, e fortalecer o papel de Portugal na ciência, inovação e na sociedade em geral.

**PALAVRAS-CHAVE:** CERN, Portugal, colaboração, inovação tecnológica, inovação científica, capacitação, benefícios, infraestruturas de investigação, transferência de conhecimento, bibliometria.

## ABSTRACT

This study analyzes the benefits and impacts of Portugal's collaboration with CERN, one of the world's largest scientific infrastructures, highlighting the scientific, technological, economic, and diplomatic effects of this partnership.

The research adopted a mixed-method approach, including bibliometric analysis of data from the Scopus database, literature review, interviews with experts involved with CERN, and surveys of Portuguese companies. The results show that collaboration with CERN has provided Portugal with access to advanced research infrastructures, the training of highly qualified professionals, and greater influence in setting international scientific agendas. However, certain limitations were identified, such as difficulties in validating financial data due to inconsistencies between sources, emphasizing the need for a centralized and accessible financial database. Additionally, limited communication about job and training opportunities at CERN suggests a need for more effective engagement strategies to maximize the returns of this collaboration.

In response to these challenges, the creation of an online platform is proposed to centralize and disseminate these opportunities, as well as informational campaigns at universities to increase the visibility of CERN's offerings. This study contributes to a deeper understanding of the impact of Portugal's collaboration with CERN, presenting recommendations to maximize the benefits of this partnership, enhance the country's scientific and technological competitiveness, and strengthen Portugal's role in science, innovation, and society at large.

**Keywords:** CERN, Portugal, collaboration, technological innovation, scientific innovation, capacity building, benefits, research infrastructures, knowledge transfer, bibliometrics.

## ÍNDICE

Lista de Abreviaturas .....	i
Resumo .....	iii
Abstract.....	iv
1. Introdução.....	1
1.1. Escolha do Tema .....	2
1.2. Questões Orientadoras para o Desenvolvimento do Projeto .....	2
2. Metodologia.....	3
2.1. Recolha e Validação da Informação.....	4
3. Contextualização e Estrutura da Colaboração de Portugal com o CERN.....	4
3.1. Fundamentação Teórica e Benefícios da Colaboração com o CERN.....	4
3.2. CERN: Estrutura, Missão e Colaboração Científica Internacional.....	6
3.3. Missão e Governança.....	6
3.5. Principais Infraestruturas e Projetos Futuros .....	9
4. Benefícios Científicos e Tecnológicos da Participação de Portugal no CERN.....	11
4.1. Avanços Científicos e Tecnológicos: Contribuições Globais e Participação de Portugal.....	11
4.2. Produção Científica e Impacto Global.....	11
4.3. Contribuições Interdisciplinares e Multidisciplinares .....	12
4.4. Tecnologias de Ponta E Formação Avançada e Retorno Económico.....	14
4.5. O Papel do LIP e a Colaboração com Outras Infraestruturas de Investigação .....	15
5. Benefícios e Impactos Relacionados a Inovação .....	16
5.1. Inovações Tecnológicas do CERN e Suas Aplicações na Indústria e Saúde em Portugal.....	16
5.2. Oportunidades para Empresas Portuguesas e Impacto da Adesão de Portugal ao CERN no Desenvolvimento Tecnológico .....	18
5.4. A Contribuição da Metalomecânica Portuguesa no High Luminosity LHC: Excelência, Inovação e Impacto Global .....	22
6. Benefícios e Impactos Relacionados as Competências.....	23
6.1. Formação e Desenvolvimento de Competências no CERN para Investigadores e Empresas Portuguesas.....	24
6.2. Impacto das Competências Desenvolvidas no CERN nas Carreiras e na Economia Portuguesa .....	27
6.3. Visibilidade Global do CERN.....	29
7. Benefícios e Impactos Relacionados a Diplomacia Científica.....	29
7.1. Participação de Portugal na Governação do CERN e sua Influência nas Decisões Científicas Globais e Colaborações Estratégicas .....	30



7.2. A Diplomacia Científica de Portugal no CERN e o Impacto da Colaboração Internacional .....	31
7.3. Contribuições do CERN para o Desenvolvimento Global da Física e a Expansão da Colaboração Internacional.....	37
Conclusão .....	39
BIBLIOGRAFIA .....	42
ANEXOS .....	46

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Benefícios da Colaboração entre Portugal e o CERN.....	39
Figura 2: Localização do LHC .....	52
Figura 3: Localização proposta para o FCC .....	52
Figura 4: Diagrama LHCb.....	53
Figura 5: Esquema do processo de Tomografia PET .....	53
Figura 6: Atividades realizadas na Escola de Verão para professores .....	53

### ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Contribuições de Portugal ao CERN nos últimos 10 anos .....	8
Tabela 2: Financiamento da FCT aos projetos realizados no CERN.....	9
Tabela 3: Financiamento da FCT aos projetos realizados no CERN.....	9

### ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico da evolução dos documentos e citações ao longo do tempo .....	12
Gráfico 2: Distribuição das publicações por área de estudo.....	13
Gráfico 3: Distribuição dos Tipos de Publicação .....	14
Gráfico 4: Distribuição de contratos adjudicados a Portugal em 2021 .....	18
Gráfico 5: Registos de Portugal na base de dados de fornecedores do CERN.....	18
Gráfico 6: Países lusófonos na escola de professores do CERN em 2023 .....	34
Gráfico 7: Escola de professores de língua portuguesa no CERN .....	34

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho final é o resultado de muito esforço e dedicação, mas também do apoio e contributo de várias pessoas que, direta ou indiretamente, tornaram possível a sua realização.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Manuel Mira Godinho, por ter acreditado no potencial deste trabalho desde o início. A sua orientação, o suporte contínuo e a confiança depositada foram essenciais para a concretização deste projeto.

Agradeço também à Professora Conceição Abreu, por todo o tempo e dedicação que dispensou, pela orientação preciosa e pelos conselhos que foram fundamentais nos momentos cruciais deste trabalho. Quero igualmente expressar a minha gratidão ao Professor João Caraça, pelos insights e direcionamentos que enriqueceram e fortaleceram a estrutura e a realização deste trabalho.

A minha gratidão estende-se ainda à Maura e à Antónia Francisco, e a todos os meus amigos que me acompanharam nesta jornada. Um agradecimento especial à Elaine Mendes, Luana Costa e Josemi Ribeiro, que acreditaram em mim, mesmo quando eu própria duvidava, e que me incentivaram, celebrando comigo cada pequena conquista, por mais insignificante que pudesse parecer. O vosso apoio foi inestimável.

À minha família, quero deixar um agradecimento profundo. À minha mãe, Marta, que é a minha maior fonte de força e inspiração; aos meus irmãos, Nilsa e Bruno; e aos meus sobrinhos, Henzo e Lueji, que me inspiram todos os dias e são a minha principal motivação para seguir em frente. Vocês são o meu maior alicerce.

Por fim, gostaria de reconhecer e agradecer a mim própria, pela resiliência e determinação demonstradas ao longo desta caminhada. Cada desafio ultrapassado foi uma lição de perseverança e de autoconfiança.

## 1. Introdução

Este trabalho, desenvolvido como projeto final de mestrado no âmbito do curso de Mestrado em Economia e Gestão de Ciência, Tecnologia e Inovação, tem como objetivo avaliar os benefícios que Portugal obteve através da sua colaboração com o CERN, a Organização Europeia para a Investigação Nuclear<sup>1</sup>. Este projeto foca-se na análise dos impactos científicos, tecnológicos e sociais resultantes do investimento português nesta infraestrutura de *big science*, abordando a questão central de como esta participação contribui para o desenvolvimento científico e tecnológico do país e como pode ser otimizada no futuro.

A escolha de realizar este trabalho como um projeto deve-se à sua natureza aplicada: uma simulação de avaliação de política pública sobre a participação de Portugal numa infraestrutura internacional de grande escala. O CERN é uma plataforma singular que permite examinar o impacto de investimentos estratégicos na ciência e tecnologia, não apenas em termos de resultados diretos, mas também nas suas repercussões mais amplas na economia, na inovação e na capacitação de recursos humanos. Este enfoque prático justifica a abordagem adotada, que procura medir e propor melhorias à política de colaboração científica nacional.

Este projeto inspira-se no estudo realizado pela Technopolis, intitulado *"Evaluation of the Benefits that the UK has derived from CERN"* (2020), que evidenciou impactos positivos significativos para o Reino Unido em áreas como inovação, capacitação de recursos humanos e competitividade tecnológica. Adapta-se aqui a metodologia utilizada nesse estudo para captar e avaliar os benefícios específicos de Portugal, documentando tanto os impactos diretos quanto as influências mais amplas na comunidade científica e empresarial portuguesa.

Para a análise, foi utilizada uma abordagem combinada de métodos quantitativos e qualitativos. Foram recolhidos dados através de entrevistas com engenheiros e estudantes, inquéritos a empresas portuguesas que colaboraram com o CERN e uma

---

<sup>1</sup> A presença da palavra “Nuclear” no acrónimo do CERN deve-se ao contexto da sua criação, numa época em que a palavra era amplamente utilizada. O objetivo era também suavizar a conotação negativa que o termo “nuclear” tinha adquirido no pós-guerra. Atualmente, o CERN dedica-se ao estudo das partículas mais elementares do átomo, recorrendo a colisionadores de partículas.

análise bibliométrica das publicações científicas resultantes dessa parceria. Adicionalmente, desenvolveu-se um estudo de caso para ilustrar as principais conquistas e impactos na inovação e no desenvolvimento tecnológico de Portugal.

### 1.1. Escolha do Tema

O tema sobre a Análise dos Impactos da Colaboração de Portugal com o CERN foi escolhido por se alinhar diretamente com o objetivo de compreender o impacto das parcerias científicas internacionais no desenvolvimento nacional, um tópico que está profundamente relacionado com as competências adquiridas ao longo do mestrado em áreas como a inovação tecnológica, políticas de ciência e gestão do conhecimento. Além disso, esta escolha permite criar um entendimento sobre como a participação em infraestruturas de investigação de ponta, como o CERN, contribui para a capacitação de profissionais, o avanço da ciência e a competitividade económica de Portugal. Sendo membro da UE e da OCDE, é natural que Portugal participe em organizações científicas internacionais, como o CERN, no entanto, é essencial que essa participação seja devidamente monitorizada. Esta investigação visa não apenas mapear os benefícios existentes, mas também identificar oportunidades de melhoria, propondo recomendações concretas para maximizar os retornos científicos e tecnológicos dessa colaboração, com o intuito de reforçar o papel de Portugal no cenário científico internacional.

### 1.2. Questões Orientadoras para o Desenvolvimento do Projeto

Como a colaboração de Portugal com o CERN contribui para o progresso científico e a expansão do conhecimento em física fundamental e outras áreas?

Quais são as inovações tecnológicas emergentes da parceria de Portugal com o CERN e suas aplicações nas indústrias nacionais?

De que forma a participação no CERN apoia o desenvolvimento de competências e capacitação de profissionais portugueses?

Qual é o papel de Portugal no cenário internacional de ciência e tecnologia, mediado pela diplomacia científica no CERN?

## 2. Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho incluiu uma abordagem mista que combinou a análise bibliométrica, a uma fundamentação teórica e a realização de entrevistas e inquéritos para obter uma compreensão aprofundada sobre os benefícios e impactos da colaboração de Portugal com o CERN.

A análise bibliométrica foi realizada com base em dados extraídos da base de dados bibliográfica Scopus, uma das maiores plataformas de indexação de publicações científicas a nível mundial. Esta análise permitiu avaliar a produção científica relacionada com a colaboração entre Portugal e o CERN, identificando o volume e o impacto das publicações científicas que envolvem cientistas portugueses no período compreendido entre 1998 a 2023. A contagem de documentos e o levantamento de citações forneceram indicadores-chave sobre a visibilidade e a disseminação do conhecimento gerado a partir desta colaboração, permitindo uma avaliação quantitativa do impacto científico.

Além da análise bibliométrica, foram consultados artigos científicos e o excerto do livro *Dicionário Portugal Multilateral Vol. II*, que forneceram uma base teórica sólida e permitiram contextualizar o papel do CERN na ciência e tecnologia a nível global, bem como os efeitos específicos para Portugal. Esta fundamentação teórica serviu para fundamentar a análise e contextualizar os dados recolhidos de outras fontes.

Para enriquecer a investigação, foram realizadas entrevistas com especialistas diretamente envolvidos com o CERN, incluindo o Mário Pimenta, José Antão, Filipa Coelho, Conceição Abreu e Andreia Maia Oliveira. As entrevistas visaram recolher perspetivas qualitativas sobre os impactos da colaboração, as oportunidades e desafios enfrentados pelos cientistas portugueses, bem como recomendações para o futuro da parceria. Estas entrevistas permitiram capturar *insights* e experiências diretas que complementam os dados quantitativos.

Inquéritos foram também enviados a empresas portuguesas que tiveram algum nível de envolvimento com o CERN, com o objetivo de avaliar o impacto económico e industrial da colaboração. Este componente permitiu recolher dados sobre o envolvimento das

empresas portuguesas em projetos e contratos com o CERN, proporcionando uma perspetiva sobre o impacto económico para Portugal.

A metodologia mista adotada neste estudo, combinando análise bibliométrica, fundamentação teórica, entrevistas e inquéritos, permitiu uma análise abrangente e multifacetada dos benefícios da colaboração de Portugal com o CERN, proporcionando uma compreensão holística das oportunidades e desafios associados a esta parceria.

## 2.1. Recolha e Validação da Informação

A recolha de dados para este trabalho enfrentou desafios, principalmente relacionados à variabilidade na disponibilidade de informações detalhadas e específicas sobre as atividades e impactos do CERN em Portugal. As estratégias de divulgação de dados e a transparência das diferentes entidades consultadas influenciaram o processo de obtenção de informação necessária para este estudo.

