



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E
BIOLÓGICA

Gestão de Propostas Técnico-Comerciais na Durit Coatings

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Autor

Mariana Leal Vieira Reis

Orientador

Jorge Alexandre Caldeira Gonçalves de Almeida

Supervisor na empresa Durit Coatings

Jorge Miguel Magalhães Gonçalves

Coimbra, março 2026



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

RESUMO

O presente relatório foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Projeto/Estágio do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), tendo o estágio sido realizado na empresa *Durit Coatings*, integrada no Grupo *Durit*, no departamento técnico-comercial.

O trabalho teve como principal objetivo acompanhar e analisar o processo de elaboração de propostas técnico-comerciais no contexto da engenharia de superfícies, compreendendo a articulação entre as áreas comercial, produtiva e de planeamento. Para tal, foi efetuado um enquadramento teórico das principais tecnologias de revestimento utilizadas pela empresa, nomeadamente os processos de projeção térmica, revestimentos físicos de vapor e tecnologias baseadas em laser.

Durante o estágio foram acompanhados vários casos práticos reais, desde a receção do pedido do cliente até à elaboração da proposta e execução do serviço, permitindo analisar critérios técnicos de seleção de tecnologia, estimativa de custos, condicionantes produtivas e requisitos funcionais dos componentes.

Com base na observação direta dos processos, procedeu-se a uma análise crítica recorrendo a ferramentas como o *Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers* (SIPOC), análise de *Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats* (SWOT), identificação de riscos operacionais e causas de atraso na elaboração de propostas. Esta análise permitiu identificar pontos críticos no fluxo de informação e oportunidades de melhoria ao nível da organização e padronização do processo técnico-comercial. Como contributo adicional, foi proposta a introdução de um modelo simples de apoio à decisão para a definição do nível de *Service Level Agreement* (SLA) associado às consultas recebidas, baseado na avaliação de critérios objetivos, permitindo apoiar a priorização das propostas e tornar mais consistente o processo de gestão de consultas.

O estágio contribuiu para a consolidação de competências técnicas na área da engenharia de superfícies e para o desenvolvimento de uma visão integrada entre engenharia e gestão, reforçando a importância do departamento técnico-comercial como elemento estratégico na criação de valor para a empresa.

Palavras-chave: Engenharia de superfícies, Revestimentos, Processo técnico-comercial, Gestão de propostas.

ABSTRACT

This report was developed as part of the Project/Internship course of the Master's Degree in Industrial Engineering and Management at Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), with the internship taking place at Durit Coatings, part of the Durit Group, in the technical-commercial department.

The main objective of the work was to monitor and analyse the process of preparing technical-commercial proposals in the context of surface engineering, including the coordination between the commercial, production and planning areas. To this end, a theoretical framework was developed for the main coating technologies used by the company, namely thermal spraying processes, physical vapour deposition and laser-based technologies.

During the internship, several real-life cases were monitored, from the receipt of the customer's order to the preparation of the proposal and execution of the service, allowing for the analysis of technical criteria for technology selection, cost estimation, production constraints and functional requirements of the components.

Based on direct observation of the processes, a critical analysis was carried out using tools such as Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers (SIPOC), Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats analysis (SWOT), identification of operational risks and causes of delays in the preparation of proposals. This analysis identified critical points in the flow of information and opportunities for improvement in the organisation and standardisation of the technical-commercial process. As an additional contribution, the introduction of a simple decision support model was proposed for defining the Service Level Agreement (SLA) associated with requests for quotation, based on the evaluation of objective criteria, allowing for the prioritisation of proposals and making the request management process more consistent.

The internship contributed to the consolidation of technical skills in the area of surface engineering and to the development of an integrated vision between engineering and management, reinforcing the importance of the technical-commercial department as a strategic element in creating value for the company.

Keywords: Surface engineering, Coatings, Technical-commercial process, Proposal management.

DEDICATÓRIA

Ao meu avô.

AGRADECIMENTOS

Começar por agradecer ao Edu e ao Rafa por terem compartilhado comigo este estágio, pelas idas à padaria e por terem tornado esta etapa mais leve.

À equipa comercial da *Durit Coatings*, que se mostrou sempre disponível para esclarecer dúvidas e partilhar conhecimento, contribuindo para o meu crescimento profissional.

Ao Professor Jorge Almeida, deixo o meu agradecimento pelo acompanhamento, pelos conselhos e pelas sugestões que foram fundamentais para a realização deste relatório.

À Pipa, pela disponibilidade e por estar sempre pronta a ajudar sempre que precisei.

À minha avó e aos meus pais pelo tempo passado a preparar as marmitas.

A Coimbra.

ÍNDICE

Resumo	i
Abstract	ii
Dedicatória	iv
Agradecimentos	vi
Índice	ix
Índice de tabelas	xi
Índice de figuras	xiii
Lista de abreviaturas	xv
Lista de símbolos	xvii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do Tema	1
1.2 Estrutura do Relatório	2
2 Apresentação da Empresa	3
2.1 Breve história e evolução da <i>Durit Coatings</i>	3
2.2 Integração no Grupo <i>Durit</i>	4
2.3 Missão, visão e valores	4
2.4 Áreas de atuação e distinções	5
2.5 Certificações	6
2.6 Processos produtivos	7
3 Enquadramento Teórico	9
3.1 Introdução às Tecnologias de Revestimento	9
3.2 Projeção Térmica	11
3.2.1 APS	12
3.2.2 HVOF	15
3.2.3 EAWS	19

3.3	Revestimentos Físicos de Vapor	23
3.3.1	PVD	24
3.3.2	PACVD	28
3.4	Revestimentos por Laser	30
3.4.1	Laser <i>Cladding</i>	31
3.4.2	Laser <i>Hardening</i>	35
4	Atividade Desenvolvida	39
4.1	Atividade 1 – Processo de elaboração e execução de proposta de revestimento de rodilhos industriais	44
4.2	Atividade 2 – Processo de elaboração e execução de proposta de revestimento de camisas usadas em ambiente químico	53
4.3	Atividade 3 – Processo de elaboração e execução de proposta de revestimento por Laser <i>Cladding</i> em componente de grandes dimensões	57
4.4	Atividade 4 - Processo de elaboração e execução de proposta de revestimento por PVD	63
4.5	Atividade 5 - Processo de elaboração e execução de proposta de remoção de aba e revestimento de bobina	69
4.6	Atividade 6 – Processo de elaboração e execução de proposta de revestimento de veios usados em indústria alimentar	77
5	Análise crítica dos processos	81
5.1	Representação do processo de elaboração de propostas (SIPOC)	81
5.2	Análise SWOT	82
5.3	Identificação dos riscos operacionais	83
5.4	Identificação das causas de atraso na elaboração de propostas	84
5.5	Proposta de melhoria para a definição de SLA na criação de RFQ	85
6	Conclusão	89
	Referências bibliográficas	92

ÍNDICE DE TABELAS

3.1	Propriedades típicas do APS	14
3.2	Propriedades típicas do HVOF	17
3.3	Propriedades típicas do EAWS	21
3.4	Propriedades técnicas de alguns tipos de revestimentos PVD	26
3.5	Propriedades típicas do PVD	26
3.6	Propriedades típicas do processo de Laser <i>Cladding</i>	33
4.1	Quadro resumo e <i>benchmarking</i> das atividades	43
5.1	Representação SIPOC do processo de elaboração de propostas	81
5.2	Riscos operacionais observados durante o estágio	83
5.3	Níveis de SLA e respectivos tempos de resposta	85
5.4	Critérios propostos para avaliação de RFQ	86
5.5	Sistema de pontuação para avaliação de RFQ	86
5.6	Definição do nível de SLA com base na pontuação obtida	87

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Cronograma da história da <i>Durit Coatings</i>	3
2.2	Empresas do Grupo <i>Durit</i>	4
2.3	Áreas de atuação da <i>Durit Coatings</i>	5
2.4	Diagrama das tecnologias de revestimentos da <i>Durit Coatings</i>	8
3.1	Principais contributos da aplicação de revestimentos	10
3.2	Processo APS	12
3.3	Sistema de projeção por APS em operação	13
3.4	Exemplos de componentes revestidos por APS	15
3.5	Processo HVOF	16
3.6	Sistema de projeção por HVOF em operação	16
3.7	Exemplos de componentes revestidos por HVOF	19
3.8	Processo EAWS	20
3.9	Sistema de projeção por EAWS em operação	20
3.10	Exemplos de componentes revestidos por EAWS	23
3.11	Processo PVD	24
3.12	Câmara de revestimento por deposição física de vapor	25
3.13	Exemplos de componentes revestidos por PVD	27
3.14	Processo PACVD	28
3.15	Processo de Laser <i>Cladding</i>	31
3.16	Sistema de projeção por Laser <i>Cladding</i> em operação	32
3.17	Exemplos de componentes revestidos por Laser <i>Cladding</i>	34
3.18	Processo de Laser <i>Hardening</i>	35
3.19	Sistema de Laser <i>Hardening</i> em operação	36
3.20	Componente industrial após processo de Laser <i>Hardening</i>	38
4.1	Cronograma das atividades desenvolvidas entre setembro e março.	40
4.2	Fluxograma do processo técnico-comercial	41
4.3	Desenho técnico do rodilho antes da aplicação do revestimento	44
4.4	Desenho técnico do rodilho com as dimensões especificadas após a conclusão do trabalho	45
4.5	Desenho técnico utilizado para consulta de mó adequada à retificação dos rasgos	46

4.6	Proposta técnica e comercial enviada ao cliente para execução do revestimento dos rodilhos	47
4.7	Confirmação de encomenda enviada ao cliente	49
4.8	Registo inicial da PLT no sistema interno, destacando-se a vermelho os campos posteriormente preenchidos pela produção	50
4.9	Primeira folha do documento da PLT	51
4.10	Segunda folha do documento da PLT	52
4.11	Aspetto final dos componentes após conclusão do revestimento	53
4.12	Desenho técnico do componente fornecido pelo cliente	54
4.13	Proposta técnica enviada ao cliente contendo solução de revestimento recomendada	56
4.14	Desenho do componente indicando a localização da zona sujeita a intervenção	57
4.15	Pormenores ampliados da zona de intervenção	58
4.16	Ferramenta interna utilizada para estimativa do custo de revestimento por Laser <i>Cladding</i>	61
4.17	Proposta técnica e comercial enviada ao cliente para execução do serviço	62
4.18	Desenho técnico do primeiro componente	64
4.19	Desenho técnico do segundo componente	65
4.20	Folha de cálculo utilizada para a realização do orçamento	66
4.21	Curva de revenido do aço 1.2379	67
4.22	Proposta enviada ao cliente	68
4.23	Bobina antes de ser intervencionada	69
4.24	Desenho técnico da bobina	70
4.25	Fissuras na zona revestida da bobina	71
4.26	Gráfico com a tendência de crescimento do preço do WC	72
4.27	Proposta enviada ao cliente com as duas opções possíveis para execução do serviço.	73
4.28	Confirmação de encomenda apenas com a opção escolhida pelo cliente .	74
4.29	Bobina após remoção da aba e novo revestimento	75
4.30	Bobina após conclusão dos trabalhos	76
4.31	Desenho técnico da peça	77
4.32	Proposta enviada ao cliente com a especificação do Regulamento (CE) n.º 1935/2004	79
5.1	Análise SWOT	82
5.2	Diagrama de causa-efeito para identificação das causas de atraso na elaboração de propostas	84

LISTA DE ABREVIATURAS

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
APS	<i>Atmospheric Plasma Spray</i>
CTCV	Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro
CVD	<i>Chemical Vapour Deposition</i>
DIN	Instituto Alemão de Normalização
DLC	<i>Diamond-Like Carbon</i>
EAWS	<i>Electric Arc Wire Spray</i>
EN	<i>European Norm</i>
HVOF	<i>High Velocity Oxygen Fuel</i>
ISEC	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NORSOK	<i>Norwegian Petroleum Industry Standards</i>
NP	Norma Portuguesa
PACVD	<i>Plasma-Assisted Chemical Vapor Deposition</i>
PLT	<i>Plasma Lab Trabalho</i>
PVD	<i>Physical Vapor Deposition</i>
RFQ	<i>Request for Quotation</i>
SIPOC	<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats</i>
TEandM	Tecnologia, Engenharia e Materiais S.A.

LISTA DE SÍMBOLOS

100Cr6	Aço de rolamentos de alto teor de carbono e cromo
Bar	Unidade de pressão
Cr ₂ O ₃	Óxido de cromo
Cr ₃ C ₂	Carboneto de cromo
Cr ₃ C ₂ -NiCr	Carboneto de cromo-níquel cromo
CrN	Nitreto de cromo
HV	Hardness <i>Vickers</i>
kg/h	Quilogramas por hora
kW	<i>Quilowatt</i>
m/s	Metro por segundo
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
N	<i>Newton</i>
N/mm ²	<i>Newton</i> por milímetro quadrado
TiAlN	Nitreto de titânio e alumínio
TiCN	Carbonitreto de titânio
TiN	Nitreto de titânio
TiO ₂	Óxido de titânio
WC	Carboneto de tungstênio
WC-Co	Carboneto de tungstênio com ligante de cobalto
WC-CoCr	Carboneto de tungstênio com ligante de cobalto-cromo
°C	Grau <i>Celsius</i>
μm	Micrómetro
∅	Diâmetro

1. Introdução

O presente relatório foi elaborado no âmbito da unidade curricular de Projeto/Estágio, integrada no plano de estudos do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do ISEC. O estágio curricular foi desenvolvido na empresa *Durit Coatings*, integrada no Grupo *Durit*, no departamento técnico-comercial, com início em 11 de setembro de 2025 e conclusão em 10 de março de 2026.

O estágio teve como principal finalidade a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico, bem como o desenvolvimento de competências técnicas, organizacionais e de gestão, num contexto industrial real, permitindo uma ligação efetiva entre a vertente académica e a realidade empresarial. Neste relatório é apresentada uma contextualização da empresa, um enquadramento teórico das principais tecnologias de revestimento utilizadas pela *Durit Coatings*, bem como a descrição e análise das atividades desenvolvidas durante o estágio.

1.1 Enquadramento do Tema

Num contexto industrial cada vez mais competitivo, a engenharia de superfícies assume um papel fundamental na melhoria do desempenho, durabilidade e fiabilidade de componentes industriais. Os revestimentos de superfície permitem aumentar a resistência ao desgaste, à corrosão, a altas temperaturas e a solicitações mecânicas severas, contribuindo para a redução de custos de manutenção e aumento da vida útil dos equipamentos.

A *Durit Coatings* atua neste domínio, recorrendo a tecnologias avançadas de revestimento e tratamento superficial, tais como *Atmospheric plasma spray* (APS), *High Velocity Oxygen Fuel* (HVOF), *Electric Arc Wire Spray* (EAWS), *Physical Vapor Deposition* (PVD), *Plasma-Assisted Chemical Vapor Deposition* (PACVD), *Laser Cladding* e *Laser Hardening*, aplicadas em diversos setores industriais.

O departamento técnico-comercial desempenha um papel estratégico na empresa, funcionando como elo de ligação entre os clientes e os departamentos produtivos, sendo responsável pela análise técnica dos pedidos, elaboração de propostas e comunicação entre as diferentes áreas da organização.

No âmbito do estágio, o trabalho desenvolvido centrou-se na análise prática de pedidos técnicos reais, acompanhando todo o processo desde a receção da consulta até à elaboração da proposta técnico-comercial. Para além da compreensão das tecnologias de revestimento e dos respetivos condicionantes produtivos, foi dada especial atenção à forma como a informação técnica é recolhida, tratada e articulada entre as áreas comercial, produtiva e de logística, permitindo não só fundamentar tecnicamente as soluções propostas, mas também identificar pontos críticos no fluxo de informação, na estimativa de custos e na tomada de decisão.

1.2 Estrutura do Relatório

O presente relatório encontra-se organizado em vários capítulos, de forma a facilitar a compreensão do trabalho desenvolvido ao longo do estágio.

No Capítulo 1 é apresentada a introdução ao relatório, incluindo o enquadramento do tema e a descrição da sua estrutura.

O Capítulo 2 é dedicado à apresentação da empresa *Durit Coatings*, onde se descreve o seu enquadramento histórico, áreas de atuação, certificações e processos produtivos.

No Capítulo 3 é apresentado o enquadramento teórico das principais tecnologias de revestimento e tratamento superficial utilizadas pela empresa, nomeadamente APS, HVOF, EAWS, PVD, PACVD, *Laser Cladding* e *Laser Hardening*.

O Capítulo 4 apresenta as principais atividades desenvolvidas no âmbito do estágio, descrevendo os processos técnico-comerciais acompanhados, nomeadamente a elaboração de propostas.

No Capítulo 5 procede-se à análise crítica dos processos observados, recorrendo a ferramentas de apoio à decisão e identificando dificuldades operacionais e oportunidades de melhoria.