Os dados foram obtidos através de websites institucionais, como o do CERN, que disponibiliza informações sobre atividades, governança, relatórios, projetos e estatísticas relacionadas. A Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) foi uma fonte chave para a obtenção de relatórios de atividades, projetos de I&D, e informações sobre a cooperação de Portugal com o CERN. O Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP) forneceu detalhes relevantes sobre a participação portuguesa nas atividades do CERN. Outras fontes consultadas incluíram o Geneva Science and Diplomacy Anticipator (GESDA), para informações sobre colaborações científicas inovadoras, e UK Research and Innovation (UKRI), para relatórios de avaliação sobre os benefícios do CERN. Sites governamentais como o GOV.UK foram também utilizados para complementar as informações sobre redes de cooperação científica. Além disso, para atualizações sobre a participação de empresas e cientistas portugueses no CERN, foram consultados sites de notícias como Observador, Exame Informática/Visão e Forbes Portugal.

## 3. Contextualização e Estrutura da Colaboração de Portugal com o CERN

### 3.1. Fundamentação Teórica e Benefícios da Colaboração com o CERN

O CERN é reconhecido como um exemplo de diplomacia científica, onde a cooperação internacional promove o avanço científico e a paz entre nações. Constitui um caso relevante para debater a diplomacia científica, equilibrando a ciência fundamental com interesses estratégicos dos Estados membros e promovendo relações pacíficas e a superação de diferenças políticas (Höne e Kurbalija, 2018). Essa dinâmica é reforçada pela sua estrutura de governança, que privilegia decisões baseadas no mérito científico, servindo de exemplo para outras instituições internacionais.

O impacto económico da procura tecnológica do CERN é significativo, com benefícios que se estendem para além dos contratos diretos. As aquisições de tecnologias avançadas estimulam a inovação e a competitividade industrial dos países membros, gerando um efeito multiplicador nos setores de alta tecnologia (Catelno et al., 2018). À semelhança do Reino Unido, onde empresas locais aprimoraram capacidades tecnológicas através da colaboração com o CERN (Tecnopolis, 2020), o mesmo ocorreu em Portugal, evidenciado por contratos entre empresas nacionais e o CERN, que beneficiam as economias dos Estados membros.

A transferência de conhecimento no CERN é fundamental para o desenvolvimento científico e tecnológico, com aplicações em indústrias como medicina, eletrónica, metalurgia e computação. Um exemplo é a criação da World Wide Web, desenvolvida no CERN, que revolucionou a comunicação global e demonstra o impacto direto das inovações na sociedade. A formação de cientistas e engenheiros através do CERN cria capital humano altamente qualificado e valorizado no mercado global.

Grandes centros científicos, como o CERN, geram impactos que vão além do retorno financeiro direto, abrangendo ganhos em visibilidade internacional, atração de talentos e capacitação científica local (Bastianin et al., 2022). Estas colaborações são essenciais não só para a ciência de ponta, mas também para o desenvolvimento de uma economia baseada no conhecimento e na literacia científica. A participação no CERN oferece benefícios amplos, atuando como catalisador de inovação, formação de talentos e diplomacia científica, confirmando o papel estratégico dessas parcerias no fortalecimento das capacidades nacionais e no posicionamento internacional dos países membros.

### 3.2. CERN: Estrutura, Missão e Colaboração Científica Internacional

O CERN (Organização Europeia para a Investigação Nuclear), fundado em 1954, é uma das maiores e mais complexas organizações científicas do mundo, localizada na fronteira franco-suíça, próximo a Genebra. O seu principal objetivo é o de conduzir investigação avançada na área da física de partículas, proporcionando uma plataforma única para a colaboração entre cientistas de todo o mundo. Ao longo dos anos, o CERN tornou-se um líder na pesquisa fundamental, focando-se em responder às questões mais fundamentais sobre o universo.

### 3.3. Missão e Governança

A criação do CERN foi um marco significativo para a ciência europeia e internacional. A convenção fundadora da organização estabelece claramente que o CERN deve promover a colaboração entre Estados Europeus em pesquisas experimentais de caráter puramente científico e fundamental, excluindo qualquer envolvimento em questões militares. O conhecimento gerado pelo CERN deve ser disponibilizado ao público em geral, sem restrições.

As quatro principais missões do CERN são resumidas em:

1. Investigação – Procurar e encontrar respostas para as questões mais fundamentais sobre o universo.
2. Tecnologia – Avançar nas fronteiras da tecnologia, tanto no desenvolvimento de novos equipamentos como em inovações para além da física de partículas.
3. Colaboração – Promover a união de nações através da ciência.
4. Educação – Formar as próximas gerações de cientistas e engenheiros.

A estrutura de governança do CERN é formada por representantes dos seus Estados-Membros, com o Conselho do CERN sendo a autoridade máxima. O Conselho é composto por dois delegados de cada um dos 24 Estados-Membros, que discutem e decidem as prioridades científicas e orçamentais da organização. Além disso, o CERN conta com diversos membros associados, que têm um papel consultivo e uma contribuição financeira menor.



O CERN emprega diretamente cerca de 2.500 pessoas, responsáveis por manter e operar as suas infraestruturas, desenvolver novos aceleradores e apoiar a análise de dados. Entre os investigadores que trabalham diretamente no CERN, muitos são doutorandos, estagiários ou investigadores em pós-doutoramento.

### 3.4. Contribuições Financeiras dos Estados-Membros: O Caso de Portugal no CERN

Cada Estado-Membro contribui financeiramente para o orçamento do CERN com base em uma fórmula que reflete o rendimento nacional líquido (RNL) médio dos últimos três anos. Esta contribuição é destinada a cobrir os custos operacionais, de manutenção e construção de infraestruturas, como o Grande Colisionador de Hadrões (LHC), o maior acelerador de partículas do mundo, bem como outros projetos experimentais em curso.

A adesão de Portugal ao CERN ocorreu em 1985, quando assinou o acordo para se tornar Estado-Membro. Este acordo entrou em vigor em 1986, marcando o início de uma colaboração importante entre Portugal e o CERN, que já gerou muitos benefícios científicos e tecnológicos para o país. Um dos aspetos financeiros mais estratégicos dessa contribuição foi o conceito de rebate, aplicado entre 1986 e 1995. Durante esse período, Portugal foi autorizado a utilizar parte de suas contribuições ao CERN em investimentos diretos em sua própria infraestrutura científica e tecnológica. Este mecanismo permitiu que Portugal desenvolvesse laboratórios, modernizasse equipamentos e oferecesse formação avançada aos seus cientistas e engenheiros, aumentando a capacidade do país de participar efetivamente nos projetos do CERN.

Essa estratégia de rebate não só aliviou os custos iniciais de adesão ao CERN, mas também proporcionou um impulso significativo ao desenvolvimento científico e tecnológico em Portugal. Ao invés de enviar 100% da sua contribuição para o CERN, Portugal reinvestiu uma parte em projetos nacionais que, a longo prazo, aumentaram a competitividade e a inovação tecnológica do país.

Segue abaixo uma tabela com as contribuições de Portugal ao CERN ao longo dos anos. Essas contribuições são proporcionais ao rendimento nacional do país, conforme definido pela fórmula aplicada a todos os Estados-Membros.

Tabela 1: Contribuições de Portugal ao CERN nos últimos 10 anos

Ano	Percentagem	Valor em Francos Suíços	Valor em Euros
2014	1.2154%	13 205 000,90 CHF	10 872 000,99 €
2015	1.1451%	12 696 000,85 CHF	11 911 000,26 €
2016	1.1436%	12 680 000,50 CHF	11 635 000,74 €
2017	1.1138%	12 473 000,65 CHF	11 233 000,31 €
2018	1.1014%	12 367 000,30 CHF	10 710 000,50 €
2019	1.0922%	12 488 000,45 CHF	11 222 000,01 €
2020	1.0879%	12 716 000,25 CHF	11 878 000,99 €
2021	1.1072%	12 942 000,75 CHF	11 973 000,34 €
2022	1.1195%	13 148 000,35 CHF	13 091 000,37 €
2023	1.1128%	13 331 000,45 CHF	13 717 000,46 €
2024	1.1060%	13 515 000,45 CHF	14 101 000,80 €

Fonte: *CERN Final Budget (2014-2024)*

Em 2024, Portugal contribuiu com 1,10606% do orçamento do CERN, totalizando 13515000,45 CHF, aproximadamente 14101000,80 €. Comparativamente, a Dinamarca contribui com 1,77%, enquanto a Roménia com 1,20%. A Alemanha é o maior contribuinte, com 20%, seguida do Reino Unido, que contribui com 14%.

Enquanto a Tabela 1 apresenta a quota anual que Portugal contribui diretamente para o orçamento geral do CERN, é igualmente importante analisar o financiamento específico destinado a projetos realizados no CERN e suportados pela FCT. Este financiamento, que complementa a quota, é direcionado a projetos científicos e tecnológicos desenvolvidos em colaboração com o CERN, refletindo o apoio do sistema nacional de ciência e tecnologia às iniciativas ligadas a esta infraestrutura de *big science*.

Durante a análise, foram identificadas diferenças entre os dados provenientes de diferentes fontes sobre o financiamento da FCT para projetos realizados no CERN. Estas diferenças surgem entre os valores reportados nos relatórios de atividade da FCT (Tabela 2) e aqueles fornecidos diretamente pela Filipa Coelho, técnica da FCT (Tabela 3).

A seguir, apresentam-se ambas as tabelas para proporcionar uma visão comparativa e ilustrar a necessidade de maior consistência e transparência na comunicação destes dados:

Tabela 2: Financiamento da FCT aos projetos realizados no CERN

Ano	Projetos Ativos	Financiamento Atribuído
2012	92	6 260 000,00 €
2013	68	5 375 000,00 €
2014	34	3 808 000,00 €
2015	53	6 288 000,00 €
2016	35	5 194 000,00 €
2017	8	1 500 000,00 €
2018	22	1 965 000,00 €
2019	16	815 000,00 €
2020	47	3 906 000,00 €
2021	52	5 366 329,00 €
2022	31	2 500 000,00 €

Fonte: Relatórios de atividade da FCT (2012-2022)

Tabela 3<sup>2</sup>: Financiamento da FCT aos projetos realizados no CERN

Ano	Projetos Ativos	Financiamento Atribuído
2011	30	3 000 000,00 €
2015	8	1 500 000,00 €
2017	17	1 386 329,00 €
2019	20	2 500 000,00 €
2021	31	2 499 999,98 €
2024	19	1 993 449,40 €

Fonte: Filipa Coelho, técnica da FCT, 2014

Independentemente dessas diferenças, a contribuição contínua de Portugal ao CERN evidencia o compromisso do país com a ciência e a colaboração internacional, demonstrando como a participação no CERN não só beneficia a ciência global, mas também fortalece a capacidade científica e tecnológica nacional.

### 3.5. Principais Infraestruturas e Projetos Futuros

O LHC<sup>3</sup> é a infraestrutura mais conhecida e poderosa do CERN, sendo também o maior acelerador de partículas do mundo, com um perímetro de 27 km. Este colisionador de

---

<sup>2</sup> A dificuldade em confirmar os dados de financiamento de forma uniforme reflete um desafio recorrente em avaliações de políticas públicas, onde a consistência e acessibilidade dos dados são essenciais para uma análise precisa. Esta situação ressalta a necessidade de práticas de gestão de dados mais transparentes e padronizadas em organizações de financiamento científico.

<sup>3</sup> O LHC é uma das maiores realizações da física moderna. Localizado a cerca de 100 metros abaixo da superfície terrestre, este acelerador de partículas é usado para colidir prótons e íons a velocidades próximas

partículas revolucionou a física moderna ao permitir a descoberta do Bosão de Higgs em 2012. O LHC é fundamental para a investigação em física de partículas de alta energia, permitindo colisões a energias nunca antes alcançadas.

Para além do LHC, o CERN está já a planear a próxima geração de aceleradores de partículas. O FCC<sup>4</sup> é um conceito para uma infraestrutura ainda mais poderosa, com um perímetro estimado entre 80 e 100 km. O FCC tem como objetivo explorar energias até 100 TeV<sup>5</sup>, muito superiores às alcançadas pelo LHC, e permitir novos avanços na compreensão das partículas subatómicas e nas interações fundamentais.

---

à da luz, recriando as condições do universo logo após o Big Bang. As suas quatro principais experiências – ATLAS, CMS, ALICE e LHCb – investigam questões fundamentais, desde a natureza da matéria escura até à origem das massas das partículas (ver imagem 1 Anexos).

<sup>4</sup> O FCC visa substituir o LHC no futuro, permitindo investigações em áreas como a matéria escura e a energia escura, com potencial para fornecer respostas a algumas das questões mais profundas da física. O FCC permitirá estudar as interações entre partículas com uma precisão sem precedentes, sendo uma infraestrutura-chave para as próximas gerações de cientistas (ver imagem 2 nos Anexos).

<sup>5</sup> TeV (Teraelétron-volt) é uma unidade de medida de energia utilizada principalmente na física de partículas. Um elétron-volt (eV) corresponde à energia adquirida por um elétron ao ser acelerado por uma diferença de potencial de 1 volt. O prefixo "tera-" indica trilhões ( $10^{12}$ ), portanto, 1 TeV é equivalente a 1 trilhão de elétron-volts. No contexto de aceleradores de partículas como o LHC (Grande Colisionador de Hádrons), as colisões ocorrem com energias na ordem dos TeV, recriando condições próximas às do Big Bang.

## 4. Benefícios Científicos e Tecnológicos da Participação de Portugal no CERN

### 4.1. Avanços Científicos e Tecnológicos: Contribuições Globais e Participação de Portugal

Ao longo dos seus 70 anos de história, o CERN consolidou-se como uma das instituições mais relevantes na ciência mundial, liderando avanços na física de partículas e em áreas multidisciplinares. Contribuições como a descoberta do Bosão de Higgs, em 2012, que confirmou o Modelo Padrão de Partículas, são marcos que transformaram o conhecimento sobre o universo. Este feito valeu o Prémio Nobel de Física em 2013 e destacou a importância do CERN para a investigação global (Teixeira & Cunha, 2023).

Outras descobertas importantes incluem as correntes neutras fracas, nos anos 1970, e os bósons W e Z, na década de 1980, que foram fundamentais para a unificação das interações eletromagnéticas (Tecnopolis, 2020). Mais recentemente, investigações sobre a simetria de Carga e Paridade (CP) em 2019 abriram novas perspetivas sobre as propriedades de matéria e antimatéria (Teixeira & Cunha, 2023).