Por fim, o Capítulo 6 reúne as conclusões do trabalho realizado, sintetizando os principais contributos do estágio e apontando possíveis linhas de evolução futura.

2. Apresentação da Empresa

2.1 Breve história e evolução da *Durit Coatings*

A *Durit Coatings* nasceu em 2000 como *spin-off* do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV), sob a designação Tecnologia, Engenharia e Materiais, S.A. (TEandM). Desde cedo assumiu a aposta em tecnologias avançadas de revestimento, adquirindo em 2001 a sua primeira máquina PVD CC800. Em 2009 alargou as suas instalações com uma nova nave industrial, reforçando a capacidade de produção. Mais tarde, em 2017, incorporou a tecnologia de Laser *Cladding*, que abriu novas possibilidades no reforço e reparação de componentes. Em 2022, a marca *Durit Coatings* foi oficialmente consolidada e registada como identidade da TEandM.

O cronograma da história da empresa é apresentado na Figura 2.1.

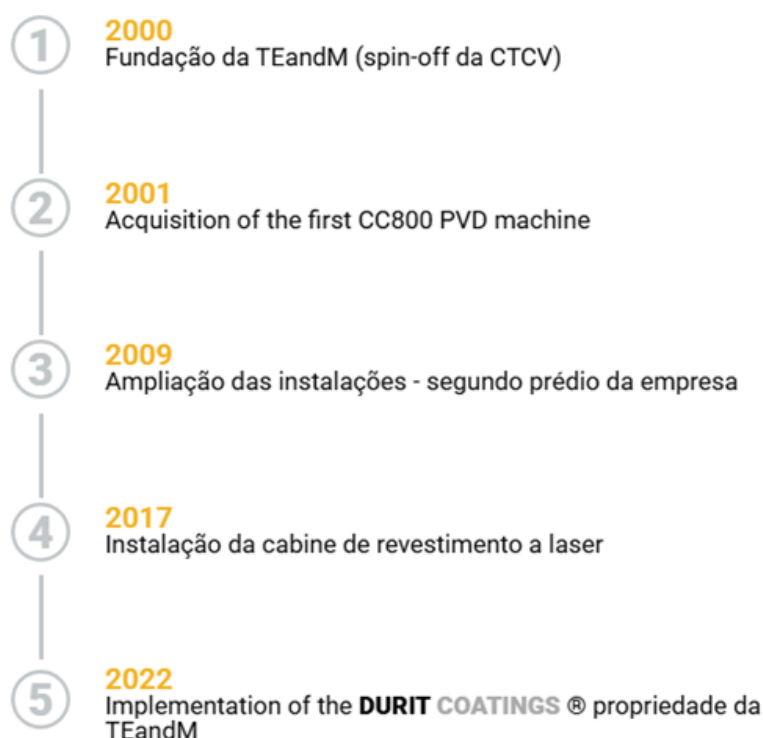


Figura 2.1: Cronograma da história da *Durit Coatings*, adaptado de [1]

Atualmente, a *Durit Coatings* encontra-se sediada no Parque Industrial de Taveiro, em Coimbra, contando com 32 colaboradores e apresentando um volume de negócios situado nos 4 milhões de euros, refletindo a consolidação da sua atividade e o posicionamento da empresa no setor dos revestimentos técnicos de elevado desempenho.

2.2 Integração no Grupo *Durit*

A *Durit Coatings* integra o Grupo *Durit*, um conjunto empresarial de dimensão internacional, reconhecido na área dos materiais e tecnologias de engenharia. Esta ligação confere-lhe robustez, capacidade de investimento e partilha de conhecimento, reforçando a sua posição como referência no setor dos revestimentos técnicos.

A Figura 2.2 apresenta as empresas que integram o Grupo *Durit*.



Figura 2.2: Empresas do Grupo *Durit*

2.3 Missão, visão e valores

A missão, visão e valores da *Durit Coatings* são:

1. Missão

“A *Durit Coatings* assume-se como uma empresa líder no mercado global de revestimentos técnicos com elevado desempenho de serviço e consistência da performance (qualidade), fornecendo uma assistência técnica de excelência.”

2. Visão

“Ser uma empresa reconhecida a nível internacional pelas suas capacidades de desenvolver soluções inovadoras, recorrendo à aplicação de materiais avançados, tratamento de superfícies e de componentes de geometria complexa.”

3. Valores

- “Lealdade com clientes e parceiros;
- Persistência e melhoria contínua na apresentação de soluções diferenciadores ao cliente;
- Desenvolvimento de soluções inovadoras com recurso a novos materiais e tecnologias de revestimentos;
- Promoção do espírito empreendedor dos colaboradores.” [1]

2.4 Áreas de atuação e distinções

A *Durit Coatings* atua em indústrias altamente exigentes e diversificadas, entre as quais a indústria aeronáutica, a indústria automóvel, a indústria farmacêutica, a indústria alimentar, a indústria da celulose e papel, a indústria da energia, a indústria metalúrgica, a indústria de moldes e ferramentas, a indústria química/petrolífera e a indústria têxtil.

A Figura 2.3 apresenta as principais áreas industriais onde a *Durit Coatings* desenvolve a sua atividade.

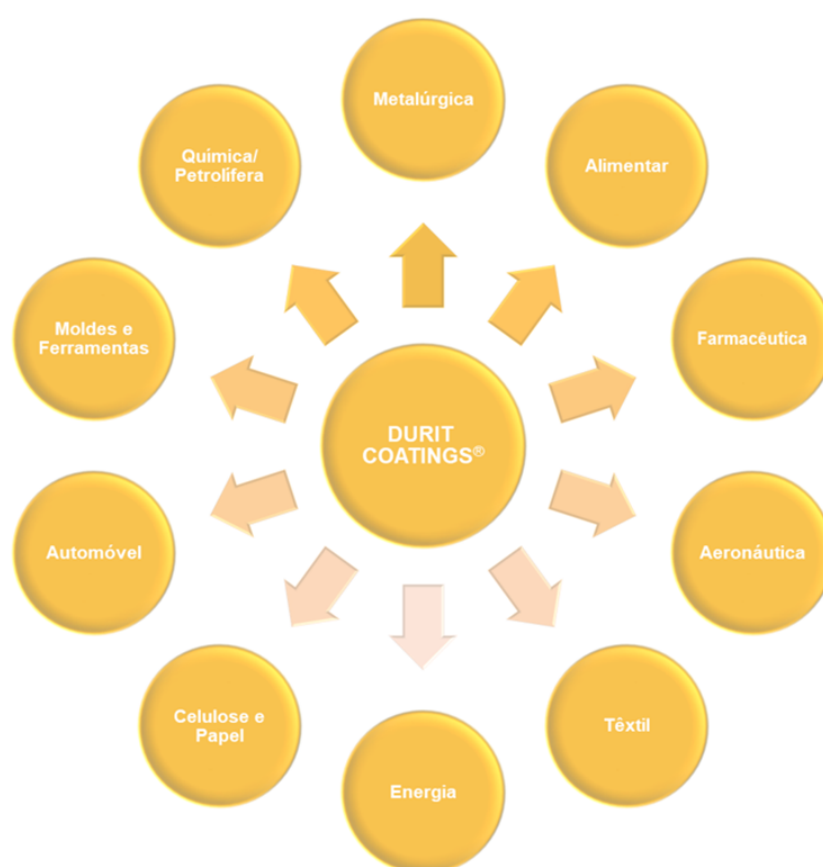


Figura 2.3: Áreas de atuação da *Durit Coatings*

A sua atividade centra-se em aumentar a durabilidade dos componentes, reduzindo o desgaste, a corrosão e os efeitos de temperaturas extremas, fatores que afetam diretamente a eficiência e os custos de manutenção dos equipamentos.

A *Durit Coatings* foi distinguida como PME Líder e Inovadora COTEC, reconhecimentos que reforçam a sua credibilidade e demonstram a confiança que o mercado deposita na empresa.

Outro aspeto diferenciador é a sua forte ligação ao meio científico e académico, através de colaborações com universidades e centros de investigação. Essa cooperação permite integrar conhecimento de ponta, desenvolver novos materiais e responder de forma competitiva a mercados internacionais cada vez mais exigentes.

2.5 Certificações

A *Durit Coatings* possui um conjunto de certificações e qualificações técnicas que asseguram o controlo dos seus processos, a fiabilidade das soluções desenvolvidas e a sua capacidade de atuar em setores industriais com elevados requisitos de segurança e desempenho.

A empresa encontra-se certificada segundo a norma ISO 9001 desde 2002, o que garante a implementação de um sistema de gestão da qualidade baseado na normalização de processos, controlo operacional, melhoria contínua e foco na satisfação do cliente. Esta certificação constitui a base organizacional da empresa, suportando todas as atividades produtivas e comerciais.

Considerando a sua atuação em setores altamente exigentes, nomeadamente a indústria aeronáutica, a *Durit Coatings* obteve em 2006 a certificação EN 9100, um referencial específico para organizações que fornecem produtos e serviços para aplicações aeronáuticas, espaciais e de defesa. Esta norma impõe requisitos adicionais ao sistema de gestão da qualidade, como o controlo rigoroso de processos especiais, rastreabilidade completa, gestão do risco e conformidade com requisitos de segurança, assegurando elevados níveis de fiabilidade dos componentes tratados.

No domínio da inovação, a empresa encontra-se certificada segundo a norma NP 4457, relativa à Investigação, Desenvolvimento e Inovação. Este referencial demonstra que a empresa possui uma abordagem estruturada à inovação, promovendo o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas, a melhoria contínua dos processos e a colaboração com entidades do sistema científico e tecnológico.

Para além das certificações de sistema, a *Durit Coatings* dispõe de qualificações técnicas específicas segundo referenciais *Norwegian Petroleum Industry Standards* (NORSOK), amplamente utilizados na indústria do petróleo e gás, especialmente em contextos *offshore*. As normas NORSOK consistem num conjunto de normas técnicas de-

envolvidas originalmente pela indústria petrolífera norueguesa com o objetivo de garantir elevados padrões de segurança, fiabilidade e desempenho em equipamentos e componentes sujeitos a ambientes extremamente severos, como altas pressões, corrosão intensa, desgaste abrasivo e exposição a atmosferas marinhas agressivas.

No contexto dos revestimentos técnicos e tratamentos de superfície, as normas NORSEK definem requisitos rigorosos relativos aos materiais utilizados, procedimentos de aplicação, controlo de processo, ensaios de qualificação e critérios de aceitação dos revestimentos. Estes requisitos visam assegurar que os componentes revestidos apresentam um desempenho consistente e previsível ao longo da sua vida útil em serviço, minimizando o risco de falhas catastróficas.

A *Durit Coatings* encontra-se qualificada segundo referenciais NORSEK para diferentes sistemas de revestimento e combinações de materiais, nomeadamente revestimentos à base de carboneto de tungsténio com ligante de cobalto-crómio (WC-CoCr), bem como sistemas envolvendo aços inoxidáveis *duplex* combinados com *Stellite 6* e *Inconel 625*. Estas qualificações resultam de processos de validação exigentes, que incluem a definição de procedimentos de soldadura ou deposição, ensaios destrutivos e não destrutivos, caracterização microestrutural, avaliação da aderência, dureza, resistência ao desgaste e comportamento à corrosão.

A obtenção destas qualificações NORSEK permite à empresa fornecer soluções de revestimento para aplicações críticas na indústria do petróleo e gás, onde a falha de um componente pode implicar elevados custos económicos, riscos ambientais e problemas de segurança. Assim, as certificações e qualificações técnicas detidas pela *Durit Coatings* constituem um fator diferenciador relevante, reforçando a confiança dos clientes e o posicionamento da empresa em mercados industriais de elevada exigência.

2.6 Processos produtivos

A *Durit Coatings* é especializada na aplicação de revestimentos técnicos e tratamentos de superfície, disponibilizando um conjunto diversificado de tecnologias orientadas para a proteção, recuperação e melhoria funcional de componentes industriais.

O seu portfólio tecnológico integra soluções de projeção térmica, tecnologias laser e revestimentos em vácuo permitindo responder a diferentes exigências funcionais, materiais e condições de serviço. A seleção de cada tecnologia é efetuada com base em critérios técnicos rigorosos, considerando fatores como o tipo de solicitação mecânica, o ambiente de operação, a espessura requerida e a geometria dos componentes.

Com o objetivo de sistematizar e facilitar a compreensão do portfólio tecnológico da empresa, a Figura 2.4, apresenta um esquema representativo das tecnologias de revestimento utilizadas pela *Durit Coatings*, organizadas de acordo com a sua família

tecnológica. O diagrama evidencia a distinção entre processos de projeção térmica, tecnologias laser e revestimentos físicos de vapor, permitindo uma visão global das soluções produtivas disponíveis e do seu enquadramento nos processos de engenharia de superfícies.

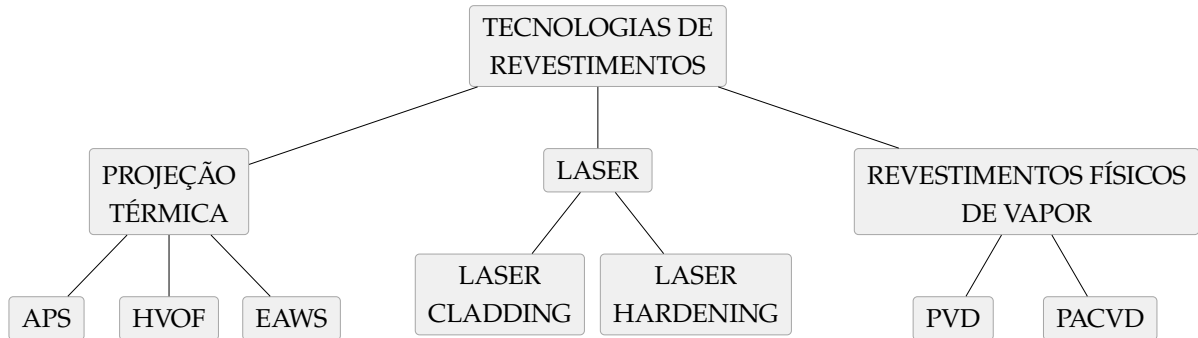


Figura 2.4: Diagrama das tecnologias de revestimentos da *Durit Coatings*

A empresa dispõe de uma capacidade instalada composta por três equipamentos de APS, dois equipamentos HVOF, dois equipamentos de EAWS, um equipamento de Laser *Cladding* e Laser *Hardening* e três máquinas de PVD, assegurando uma resposta produtiva diversificada e adequada às diferentes exigências industriais.

3. Enquadramento Teórico

Neste capítulo apresenta-se o enquadramento teórico que fundamenta o trabalho realizado, com foco nas principais tecnologias de revestimento da engenharia de superfícies aplicadas pela *Durit Coatings*. Introduzem-se os princípios gerais dos revestimentos e o seu contributo para aumentar a durabilidade e desempenho de componentes em condições exigentes de serviço.

Segue-se a análise da projeção térmica, com destaque para os processos APS, HVOF e EAWS, incluindo princípios de funcionamento, materiais utilizados, vantagens, limitações e aplicações industriais.

Analisa-se depois as tecnologias de revestimento em vácuo, PVD e PACVD, evidenciando características específicas, propriedades dos revestimentos obtidos e domínios de utilização.

Por fim, abordam-se os processos laser, *Laser Cladding* e *Laser Hardening*, como soluções para modificar e reforçar superfícies de peças industriais.

3.1 Introdução às Tecnologias de Revestimento

O desempenho e a vida útil dos componentes metálicos dependem, em grande medida, do que acontece na sua superfície. É precisamente nessa região que se concentram a maioria dos fenómenos de degradação durante o funcionamento em serviço. Processos como o desgaste, a corrosão e a ação de ambientes agressivos manifestam-se sobretudo à superfície, sendo muitas vezes responsáveis pela perda gradual de desempenho e por falhas prematuras.

Em contexto industrial, muitos componentes trabalham em condições bastante exigentes, com cargas elevadas, contacto constante entre superfícies e, em alguns casos, exposição a ambientes agressivos. Nestas situações, seria ideal que o material apresentasse simultaneamente elevada resistência mecânica, boa resistência ao desgaste, proteção contra corrosão e estabilidade térmica. No entanto, é difícil encontrar um único material base que reúna todas estas propriedades de forma equilibrada e economicamente viável.

É precisamente neste ponto que a engenharia de superfícies se torna relevante.

Em vez de substituir totalmente o material do componente, opta-se por modificar apenas a sua camada superficial, que é a zona mais solicitada durante o serviço. Desta forma, conseguem-se melhorar determinadas propriedades à superfície, mantendo as características estruturais do núcleo praticamente inalteradas.

Uma das soluções mais utilizadas passa pela aplicação de revestimentos, que consistem na deposição de uma camada de material sobre o substrato. Estes revestimentos permitem aumentar a resistência ao desgaste e à corrosão, contribuindo para prolongar a vida útil dos componentes e melhorar o seu desempenho em serviço.