Portugal, membro do CERN desde 1986, tem desempenhado um papel significativo em colaborações de grande impacto, como o ATLAS e o CMS, dois dos principais detetores do Grande Colisionador de Hadrões (LHC). Estes projetos foram cruciais para a descoberta do Bosão de Higgs e continuam a explorar fenómenos fundamentais da física de partículas. Iniciativas futuras, como o High-Luminosity LHC (HL-LHC) e o Future Circular Collider (FCC), prometem ampliar ainda mais os horizontes da ciência e colocar Portugal numa posição de destaque (Apollinari et al., 2017; CERN, 2019).

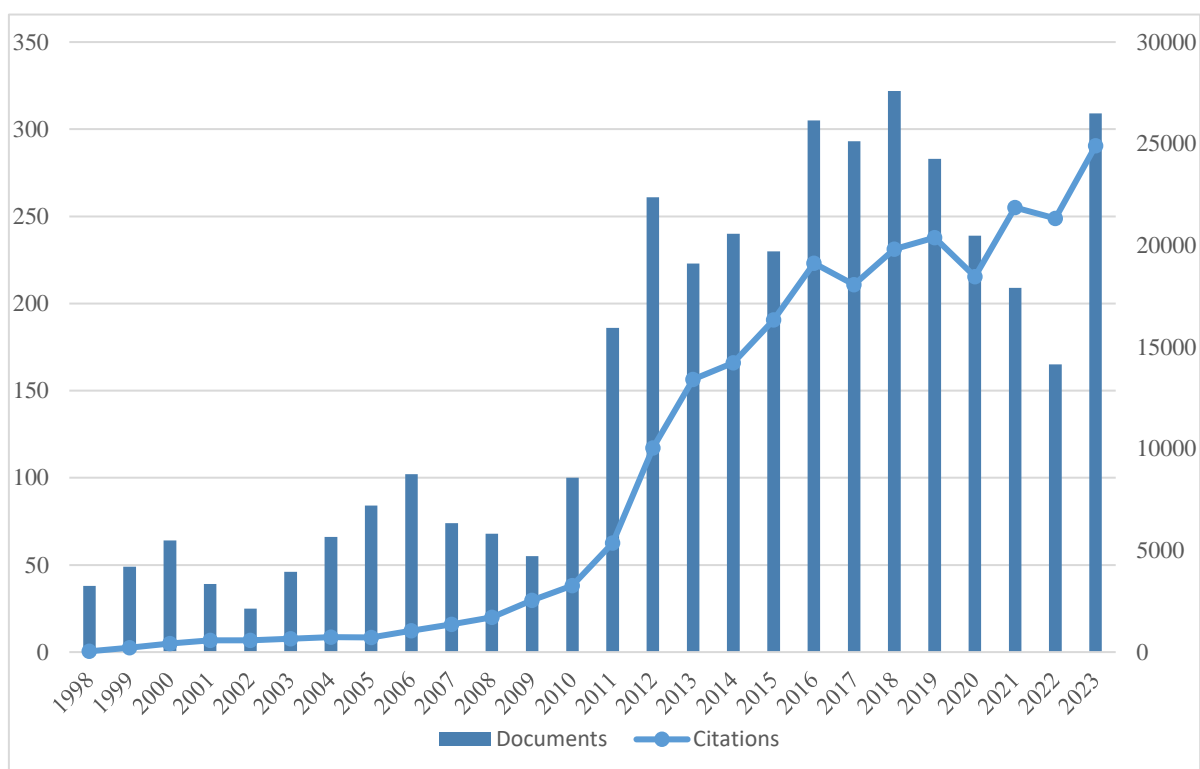
Como sublinhou Mário Pimenta: “Estes projetos de grande escala exigem décadas de planeamento e uma estrutura sólida, apoiada em competências científicas robustas e visão estratégica” (comunicação pessoal, 2024).

### 4.2. Produção Científica e Impacto Global

A colaboração com o CERN tem gerado uma produção científica significativa, com mais de 42.000 (42, 338) artigos publicados entre 1993 e 2023, representando 5% da produção global em física de partículas e astronomia. No mesmo período, foram publicados cerca de 4.000 (4, 241) publicações em parceria com cientistas portugueses.

Além da quantidade, a qualidade das publicações destaca-se, os artigos resultantes das colaborações com o CERN são consistentemente mais citados do que os de colaborações nacionais. Entre 1998 e 2023, os investigadores portugueses publicaram 3.981 documentos, que geraram 261.756 citações, resultando num h-index de 191. Este desempenho evidencia o impacto duradouro e a relevância das colaborações entre Portugal e o CERN.

Gráfico 1: Gráfico da evolução dos Documentos e Citações ao Longo do Tempo

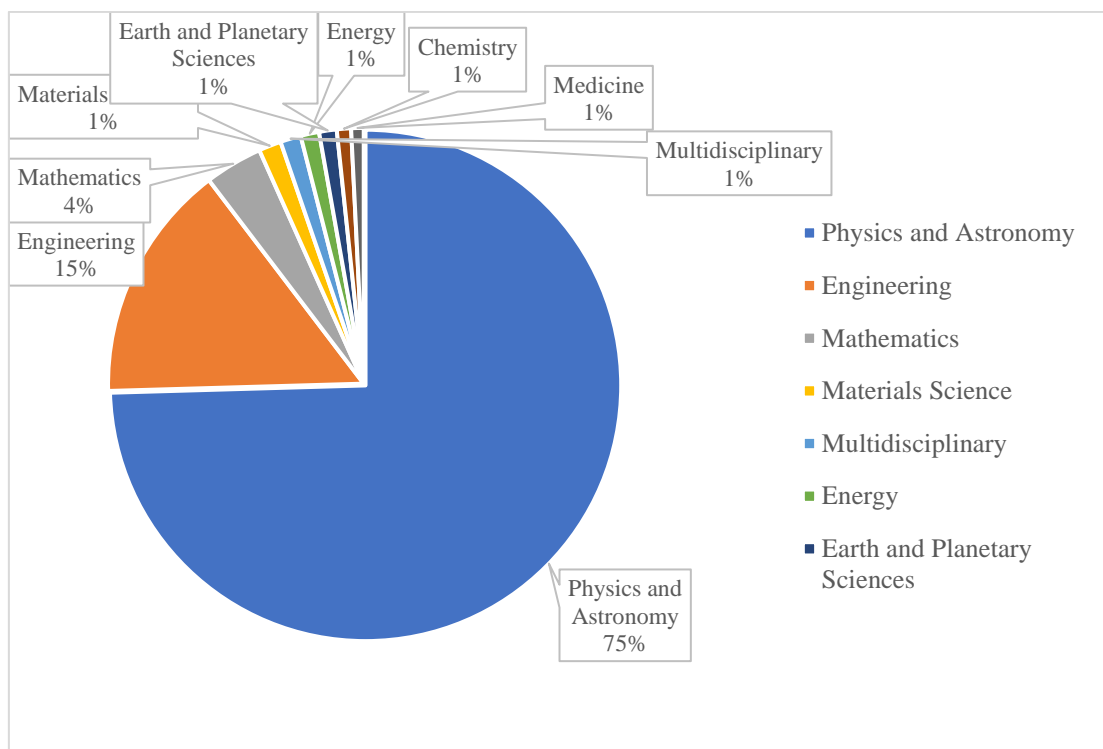


Fonte: Dados extraídos de Scopus, com base nas buscas descritas no Anexo 3

#### 4.3. Contribuições Interdisciplinares e Multidisciplinares

A análise das publicações científicas reflete a natureza interdisciplinar das colaborações com o CERN. A maioria das pesquisas concentra-se em Física e Astronomia (75%), seguidas por Engenharia (15%) e Matemática (4%). Estas áreas demonstram o impacto científico e tecnológico das investigações, que vão além da física de partículas para influenciar áreas como ciência dos materiais, energia e tecnologias médicas.

Gráfico 2: Distribuição das Publicações por Área de Estudo



Fonte: Dados extraídos de Scopus, com base nas buscas descritas no Anexo 3

O gráfico demonstra que a predominância da Física e Astronomia está alinhada com o foco central do CERN na física de partículas. Contudo, a presença significativa de Engenharia e Matemática indica a aplicação prática do conhecimento em áreas como design de detetores, análise de dados e desenvolvimento de tecnologias avançadas. Este equilíbrio interdisciplinar destaca o papel do CERN como um espaço de inovação tecnológica, onde investigadores de diferentes áreas colaboram para alcançar objetivos comuns.

Esta diversidade de áreas de estudo reflete não apenas as competências multidisciplinares dos cientistas portugueses, mas também a capacidade do CERN de integrar avanços científicos em aplicações práticas que beneficiam setores como a indústria, saúde e energia.

Portugal também tem desempenhado papéis de destaque em projetos inovadores, como o LHCb, que recentemente descobriu novas partículas exóticas, incluindo pentaquarks e tetraquarks (CERN, 2022). Estes avanços não apenas expandem os limites da física de

partículas, mas também fortalecem a reputação de Portugal como um contribuinte relevante para a ciência internacional (ver imagem 3 nos Anexos).

#### 4.4. Tecnologias de Ponta E Formação Avançada e Retorno Económico

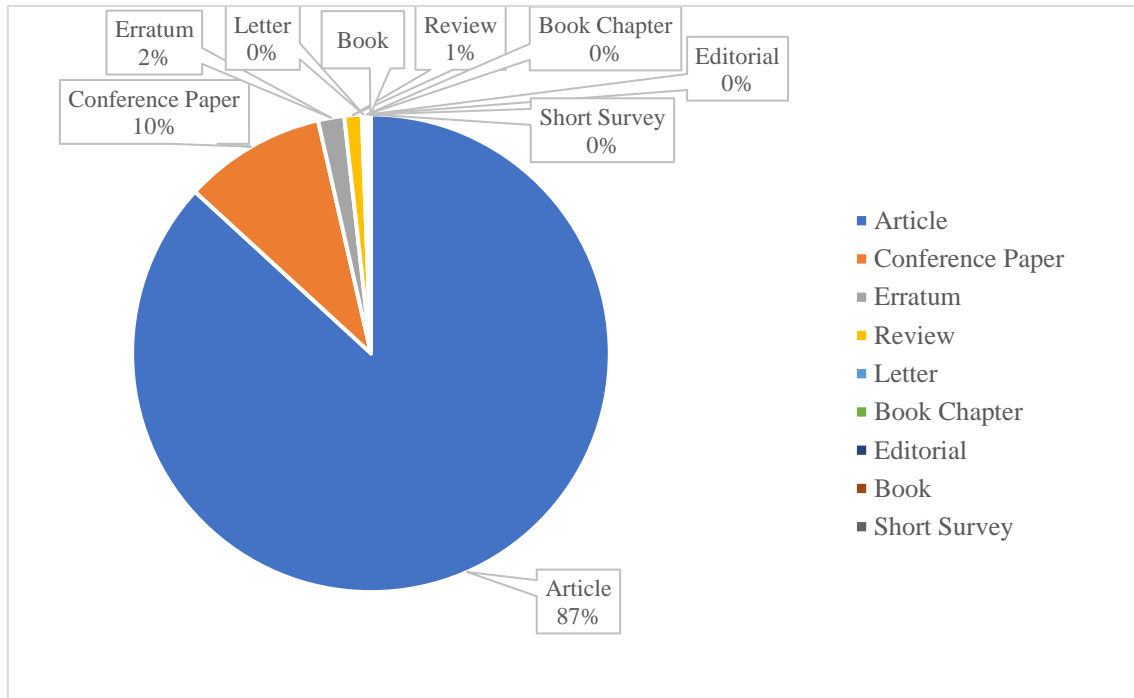
A participação no CERN proporciona aos cientistas portugueses acesso privilegiado a infraestruturas avançadas, tecnologias de ponta e oportunidades de formação em projetos de grande escala. Em 2023, 302 portugueses estavam envolvidos em atividades do CERN, dos quais 32% trabalham em Portugal e 68% a trabalhar fora do país (Teixeira & Cunha, 2023; LIP, 2023).

O ambiente internacional do CERN, descrito por muitos como altamente colaborativo e inovador, permite aos investigadores portugueses expandirem as suas competências e contribuírem para projetos de ponta. Como afirmou Mário Pimenta: “O CERN é uma janela aberta para horizontes que não seriam possíveis em Portugal” (comunicação pessoal, 2024).

Além dos benefícios científicos, o CERN também gera impacto económico. O valor das remunerações pagas aos investigadores portugueses supera a contribuição anual de Portugal à organização, evidenciando o retorno positivo desta parceria. A Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) desempenha um papel essencial ao financiar a participação de investigadores em projetos experimentais, bolsas de investigação e estágios no CERN.

Gráfico 3: Distribuição dos Tipos de Publicação





*Fonte: Dados extraídos de Scopus, com base nas buscas descritas no Anexo 3*

A análise dos tipos de publicações revela que 87% dos documentos são artigos científicos, refletindo o foco na produção de conhecimento validado através de revisões por pares. Este dado é especialmente significativo, pois os artigos revisados por pares são o principal veículo para a disseminação de resultados científicos de alta qualidade.

Além disso, observa-se uma diversidade de formatos, incluindo comunicações em conferências, revisões e capítulos de livros. Estas publicações complementam os artigos científicos, permitindo a difusão do conhecimento em contextos mais amplos, como eventos académicos e manuais técnicos. Este equilíbrio entre rigor científico e acessibilidade destaca a relevância das colaborações do CERN para diferentes públicos e finalidades.

#### 4.5. O Papel do LIP e a Colaboração com Outras Infraestruturas de Investigação

O Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP) tem sido fundamental para a coordenação da participação portuguesa no CERN. Com polos em Lisboa, Coimbra e Minho, o LIP assegura que o país continue a beneficiar das colaborações com o CERN e outros centros de *big science*, como o European Southern ESO e a ESA.

Além de coordenar a participação em experiências como o ISOLDE, o LIP tem contribuído para a formação de recursos humanos altamente qualificados e para o fortalecimento da infraestrutura científica nacional. Estas iniciativas colocam Portugal numa posição estratégica para futuras colaborações internacionais, reforçando a sua presença no cenário global da ciência e da tecnologia.

## 5. Benefícios e Impactos Relacionados a Inovação

### 5.1. Inovações Tecnológicas do CERN e Suas Aplicações na Indústria e Saúde em Portugal

A tecnologia desenvolvida pelo CERN encontrou uma aplicação ampla tanto na investigação como na indústria portuguesa. Os avanços científicos realizados no CERN exigem o desenvolvimento de tecnologias avançadas nas principais áreas das suas instalações, como aceleradores e detetores, além de infraestruturas de apoio, como computação em GRID, microeletrónica, análise de dados, aprendizagem automática, modelagem e robótica. Essas tecnologias, inicialmente desenvolvidas para o CERN, são frequentemente adaptadas para uso em outros países e instituições de investigação. Um exemplo emblemático é a *World Wide Web* (WWW), inicialmente criada no CERN, que desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento da internet, revolucionando a comunicação global e a troca de informações. As tecnologias desenvolvidas no CERN não só fornecem a base para inovações amplamente utilizadas, como também geram efeitos transformadores, trazendo benefícios sociais e económicos significativos para Portugal e o mundo.

A *World Wide Web* é o exemplo mais conhecido de uma tecnologia desenvolvida no CERN que teve um impacto transformador. Segundo o Banco Mundial, a economia digital como um todo, da qual a WWW é uma componente chave, contribui com mais de 15% do PIB global, crescendo duas vezes e meia mais rápido do que o PIB da economia física na última década (*World Economic Forum, 2022*). Porém, existem muitas outras, tais como:

- Protocolo HTTP: Estabelece como as mensagens são formatadas e transmitidas pela web, tendo sido implementado pela primeira vez com sucesso em redes de computadores instaladas no CERN.
- Ferramentas de software como GEANT, ROOT, PAW e FLUKA: Estas ferramentas são utilizadas em física de partículas e em outras áreas de investigação, como ciências espaciais, medicina e aviação.
- Tecnologia de radioterapia de última geração: Utiliza feixes de hádrons ao invés de raios X para atingir e destruir tumores, causando menos danos aos tecidos saudáveis e menos efeitos colaterais.

Um exemplo de aplicação destas tecnologias em Portugal é o desenvolvimento de equipamentos de imagem clínica e pré-clínica para Tomografia por Emissão de Positrões (PET), baseados na tecnologia de Câmaras de Placas Resistivas (RPC) desenvolvida pelo CERN. Em colaboração com o LIP, Portugal construiu um tomógrafo PET inovador para imagem cerebral de alta resolução. Este equipamento representa um avanço significativo na precisão diagnóstica em neurologia, permitindo a deteção precoce e o tratamento de condições como tumores cerebrais (ver imagem 4 nos Anexos). Estes projetos demonstram os efeitos multiplicadores da colaboração com o CERN, beneficiando tanto a economia como o desenvolvimento científico e tecnológico de Portugal. Os avanços prometem maior precisão, acessibilidade e eficácia no diagnóstico e tratamento de doenças, beneficiando pacientes e profissionais de saúde em Portugal e a nível global.

“A participação de Portugal nas experiências conduzidos pelo CERN representa um marco significativo para a medicina no nosso país. A colaboração entre cientistas portugueses e instituições como o CERN abre portas para avanços revolucionários na tecnologia médica, especialmente na área de imagem médica.” Andreia Maia Oliveira

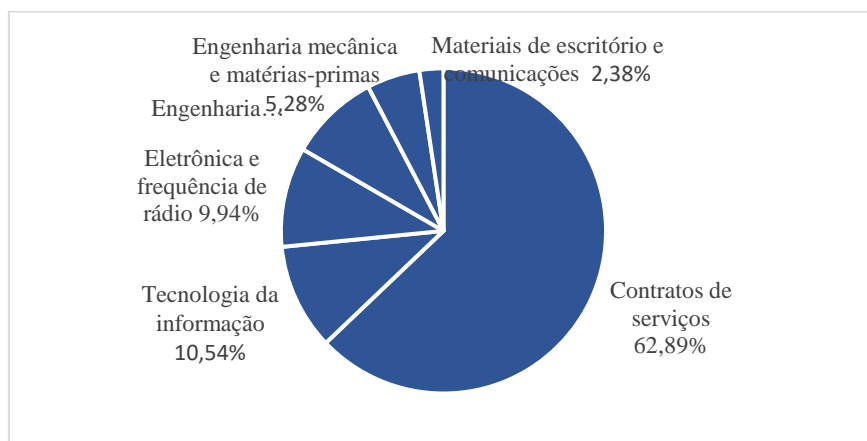
O CERN mantém um mercado tecnológico extremamente competitivo e exigente. As indústrias portuguesas têm acesso a este mercado através do apoio do ILO (*Industrial Liaison Officer*), localizado nas instalações da ANI (Agência Nacional de Inovação). Os fornecimentos de bens e serviços abrangem áreas como tecnologias de informação e comunicação, metalomecânica e mecânica de precisão, engenharia elétrica, eletrónica,

consultoria técnica e controlo de qualidade. Entre 2014 e 2021, Portugal forneceu ao CERN bens no valor total de cerca de 14 M€, aproximadamente 1,8 M€ por ano (CERN Procurement Report).

## 5.2. Oportunidades para Empresas Portuguesas e Impacto da Adesão de Portugal ao CERN no Desenvolvimento Tecnológico

A adesão de Portugal ao CERN proporciona às empresas portuguesas a oportunidade de firmar contratos para o fornecimento de bens e serviços às instalações do CERN. Além disso, grupos de pesquisa que desenvolvem projetos para o CERN podem estabelecer parcerias ou contratar empresas como parte dos seus projetos. Em 2021, um total de 13 empresas portuguesas firmaram contratos com o CERN, obtendo um lucro de 1,448 M€ para o fornecimento de componentes e equipamentos eletrotécnicos, serviços de software, design e engenharia, entre outros (CERN Procurement Report, 2021).

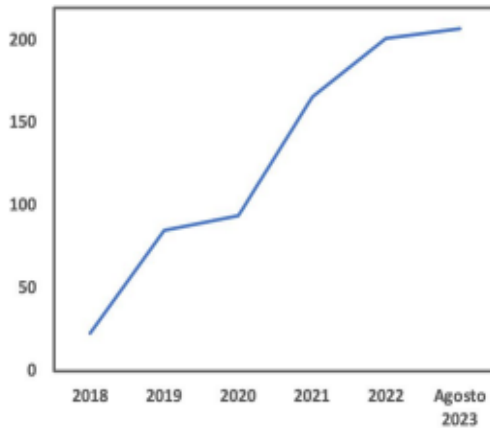
Gráfico 4: Distribuição de contratos adjudicados a Portugal em 2021



Fonte: CERN Procurement Report 2021

Apesar de o fornecimento de bens e serviços por parte das indústrias portuguesas ter sido residual em alguns anos, estes contratos trazem benefícios muito além das receitas adicionais. Eles apoiam a contratação de profissionais com formação avançada, como mestres e doutores, facilitam a aquisição de conhecimento científico avançado, qualificam os quadros e aumentam o reconhecimento internacional, o que é decisivo na disputa por mercados internacionais.

Gráfico 5: Registos de Portugal na base de dados de fornecedores do CERN



*Fonte: LIP, 2023*

Nos últimos anos, verificou-se um aumento significativo no número de empresas portuguesas registadas como fornecedoras do CERN. Este crescimento é ilustrado no gráfico abaixo, que mostra o aumento de registos de fornecedores portugueses na base de dados do CERN entre 2018 e agosto de 2023. Este aumento reflete a expansão das oportunidades de negócios para as empresas portuguesas, que têm conseguido fortalecer a sua presença no CERN, resultando em mais contratos e colaboração com a organização.

Estes contratos podem também resultar na criação de novos produtos e serviços para o mercado português, fruto dos exigentes requisitos das instalações de última geração do CERN. Algumas empresas portuguesas que participaram no inquérito relatam ter observado melhorias nos seus produtos e serviços, assim como na reputação das suas empresas. Estas empresas também lançaram novos serviços e fizeram sugestões a Portugal sobre como apoiar ainda mais as suas empresas na participação no CERN, conforme detalhado na caixa de texto que se segue:

“A expertise e a experiência adquiridas permitiram-nos desenvolver produtos para outros mercados internacionais.”

“Para a nossa empresa, a parceria entre Portugal e o CERN é de extrema importância. Esta colaboração permite o acesso a conhecimento científico de ponta, a participação em projetos de investigação de alto nível e o desenvolvimento de tecnologias inovadoras. Além disso, a parceria com o CERN contribui para fortalecer a reputação internacional da nossa empresa e abrir portas para oportunidades de negócio em mercados internacionais. A colaboração com o CERN é essencial para impulsionar a inovação, a competitividade e o crescimento da nossa empresa no mercado global.”

“Só o nome CERN atrai quadros qualificados portugueses e internacionais, pois dá-nos a reputação e imagem de uma empresa competente, estável e atrativa para se trabalhar, além de atrair também clientes internacionais nos setores de ciência e tecnologia.”

“A necessidade de inovação e o aprimoramento das competências ao nível de maquinaria de novas matérias primas como tântalo, molibdênio e macor, melhorou as capacidades de diversos setores do nosso negócio. Trabalhar com um parceiro com altos níveis de exigência em termos de produto levou a implementação de *standards* de teste qualificados e a *feedbacks* cada vez mais positivos do desempenho dos nossos produtos altamente qualificados.”

“Colaborar com o CERN coloca os nossos investigadores ao mesmo nível dos europeus que quando podem, divulgam e trabalham com algumas empresas portuguesas.”

“A oportunidade de colaborar com uma instituição de renome internacional, como o CERN, foi extremamente enriquecedora para a nossa equipa, proporcionando um ambiente de aprendizagem, troca de conhecimentos e promoveu discussões técnicas produtivas em termos da definição de requisitos de produto.”

“Creio que Portugal não exerce o a sua força para ajudar as PME's capacitadas para trabalhar com o CERN, na minha opinião Portugal poderia implementar programas de capacitação específicos para atividades intensivas em tecnologia, oferecer subvenções e linhas de crédito favoráveis, organizar mais eventos de *networking* e formação de consórcios entre PME's.”

“A colaboração com o CERN exigiu que a nossa empresa adaptasse as tecnologias de produção existentes e adotasse novos processos de manufatura para alcançar os altos padrões de precisão e qualidade exigidos. Essa experiência levou-nos a desenvolver competências industriais especializadas, como o domínio de materiais de alta resistência e a aplicação de metodologias rigorosas de teste e validação. Como resultado, conseguimos não só atender ao CERN, mas também melhorar significativamente a nossa competitividade no mercado internacional.”

### 5.3. Impacto da Contribuição Financeira e Participação de Portugal no CERN: Inovação Tecnológica, Competitividade e Crescimento a Longo Prazo

A participação de Portugal no CERN, embora represente apenas 1% do orçamento total da organização, tem tido um impacto significativo na inovação e no desenvolvimento tecnológico do país. O financiamento das atividades do CERN permite que cientistas e engenheiros portugueses acedam a infraestruturas de pesquisa avançada e se envolvam em projetos científicos de grande escala, como o desenvolvimento de novos equipamentos médicos.

Uma das inovações desenvolvidas pelo CERN com aplicação em Portugal, além da tecnologia *PET*, é a tecnologia *Medipix*. Esta tecnologia tem sido utilizada em sistemas de imagem por raio-X digital, como em mamografias e autoradiografias de amostras biológicas. Recentemente, permitiu o desenvolvimento de imagens de raio-X em 3D a cores, proporcionando uma nova dimensão na precisão de diagnósticos médicos. Este avanço sublinha os benefícios multiplicadores da colaboração com o CERN, impulsionando o desenvolvimento científico e tecnológico de Portugal.

Esses desenvolvimentos tecnológicos frequentemente encontram aplicações em setores além da saúde, como energia e tecnologias da informação, impulsionando a inovação em diversas áreas da economia. Além disso, os engenheiros e cientistas que participam destes projetos ganham competências técnicas e experiências que elevam o nível científico do país.

As contribuições financeiras de Portugal ao CERN são, portanto, investimentos estratégicos que garantem a participação do país nas principais infraestruturas de pesquisa globais. Esse acesso é essencial para a internacionalização da ciência portuguesa e fortalece a sua posição nas redes de colaboração global.

Além dos avanços científicos, participar das infraestruturas do CERN permite que Portugal influencie decisões importantes no campo da física de partículas, beneficiando-se diretamente dos avanços tecnológicos e científicos gerados. Isso também facilita colaborações com cientistas e engenheiros de todo o mundo, enriquecendo o intercâmbio de conhecimento e a inovação no país.

Embora a contribuição de Portugal ao CERN seja de apenas 1%, os retornos são significativamente maiores. Esse benefício ocorre devido ao acesso a um mercado internacional muito mais amplo, ao desenvolvimento de novas tecnologias e à credibilidade adquirida por empresas que fornecem para o CERN. "O CERN não é apenas uma fonte de contratos, mas também um certificador de qualidade," destacou Mário Pimenta. Empresas que fornecem produtos e serviços ao CERN são vistas como altamente competentes no mercado internacional.

Um exemplo disso é uma empresa portuguesa especializada em cabos elétricos, que ao ganhar um contrato significativo com o CERN, não só aprimorou suas capacidades tecnológicas, como também abriu portas para outros mercados internacionais. Essa relação de reciprocidade transforma a participação de Portugal no CERN em uma oportunidade para crescimento de longo prazo, desenvolvimento de competências e aumento da competitividade no cenário global.

#### 5.4. A Contribuição da Metalomecânica Portuguesa no High Luminosity LHC: Excelência, Inovação e Impacto Global

Estudo de Caso: A Participação da Metalomecânica Portuguesa no Projeto *High Luminosity LHC* do CERN

Em junho de 2024, uma empresa metalomecânica portuguesa celebrou um contrato significativo com a Organização Europeia para a Investigação Nuclear (CERN) para a produção de quatro reservatórios de armazenamento de hélio. Este contrato, avaliado em 1,5 milhões de euros, faz parte do projeto *High Luminosity Large Hadron Collider* (HL-LHC), que visa aumentar a capacidade do maior acelerador de partículas do mundo, permitindo novas descobertas científicas. Esta empresa já tinha anteriormente fornecido tanques para o armazenamento de hélio líquido para a experiência ATLAS em 2010.