A literatura evidencia ainda que não existe uma solução única em engenharia de superfícies, uma vez que diferentes aplicações impõem requisitos distintos. Como consequência, foram desenvolvidas diversas tecnologias de revestimento e tratamento superficial, cada uma com características, vantagens e limitações próprias, cuja aplicação deve ser considerada em função dos requisitos funcionais e das condições de serviço a que o componente está sujeito [2].

A Figura 3.1 apresenta de forma esquemática os principais objetivos e benefícios associados à aplicação de revestimentos em componentes.

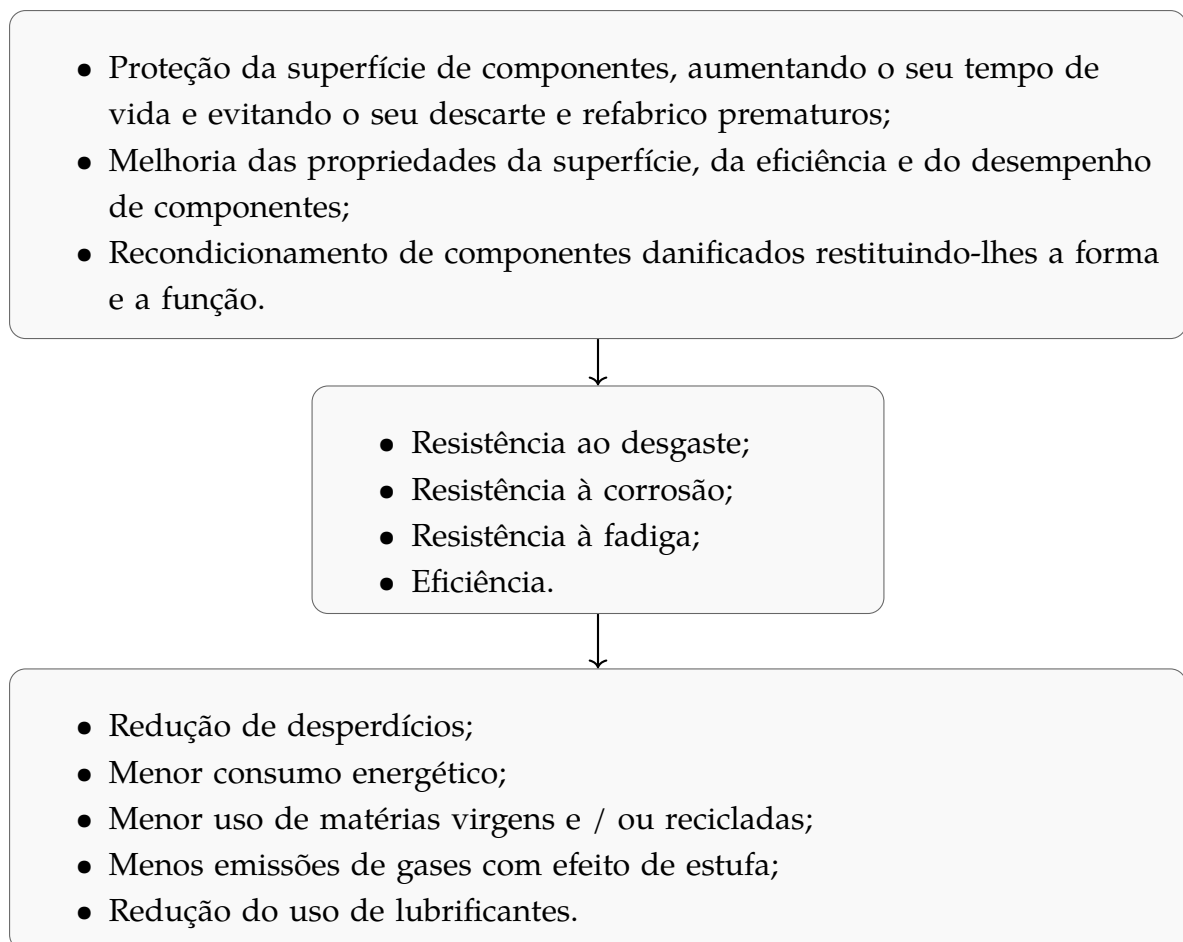


Figura 3.1: Principais contributos da aplicação de revestimentos

3.2 Projeção Térmica

A projeção térmica corresponde a um conjunto de processos de engenharia de superfícies amplamente utilizados na indústria para a aplicação de revestimentos funcionais. O princípio fundamental baseia-se no aquecimento e aceleração do material de revestimento (sob a forma de pó, arame ou líquido) até um estado fundido ou semifundido, sendo subsequentemente projetado a alta velocidade contra a superfície do substrato. Após o impacto, as partículas deformam-se, espalham-se rapidamente e solidificam, acumulando-se e formando um revestimento aderente à superfície do componente.

A utilização da projeção térmica na indústria resulta da sua capacidade de melhorar o desempenho funcional de componentes sujeitos a condições de serviço severas. Estes processos são amplamente aplicados para aumentar a resistência ao desgaste e à corrosão, melhorar o comportamento a altas temperaturas e prolongar a vida útil de componentes industriais, contribuindo para a proteção e recuperação de superfícies sujeitas a degradação.

Uma das principais vantagens da projeção térmica reside na sua versatilidade, permitindo a aplicação de uma ampla variedade de materiais, incluindo metais, ligas, cerâmicos e compósitos. Estes processos possibilitam a formação de revestimentos por acumulação sucessiva de partículas projetadas, originando camadas contínuas com espessura controlável em função dos parâmetros de processamento. Adicionalmente, a projeção térmica caracteriza-se por um aporte térmico relativamente reduzido ao substrato, evitando a sua fusão e minimizando alterações significativas nas propriedades do material base.

Apesar das suas vantagens, a projeção térmica apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. A qualidade do revestimento depende fortemente da preparação da superfície do substrato, sendo frequentemente necessária a realização de tratamentos prévios para garantir uma boa aderência. Adicionalmente, determinados processos podem originar níveis de porosidade ou exigir operações posteriores de acabamento superficial, em função dos requisitos da aplicação final.

No âmbito da projeção térmica, existem diferentes processos, desenvolvidos para responder a necessidades específicas. Entre os mais utilizados destacam-se o APS, o HVOF e o EAWS. Cada um destes processos apresenta características próprias ao nível das condições de processamento, propriedades dos revestimentos obtidos e campos de aplicação, sendo a sua seleção dependente dos requisitos funcionais e das condições de serviço do componente a revestir [3].

Os princípios gerais aqui descritos aplicam-se aos diferentes processos de projeção térmica, sendo as particularidades de cada tecnologia analisadas individualmente nas secções seguintes.

3.2.1 APS

O que é o APS e como funciona

O APS é uma tecnologia de engenharia de superfícies desenvolvida após a Segunda Guerra Mundial, utilizada para a deposição de revestimentos espessos sobre diferentes tipos de substratos. O processo permite a aplicação de revestimentos metálicos e refratários, sendo particularmente adequado para a obtenção de camadas com espessuras que variam desde algumas centenas de micrómetros até milímetros. A versatilidade do APS em termos de materiais aplicáveis e a possibilidade de obtenção de revestimentos espessos tornam-no uma tecnologia amplamente utilizada no domínio dos revestimentos industriais [4].

O funcionamento do processo de projeção por plasma atmosférico baseia-se na geração de um jato de plasma de elevada temperatura, obtido através de um arco elétrico estabelecido entre dois elétrodos e da ionização de um gás plasmagénico. O material de revestimento é introduzido neste jato sob a forma de partículas, sendo simultaneamente aquecido e acelerado ao longo do seu percurso.

Durante o voo no jato de plasma, as partículas atingem temperaturas elevadas e elevadas velocidades, chegando à superfície do substrato num estado fundido ou parcialmente fundido. No impacto, as partículas deformam-se plasticamente, espalhando-se sobre a superfície, e solidificam rapidamente devido à elevada taxa de arrefecimento. A repetição deste fenómeno conduz à formação progressiva do revestimento por sobreposição sucessiva de lamelas, cuja qualidade depende das condições térmicas e cinéticas das partículas no momento do impacto [5].

A Figura 3.2 apresenta um esquema representativo do processo APS.

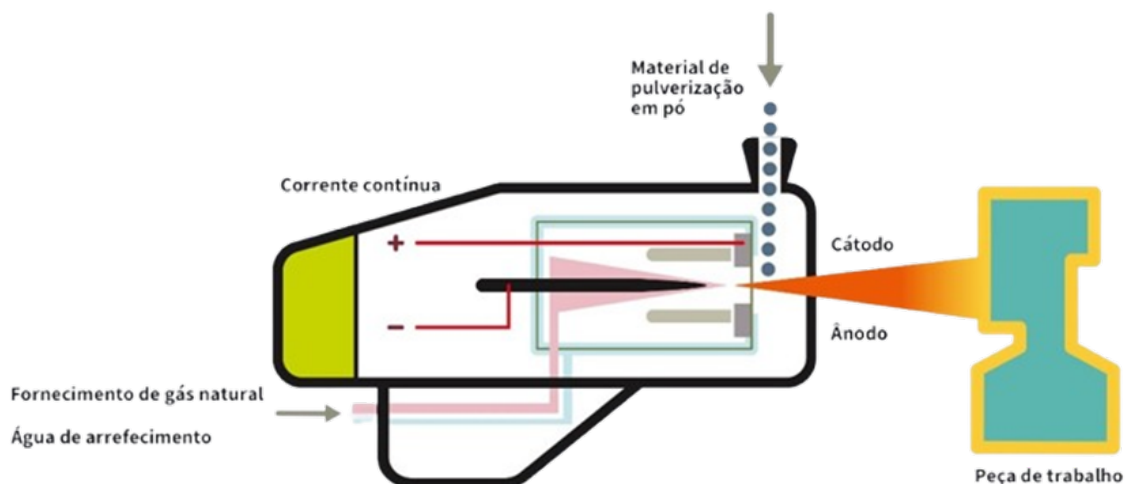


Figura 3.2: Processo APS, adaptado de [6]

Após a representação esquemática do processo APS, apresenta-se na Figura 3.3 um exemplo de aplicação industrial desta tecnologia em ambiente produtivo.

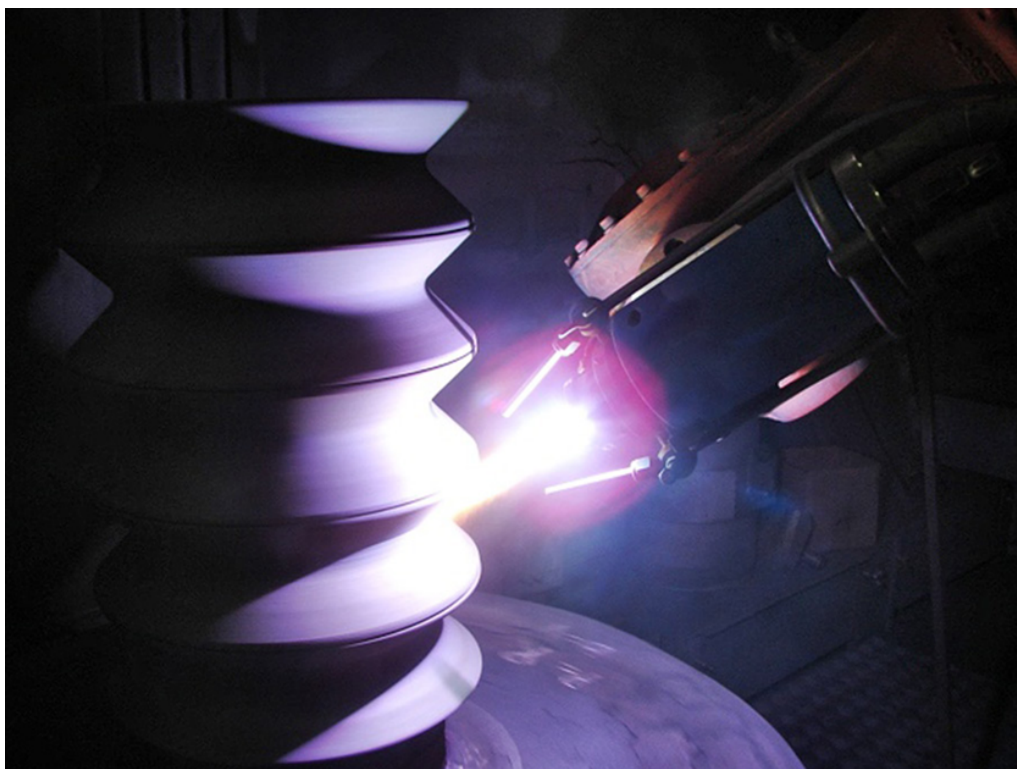


Figura 3.3: Sistema de projeção por APS em operação, adaptado de [7]

Materiais tipicamente utilizados em APS

Uma das principais características do APS é a sua elevada versatilidade em termos de materiais aplicáveis. O processo permite a deposição de uma vasta gama de materiais, incluindo metais, ligas, cerâmicos e cermetos. Entre os materiais mais comuns encontram-se óxidos cerâmicos, como alumina e zircónia, amplamente utilizados em aplicações de barreira térmica, bem como materiais metálicos e ligas destinadas à melhoria da resistência ao desgaste e à oxidação. A capacidade de projetar materiais com elevados pontos de fusão constitui uma vantagem relevante do APS face a outros processos de deposição superficial [4].

Para complementar a descrição dos materiais e condições de processamento do APS, a Tabela 3.1 apresenta as propriedades típicas dos revestimentos obtidos por esta tecnologia.

Tabela 3.1: Propriedades típicas do APS

Propriedades típicas APS	
Tipo de revestimentos	Cerâmicos; Cermetos; Metais;
Tipo de material de alimentação	Pó
Velocidade das partículas	200 m/s
Temperatura da fonte de energia	10000–20000°C
Resistência à adesão	20–50 MPa
Porosidade	4–8 %
Espessura do revestimento	200–1000 μm

Vantagens e limitações do processo APS no contexto dos revestimentos

Entre as principais vantagens do APS, destaca-se a possibilidade de deposição de revestimentos espessos, frequentemente classificados como *thick coatings*, com espessuras que podem variar de algumas centenas de micrómetros a milímetros. Esta característica permite que o desempenho funcional do revestimento não esteja limitado a filmes finos, como ocorre em processos PVD. Adicionalmente, o APS apresenta elevada flexibilidade geométrica e permite a adaptação da microestrutura do revestimento através do controlo dos parâmetros de projeção, possibilitando a sua adequação a diferentes condições de serviço [4].

Apesar das suas vantagens, os revestimentos produzidos por APS apresentam limitações associadas à sua microestrutura lamelar. A presença de porosidade e de interfaces parcialmente coesas pode comprometer determinadas propriedades, nomeadamente a resistência à corrosão em ambientes altamente agressivos. O desempenho do revestimento depende fortemente do controlo rigoroso dos parâmetros do processo, bem como da preparação adequada da superfície do substrato, sendo estes fatores determinantes para garantir uma boa aderência e comportamento em serviço [5].

Posicionamento e aplicações industriais da tecnologia APS

No domínio da engenharia de superfícies, o processo APS distingue-se de outros métodos de projeção térmica pela sua ampla capacidade de deposição de materiais cerâmicos e revestimentos de elevado ponto de fusão, sendo particularmente utilizado quando são necessárias soluções de proteção térmica e funcional de componentes sujeitos a temperaturas elevadas.

A tecnologia é aplicada em diversos setores industriais como, por exemplo, na indústria energética, automóvel, química, metalúrgica, entre outras, sendo utilizada tanto em componentes novos como em operações de manutenção e recuperação de

componentes sujeitos a desgaste e degradação em serviço. Entre as aplicações mais comuns destacam-se revestimentos de barreira térmica, proteção de componentes mecânicos e recuperação dimensional de peças industriais [4, 5].

Apresentam-se, de seguida, na Figura 3.4, exemplos de componentes industriais revestidos por APS, utilizados em diferentes setores de aplicação.

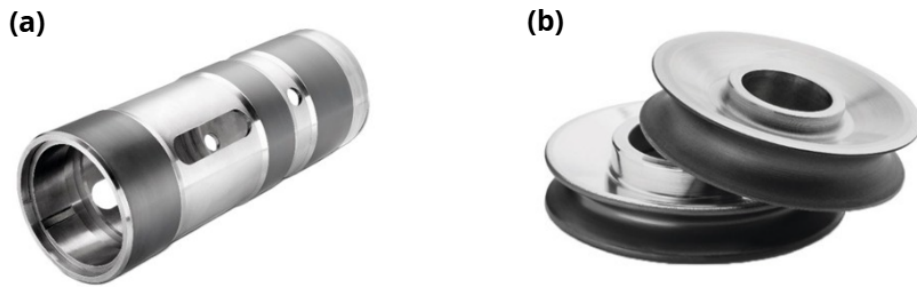


Figura 3.4: Exemplos de componentes revestidos por APS : (a) casquilho (indústria química/petrolífera) e (b) roldanas guia (indústria metalúrgica), adaptado de [8]

3.2.2 HVOF

O que é o HVOF e como funciona

O HVOF é um processo de projeção térmica utilizado na engenharia de superfícies para a deposição de revestimentos funcionais, no qual a energia térmica é gerada através da combustão de uma mistura de oxigénio e combustível. O material de revestimento é introduzido na chama sob a forma de partículas, sendo aquecido e acelerado a elevadas velocidades antes de impactar a superfície do substrato.