Fundada em 1980 e sediada em Portugal, a empresa é uma referência no setor metalomecânico, especializada na fabricação de recipientes sob pressão. Com mais de 100 colaboradores e duas unidades industriais, exporta para mais de 60 países e atua em diversos setores, incluindo *Oil & Gas*, Química, Indústria Alimentar, Cerâmica e Cimenteira.



O Projeto *HL-LHC* consiste num anel de 27 km situado perto de Genebra, na fronteira entre a França e a Suíça. Este acelerador de partículas permite aos cientistas estudar partículas subatómicas e as forças fundamentais do universo. O projeto *HL-LHC* visa melhorar o desempenho do LHC a partir de 2025, explorando todas as suas potencialidades em 2029. Para isso, serão introduzidas novas configurações e tecnologias que aumentarão significativamente os picos dinâmicos de calor, tornando crucial o controlo eficaz da temperatura do acelerador.

Contribuição da Metalomecânica Portuguesa: A empresa portuguesa foi responsável pela produção de quatro reservatórios de hélio, cada um com 28 metros de comprimento, 250 metros cúbicos de volume e 70 toneladas de peso. Estes reservatórios são essenciais para o arrefecimento do *LHC*, permitindo que o acelerador mantenha a temperatura extremamente baixa necessária para o seu funcionamento adequado (-271,3°C). Dois dos reservatórios já foram enviados para a Suíça, estando os restantes destinados à França.

Impacto e Importância do Projeto: A participação nesta segunda colaboração com o CERN reforça a posição da empresa portuguesa como uma referência mundial no setor metalomecânico, contribuindo para importantes avanços científicos. O projeto *HL-LHC* é crucial para as futuras pesquisas no CERN, permitindo um aumento significativo no número de colisões de partículas por segundo, o que é essencial para novas descobertas científicas.

Esta colaboração exemplifica a capacidade das empresas portuguesas de participar em projetos de alta tecnologia e importância global. A produção dos reservatórios de hélio é vital para o sucesso do *HL-LHC*, demonstrando a excelência e inovação da indústria metalomecânica portuguesa. Este estudo de caso sublinha o papel fundamental desta contribuição na modernização do maior acelerador de partículas do mundo, possibilitando avanços científicos que poderão redefinir o nosso entendimento do universo.

## 6. Benefícios e Impactos Relacionados as Competências

## 6.1. Formação e Desenvolvimento de Competências no CERN para Investigadores e Empresas Portuguesas

A tecnologia de avançada e o ambiente internacional do CERN proporcionam um espaço inspirador de formação para trabalhadores e investigadores nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática. Investigadores que utilizam as instalações do CERN, bem como as empresas fornecedoras de bens e serviços, adquirem conhecimentos avançados e desenvolvem competências através do trabalho prático e da troca de conhecimento com colegas de várias partes do mundo. Mário Pimenta destaca que "participar no CERN é uma porta aberta para investigadores portugueses entrarem na vanguarda do conhecimento e nas tecnologias associadas, desenvolvendo competências em áreas de ponta como detetores óticos de partículas e supercondutividade". Complementando essa visão, Conceição Abreu acrescenta que "a colaboração com o CERN tem sido de grande ajuda na formação das novas gerações de cientistas na área do conhecimento da física de partículas e áreas associadas, quer do ponto de vista experimental, quer teórico".

Mário Pimenta destaca que "participar no CERN é uma porta aberta para investigadores portugueses entrarem na vanguarda do conhecimento e nas tecnologias associadas, desenvolvendo competências em áreas de ponta como detetores óticos de partículas e supercondutividade".

O CERN oferece uma variedade de programas de formação, com durações que variam entre oito semanas e vários anos, destinados a estudantes de investigação desde a licenciatura até ao doutoramento, assim como a investigadores profissionais em estágios mais avançados das suas carreiras. Além disso, os estudantes podem obter os seus doutoramentos com base em trabalhos realizados no CERN. Andreia Maia Oliveira destacou que "estas iniciativas enriqueceram o meu conhecimento em prototipagem, eletrónica, hardware, software e análise de dados, sendo este projeto o impulsor do meu doutoramento na Universidade de Berna" (Andreia Maia Oliveira, comunicação pessoal).

Os programas de verão do CERN oferecem aos estudantes uma oportunidade única de imersão num ambiente de investigação de última geração. Estes programas, que variam de quatro a doze semanas, permitem que os alunos trabalhem diretamente com cientistas

líderes e participem em projetos avançados em física, engenharia e tecnologia da informação. Durante o programa, os estudantes assistem a palestras ministradas por especialistas do CERN e de instituições parceiras, visitam instalações de última geração, como aceleradores de partículas e detetores, e colaboram com colegas de diversas partes do mundo. Este ambiente multicultural e altamente especializado promove uma troca rica de conhecimentos e experiências.

A colaboração de Portugal com o CERN não se limita apenas a investigadores e empresas. Uma das vertentes mais enriquecedoras desta parceria é a formação de jovens estudantes, que têm a oportunidade de entrar em contacto direto com a ciência avançada através de diversos programas educacionais e de divulgação científica. Estes programas proporcionam uma experiência imersão no ambiente internacional do CERN, oferecendo aos alunos portugueses o acesso a infraestruturas de investigação avançadas e a interação com especialistas mundialmente reconhecidos. Este envolvimento é particularmente importante para Portugal, uma vez que permite não só o desenvolvimento de competências técnicas, mas também o estímulo de vocações científicas, fomentando assim a próxima geração de cientistas e engenheiros.

A participação nestes programas é particularmente valiosa para Portugal. Desde 2005, Portugal organiza masterclasses internacionais em Física de Partículas promovidas pelo *Physics Outreach Group* (IPPOG), uma colaboração internacional baseada no CERN, destinada principalmente a alunos do 10.º, 11.º e 12.º anos, com idades entre 15 e 18 anos, especialmente motivados pelas disciplinas de Física. Todos os anos, muitas turmas de escolas secundárias portuguesas visitam o CERN por meio desta iniciativa. Em 2019, foram realizadas 47 visitas ao CERN, abrangendo 1607 estudantes e professores (Teixeira & Cunha, 2023). Os alunos portugueses que participam dos programas de verão do CERN têm a oportunidade de desenvolver competências técnicas avançadas, estabelecer conexões importantes para as suas futuras carreiras científicas e inspirarem-se ao terem um primeiro contacto com a Física Avançada. Maria Girone, chefe do CERN *openlab*, destacou que "os programas de verão do CERN dão aos estudantes a oportunidade de trabalhar com especialistas líderes, estabelecer laços com a indústria e ganhar novas competências" (CERN openlab, 2023). Além disso, o interesse por seguir uma carreira em física pode começar ainda na escola primária. Grandes infraestruturas de investigação, como o CERN, são ambientes

educacionais ideais para inspirar esses futuros cientistas, fornecendo oportunidades de interação com conceitos científicos avançados através de experiências práticas" (Nantsou & Tombras, 2022).

Até 2023, a FCT havia financiado 72 bolsas de estágio para investigadores portugueses no CERN, e Portugal contava com 302 profissionais envolvidos nas atividades do CERN, dos quais 32% trabalhavam em Portugal e 68% em outros países, onde desenvolveram as suas competências e conhecimentos (FCT; LIP, 2023). Cerca de 60 empresas portuguesas tiveram interações com o CERN através de contratos entre 1990 e 2023.

A interação com o CERN proporciona uma ampla gama de conhecimentos e competências, incluindo competências técnicas, científicas e digitais, além de gestão de projetos, trabalho em equipas multilaterais e internacionais, conscientização cultural, resolução de problemas e melhorias de processos. Segundo o Modelo de Competências do CERN, essas experiências são estruturadas para promover o desenvolvimento contínuo e o excelente desempenho de seus colaboradores. Participar de programas no CERN tem demonstrado melhorar significativamente essas capacidades nos indivíduos envolvidos, refletindo um desenvolvimento abrangente em várias áreas cruciais para inovação e colaboração global. Além disso, um estudo publicado no CERN *IdeaSquare Journal of Experimental Innovation* destaca que a aprendizagem experiencial em equipas multidisciplinares desenvolve competências essenciais para o século XXI, incluindo a resolução de problemas complexos e a adaptação a ambientes multiculturais. Como aponta o testemunho de uma estudante de eletrônica e nanotecnologia: "A principal lição que aprendi com o *The CERN Experimental Programme* foi a de adaptar e sobreviver. Teorizar e planejar é algo muito bonito e uma ferramenta excelente, mas a realidade raramente segue o plano. E, honestamente, sinto que cresci enormemente como profissional graças a esse *skill* em particular. Agora, sinto muito menos medo de entrar em uma empresa e ser encarregado de resolver algum problema que nunca enfrentei antes. Não importa o que seja, sei que posso me adaptar, sobreviver e encontrar algum tipo de solução." (Figueiredo et al., 2022).

Monetizando o valor destas competências, considerando o salário adicional que pode ser obtido por jovens investigadores que colaboraram com o CERN, os resultados sugerem que esses jovens em Portugal beneficiaram de um "prémio salarial" extra de 26,64

milhões de euros (a preços de 2024) só na última década. Espera-se que eles beneficiem deste aumento de 12% no salário (em média) pelo resto das suas carreiras (Payscale; Glassdoor).

## 6.2. Impacto das Competências Desenvolvidas no CERN nas Carreiras e na Economia Portuguesa

Os conhecimentos e competências adquiridos através da interação com o CERN são aplicáveis numa variedade de campos, tanto relacionados com a ciência e engenharia como em áreas fora dessas disciplinas, apoiando um aumento na qualidade, produtividade e valor da investigação em Portugal e na economia de forma mais ampla.

Os profissionais formados no CERN destacam-se em posições de liderança em várias áreas tecnológicas, devido ao sólido domínio que adquirem na análise quantitativa de grandes volumes de dados científicos. Nos últimos anos, tem-se observado uma transição de estudantes das áreas de física de partículas para áreas como física médica, engenharia biomédica e ciências de dados. Além disso, há uma migração crescente de alunos da física de partículas para setores como serviços financeiros, terapia de prótons e desenvolvimento de software, aplicando as competências transferíveis adquiridas no CERN. Esta migração é ilustrada pela colaboração do CERN com especialistas em vigilância de mercado para desenvolver técnicas de deteção de manipulação financeira e pela aplicação de tecnologias de física de partículas em tratamentos médicos avançados, como a terapia de prótons (Tecnopolis. 2020). Para além das competências técnicas, a experiência no CERN também promove o desenvolvimento de atitudes interculturais e competências de comunicação, que são altamente valorizadas em diversas indústrias

“Ao longo dos últimos 70 anos, as tecnologias desenvolvidas no CERN, inicialmente voltadas para resolver desafios técnicos e de computação, transcenderam a física de partículas e foram aplicadas globalmente, influenciando áreas como a medicina, a computação e os serviços financeiros” (Forrester, 2024).

Embora não tenha sido possível obter dados específicos sobre as carreiras subsequentes de estudantes e profissionais portugueses que passaram pelo CERN, sabe-se que, de forma geral, muitos seguem carreiras diversificadas em setores como pesquisa científica, tecnologia da informação, engenharia e finanças. As competências adquiridas no CERN, como gestão de grandes volumes de dados, resolução de problemas complexos e trabalho em equipas internacionais, são altamente valorizadas em várias

indústrias e ajudam a impulsionar o desenvolvimento de suas carreiras em diferentes áreas.

De acordo com o estudo de T. Camporesi (2001) no *European Journal of Physics*, muitos estudantes que participaram do experimento Delphi no CERN seguiram carreiras em setores variados, incluindo pesquisa, ensino, tecnologia da informação, alta tecnologia, negócios e gestão. O estudo mostra que cerca de 50% dos estudantes eventualmente deixam a pesquisa para trabalhar em setores privados de rápido desenvolvimento nas suas economias nacionais. As habilitações valorizadas pelo setor privado incluem a capacidade de trabalhar efetivamente em grandes equipas, resolver problemas complexos, exposição a tecnologias muito avançadas e familiaridade com técnicas de computação e manipulação de grandes volumes de dados.

O pessoal altamente treinado e experiente que emerge do emprego, da formação e das interações com o CERN pode ser de grande valia na economia portuguesa. A escassez de competências *STEM* comunicada pelas empresas portuguesas pode ser mitigada através da colaboração com o CERN, que oferece uma fonte rica de talentos com conhecimentos avançados. Segundo o estudo "*Talent Shortage Survey 2023*" realizado pelo ManpowerGroup, 84% dos empregadores em Portugal relatam dificuldades em encontrar candidatos com as competências necessárias. Esta escassez é particularmente acentuada em setores como tecnologia da informação, finanças, saúde e engenharia, áreas que se beneficiam diretamente das competências desenvolvidas no CERN (ECO, 2023).

As competências adquiridas através da experiência no CERN, especialmente no manejo de grandes volumes de dados e em tecnologias avançadas, são extremamente valorizadas e tornam os profissionais altamente desejáveis no mercado de trabalho. Esses jovens investigadores, tendo adquirido experiência no CERN e desenvolvido um vasto conjunto de competências, podem preencher as lacunas da economia portuguesa e contribuir significativamente para o seu crescimento em áreas como tecnologia da informação, finanças, saúde e engenharia. A necessidade desse talento só tende a crescer à medida que a transformação digital e a inovação tecnológica continuam a avançar.

A interação e a formação no CERN equipam os profissionais com um conjunto de competências amplamente aplicáveis e altamente valorizadas em várias indústrias. Essa transferência de conhecimento e habilidades não só responde às necessidades urgentes

do mercado de trabalho português, particularmente em setores *STEM*, como também contribui significativamente para o avanço tecnológico e económico do país. Ao continuar a fomentar essa colaboração, Portugal pode mitigar a escassez de competências e promover um ambiente de inovação e crescimento sustentado.