O processo HVOF é particularmente reconhecido pela capacidade de produzir revestimentos densos, com baixa porosidade e elevada aderência, sendo amplamente aplicado em contextos industriais que exigem elevado desempenho superficial [9].

O funcionamento do processo HVOF baseia-se na combustão controlada de um combustível, como querosene, hidrogénio ou propano, em presença de oxigénio, originando uma chama de elevada energia. Esta combustão ocorre numa câmara pressurizada, da qual resulta um jato de gases de elevada velocidade, frequentemente em regime supersónico.

As partículas do material de revestimento são injetadas neste jato e aceleradas a velocidades muito elevadas, atingindo o substrato num estado fundido ou parcialmente fundido. O impacto ocorre com elevada energia cinética, promovendo a deformação das partículas e a sua adesão à superfície. A repetição deste processo conduz

à formação do revestimento por acumulação sucessiva de partículas, sendo a microestrutura final fortemente influenciada pelas condições de combustão e pelos parâmetros do processo [9, 10].

A Figura 3.5 apresenta um esquema representativo do processo HVOF.

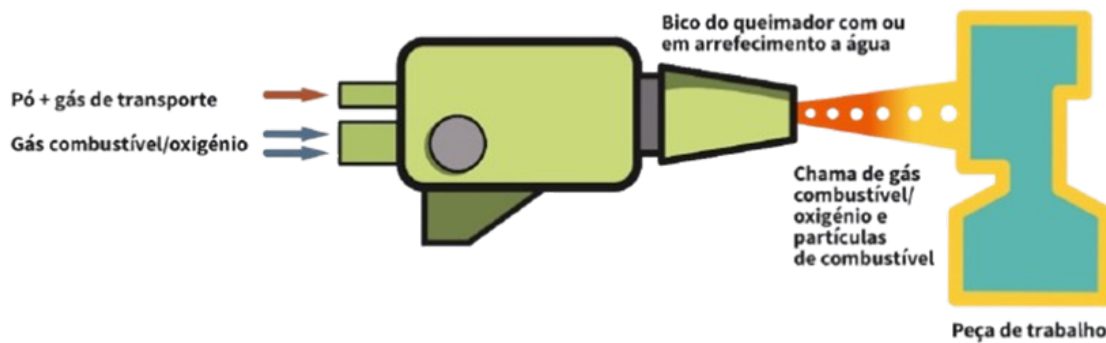


Figura 3.5: Processo HVOF, adaptado de [6]

Após a representação esquemática do processo HVOF, apresenta-se na Figura 3.6 um exemplo de aplicação industrial desta tecnologia em ambiente produtivo.



Figura 3.6: Sistema de projeção por HVOF em operação

Materiais tipicamente utilizados em HVOF

O processo HVOF é particularmente adequado para a deposição de materiais metálicos, ligas e cermetos, sendo amplamente utilizado na aplicação de revestimentos à base de carbonetos, como carboneto de tungsténio com ligante de cobalto (WC–Co) e carboneto de crómio - níquel crómio (Cr_3C_2 –NiCr). Estes materiais são frequentemente selecionados devido à sua elevada resistência ao desgaste e boa estabilidade em ambientes agressivos.

A capacidade do HVOF de projetar partículas a elevadas velocidades permite a obtenção de revestimentos com microestruturas densas e baixa oxidação, preservando as propriedades dos materiais aplicados. Esta característica torna o processo especialmente indicado para revestimentos destinados a aplicações tribológicas e de proteção contra corrosão [9].

Para complementar a descrição dos materiais e condições de processamento do HVOF, a Tabela 3.2 apresenta as propriedades típicas dos revestimentos obtidos por esta tecnologia.

Tabela 3.2: Propriedades típicas do HVOF

Propriedades típicas HVOF	
Tipo de revestimentos	Cermetos; Metais
Tipo de material de alimentação	Pó
Velocidade das partículas	300 m/s
Temperatura da fonte de energia	3000°C
Resistência à adesão	80 MPa
Porosidade	0.5–1 %
Espessura do revestimento	100–500 μm

Vantagens e limitações do processo HVOF no contexto dos revestimentos

Entre as principais vantagens do processo HVOF destaca-se a elevada velocidade das partículas projetadas, que conduz à formação de revestimentos densos e com porosidade significativamente reduzida quando comparados com outros processos de projeção térmica. Esta característica traduz-se numa melhoria das propriedades mecânicas e funcionais do revestimento, nomeadamente da resistência ao desgaste e à corrosão.

Outro aspeto relevante prende-se com o facto de as partículas não estarem expostas a temperaturas tão extremas como acontece em processos baseados em plasma. Essa condição tende a reduzir fenómenos de oxidação durante a deposição, permitindo

preservar melhor a composição do material projetado. Para além disso, o ajuste dos parâmetros operatórios como caudal de combustível, relação oxigénio/combustível ou distância de projeção possibilita adaptar o revestimento às exigências específicas de cada aplicação [9, 10].

Apesar das vantagens apontadas, o HVOF não está isento de limitações. O investimento em equipamento e os requisitos associados ao controlo da combustão e às condições de segurança podem representar um acréscimo de complexidade operacional.

Adicionalmente, a elevada velocidade das partículas, que constitui uma das principais vantagens do processo, pode também impor algumas restrições quando se trata de componentes com geometrias mais complexas ou com tolerâncias dimensionais muito apertadas. Tal como acontece noutros processos de projeção térmica, a preparação da superfície do substrato assume um papel determinante, sendo fundamental para assegurar uma boa aderência e um desempenho adequado do revestimento ao longo do serviço [9, 10].

Posicionamento e aplicações industriais da tecnologia HVOF

No contexto da engenharia de superfícies, o processo HVOF distingue-se de outros métodos de projeção térmica pela sua capacidade de produzir revestimentos com elevada densidade e baixa porosidade. Em aplicações onde são exigidas propriedades tribológicas superiores ou elevada resistência à corrosão, o HVOF apresenta vantagens face a processos como o APS.

No entanto, o processo HVOF apresenta limitações na deposição de determinados materiais cerâmicos e na obtenção de revestimentos de elevada espessura, campos em que outros processos de projeção térmica ou técnicas de deposição alternativas podem revelar-se mais adequados. Assim, a seleção do processo deve ser realizada em função dos requisitos funcionais e das condições de serviço do componente [9].

A tecnologia encontra aplicação em diversos setores, como por exemplo, na indústria energética, alimentar, metalúrgica, entre outras, sendo utilizada na proteção de componentes mecânicos e, em muitos casos, como alternativa a processos convencionais de cromagem dura.

A combinação entre elevada densidade, boa aderência e propriedades mecânicas superiores torna o HVOF uma tecnologia consolidada no domínio dos revestimentos industriais de alto desempenho [9, 10].

Apresentam-se, de seguida, na Figura 3.7, exemplos de componentes industriais revestidos por HVOF, utilizados em diferentes setores de aplicação.

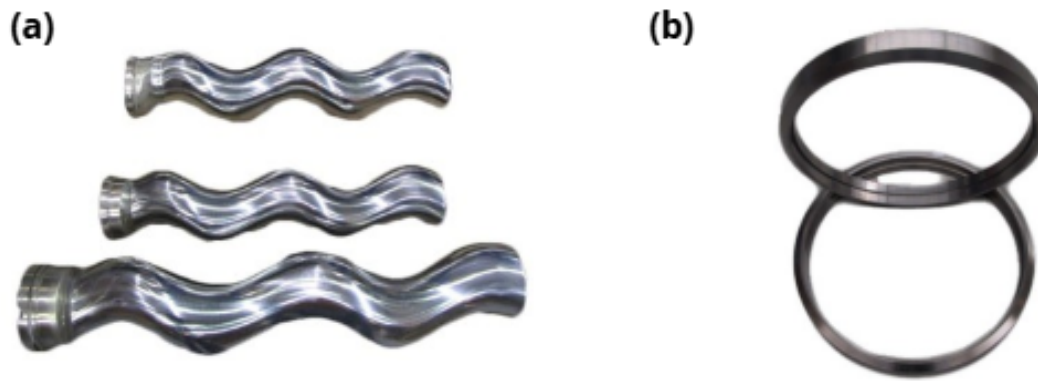


Figura 3.7: Exemplos de componentes revestidos por HVOF: (a) veios de bomba mono (indústria alimentar) e (b) aros de desgaste (indústria energética), adaptado de [8]

3.2.3 EAWS

O que é o EAWS e como funciona

O EAWS é uma tecnologia de projeção térmica amplamente utilizada na engenharia de superfícies, particularmente em aplicações industriais onde são privilegiadas elevadas taxas de deposição, simplicidade operacional e custos reduzidos. Trata-se de um dos processos mais antigos de projeção térmica, tendo evoluído ao longo do tempo para responder a necessidades de proteção superficial, recuperação dimensional e reforço funcional de componentes metálicos.

De forma geral, o EAWS insere-se no conjunto das tecnologias de projeção térmica metálica, sendo frequentemente comparado com processos como APS e HVOF, embora apresente características próprias ao nível da energia de processamento, microestrutura dos revestimentos e propriedades mecânicas finais. A literatura descreve o EAWS como uma solução particularmente competitiva para aplicações de grande escala, nas quais os requisitos mecânicos e tribológicos são moderados, mas a proteção contra corrosão e o custo global assumem um papel determinante [11, 12].

O processo EAWS baseia-se na utilização de dois arames metálicos eletricamente condutores, alimentados de forma contínua e com polaridades opostas. Quando as extremidades dos arames entram em contacto, é estabelecido um arco elétrico que provoca a fusão localizada do material. O metal fundido é posteriormente atomizado por um jato de gás comprimido, normalmente ar, e projetado a elevada velocidade em direção à superfície do substrato.

Após o impacto, as partículas fundidas ou semi-fundidas deformam-se plasticamente e solidificam rapidamente, formando lamelas sucessivas que se acumulam até originar o revestimento final. Este mecanismo de deposição conduz a uma microestrut-

tura tipicamente lamelar, comum aos processos de projeção térmica, mas com características específicas resultantes das condições térmicas e cinéticas do EAWS [11].

A Figura 3.8 apresenta um esquema representativo do processo EAWS.

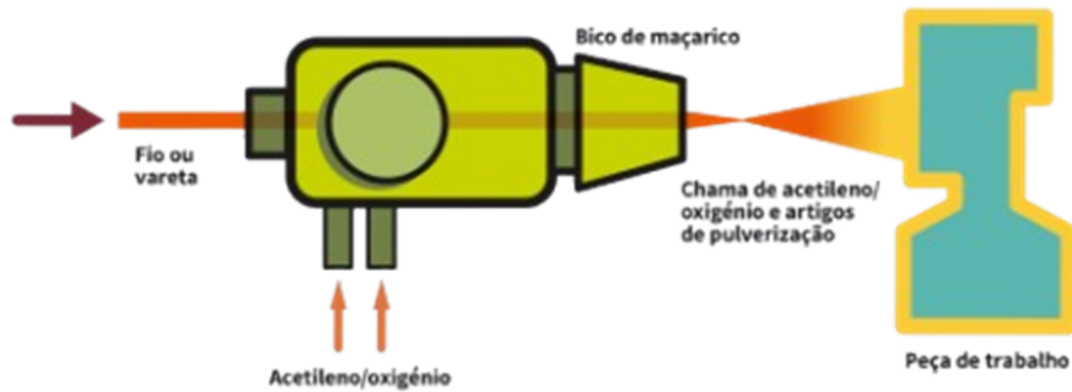


Figura 3.8: Processo EAWS, adaptado de [6]

Após a representação esquemática do processo EAWS, apresenta-se na Figura 3.9 um exemplo de aplicação industrial desta tecnologia em ambiente produtivo.



Figura 3.9: Sistema de projeção por EAWS em operação

Materiais tipicamente utilizados em EAWS

Devido ao princípio de funcionamento baseado num arco elétrico, o EAWS encontra-se limitado à deposição de materiais eletricamente condutores sob a forma de arame. Entre os materiais mais frequentemente utilizados destacam-se ligas de aço carbono, aços inoxidáveis, ligas de alumínio, zinco, cobre e ligas de cobre, como o latão.

A aplicabilidade do EAWS à deposição de revestimentos de latão, evidencia a capacidade do processo para produzir camadas contínuas com propriedades mecânicas e morfológicas ajustáveis em função dos parâmetros de projeção. Adicionalmente, estudos mais recentes indicam que revestimentos metálicos obtidos por EAWS não servem só para proteger a superfície, mas também ajudam no desempenho mecânico geral de peças estruturais revestidas [11].

Para complementar a descrição dos materiais e condições de processamento do EAWS, a Tabela 3.3 apresenta as propriedades típicas dos revestimentos obtidos por esta tecnologia.

Tabela 3.3: Propriedades típicas do EAWS

Propriedades típicas EAWS	
Tipo de revestimentos	Metais
Tipo de material de alimentação	Arame
Velocidade das partículas	100 m/s
Temperatura da fonte de energia	5500°C
Resistência à adesão	15–40 MPa
Porosidade	3 %
Espessura do revestimento	200–5000 μm

Parâmetros de processo e microestrutura do EAWS

O desempenho dos revestimentos obtidos por EAWS é fortemente dependente dos parâmetros de processamento, sendo os mais relevantes a corrente elétrica, a tensão do arco e a distância de projeção.

O aumento da corrente elétrica promove uma melhor atomização do material fundido, originando partículas de menor dimensão e revestimentos com menor rugosidade superficial e maior eficiência de deposição. Por outro lado, tensões mais elevadas tendem a aumentar o comprimento do arco e a energia térmica, resultando em partículas maiores e superfícies mais rugosas.

A distância de projeção assume igualmente um papel crítico, uma vez que distâncias excessivas favorecem a oxidação e a solidificação prematura das partículas du-

rante o voo, aumentando a porosidade do revestimento. Os resultados demonstram que a microestrutura do revestimento, fortemente influenciada pelos parâmetros do processo, condiciona diretamente a rigidez e a resistência mecânica dos componentes.

Os revestimentos obtidos por EAWS apresentam uma microestrutura lamelar, caracterizada por interfaces interlamelares, porosidade e presença de óxidos, cuja extensão depende das condições de projeção. Combinações de corrente elevada, tensão moderada e distância de projeção reduzida resultam em revestimentos mais densos e com menor número de defeitos microestruturais.

Do ponto de vista mecânico, o comportamento de revestimentos EAWS aplicados em elementos estruturais de aço evidencia um módulo de elasticidade inferior ao do aço base, bem como comportamento frágil em tração. Em ensaios de compressão e flexão, no entanto, estes revestimentos contribuem de forma significativa para a rigidez global, aumentando a capacidade resistente dos componentes.

Estes resultados indicam que, apesar das limitações mecânicas intrínsecas, os revestimentos EAWS podem desempenhar uma função complementar como camada funcional, em conjunto com o material base, melhorando o desempenho estrutural global [11, 12].

Vantagens e limitações do processo EAWS

Entre as principais vantagens do EAWS destacam-se a simplicidade do equipamento, os baixos custos de investimento e operação, a elevada taxa de deposição e a possibilidade de aplicação de revestimentos metálicos espessos. Estas características tornam o processo particularmente atrativo para aplicações industriais de grande dimensão e manutenção preventiva.

No entanto, o EAWS apresenta limitações importantes. A porosidade relativamente elevada, a maior suscetibilidade à oxidação e as propriedades mecânicas inferiores dos revestimentos restringem a sua utilização em aplicações tribológicas severas ou ambientes altamente corrosivos. Adicionalmente, o comportamento frágil do revestimento em tração constitui uma limitação relevante em aplicações sujeitas a esforços de tração elevados [12].

Posicionamento e aplicações típicas dos revestimentos de EAWS

A literatura descreve o EAWS como uma tecnologia de projeção térmica amplamente utilizada na proteção superficial e recuperação dimensional de componentes metálicos, especialmente quando são necessárias elevadas taxas de deposição e custos de processamento reduzidos.

O processo é particularmente aplicado em componentes metálicos de grande dimensão, onde a produtividade e a viabilidade económica assumem maior importância

do que requisitos tribológicos severos. As aplicações incluem proteção contra corrosão moderada, recuperação dimensional e reforço funcional de peças utilizadas em setores industriais como a indústria naval, energética, metalúrgica, entre outras [11, 12].