### 6.3. Visibilidade Global do CERN

O CERN é conhecido tanto pela comunidade científica e pelo público em geral pela sua investigação em física de partículas no *LHC*, uma fama que foi amplamente promovida pela descoberta do bóson de Higgs em julho de 2012. Este trabalho não só originou um dos artigos mais citados em física de partículas, com mais de 8000 citações até agosto de 2024, de acordo com a base de dados bibliográfica Scopus, como também resultou na atribuição de um Prémio Nobel de Física em 2013, recebendo grande atenção dos meios de comunicação social.

A crescente visibilidade e o envolvimento com o website do CERN refletem a importância global das suas atividades científicas. De 2022 a 2023, registou-se um aumento significativo no número total de visitas ao website do CERN, de 5 milhões para 13,7 milhões, apesar de uma redução no número de visitantes únicos, de 5 milhões para 3,5 milhões (CERN, 2022; CERN, 2023). Isso indica que, embora o número de visitantes únicos tenha diminuído, o envolvimento dos visitantes aumentou, resultando em mais visitas por utilizador. Este aumento pode ser atribuído aos avanços contínuos na pesquisa em física de partículas e ao envolvimento digital aprimorado, que inclui programas educacionais, palestras públicas e conteúdo interativo (CERN Report, 2023).

O CERN está também presente em redes sociais como Twitter, Facebook e Instagram onde soma um total de mais de 4M de seguidores, e no YouTube, onde conta com 220 mil subscritores. O engajamento digital aumentou significativamente de 2022 para 2023, com 3,7 milhões de interações (gostos, partilhas e comentários), refletindo um crescente interesse pelo conteúdo do CERN. Essa visibilidade digital amplia os benefícios das colaborações científicas entre o CERN e Portugal, promovendo a disseminação de conhecimento e inspirando novas gerações de cientistas.

## 7. Benefícios e Impactos Relacionados a Diplomacia Científica

### 7.1. Participação de Portugal na Governação do CERN e sua Influência nas Decisões Científicas Globais e Colaborações Estratégicas

A adesão de Portugal ao CERN permite um envolvimento profundo nos processos de governação da organização, incluindo a participação formal em decisões científicas, técnicas e administrativas. Como Estado Membro, Portugal tem representantes no Conselho do CERN, que é o órgão responsável pelas principais decisões. Este envolvimento abrange desde a conceção e construção de infraestruturas de investigação até à análise de dados, alinhando-se com a missão do CERN de promover a colaboração científica internacional (CERN COUNCIL, 2024).

A participação de Portugal na governação do CERN oferece aos ministérios, organismos de financiamento e à comunidade científica nacional uma importante plataforma para exercer liderança e influenciar a definição de agendas científicas e tecnológicas a nível internacional. Este envolvimento permite a Portugal influenciar diretamente as decisões no CERN, incluindo a definição de prioridades científicas, a alocação de financiamentos e a implementação de novas experiências. Este alinhamento estratégico entre as atividades do CERN e as capacidades e interesses científicos de Portugal fortalece a posição do país na arena científica internacional, proporcionando oportunidades para consolidar a cooperação científica global e atrair talentos e projetos de relevância estratégica.

As prioridades estabelecidas pelo CERN têm a capacidade de influenciar decisões em outros organismos, incluindo agências de financiamento nacionais. A estratégia europeia para a física de partículas, desenvolvida sob a supervisão do CERN e com a participação de várias partes interessadas europeias, é um exemplo claro dessa influência. Esta estratégia é seguida globalmente, assegurando que as atividades do CERN estejam alinhadas com os objetivos científicos internacionais e com as capacidades dos países membros. A abordagem colaborativa do CERN garante que as suas prioridades e projetos, como o desenvolvimento de novos aceleradores e colisionadores de partículas, sejam sustentados por um consenso amplo e coordenado entre diversas nações e organizações, a integração de Portugal em iniciativas globais como estas posiciona o país como uma nação ativa na promoção de ciência de impacto, ampliando a colaboração científica internacional (CERN, 2020 a); CERN, 2020 b).



A participação em projetos do CERN permite que cientistas e engenheiros de Portugal se integrem em iniciativas globais e redes internacionais de investigação. Um exemplo de destaque é o *Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE)*, um projeto científico internacional organizado pelo Fermilab do Departamento de Energia dos EUA, que é pioneiro em estudos avançados de neutrinos. Este projeto conta com a colaboração de mais de 1.400 cientistas e engenheiros de mais de 200 instituições ao redor do mundo. O CERN atua como um dos principais patrocinadores internacionais e parceiros de investigação: protótipos dos detectores do *DUNE* estão a ser construídos no CERN, enquanto os detetores completos e os seus sistemas de computação são desenvolvidos por uma colaboração de cientistas de mais de 30 países. Portugal desempenha um papel importante nesta iniciativa, com os seus cientistas a contribuírem significativamente para o desenvolvimento e operação dos detetores e da infraestrutura de suporte.

## 7.2. A Diplomacia Científica de Portugal no CERN e o Impacto da Colaboração Internacional

O CERN, amplamente reconhecido como um dos empreendimentos científicos mais avançados do mundo, gera benefícios indiretos significativos aos seus Estados Membros, incluindo Portugal. A visibilidade internacional do CERN contribui para o reconhecimento de Portugal como uma nação de destaque em ciência e inovação. Em 2023, Portugal investiu cerca de €4,523 milhões em investigação e desenvolvimento, demonstrando o compromisso do país em fortalecer a sua posição científica e tecnológica (FCT,2024). Esta visibilidade internacional desempenha um papel crucial na atração de talentos e projetos de alto impacto, contribuindo para a consolidação de um ambiente científico mais dinâmico, competitivo e alinhado com as prioridades globais.

Este progresso é impulsionado por diversas estratégias e colaborações internacionais, como a parceria estratégica com a *Carnegie Mellon University* e os programas *MIT Portugal* e *CMU Portugal*, que visam promover a educação de qualidade e a investigação inovadora. Além disso, iniciativas nacionais, como a "*Portugal Space 2030*", têm como objetivo posicionar o país como líder global nas interações entre ciência, economia e espaço até 2030, incluindo a criação da Agência Espacial Portuguesa. Estas colaborações impulsionam a ciência e a inovação e fortalecem a

perceção de Portugal como um país dinâmico e competitivo no cenário científico global (GOV.UK, 2024).

Além disso, o CERN promove a disseminação de conhecimento e a educação científica, fortalecendo a literacia científica em países membros e parceiros. E Portugal, tem utilizado esta colaboração para impulsionar iniciativas educacionais, como o envolvimento de professores lusófonos em programas do CERN, ajudando a melhorar a qualidade da educação científica em comunidades locais e a inspirar futuras gerações de cientistas.

Engenheiros e cientistas portugueses destacam que a participação de Portugal no CERN tem um impacto significativo nas perceções internacionais do país, apresentando-o como uma nação comprometida com o desenvolvimento científico, tecnológico e inovador, além de estar aberta à colaboração internacional. Como aponta Mário Pimenta, "a colaboração com o CERN foi uma porta para que Portugal aderisse a outras infraestruturas de ciência e tecnologia internacionais, e hoje em dia a ciência portuguesa já é muito internacionalizada".

Essa imagem de uma nação comprometida com a ciência a nível internacional pode ter implicações significativas, estendendo-se para além da comunidade científica e tecnológica. Uma perceção positiva de Portugal pode levar governos estrangeiros, empresas e o público a demonstrar maior interesse e disposição para colaborar com o país, resultando em benefícios diplomáticos e económicos. Um exemplo disso é o acordo de cooperação científica e tecnológica firmado entre Portugal e a Alemanha em 1990, que estabelece um programa para incentivar a colaboração entre professores e investigadores, incluindo jovens cientistas, em universidades e instituições de investigação de ambos os países. Este acordo facilita a troca de conhecimentos e o desenvolvimento conjunto de projetos de investigação, fortalecendo os laços científicos entre Portugal e Alemanha e contribuindo para a projeção de Portugal como um parceiro científico de valor no cenário internacional.

Desde a sua fundação em 1954, o CERN tem sido fundamental na diplomacia científica, promovendo a colaboração internacional em física fundamental com fins exclusivamente pacíficos. Este compromisso foi especialmente significativo após a Segunda Guerra Mundial, com a adesão da Alemanha a simbolizar a reconstrução

internacional. Durante a Guerra Fria, o CERN facilitou colaborações essenciais entre cientistas ocidentais e soviéticos, servindo como modelo para futuras colaborações. Em 1985, o CERN desempenhou um papel diplomático crítico ao organizar um jantar entre conselheiros dos EUA e da URSS, ajudando nas negociações de desarmamento e contribuindo para o progresso nas relações internacionais (Lourenço, 2021; Tecnopolis, 2020).

Embora a diplomacia internacional não seja o objetivo principal do CERN, o laboratório manteve uma política de abertura, oferecendo um espaço neutro para a colaboração mutuamente benéfica entre cientistas e engenheiros. O CERN observou que, embora inicialmente possa haver desconfiança mútua devido a diferenças políticas e ideológicas, históricos de conflitos internacionais, diversidade cultural e religiosa, competição académica e tecnológica, e preocupações com a proteção de propriedade intelectual, ao trabalharem juntos os cientistas e engenheiros desenvolvem rapidamente um respeito mútuo tanto técnico quanto pessoal.

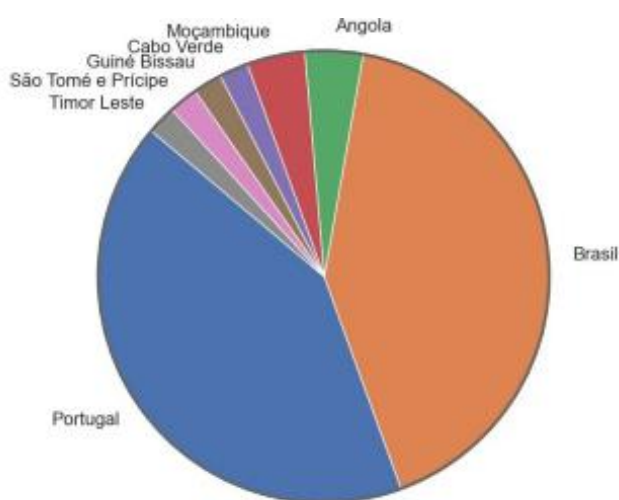
Em 2017, mais de 17.500 pessoas de todo o mundo colaboraram no CERN para expandir os limites do conhecimento. Cerca de 2.500 funcionários estão envolvidos na conceção, construção e operação da infraestrutura de investigação. Eles também contribuem para a preparação e operação das experiências e para a análise dos dados coletados, beneficiando uma vasta comunidade de mais de 12.200 cientistas de 110 nacionalidades (CERN). Este trabalho colaborativo, realizado principalmente por jovens cientistas, promove uma melhor compreensão mútua entre as suas respetivas sociedades.

Além do seu papel na diplomacia científica, o CERN tem impacto significativo na educação e formação de professores de países lusófonos, como Brasil, Cabo Verde, Guiné-Bissau, São Tomé e Príncipe, Timor-Leste, Angola e Moçambique. Facilitada por Portugal, a Escola de Professores do Ensino Secundário do CERN oferece uma oportunidade única de formação avançada, permitindo que esses educadores levem novos conhecimentos e metodologias de ensino para seus países de origem, promovendo o desenvolvimento científico em suas comunidades.

A diplomacia científica desempenha também um papel crucial como ferramenta de paz e cooperação. O CERN tem demonstrado que a ciência pode superar barreiras políticas e culturais, facilitando colaborações significativas entre países com históricos distintos.

Essa abordagem reflete-se no apoio à participação de professores e investigadores dos PALOPs (Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa) nas escolas de verão e programas educacionais do CERN, uma iniciativa facilitada por Portugal (ver imagem 5 nos Anexos). Este esforço reforça o compromisso do país com uma ciência mais inclusiva e global, ao capacitar educadores de países lusófonos e contribuir para o desenvolvimento científico nas suas comunidades de origem.

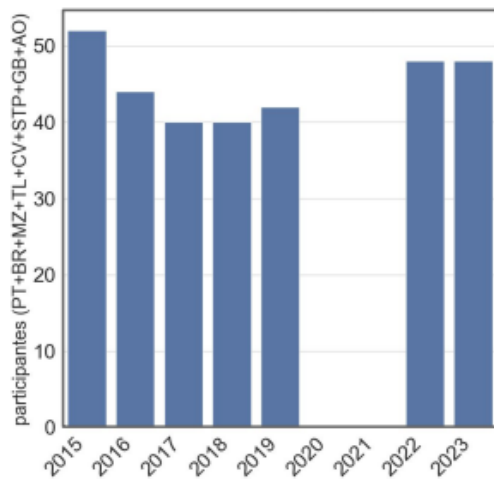
Gráfico 6: Países lusófonos na escola de professores do CERN em 2023



Fonte: LIP, 2023

A participação de professores de língua portuguesa no CERN manteve-se estável entre 2015 e 2023, com um pico de 50 participantes em 2016 e uma ligeira queda em 2020 e 2021, possivelmente devido à pandemia. A recuperação em 2022 e 2023 demonstra o interesse renovado pela formação científica, com cerca de 45 a 50 participantes anuais. Este envolvimento consistente reflete o compromisso contínuo de Portugal e outros países lusófonos em capacitar os seus educadores, fortalecendo a ciência nas suas comunidades e promovendo o desenvolvimento científico global.

Gráfico 7: Escola de professores de língua portuguesa no CERN



Fonte: LIP, 2023

O CERN também valoriza a colaboração internacional ao fornecer apoio para o desenvolvimento de capacidades em tecnologia de última geração. Um exemplo notável é a recente colaboração com a GESDA (*Geneva Science and Diplomacy Anticipator*), o Ministério das Relações Exteriores da Suíça e a UBS (*Union Bank of Switzerland*) para lançar o *Open Quantum Institute*. Essa iniciativa visa promover o uso inclusivo e equitativo da computação quântica para acelerar a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, demonstrando o compromisso contínuo do CERN com a inovação e a diplomacia científica global (GESDA, 2023; UBS, 2023).

A interação do CERN com a ciência e a diplomacia é singular, com metas específicas, como "Facilitar a Colaboração Internacional em Pesquisa Científica" e valores orientadores como "Respeito pela Diversidade de Perspetivas e Culturas". A estrutura de governação do CERN é distintiva devido ao seu modelo colaborativo, servindo de exemplo para outras instituições com abordagens semelhantes na diplomacia científica. O CERN ilustra bem os conflitos entre a diplomacia e a ciência, retratando a interseção e a interdependência entre ambas e demonstrando a importância de abordá-las de maneira integrada. "O CERN relaciona as descobertas científicas com as questões diplomáticas e políticas, proporcionando uma abordagem única que serve de exemplo para outras iniciativas de diplomacia científica" (Hone & Kurbalija, 2018).

A adesão de Portugal ao CERN tem impactos importantes no que toca à diplomacia científica, pois permite o envolvimento de Portugal em projetos de pesquisa de ponta e em posições de liderança, reforçando os vínculos científicos entre Portugal e outros

países, e posicionando Portugal como um membro ativo da comunidade científica europeia e global. Essa participação contribui para:

- **Reconhecimento Internacional:** A participação de cientistas e pesquisadores portugueses em projetos do CERN aumenta o reconhecimento e o prestígio da qualidade das contribuições portuguesas a nível internacional.
- **Colaboração Científica Internacional:** A participação no CERN permite que cientistas portugueses colaborem com pesquisadores de todo o mundo em projetos científicos de grande escala. Isto leva a avanços significativos em diversas áreas da física de partículas e outras áreas de estudo.
- **Transferência de Conhecimento e Tecnologia:** A adesão de Portugal ao CERN facilitou o processo de transferência de conhecimento e tecnologia para o país. Os cientistas portugueses têm acesso a instalações de pesquisa de última geração e participam de projetos inovadores, o que não seria possível por esforços individuais.

Conforme destacado por Filipa Coelho, "o CERN assume um papel vital, proporcionando um retorno industrial e científico significativo para Portugal. A participação da nossa comunidade científica em experiências no CERN e os benefícios resultantes em termos de conhecimento e desenvolvimento tecnológico são notáveis".

Embora o CERN seja uma plataforma de cooperação científica, ele também enfrenta desafios relacionados à complexidade das suas operações. A integração entre ciência e diplomacia pode gerar tensões entre a busca por conhecimento fundamental e interesses estratégicos nacionais. No entanto, o CERN tem sido bem-sucedido em superar essas tensões, servindo como modelo para iniciativas semelhantes que visam promover a colaboração pacífica e científica em escala global.

O reconhecimento do CERN como observador na Assembleia Geral da ONU em 2012 reafirma o papel crucial que a organização desempenha na diplomacia científica global. Em 2023, a criação do Open Quantum Institute foi mais um exemplo do compromisso do CERN em promover a inovação, contribuindo para o desenvolvimento global e reforçando o impacto da diplomacia científica.

### 7.3. Contribuições do CERN para o Desenvolvimento Global da Física e a Expansão da Colaboração Internacional

O CERN desempenha um papel crucial no desenvolvimento e expansão da comunidade global de física através dos seus programas de formação especializados e colaborações científicas internacionais. As suas iniciativas de formação, como as escolas especializadas em física de partículas e computação avançada, beneficiam centenas de jovens investigadores anualmente. Estes programas, embora centrados na Europa, estendem-se a regiões como Ásia, América Latina e África, ampliando o impacto global da organização.

Portugal, em particular, tem-se beneficiado e contribuído significativamente para este esforço, especialmente através de programas educacionais em física de partículas. A interação de cientistas portugueses com estas regiões, muitas vezes como pós-doutorados no CERN, tem sido um catalisador para o surgimento de novos grupos de investigação em física de altas energias. Estes grupos tendem a crescer, formando novos departamentos dentro de instituições e, eventualmente, expandindo-se para várias universidades ou institutos de investigação. Essas contribuições reforçam o compromisso de Portugal com a educação científica e o fortalecimento de redes globais de conhecimento.

A evolução destes grupos de investigação tem convencido governos sobre a importância da ciência fundamental, além da tecnologia aplicada. Isso tem levado países a juntarem-se a colaborações científicas do CERN e a aumentarem as suas contribuições financeiras e tecnológicas. Esses esforços têm impacto direto no estímulo à cooperação científica internacional e na atração de investimentos e projetos de grande escala, aumentando a competitividade científica global de Portugal. Portugal, por exemplo, tem desempenhado um papel importante em facilitar a participação de nações de língua portuguesa em programas do CERN, contribuindo para o fortalecimento da ciência global.

Os esforços do CERN em desenvolver capacidades científicas globais não são completamente altruístas. Ao formar jovens investigadores, o CERN expande o grupo de talentosos pós-doutorados que podem ser recrutados para trabalhar em investigação, engenharia e computação. À medida que os grupos de investigação nacionais crescem,

mais países comprometem-se a participar nas experiências do CERN, financiando colaborações de investigação e programas experimentais cada vez mais ambiciosos. O CERN serve como portal para outros programas científicos, promovendo novas colaborações em países como os EUA. Investigadores que inicialmente se conhecem no CERN frequentemente assumem posições como académicos visitantes ou envolvem-se em projetos colaborativos internacionais, levando, por vezes, a investimentos em novas instalações de investigação nacionais, impulsionando diretamente o avanço da ciência e o fortalecimento das capacidades científicas nos seus países de origem.

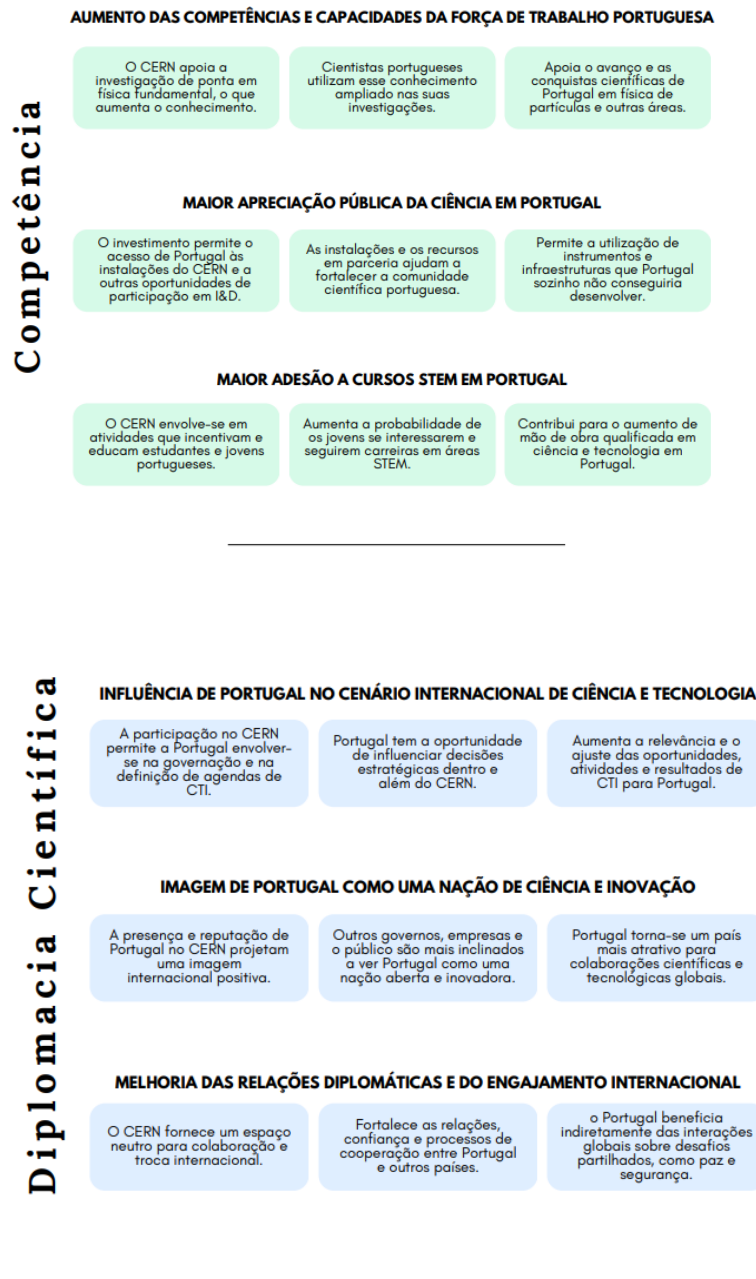


## Conclusão

A colaboração de Portugal com o CERN tem sido crucial para o fortalecimento da posição do país em ciência, tecnologia, competências e diplomacia científica. Este estudo destacou os benefícios desta parceria em quatro dimensões principais, que estão sintetizadas no esquema abaixo:

Figura 1: Benefícios da Colaboração entre Portugal e o CERN





A nível de investigação científica, o acesso às infraestruturas de ponta do CERN permite a Portugal participar em projetos avançados de física fundamental, ampliando o conhecimento científico nacional e internacional. A reputação científica do país tem-se consolidado pela contribuição dos seus cientistas para experiências de alto impacto, como as realizadas no LHC.

No campo da inovação tecnológica, a transferência de tecnologias desenvolvidas no CERN gerou aplicações significativas, desde a saúde, com a terapia de prótons, até à

indústria de alta tecnologia. Empresas portuguesas têm beneficiado de contratos e colaborações que impulsionam a competitividade e a inovação no mercado global.

O desenvolvimento de competências é outro ponto forte desta parceria. A formação de cientistas e engenheiros portugueses no CERN enriquece o capital humano nacional com competências avançadas. Além disso, iniciativas educacionais associadas ao CERN têm incentivado o interesse em áreas STEM, preparando uma nova geração de talentos.

Por fim, a diplomacia científica promovida pelo CERN reforça o papel de Portugal no cenário internacional, aumentando a sua influência em decisões estratégicas globais e projetando uma imagem de nação inovadora e aberta à colaboração.

Apesar destes avanços, desafios importantes ainda limitam a maximização dos benefícios desta parceria. Para enfrentá-los e reforçar o impacto da colaboração, apresentam-se os seguintes desafios e recomendações:

### **Desafios e Recomendações da Colaboração com o CERN**

1. **Desafio:** A falta de estabilidade no financiamento compromete o planeamento de longo prazo e a formação de doutorados.  
**Recomendação:** Garantir financiamento estável e diversificado, através de parcerias público-privadas para apoiar projetos científicos.
2. **Desafio:** A integração de doutorados no mercado nacional é limitada, levando à fuga de talentos.  
**Recomendação:** Criar programas estruturados de estágio e emprego para doutorados em empresas e instituições de investigação.
3. **Desafio:** A comunicação insuficiente sobre as oportunidades do CERN restringe o acesso de profissionais e estudantes.  
**Recomendação:** Desenvolver campanhas de divulgação eficazes em universidades e plataformas digitais, maximizando o envolvimento nacional.
4. **Desafio:** A inconsistência nos dados financeiros dificulta avaliações precisas e a otimização dos recursos investidos.  
**Recomendação:** Implementar um sistema padronizado para a apresentação e análise de dados relacionados ao CERN.

## **BIBLIOGRAFIA**

Apollinari, G., Brüning, O., Nakamoto, T., & Rossi, L. (2015). Chapter 1: High Luminosity Large Hadron Collider HL-LHC. In *High Luminosity Large Hadron Collider (HL-LHC): Preliminary Design Report* (pp. 1–19). CERN.

Bastianin, A., Del Bo, C. F., Florio, M., & Giffoni, F. (2023). Projecting the socio-economic impact of a big science center: The world's largest particle accelerator at CERN. *Applied Economics*, 55(49), 5768-5789.

Camporesi, T. (2001). High-energy physics as a career springboard. *European Journal of Physics*, 22(2), 139.

Castelnuovo, P., Florio, M., Forte, S., Rossi, L., & Sirtori, E. (2018). The economic impact of technological procurement for large-scale research infrastructures: Evidence from the Large Hadron Collider at CERN. *Research Policy*, 47(9), 1853-1867.

CERN. (2014-2021). *Procurement Report*. CERN.

CERN. (2019, 15 de janeiro). International collaboration publishes concept design for a post-LHC future circular collider at CERN.

CERN. (2020, 19 de junho). Particle physicists update strategy for the future of the field in Europe. CERN.

CERN. (2020). *European Strategy for Particle Physics*. CERN.

CERN. (2022, 5 de julho). LHCb discovers three new exotic particles. CERN.

CERN. (2022). *Annual Report 2023*. CERN.

CERN. (2023). *Annual Report 2023*. CERN.

CERN. (n.d.). *CERN Council*. Consultado em 15 de julho.

CERN. (n.d.). *Our People*. Consultado em 15 de julho.

CERN openlab. (2023, 18 de agosto). CERN openlab summer student programme helping jumpstart future careers. CERN.

Figueiredo, S., Ganoo, A., Eriksson, V., & Ekman, K. (2022). Future-ready skills development through experiential learning: Perceptions from students working in multidisciplinary teams. *CERN IdeaSquare Journal of Experimental Innovation*, 6(2), 12-19.

Forrester, N. (2024). CERN's impact goes way beyond tiny particles. *Nature*.

Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) (2012-2022). *Relatório de Atividades*. Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Fundação para a Ciência e a Tecnologia. (2024). *Resultados provisórios do Inquérito ao Potencial Científico e Tecnológico Nacional 2023*.

GESDA. (2023, October 13). GESDA joins forces with the Swiss Ministry of Foreign Affairs, CERN and UBS to get the Open Quantum Institute off the ground. GESDA.

Glassdoor. (n.d.). *Data Scientist Salaries in Portugal*. Consultado em 10 de julho de 2024.

Höne, K. E., & Kurbalija, J. (2018). Accelerating Basic Science in an Intergovernmental Framework: Learning from CERN's Science Diplomacy. *Global Policy*.

Lourenço, R. D. (2021). CERN – a física de partículas não tem nacionalidade. Arquivo de Ciência e Tecnologia da Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

LIP (2023). *Portugal no CERN*. Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP).

Nantsou, T. P., & Tombras, G. S. (2022). Hands-on Physics Experiments for K-6 Teachers at CERN. CERN.