Apresentam-se, de seguida, na Figura 3.10, exemplos de componentes industriais revestidos por EAWS, utilizados em diferentes setores de aplicação.

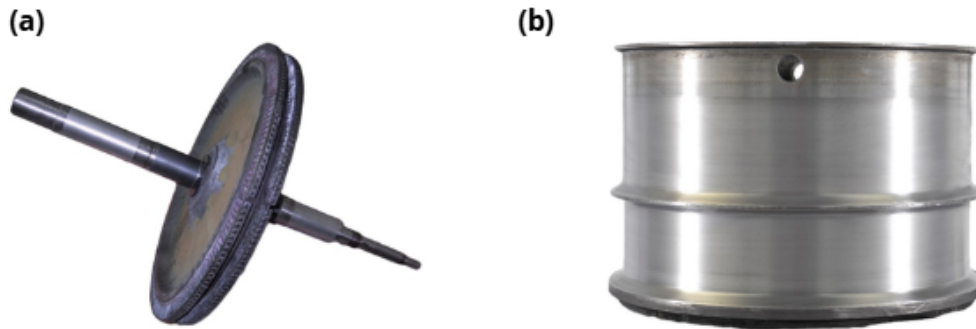


Figura 3.10: Exemplos de componentes revestidos por EAWS: (a) turbina de vapor (indústria energética) e (b) bobina de trefilagem (indústria metalúrgica), adaptado de [8]

3.3 Revestimentos Físicos de Vapor

Os revestimentos físicos de vapor inserem-se no domínio da engenharia de superfícies e correspondem a um conjunto de tecnologias destinadas à modificação das propriedades superficiais dos materiais através da deposição de filmes finos. Estas tecnologias distinguem-se das técnicas de revestimento espesso, como a projeção térmica, pela reduzida espessura das camadas depositadas e pelo elevado controlo dos parâmetros de processamento, sendo particularmente adequadas para aplicações que exigem elevada precisão dimensional e desempenho superficial controlado.

De forma geral, os revestimentos físicos de vapor são obtidos em ambiente de baixa pressão, recorrendo a mecanismos de vaporização do material de revestimento e à subsequente condensação das espécies vaporizadas sobre a superfície do substrato. Esta abordagem permite a obtenção de revestimentos com microestrutura controlada e propriedades ajustadas às condições de serviço do componente, sem comprometer significativamente as características do material base.

No âmbito dos revestimentos físicos de vapor, existem diferentes tecnologias de deposição, diferenciadas pelos mecanismos de geração do vapor e pelas condições de processamento. No presente relatório, o enfoque é colocado nos processos de PVD e de PACVD, cujos princípios, características e campos de aplicação são analisados nas secções seguintes [13].

3.3.1 PVD

O que é o PVD e como funciona

O PVD corresponde a um conjunto de tecnologias de engenharia de superfícies utilizadas para a aplicação de revestimentos finos com elevada dureza, baixo coeficiente de atrito e elevada resistência ao desgaste. Estes revestimentos são amplamente utilizados em ferramentas de corte, moldes e componentes sujeitos a solicitações tribológicas severas, onde o desempenho superficial é determinante para a vida útil do componente.

O princípio fundamental do PVD baseia-se na vaporização física de um material sólido em ambiente de vácuo, seguida do transporte das espécies vaporizadas e da sua condensação sobre a superfície do substrato, formando o revestimento. Durante o processo, o material é convertido em átomos ou iões metálicos através de mecanismos físicos, sendo transportado num plasma cuja energia e densidade influenciam diretamente a adesão, densificação e microestrutura da camada depositada. Este mecanismo permite um controlo rigoroso da composição química, da microestrutura e da espessura do revestimento, distinguindo o PVD de outros processos de revestimento superficial.

Uma das principais características do PVD é a possibilidade de realizar a deposição a temperaturas relativamente baixas, quando comparado com outros processos de revestimento, o que permite a aplicação de filmes finos em substratos sensíveis à temperatura, mantendo inalteradas as propriedades do material base [14, 15].

A Figura 3.11 apresenta um esquema representativo do processo PVD.

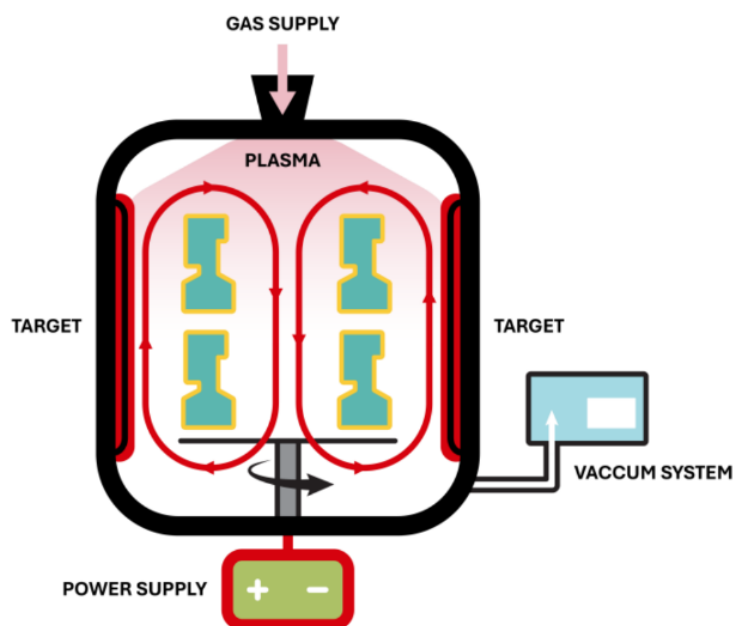


Figura 3.11: Processo PVD, adaptado de [6]

Após a descrição do princípio de funcionamento do processo PVD, apresenta-se na Figura 3.12 um exemplo de uma câmara de revestimento por deposição física de vapor.



Figura 3.12: Câmara de revestimento por deposição física de vapor

Materiais e tipos de revestimentos PVD

Os revestimentos obtidos por PVD são majoritariamente à base de nitretos metálicos, destacando-se nitreto de titânio (TiN), nitreto de crômio (CrN), nitreto de titânio e alumínio (TiAlN), *Diamond-Like Carbon* (DLC) e carbonitreto de titânio (TiCN). Estes materiais apresentam elevada dureza, boa estabilidade térmica e elevada resistência ao desgaste, características fundamentais para aplicações em ferramentas de corte e moldes industriais.

A literatura evidencia ainda a evolução dos revestimentos PVD desde sistemas simples (*monolayer*) até arquiteturas multicamada e multicomponentes, desenvolvidas com o objetivo de combinar diferentes propriedades funcionais, como dureza, resis-

tência à oxidação e comportamento tribológico melhorado [14, 15].

A Tabela 3.4 apresenta uma comparação das propriedades técnicas de diferentes revestimentos PVD utilizados industrialmente.

Tabela 3.4: Propriedades técnicas de alguns tipos de revestimentos PVD, adaptado de documento interno

	TiAlN	TiN	DLC
Espessura (μm)	2 a 5	2 a 5	2 a 4
Microdureza (HV 0.05)	3100 a 3300	2500 a 2600	1300 a 1470
Ultra microdureza (HV 0.01)	3300 a 5050	3160 a 4050	1620 a 2070
Coeficiente de atrito (DIN 100 Cr6)	0,5 a 0,7	0,7	0,3 a 0,4
Carga crítica de adesão (N)	23 a 25	34 a 38	23 a 33
Módulo de elasticidade ($\text{N/mm}^2 \times 10^3$)	360 a 450	450 a 580	290 a 320
Temperatura máxima de serviço ($^{\circ}\text{C}$)	850	650	650
Cor	Cinzentos-escuros	Dourado	Preto

Para complementar a descrição dos materiais e condições de processamento do PVD, a Tabela 3.5 apresenta as propriedades típicas dos revestimentos obtidos por esta tecnologia.

Tabela 3.5: Propriedades típicas do PVD

Propriedades Típicas PVD	
Alta Dureza	1800–4000 HV0.05
Baixo Coeficiente de Fricção	0,1–0,4
Elevada Temperatura de trabalho	20–1000 $^{\circ}\text{C}$
Baixa Espessura	2–5 μm
Alta Resistência Química	

Vantagens e limitações do PVD

O processo PVD é amplamente utilizado na indústria devido ao controle preciso da composição dos revestimentos e à possibilidade de deposição a temperaturas relativamente baixas. Os revestimentos obtidos apresentam elevada dureza, boa resistência ao desgaste e à corrosão e baixo coeficiente de atrito, aumentando a vida útil de ferramentas e componentes.

A sua aplicação contribui ainda para melhoria do acabamento das peças, aumento da produtividade e redução de custos de manutenção e paragens de máquina [16].

Como limitação, destaca-se o elevado investimento em equipamentos e a reduzida espessura dos revestimentos, o que impede a sua utilização em aplicações que requerem recuperação dimensional significativa.

Posicionamento e aplicações típicas dos revestimentos PVD

Esta tecnologia revela-se particularmente adequada para aplicações onde são exigidas elevadas resistências ao desgaste e à fricção, sem alteração significativa das dimensões do componente, sendo por isso amplamente utilizada em ferramentas de corte, moldes industriais, componentes mecânicos de precisão e aplicações sujeitas a condições severas de contacto e abrasão.

No entanto, quando são necessárias espessuras elevadas para recuperação dimensional ou proteção contra desgaste severo, processos de projeção térmica podem revelar-se mais adequados. Assim, a seleção do PVD deve ser efetuada em função dos requisitos funcionais, condições de serviço e tolerâncias dimensionais do componente.

Os revestimentos PVD encontram atualmente aplicação em diversos setores industriais, incluindo indústria automóvel, farmacêutica, moldes e ferramentas, entre outras, constituindo uma solução consolidada para melhoria do desempenho e aumento da vida útil de componentes [15].

Apresentam-se, de seguida, na Figura 3.13, exemplos de componentes industriais revestidos por PVD, utilizados em diferentes setores de aplicação.



Figura 3.13: Exemplos de componentes revestidos por PVD: (a) punção de prensagem (indústria farmacêutica) e (b) fresas (indústria de moldes e ferramentas), adaptado de [8]

3.3.2 PACVD

O que é o PACVD e como funciona

O PACVD é uma tecnologia de engenharia de superfícies utilizada para a aplicação de revestimentos finos através de reações químicas de precursores gasosos ativadas por plasma. Este processo surgiu como uma evolução dos métodos convencionais de deposição química de vapor (CVD), permitindo a formação de revestimentos a temperaturas significativamente mais baixas, tornando-o adequado para substratos sensíveis à temperatura, como aços tratados termicamente, ligas leves e determinados polímeros.

Nos processos PACVD, a formação do revestimento ocorre a partir de precursores gasosos introduzidos numa câmara de deposição sob baixa pressão. A presença de plasma promove a dissociação e ionização das espécies gasosas, originando radicais altamente reativos que participam em reações químicas na superfície do substrato. Estas reações conduzem à formação de um revestimento sólido, fortemente ligado ao material base por ligações químicas.

O plasma desempenha um papel fundamental no processo, uma vez que permite ativar as reações químicas a temperaturas inferiores às exigidas nos processos CVD convencionais. Esta característica reduz o aporte térmico ao substrato e contribui para a obtenção de revestimentos homogêneos e bem aderentes [17, 18].

A Figura 3.14 apresenta um esquema representativo do processo PACVD.

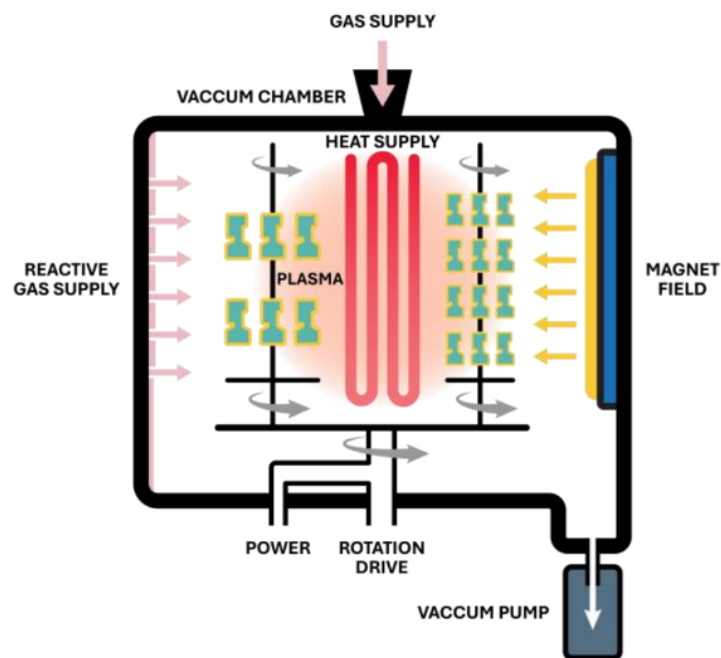


Figura 3.14: Processo PACVD , adaptado de [6]

Diferenças entre PACVD e PVD

Embora o PACVD e o PVD sejam frequentemente agrupados no domínio dos revestimentos por vapor, os dois processos diferem de forma significativa no seu princípio de funcionamento. No PVD, o revestimento resulta da condensação física de espécies metálicas vaporizadas, enquanto no PACVD a formação do revestimento depende essencialmente de reações químicas na superfície do substrato, envolvendo precursores gasosos ativados por plasma.

Esta diferença conduz a características distintas nos revestimentos obtidos. Em geral, os revestimentos PACVD apresentam melhor adaptação a geometrias complexas e uma adesão química mais elevada, enquanto os revestimentos PVD apresentam maior controlo da composição física do material depositado [17, 18].

Materiais e propriedades dos revestimentos obtidos por PACVD

Os revestimentos obtidos por PACVD incluem predominantemente nitretos, carbonetos e carbonitretos, sendo os sistemas à base de TiN, TiCN e DLC. Estes revestimentos são utilizados em aplicações industriais devido à sua elevada dureza, boa resistência ao desgaste e estabilidade térmica.

A literatura evidencia ainda a possibilidade de produzir revestimentos multicamada e multicomponentes por PACVD, permitindo combinar diferentes propriedades funcionais num único sistema de revestimento. Esta flexibilidade contribui para a adaptação da tecnologia a requisitos específicos de aplicação.

Os revestimentos produzidos por PACVD apresentam, de forma geral, elevada dureza superficial, boa resistência ao desgaste e coeficientes de atrito reduzidos. Estas propriedades tornam o PACVD particularmente adequado para aplicações tribológicas severas, como ferramentas de corte, moldes e componentes sujeitos a desgaste contínuo.

A presença de ligações químicas fortes entre o revestimento e o substrato contribui para uma boa adesão e para a estabilidade do revestimento durante o serviço. Estudos reportam ainda melhorias na resistência à corrosão e no comportamento mecânico superficial, dependendo do sistema de revestimento e das condições de deposição [17, 18].

Vantagens e limitações do PACVD

Entre as principais vantagens do PACVD destacam-se a possibilidade de deposição a baixas temperaturas, a boa adesão química ao substrato e a capacidade de revestir componentes com geometrias complexas. Estas características explicam a sua ampla utilização industrial em aplicações onde os processos PVD ou CVD convencionais apresentam limitações.

No entanto, o PACVD apresenta também algumas limitações, nomeadamente o controlo rigoroso das condições de processo. Adicionalmente, a natureza química do processo pode limitar a escolha dos materiais de revestimento em função dos precursores disponíveis [17, 18] .

3.4 Revestimentos por Laser

Os revestimentos por laser inserem-se no domínio da engenharia de superfícies e correspondem a um conjunto de técnicas avançadas destinadas à melhoria das propriedades superficiais de componentes sujeitos a condições severas de desgaste, abrasão e corrosão. O crescente interesse industrial no aumento da resistência ao desgaste e da dureza superficial de componentes mecânicos impulsionou o desenvolvimento de processos baseados na utilização de feixes laser como fonte de energia concentrada para modificação superficial.

De forma geral, os processos de revestimento por laser caracterizam-se pela utilização de um feixe laser de elevada densidade energética para fundir localmente a superfície do substrato, podendo ou não ser adicionado material externo. Uma característica distintiva destes processos é o controlo preciso da zona afetada termicamente, uma vez que apenas uma camada muito fina do substrato é fundida, permitindo a obtenção de ligação metalúrgica entre o revestimento e o material base, com reduzida diluição e mínimo impacto térmico no componente.

No contexto da engenharia de superfícies, os tratamentos por laser podem ser classificados em processos realizados sem adição de material externo, como o Laser *Hardening*, e processos realizados com adição de material, como o revestimento por Laser *Cladding*. Esta classificação permite distinguir claramente os mecanismos envolvidos e os objetivos de cada técnica, sendo os processos com adição de material utilizados principalmente para modificação química e estrutural da superfície, enquanto os processos sem adição de material visam a alteração microestrutural do substrato [19].

Neste enquadramento, destacam-se duas aplicações principais dos revestimentos por laser no contexto industrial: o Laser *Cladding*, no qual é adicionado material externo para formação de uma camada de revestimento funcional, e o Laser *Hardening*, que promove o endurecimento superficial do material base através de transformações microestruturais induzidas pelo laser. Os princípios, características e campos de aplicação destas tecnologias são analisados nas secções seguintes.

3.4.1 Laser Cladding

O que é o Laser Cladding e como funciona

O Laser Cladding é uma tecnologia de engenharia de superfícies utilizada para a deposição de revestimentos metálicos ou compósitos através da fusão localizada de material adicionado e de uma fina camada do substrato, recorrendo a um feixe laser como fonte de energia. Este processo tem vindo a ganhar relevância industrial devido à sua capacidade de produzir revestimentos densos, com excelente ligação metalúrgica ao material base e reduzida diluição, quando comparado com processos convencionais de revestimento e soldadura.

O interesse crescente no Laser Cladding resulta da necessidade de melhorar a resistência ao desgaste, à corrosão e à fadiga superficial de componentes industriais, bem como de prolongar a sua vida útil, mantendo simultaneamente um elevado controlo dimensional e uma zona afetada termicamente reduzida [20].

No processo de Laser Cladding, um feixe laser de elevada densidade energética é utilizado para fundir localmente a superfície do substrato, enquanto material de revestimento, sob a forma de pó ou arame, é simultaneamente alimentado na zona de interação. A energia fornecida pelo laser promove a fusão controlada do material adicionado e de uma fina camada do substrato, originando um banho fundido que solidifica rapidamente após a passagem do feixe laser.

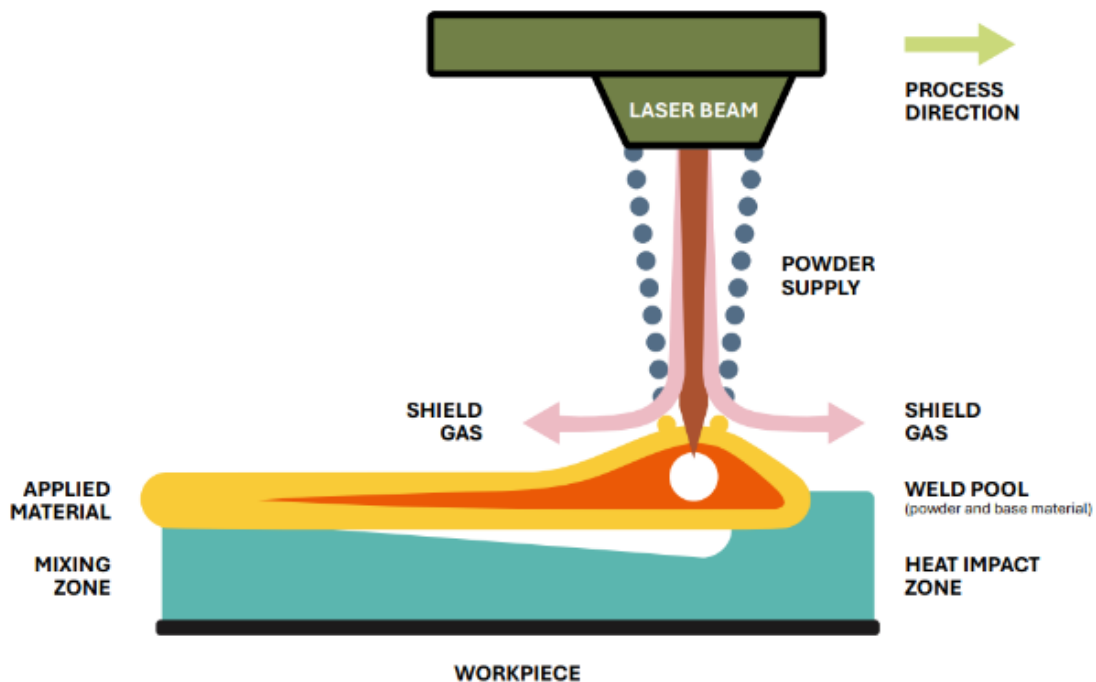


Figura 3.15: Processo de Laser Cladding, adaptado de [6]

A Figura 3.15 ilustra esquematicamente o processo de *Laser Cladding*, caracterizado por elevadas taxas de aquecimento e arrefecimento, as quais conduzem à formação de revestimentos com microestrutura refinada e elevada densidade, sendo ainda a ligação entre o revestimento e o substrato de natureza metalúrgica, o que distingue este processo de outros métodos de deposição superficial baseados predominantemente em adesão mecânica [20, 21].

Após a representação esquemática do processo *Laser Cladding*, apresenta-se na Figura 3.16 um exemplo de aplicação industrial desta tecnologia em ambiente produtivo.

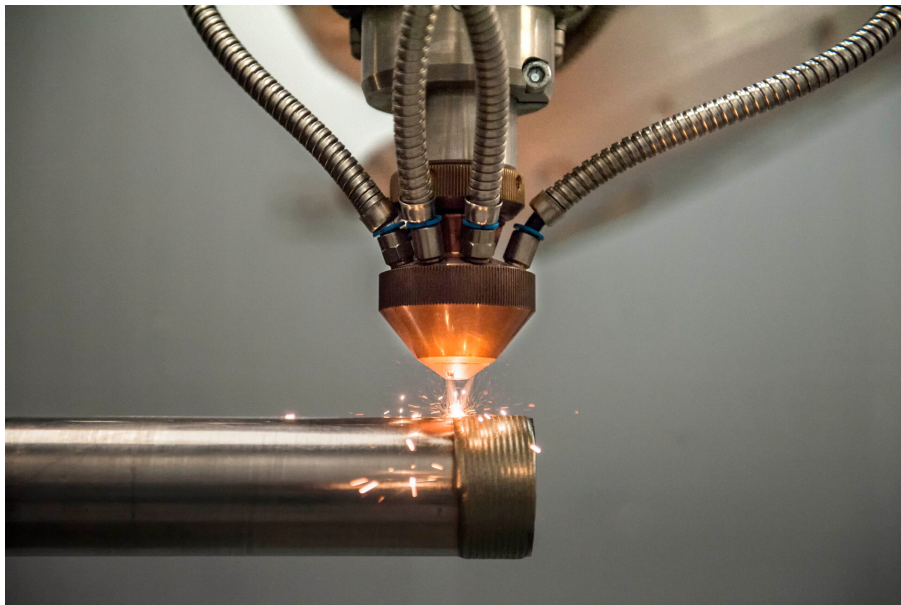


Figura 3.16: Sistema de projeção por *Laser Cladding* em operação, adaptado de [22]

Materiais de revestimento e métodos de alimentação

Os materiais utilizados no *Laser Cladding* incluem ligas metálicas à base de ferro, níquel e cobalto, bem como compósitos reforçados com partículas cerâmicas. A seleção do material de revestimento depende das propriedades finais pretendidas, como resistência ao desgaste, resistência à corrosão ou comportamento a altas temperaturas.

O material de revestimento é alimentado sob a forma de pó o que permite maior flexibilidade na composição química do revestimento [20, 21] .

Para complementar a descrição dos materiais e condições de processamento do *Laser Cladding*, a Tabela 3.6 apresenta as propriedades típicas dos revestimentos obtidos por esta tecnologia.

Tabela 3.6: Propriedades típicas do processo de Laser *Cladding*

Propriedades Típicas do Laser <i>Cladding</i>	
Tipo de revestimentos	Pós metálicos e ligas soldáveis
Baixa diluição	< 5%
Zona Afetada pelo Calor	Reduzida
Espessura típica do revestimento	0.2 – 4 mm ou superior
Taxa típica de deposição	0.1 – 17 kg/h
Potência típica do laser	1 – 10+ kW

Microestrutura e propriedades dos revestimentos obtidos por Laser *Cladding*

Os revestimentos produzidos por Laser *Cladding* caracterizam-se por microestruturas finas e homogêneas, resultantes das elevadas taxas de solidificação associadas ao processo. A reduzida diluição entre o revestimento e o substrato permite preservar as propriedades químicas do material depositado, ao mesmo tempo que assegura uma ligação metalúrgica contínua.

A zona termicamente afetada é geralmente limitada a uma região estreita adjacente ao revestimento, minimizando alterações microestruturais indesejáveis no material base. Estas características tornam o Laser *Cladding* particularmente adequado para aplicações de reparação e reforço superficial de componentes de elevado valor.

Estes revestimentos apresentam, de forma geral, elevada dureza, boa resistência ao desgaste e excelente aderência ao substrato. Estas propriedades resultam da combinação entre a microestrutura refinada, a elevada densidade do revestimento e a ligação metalúrgica estabelecida durante o processo.

A literatura reporta melhorias significativas no desempenho tribológico e na resistência à corrosão dos componentes revestidos por Laser *Cladding*, o que justifica a sua aplicação em ambientes industriais severos. O controlo preciso dos parâmetros do processo permite ainda ajustar as propriedades do revestimento às exigências específicas da aplicação [20, 21].

Vantagens e limitações do Laser *Cladding*

Entre as principais vantagens do Laser *Cladding* destacam-se a elevada precisão do processo, a reduzida zona afetada termicamente, a baixa diluição e a excelente qualidade metalúrgica do revestimento. Adicionalmente, o processo permite a reparação e recuperação de componentes desgastados, contribuindo para a redução de custos e para a sustentabilidade industrial.

No entanto, o Laser *Cladding* apresenta algumas limitações, nomeadamente o elevado custo inicial dos equipamentos e a necessidade de um controlo rigoroso dos parâmetros de processamento. A complexidade do processo exige ainda operadores quali-

ficados e sistemas de controlo adequados para garantir a repetibilidade e a qualidade do revestimento [20, 21].

Posicionamento e aplicações típicas do Laser *Cladding*

No contexto das tecnologias de revestimento, o Laser *Cladding* posiciona-se como uma solução intermédia entre os processos convencionais de revestimento e as tecnologias de fabrico aditivo, sendo particularmente adequado para aplicações de recuperação dimensional e funcional de componentes sujeitos a desgaste ou degradação em serviço, contribuindo para o prolongamento da vida útil dos equipamentos.

As aplicações típicas desta tecnologia encontram-se em setores industriais onde os componentes operam sob condições severas de desgaste e corrosão, sendo utilizada tanto na proteção como na recuperação de componentes. Destacam-se aplicações na indústria aeronáutica e energética, nomeadamente na reparação de componentes de turbinas e motores, bem como na indústria metalúrgica para reforço superficial e recuperação de peças sujeitas a desgaste. A tecnologia é igualmente utilizada em equipamentos industriais presentes em setores como o automóvel, naval e de petróleo e gás, bem como em componentes utilizados na indústria cimenteira, como válvulas rotativas sujeitas a desgaste em serviço.

Desta forma, o Laser *Cladding* constitui atualmente uma solução eficaz para proteção superficial e recuperação de componentes industriais críticos, sendo cada vez mais utilizado em estratégias de manutenção e remanufatura industrial [20, 21].

Apresentam-se, de seguida, na Figura 3.17, exemplos de componentes industriais revestidos por Laser *Cladding*, utilizados em diferentes setores de aplicação.

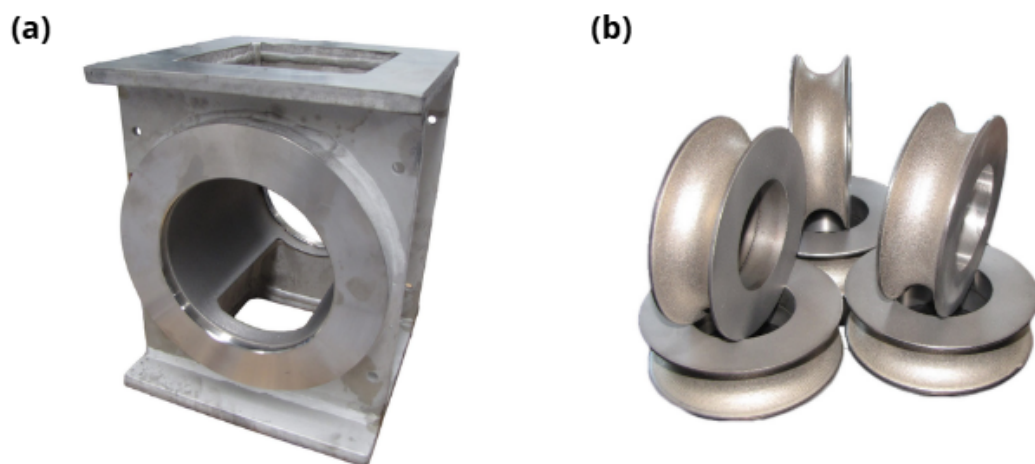


Figura 3.17: Exemplos de componentes revestidos por Laser *Cladding*: (a) válvula rotativa (indústria cimenteira) e (b) roldanas decapadoras (indústria metalúrgica), adaptado de [8]

3.4.2 Laser *Hardening*

O que é o Laser *Hardening* e como funciona

O Laser *Hardening* é um processo de engenharia de superfícies utilizado para aumentar a dureza e a resistência ao desgaste da camada superficial de componentes metálicos, sem adição de material externo. Esta tecnologia baseia-se na utilização de um feixe laser como fonte de calor altamente concentrada, permitindo a modificação localizada da microestrutura do material base, mantendo inalteradas as propriedades mecânicas do núcleo do componente.

O interesse industrial no Laser *Hardening* resulta da necessidade de melhorar o desempenho tribológico e a vida útil de componentes sujeitos a desgaste severo, reduzindo simultaneamente distorções térmicas e tratamentos posteriores. Comparativamente aos tratamentos térmicos convencionais, o Laser *Hardening* oferece maior precisão e flexibilidade no tratamento de zonas específicas do componente [23].

O princípio do Laser *Hardening* consiste no aquecimento rápido e localizado da superfície do material acima da temperatura crítica de transformação de fase, seguido de um arrefecimento igualmente rápido por condução de calor para o interior do substrato. Este mecanismo de arrefecimento natural, designado por auto-têmpera, elimina a necessidade de meios externos de arrefecimento, como água ou óleo.

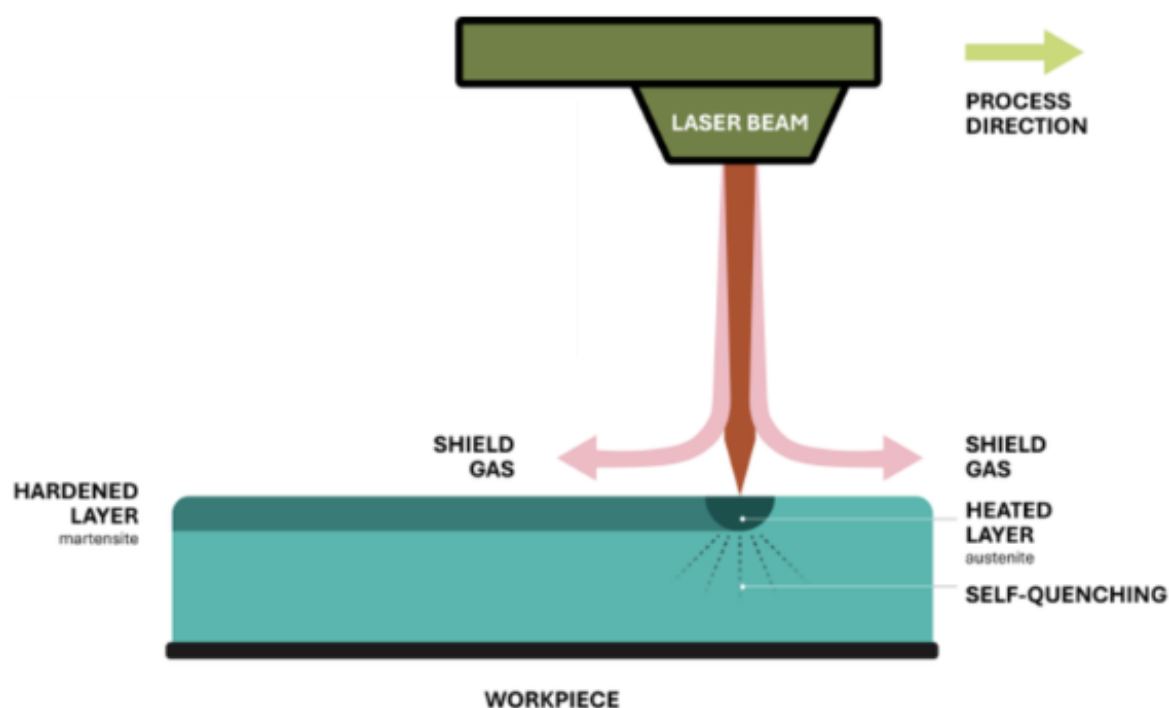


Figura 3.18: Processo de Laser *Hardening*, adaptado de documento interno da Durit Coatings

A Figura 3.18 ilustra o processo de *Laser Hardening*, durante o qual o feixe laser se desloca sobre a superfície do componente, criando um ciclo térmico controlado que promove a formação de microestruturas endurecidas, tipicamente martensíticas no caso dos aços. O controlo rigoroso dos parâmetros do laser assegura que apenas a camada superficial é afetada, preservando a integridade estrutural do material base [23, 24].