Nilsen, V., & Anelli, G. (2016). Knowledge transfer at CERN. *Technological Forecasting & Social Change*, 112, 113-120.

OECD. (2014). *The impacts of large research infrastructures on economic innovation and on society: Case studies at CERN*. OECD Publishing.

PayScale. (n.d.). *Average Researcher, Scientific Salary in Portugal*. Consultado em 10 de julho de 2024.

PayScale. (n.d.). *Research Scientist salary in Portugal*. Consultado em 10 de julho de 2024.

Roche, C. (2022). How much money did CERN's Large Hadron Collider cost to build and who paid for it? *AS*.

Teixeira, N. S., & Cunha, A. (Coords.). (2021). *Portugal Multilateral - Dicionário* (Vol. II). Almedina.

Technopolis Group. (2020). *Evaluation of the Benefits that the UK has derived from CERN*. Technopolis Group.

UBS. (2023, October 13). UBS joins forces with CERN, Swiss government and GESDA to boost quantum computing in bid to achieve UN Sustainable Development Goals. UBS.

Vuola, O., & Hameri, A.-P. (2006). Mutually benefiting joint innovation process between industry and big-science. *Technovation*, 26(1), 3-12.

World Economic Forum. (2022). *Digital trust: How to unleash the trillion-dollar opportunity for our global economy*.

Ferreira, J. N. (2023, 27 de março). Escassez de talento afeta 84% dos empregadores nacionais. *Sapo*.

## ANEXOS

### 1. Ficha Técnica do Questionário Enviado Às Empresas

#### Objetivo:

O objetivo do inquérito foi apurar os benefícios que as empresas obtiveram com a colaboração com o CERN, analisando as vantagens comerciais, técnicas e de reputação resultantes dessa interação.

---

#### Método de Aplicação:

Os inquéritos foram realizados por meio de um questionário online disponibilizado através do Google Forms. O link foi enviado diretamente por e-mail às empresas.

#### Público-Alvo:

O público-alvo consistiu em empresas que tiveram interações comerciais com o CERN, incluindo aquelas que participaram em projetos, forneceram produtos ou serviços, ou colaboraram de outras formas.

#### Número de Empresas Contactadas:

30 empresas foram contactadas por e-mail.

#### Número de Respostas Obtidas:

6 empresas responderam ao inquérito, representando uma taxa de resposta de 24%.

#### Formato e Tipo de Perguntas:

O questionário incluiu perguntas de múltipla escolha, e questões abertas que permitiram às empresas descrever em detalhe os benefícios percebidos. O formato foi definido para obter tanto dados quantitativos quanto qualitativos.

#### Período de Realização:

Os inquéritos foram conduzidos ao longo de 3 meses.

#### Confidencialidade e Ética:

Os dados recolhidos foram tratados de forma confidencial, garantindo o anonimato das respostas e respeitando os princípios éticos de pesquisa.

#### Principais Resultados Obtidos:



1. Reputação Internacional:

As empresas relataram que a colaboração com o CERN fortaleceu a sua reputação internacional, ajudando a atrair talentos qualificados e abrir novos mercados.

2. Desenvolvimento Tecnológico:

A interação com o CERN impulsionou a inovação nas empresas, levando à adaptação de processos de manufatura e ao desenvolvimento de competências especializadas, como o domínio de novos materiais (tântalo, molibdênio, macor) e a implementação de rigorosos padrões de qualidade.

3. Impactos Comerciais:

Empresas destacaram que a parceria facilitou o acesso a mercados internacionais, aumentou a competitividade e melhorou a imagem corporativa, além de atrair clientes e investidores.

4. Colaboração Científica:

A cooperação proporcionou às empresas oportunidades de aprendizagem e trocas de conhecimento técnico com investigadores do CERN, colocando os seus profissionais ao nível de outros cientistas europeus.

5. Benefícios Intangíveis:

Empresas relataram que a parceria proporcionou um ambiente rico para discussões técnicas e a definição de requisitos de produto, além de melhorar a sua capacidade de atender a clientes altamente exigentes.

Sugestões dos Participantes:

Apesar dos benefícios percebidos, algumas empresas apontaram que Portugal poderia exercer um papel mais ativo no suporte às PME's capacitadas para trabalhar com o CERN. Foram sugeridas iniciativas como:

- Programas de capacitação para atividades tecnológicas.
- Subvenções e linhas de crédito favoráveis.
- Organização de eventos de networking e formação de consórcios entre empresas.

2. Linha Cronológica da Participação de Portugal no CERN

1971 - Professores Armando Policarpo e Carlos Conde viajam ao CERN para avaliar uma possível colaboração entre Portugal e o CERN.

1975 - George Charpak realiza um seminário sobre câmaras multi-fio no Laboratório de Física da Universidade de Coimbra, antes de receber o Prémio Nobel em 1992. Esse evento coincidiu com as eleições para a Assembleia Constituinte em Portugal.

1977-1978 - No Instituto Superior Técnico (IST), é iniciado o curso livre "Introdução aos Métodos Experimentais da Física Quântica", lecionado pelo professor Mariano Gago.

1981 - Primeiros estudantes portugueses participam no Programa de Verão do CERN, João Varela, Sérgio Ramos e Paula Bordalo foram alguns dos participantes.

1985 - Portugal assina o Acordo de Adesão ao CERN a 26 de abril, representado pelo Ministro dos Negócios Estrangeiros Jaime Gama e pelo Diretor-Geral do CERN Herwig Schopper. Este evento foi um marco decisivo na história da ciência moderna portuguesa.

1986 - O LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas) é fundado em Portugal a 9 de maio, com o objetivo de explorar as oportunidades resultantes da adesão de Portugal ao CERN. Este ano marca também a seleção dos primeiros estudantes técnicos portugueses para estágios com duração de um ano no CERN.

1987 - O LIP participa na Colaboração NA38<sup>6</sup>, primeira experiência em que portugueses participam como físicos de país membro.

1989-2000 - O LIP participa da experiência DELPHI ao longo de toda a vida útil do LEP (Large Electron-Positron Collider), desde a primeira observação de um bóson Z até ao encerramento do colisor. A Indústria e Serviços portugueses começam a ter contratos relevantes no CERN.

---

<sup>6</sup> A experiência NA38, realizada no CERN nos anos 1980, investigou a produção de mesões em colisões de núcleos pesados para explorar o estado da matéria conhecido como plasma de quarks e gluões, que possivelmente existiu logo após o Big Bang. Observou-se uma diminuição na produção de mesões em colisões intensas, sugerindo condições que poderiam indicar a formação deste plasma, contribuindo significativamente para o avanço no estudo da matéria nuclear em condições extremas.

2008 - O LHC (Large Hadron Collider) entra em operação a 10 de setembro. Um ano depois, após um grave problema técnico, o LHC volta a operar com energias de feixe de até 4 TeV.

2012 - A descoberta do bóson de Higgs é anunciada a 4 de julho, trazendo grande notoriedade ao CERN e à física de partículas mundial.

2014 – Participação no LHC Run II: O LHC volta a operar com energias mais altas, e cientistas portugueses participam ativamente das experiências ATLAS, CMS e LHCb. A colaboração entre o LIP e o CERN continua a crescer, com a inclusão de novos investigadores e estudantes.

2015 – Criação do Polo do LIP no Minho: O LIP expande suas atividades para Braga, estabelecendo um terceiro polo na Universidade do Minho, focado em novas tecnologias e colaboração com o CERN, incluindo áreas como computação avançada e astropartículas.

2016 – Acordo Estratégico com a FCT: A Fundação para a Ciência e a Tecnologia e o CERN firmam um acordo para reforçar a presença de cientistas portugueses nos projetos do CERN, garantindo a formação de novos quadros científicos e a participação em grandes experiências de física.

2019 – Recorde de Visitas de Estudantes Portugueses ao CERN: Neste ano, 47 visitas de escolas portuguesas ao CERN são organizadas, abrangendo mais de 1.600 estudantes e professores. Este é o ano com o maior número de visitas educacionais registadas .

2021 – Contribuições para o Projeto HL-LHC: O LIP e empresas portuguesas começam a fornecer componentes e tecnologia para o projeto de Alta Luminosidade do LHC (HL-LHC), que visa aumentar a capacidade de colisão de partículas no acelerador, permitindo novas descobertas científicas .

2022 – Participação nas Comemorações de 10 Anos da Descoberta do Bosão de Higgs: Cientistas portugueses, que fizeram parte da descoberta histórica em 2012, participam das celebrações no CERN, destacando o impacto do bosão de Higgs na física de partículas.

2023 – Preparações para o Projeto HL-LHC: Empresas e investigadores portugueses continuam a desempenhar papéis cruciais no desenvolvimento de infraestruturas e tecnologias para o HL-LHC, contribuindo para a realização de novas descobertas na física de partículas.

2024 – 70º Aniversário do CERN: Portugal celebra os 70 anos do CERN com eventos e colaborações especiais. O país destaca sua participação contínua em projetos de grande escala no CERN, sublinhando a importância do LIP e das empresas portuguesas no avanço da ciência e tecnologia. Com a expansão das áreas de investigação para além da física de partículas, como a física médica e a computação avançada, o futuro promete novas oportunidades para Portugal dentro do CERN.

### 3. Entrevistados

Nome	Instituição
Andreia Maia Oliveira	Ex bolsista de Portugal no CERN
Conceição Abreu	Investigadora do LIP e Professora Catedrática da Universidade de Coimbra
Filipa Coelho	Técnica do Departamento de Infraestruturas de Investigação Europeias da FCT
José Antão	ILO Advisor de Portugal no CERN-
Mário Pimenta	Investigador do LIP e Professor Catedrático do Instituto Superior Técnico

### 4. Buscas Utilizadas na Análise Bibliométrica

Para obtenção do número de artigos em que pelo menos um dos autores estava filiado ao CERN no momento da publicação:



Scopus

### Start exploring

Documents Authors Researcher Discovery Organizations [Search tips ?](#)

Search within Affiliation	Search documents * cern
Published from 1993	To 2023

Para obtenção do número de artigos em que pelo menos um dos autores estava afiliado ao CERN e a instituições portuguesas:



Scopus

### Start exploring

Documents Authors Researcher Discovery Organizations [Search tips ?](#)

Search within Affiliation	Search documents * cern
AND	
Search within Affiliation country	Search documents Portugal
Published from 1993	To 2023

## 5. Figuras

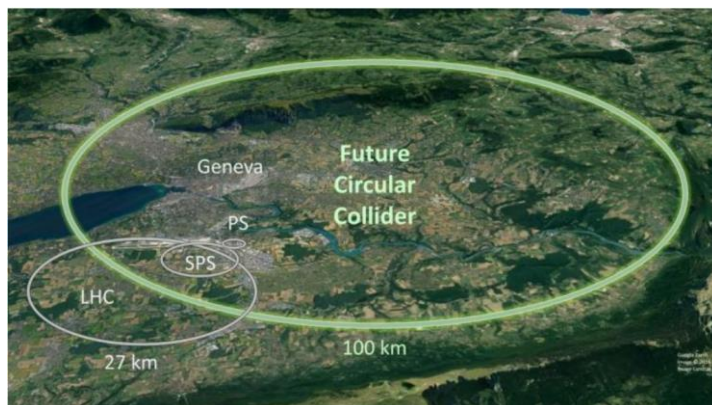
Figura 2: Localização do LHC



Fonte: AdobeStock (consultado em setembro de 2024)

Vetor Large Hadron Collider (LHC) and Super Proton Synchrotron (SPS), political map. Position of worlds largest and highest-energy particle collider near Geneva beneath the border of France and Switzerland. do Stock | Adobe Stock

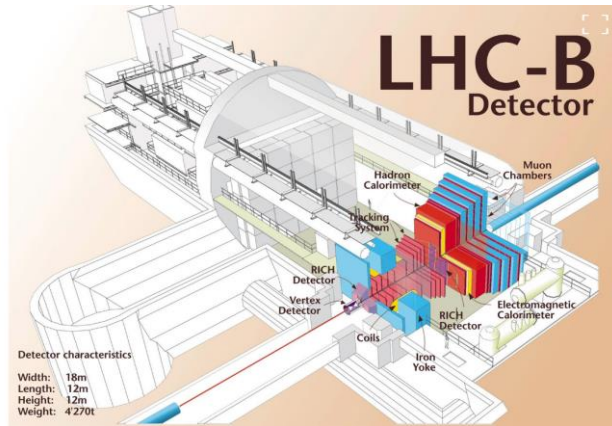
Figura 3: Localização proposta para o FCC



Fonte: ResearchGate (consultado em setembro de 2024)

*Possible location of the Future Circular Collider (FCC) near CERN. | Download Scientific Diagram*

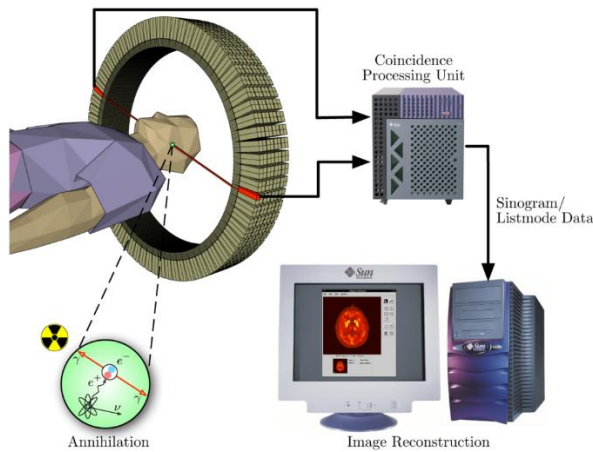
Figura 4: Diagrama LHCb



Fonte: CER, 2024

*Layout of LHCb - CERN Document Server*

Figura 5: Esquema do processo de Tomografia PET



Fonte: Wikipédia (consultado em setembro de 2024)

*Tomografia por emissão de positrões – Wikipédia, a enciclopédia livre*

Figura 6: Atividades realizadas na Escola de Verão para professores



*Fonte: LIP (consultado em setembro de 2024)*

*ESTÁGIO no CERN para professores em Língua Portuguesa – Venha conhecer o CERN em Português*