A Figura 3.19 apresenta um sistema de *Laser Hardening* em operação, evidenciando a aplicação prática do processo em ambiente industrial e a interação entre o feixe laser e o componente durante o tratamento superficial



Figura 3.19: Sistema de *Laser Hardening* em operação

Parâmetros de processo, microestrutura e desempenho do *Laser Hardening*

Os principais parâmetros que influenciam o processo de *Laser Hardening* incluem a potência do laser, a velocidade de varrimento, o diâmetro do feixe e o tempo de interação com a superfície. A combinação adequada destes parâmetros determina a profundidade da camada endurecida, a largura da zona tratada e o gradiente térmico estabelecido durante o processo.

O controlo preciso destes parâmetros permite adaptar o *Laser Hardening* a diferentes geometrias e materiais, garantindo repetibilidade e consistência no tratamento superficial. A literatura destaca que pequenas variações nos parâmetros do laser podem ter impacto significativo na microestrutura final e nas propriedades mecânicas da superfície tratada [23, 24].

O endurecimento por laser conduz à formação de microestruturas refinadas na camada superficial, resultantes das elevadas taxas de aquecimento e arrefecimento impostas pelo processo. No caso dos aços, estas condições favorecem a transformação da austenite em martensite, originando um aumento significativo da dureza superficial.

Os componentes tratados por Laser *Hardening* apresentam, de forma geral, aumentos significativos da dureza superficial e da resistência ao desgaste, mantendo simultaneamente a tenacidade e a resistência mecânica do núcleo. Esta combinação de propriedades torna o processo particularmente adequado para aplicações sujeitas a solicitações mecânicas e tribológicas elevadas.

A melhoria do desempenho resulta da microestrutura endurecida e do gradiente de dureza estabelecido entre a superfície tratada e o material base. A literatura reporta ainda boa estabilidade dimensional e elevada repetibilidade do processo, fatores essenciais para a sua aplicação industrial [23, 24].

Vantagens e limitações do Laser *Hardening*

Entre as principais vantagens do Laser *Hardening* destacam-se o elevado controlo do processo, a ausência de material adicional, a reduzida distorção térmica e a possibilidade de tratar seletivamente zonas específicas do componente. O processo apresenta ainda elevada eficiência energética e facilidade de integração em sistemas automatizados de produção.

No entanto, o Laser *Hardening* apresenta algumas limitações, nomeadamente a dependência das propriedades do material base, uma vez que o processo só é eficaz em materiais suscetíveis a transformações de fase induzidas termicamente. Adicionalmente, o custo inicial dos equipamentos laser e a necessidade de controlo rigoroso dos parâmetros de processo constituem fatores a considerar na sua implementação industrial [23, 24].

Posicionamento e aplicações típicas do Laser *Hardening*

No contexto industrial, esta tecnologia distingue-se dos processos de revestimento por não implicar a adição de material, promovendo antes a transformação microestrutural da camada superficial do componente.

O Laser *Hardening* é aplicado industrialmente em componentes sujeitos a desgaste e contacto mecânico, destacando-se aplicações em engrenagens, eixos, moldes, ferramentas e diferentes componentes utilizados nas indústrias automóvel e metalomecânica.

Assim, o Laser *Hardening* é apresentado como uma tecnologia consolidada para reforço superficial localizado de componentes metálicos, sendo selecionado em função dos requisitos de resistência ao desgaste e das condições de serviço do componente. A sua aplicação permite melhorar o desempenho funcional dos componentes em serviço, contribuindo para o aumento da sua durabilidade e redução de intervenções de manutenção. Desta forma, assume um papel relevante em diferentes contextos industriais onde se pretende otimizar o comportamento superficial sem comprometer as características do material base [23, 24].

Apresenta-se, de seguida, na Figura 3.20, um exemplo de um componente industrial após o processo de Laser *Hardening*.

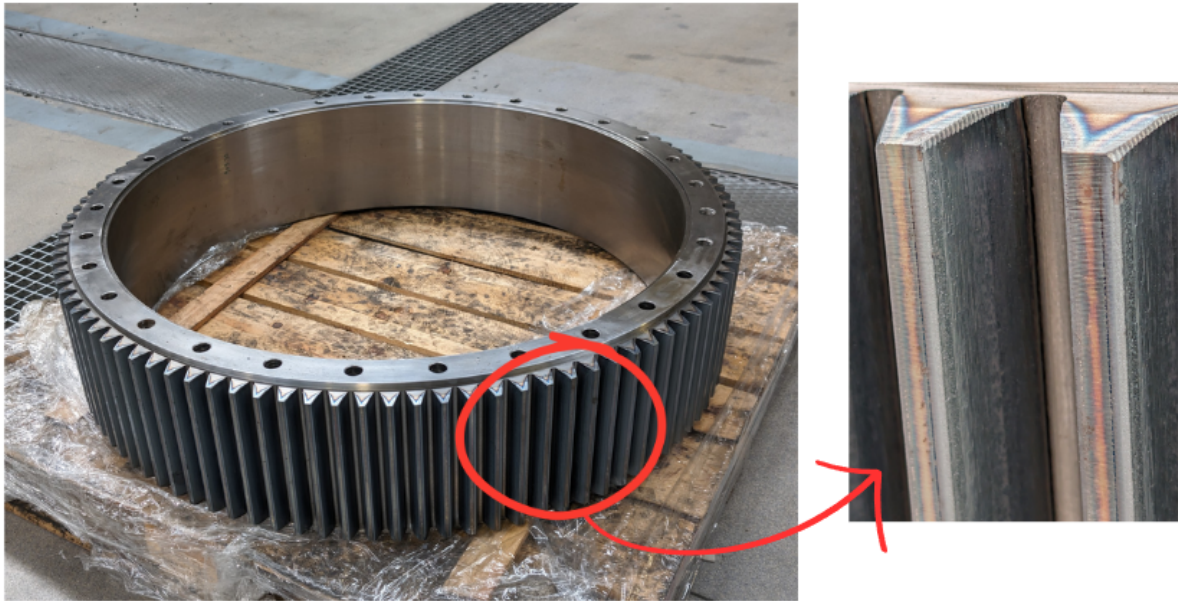


Figura 3.20: Componente industrial após processo de Laser *Hardening*

4. Atividade Desenvolvida

No âmbito do estágio desenvolvido no departamento técnico-comercial da *Durit Coatings*, a atividade incidiu sobretudo sobre a gestão dos pedidos de clientes e sobre a análise dos componentes enviados para recuperação. Esta etapa assume particular relevância para o funcionamento da empresa, uma vez que influencia diretamente o planeamento produtivo e o nível de resposta ao cliente.

A gestão técnico-comercial não se restringe à elaboração de propostas. Integra igualmente a interpretação das necessidades do cliente e a avaliação da capacidade interna efetiva para responder ao solicitado. Em diversos casos, constatou-se que essa correspondência não é imediata, tornando necessária uma análise mais aprofundada das condições de serviço da peça e das limitações associadas a cada tecnologia disponível.

O processo inicia-se com o contacto do cliente, momento em que é apresentada a necessidade de intervenção sobre determinado componente. A partir dessa solicitação é criado internamente um *Request for Quotation* (RFQ), onde são registadas as informações iniciais necessárias para dar início à análise técnica e à preparação de uma eventual proposta.

De seguida procede-se à verificação da informação técnica fornecida pelo cliente, nomeadamente desenhos, especificações do componente, condições de funcionamento e eventuais requisitos adicionais. Esta etapa permite avaliar se os dados disponibilizados são suficientes para avançar com a análise da solução a propor.

Sempre que a informação fornecida não seja suficiente, torna-se necessário estabelecer novo contacto com o cliente, com o objetivo de esclarecer dúvidas ou solicitar elementos adicionais que permitam prosseguir com o processo. Quando a informação técnica reunida é considerada adequada, avança-se para a elaboração da proposta técnico-comercial.

Após a preparação da proposta, esta é enviada ao cliente para apreciação. Caso a proposta não seja aceite, o processo é encerrado nessa fase. Quando a proposta é aceite, o cliente procede ao envio do(s) componente(s) para as instalações da empresa, dando início à fase seguinte do processo.

Com a chegada do(s) componente(s), é realizada a identificação deste(s) através

da colocação de uma folha de identificação que acompanha cada elemento ao longo das diferentes etapas do processo. Segue-se uma verificação inicial do estado do(s) componente(s), com o objetivo de identificar eventuais defeitos ou condições que possam influenciar a execução do serviço.

Caso sejam detetadas inconformidades ou situações não previstas, é efetuado novo contacto com o cliente, de forma a determinar a decisão relativamente ao(s) componente(s). Dependendo da decisão tomada, a peça poderá ser devolvida ou o processo poderá prosseguir.

Quando se confirma o avanço do trabalho, procede-se ao pedido de encomenda e à respetiva confirmação. Posteriormente é realizada a abertura da PLT, documento interno que acompanha o processo produtivo e permite identificar e controlar as operações a realizar.

Após esta etapa, do(s) componente(s) são encaminhadas para a produção, onde são executadas as operações previstas até à conclusão do processo.

A designação PLT tem origem na nomenclatura utilizada pelo CTCV, associada a “Plasma Lab Trabalho” e ao respetivo número de execução. Essa designação foi adotada pela *Durit Coatings* como referência interna nas folhas de obra, funcionando atualmente como elemento de identificação e de controlo dos trabalhos realizados.

A Figura 4.1 ilustra o cronograma das atividades realizadas, permitindo visualizar a sequência temporal e a sobreposição das diferentes atividades desenvolvidas entre setembro de 2025 e março de 2026. Para efeitos de representação temporal, o período associado a cada proposta foi definido desde a receção da consulta até ao encerramento do processo. Quando não houve retorno por parte do cliente, considerou-se como término o mês de envio da proposta e nos processos adjudicados, o intervalo prolongou-se até ao mês de elaboração da PLT.

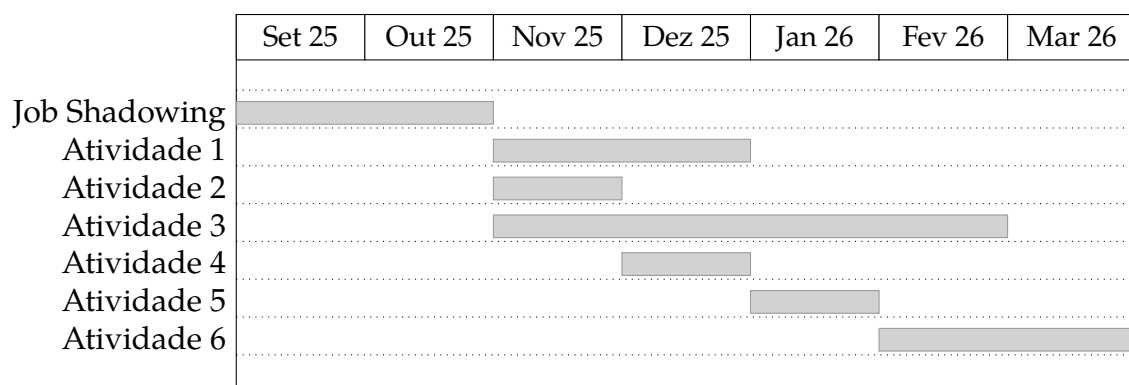


Figura 4.1: Cronograma das atividades desenvolvidas entre setembro e março.

A Figura 4.2 apresenta o fluxograma representativo do processo, sintetizando as diferentes etapas associadas ao tratamento de pedidos no departamento comercial.

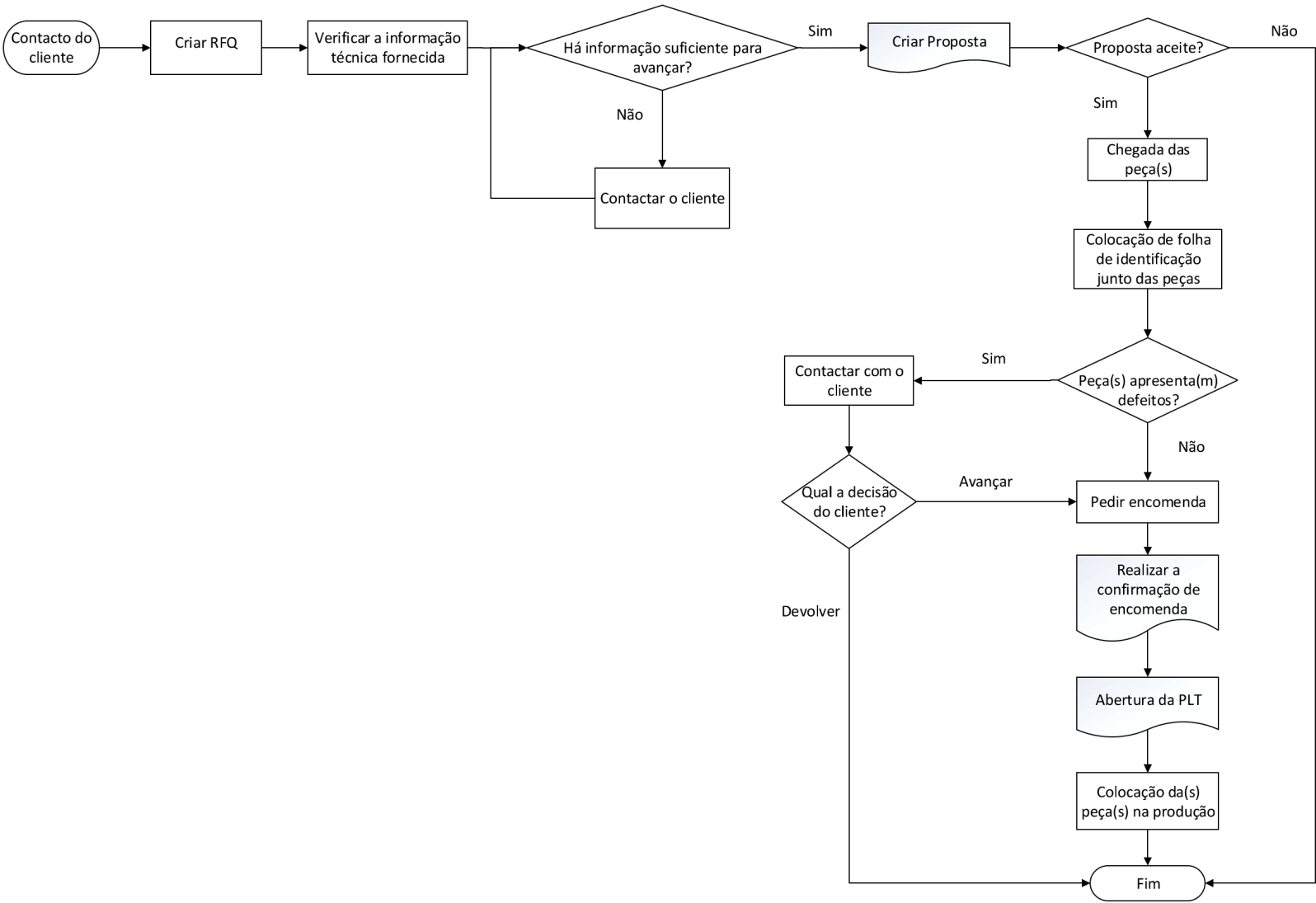


Figura 4.2: Fluxograma do processo técnico-comercial

De forma a ilustrar de modo prático as atividades desenvolvidas no âmbito do estágio, apresentam-se em seguida exemplos concretos de processos acompanhados no departamento técnico-comercial. Estes casos dizem respeito a situações reais de análise técnica e preparação de propostas, mostrando como os procedimentos descritos anteriormente são aplicados no dia a dia da empresa.

A inclusão destes exemplos não pretende apenas mostrar a sequência típica de elaboração de uma proposta comercial, procurando também mostrar que decisões técnicas são tomadas em cada fase e que contactos são necessários para confirmar que o serviço pode ser executado em produção e que o planeamento das operações é cumprido.

Para tornar mais simples a comparação entre os casos estudados, foi construída a Tabela 4.1, que reúne um resumo das atividades analisadas. Esta tabela ajuda a identificar as principais exigências técnicas de cada situação, a resumir as etapas seguidas na preparação das propostas e a confrontar o tempo previsto com o tempo realmente gasto, servindo como um exercício de *benchmarking* interno do processo técnico-comercial.

Após esta análise de conjunto, cada atividade é descrita de forma mais detalhada, indicando o respetivo enquadramento técnico, as opções tomadas em cada fase e os principais constrangimentos que condicionaram o desenvolvimento do trabalho.

Tabela 4.1: Quadro resumo e *benchmarking* das atividades

Atividade	Exigências da atividade	Síntese do que ocorreu	Tempo previsto (dias úteis)	Tempo real (dias úteis)	Fator crítico identificado
Atividade 1 – Rodilhos industriais	Necessidade de retificação de rasgos.	Validação técnica adicional com produção e análise detalhada do desenho técnico antes da emissão da proposta.	2	9	Validação técnica interna.
Atividade 2 – Peças em ambiente químico	Seleção adequada do revestimento para garantir resistência a agentes químicos agressivos.	Estudo e proposta de solução técnica adequada ao ambiente químico, com análise comparativa de materiais e fundamentação da recomendação.	2	3	Definição e fundamentação da solução técnica.
Atividade 3 – Peça para Laser <i>Cladding</i>	Análise de viabilidade técnica; cálculo rigoroso de custos; elevada complexidade geométrica.	Maior complexidade técnica, exigindo validação com produção e logística.	4	54	Complexidade elevada e articulação interdepartamental.
Atividade 4 – Peças para PVD	Elevado controlo dimensional; limitação das dimensões máximas da câmara PVD; propriedades específicas do revestimento.	Verificação de compatibilidade dimensional com a câmara de PVD e alerta para possibilidade de revenido devido à temperatura de processo.	2	2	Limitação dimensional e condicionantes térmicas do processo.
Atividade 5 – Bobina	Análise técnica detalhada do componente; avaliação do estado do revestimento existente.	Inspeção e lixagem para identificação do revestimento; definição de duas opções técnicas; atualização do orçamento com base no histórico interno e custo da matéria-prima.	2	6	Necessidade de diagnóstico técnico aprofundado.
Atividade 6 – Veio indústria alimentar	Compatibilidade com contacto alimentar (Reg. CE 1935/2004).	Seleção de revestimento APS com óxido de cromo aplicado sem subcamada; validação da adequação da pressão de serviço (100 bar).	2	2	Conformidade alimentar.

4.1 Atividade 1 – Processo de elaboração e execução de proposta de revestimento de rodilhos industriais

O presente caso refere-se ao processo de elaboração e execução de uma proposta para revestimento de rodilhos industriais sujeitos a desgaste superficial, acompanhado durante o período de estágio.

O pedido teve origem numa consulta efetuada por um cliente para o revestimento de oito rodilhos industriais, destinados a operar em condições de desgaste elevado numa zona funcional específica. O cliente solicitou explicitamente que, após aplicação do revestimento, fossem realizadas operações de retificação dos rasgos existentes nos componentes, com o objetivo de restabelecer as condições dimensionais e funcionais necessárias ao seu correto funcionamento em serviço.

Após receção da consulta, foi analisada a documentação técnica do componente fornecida pelo cliente, permitindo identificar a geometria da peça antes da intervenção. O desenho técnico correspondente à condição inicial do componente, sem aplicação de revestimento, é apresentado na Figura 4.3.

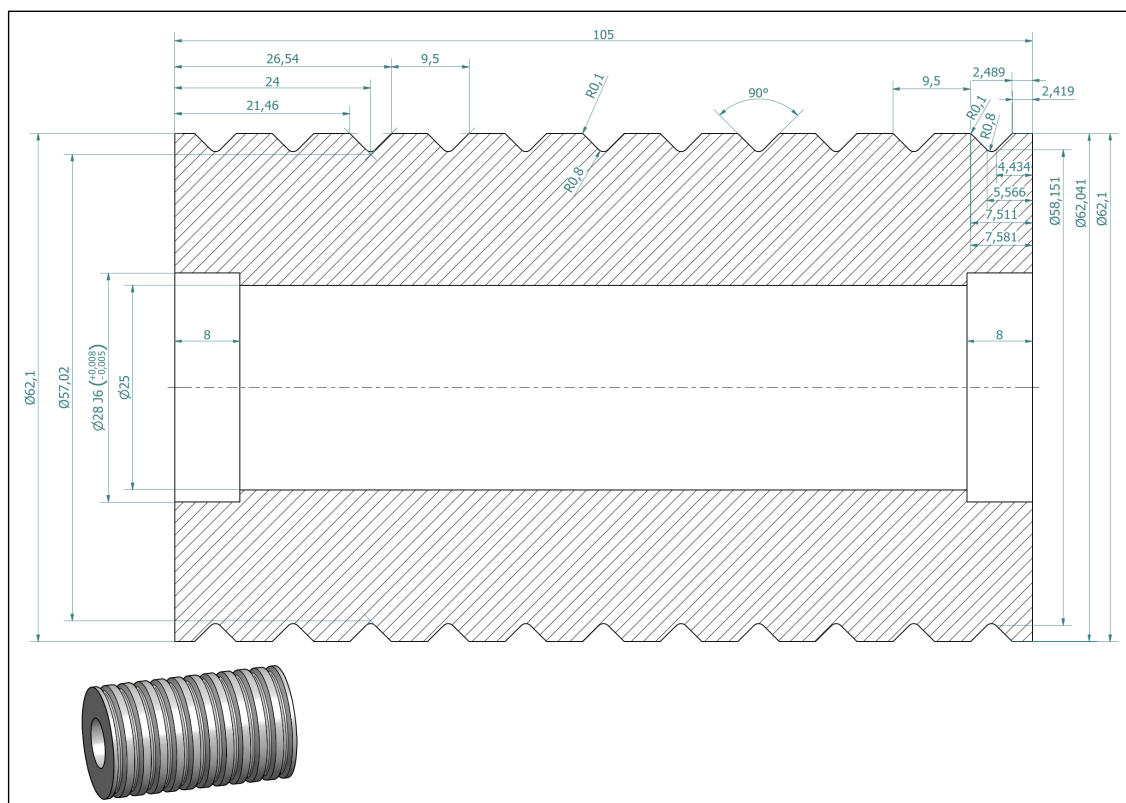


Figura 4.3: Desenho técnico do rodilho antes da aplicação do revestimento (dimensões em mm)

Após a aplicação do revestimento e operações subsequentes de acabamento, o componente passa a apresentar novas dimensões na zona funcional tratada, de acordo com as especificações definidas para o funcionamento em serviço. O desenho técnico com as dimensões finais previstas após revestimento encontra-se apresentado na Figura 4.4.

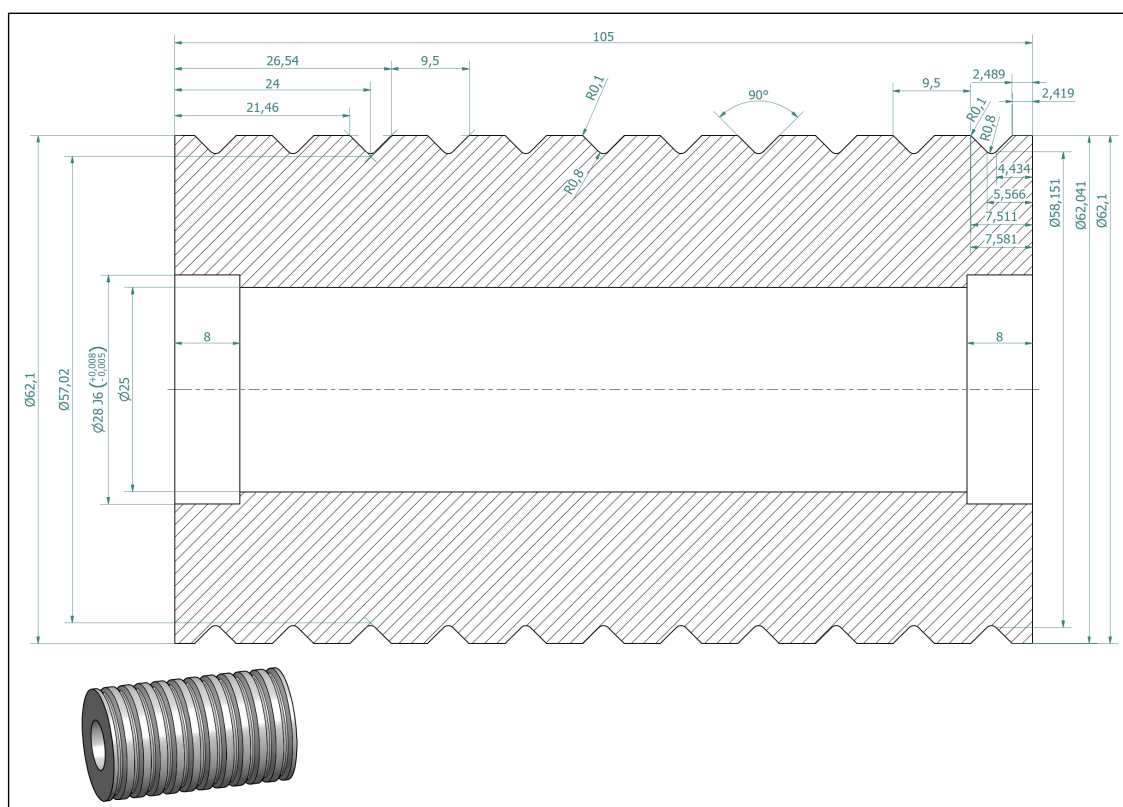


Figura 4.4: Desenho técnico do rodilho com as dimensões especificadas após a conclusão do trabalho (dimensões em mm)

Com base nesta informação foi possível estimar a área superficial sujeita a tratamento, permitindo proceder ao cálculo preliminar do custo do serviço através das tabelas internas utilizadas pela empresa para processos de projeção térmica.

O revestimento proposto consistiu na aplicação de óxido de crómio (Cr_2O_3) através do processo de APS, tecnologia amplamente utilizada pela empresa. Após a aplicação do revestimento, seria então realizada a retificação dos rasgos existentes, conforme solicitado pelo cliente, garantindo a recuperação das tolerâncias dimensionais e acabamento superficial adequados.

O pedido inicial do cliente previa apenas o revestimento dos rasgos existentes nos rodilhos. No entanto, durante a análise técnica realizada antes da elaboração da proposta, verificou-se que a execução do revestimento apenas nessas zonas implicaria operações adicionais de isolamento das restantes superfícies do componente, aumentando o tempo de preparação e processamento das peças. Por este motivo, foi proposta

a aplicação do revestimento em toda a extensão funcional do rodilho, permitindo otimizar o processo produtivo e reduzir o tempo global de execução do serviço.

Durante esta fase de preparação constatou-se igualmente que a retificação dos rasgos, solicitada pelo cliente após aplicação do revestimento, exigia a utilização de uma mó com um ângulo de 90° que não se encontrava disponível nos meios produtivos da empresa. Tornou-se, assim, necessário proceder à consulta de fornecedores para aquisição de uma mó adequada.

Para esse efeito, foi preparado e enviado ao cliente um desenho técnico contendo as especificações geométricas necessárias à seleção da mó de retificação compatível com o perfil dos rasgos a maquinar. O desenho utilizado para este efeito encontra-se apresentado na Figura 4.5.

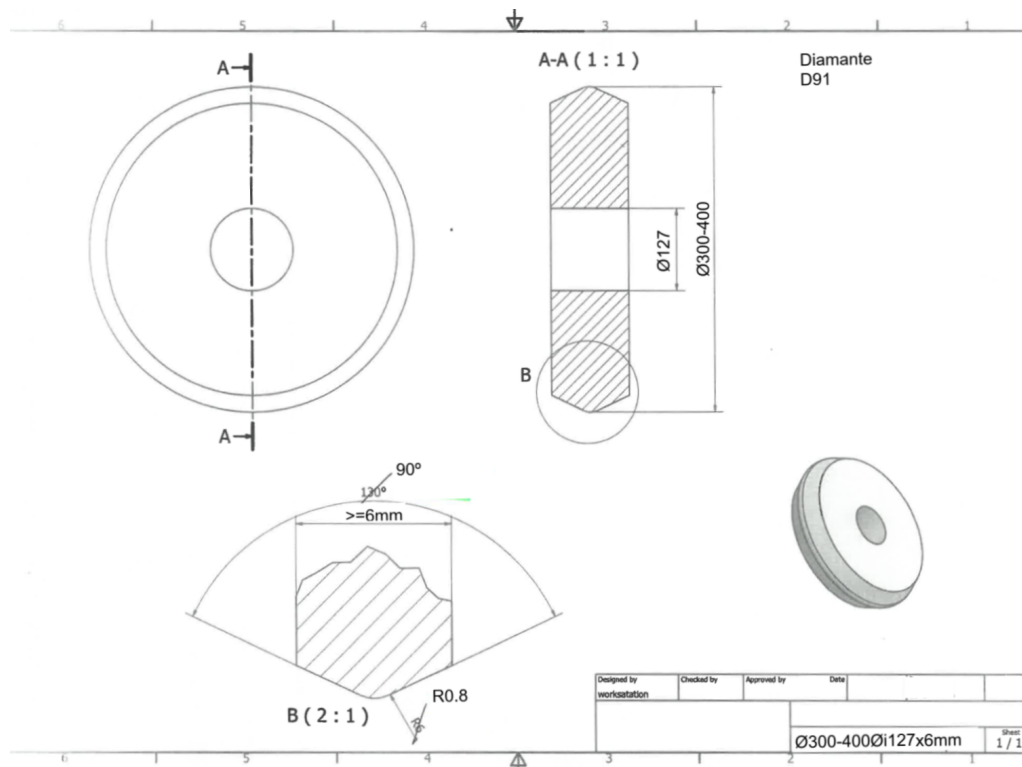


Figura 4.5: Desenho técnico utilizado para consulta de mó adequada à retificação dos rasgos (dimensões em mm)

Considerando o prazo necessário para obtenção da mó e a eventual urgência do cliente na receção dos componentes, foi incluída na proposta uma solução alternativa que previa apenas o polimento manual dos rasgos após revestimento, permitindo reduzir o prazo de execução do serviço.

Esta alternativa permitia ao cliente optar entre uma solução com acabamento dimensional mais rigoroso, mas com prazo de execução superior, ou uma solução mais rápida baseada em polimento superficial.

Após definição das alternativas técnicas possíveis e validação das condições de

Gestão de Propostas Técnico-Comerciais na Durit Coatings

execução do serviço, procedeu-se à elaboração da proposta técnica e comercial a apresentar ao cliente, contemplando as duas hipóteses.

A proposta elaborada, contendo as diferentes opções de execução e respetivos prazos associados, encontra-se apresentada na Figura 4.6.

DURIT COATINGS[®]
by TEandM - Tecnologia e Engenharia de Materiais, S. A.

Parque Industrial de Taveiro
Lotes 41 e 42, 3045-504
Coimbra - PORTUGAL

Página 1 de 1

Proposta/Proposal

Número/Number
006619

Data/Date
14.11.2025

Contacto/Contact person

Telefone/Phone

Validade/Validity period
7 dias/days

Assunto
Subject

Proposta para revestimento de 8 rodillos.
No seguimento da receção da vossa consulta, apresentamos proposta para revestimento com Óxido de Crómio de 8 rodillos em zona Ø62,1x105mm.

Pos. Pos.	Ref. Ref.	Designação Description	Qtd Qty	Und Un	Preço Unit Cost	Total Total
1	62301010001	Revestimento APS de rodillos Ø62,1x105mm Revestimento com Óxido de Crómio e retificação de rasgos de rodillos em zona Ø62,1x105mm de acordo com desenho 1003-0125.0535-0009.	8,00	un		
2	62301010001	Revestimento APS de rodillos Ø62,1x105mm Revestimento com Óxido de Crómio e polimento de rasgos de rodillos em zona Ø62,1x105mm de acordo com desenho 1003-0125.0535-0009.	8,00	un		
3	62301010001	Recolha das peças	1,00	un		

Prazo:
Delivery Time

Pos.1 - 6 semanas após confirmação de encomenda e receção das peças nas nossas instalações.
Pos. 2 - 2 semanas após confirmação de encomenda e receção das peças nas nossas instalações.

Local de Entrega:
Delivery Place

Nas vossas instalações em condições CPT do Incoterms de 2020.

Condições Financeiras:
Payment terms

30 Dias / Days

Obs/Análise de risco:
Obs/Risk Analysis

Toda a extensão será revestida, no entanto, apenas os rasgos serão retificados (só na Pos.1 que são retificados).
Rugosidade (Ra) obtida após retificação ou polimento: 0,1µm - 0,3µm.

TOTAL

Aos preços indicados acresce o IVA à taxa em vigor

Figura 4.6: Proposta técnica e comercial enviada ao cliente para execução do revestimento dos rodillos

Para além das operações de revestimento e acabamento, a proposta incluiu igualmente o serviço de recolha dos componentes nas instalações do cliente, solicitado pelo próprio durante a fase de consulta. A determinação do custo associado ao transporte é realizada mediante recolha prévia de informação relativa às dimensões e peso total

do material a expedir, dados fornecidos pelo cliente. Posteriormente, esta informação é transmitida ao departamento de logística da empresa, que procede à estimativa do custo de transporte. Com base neste valor, é então definida uma margem comercial, permitindo integrar o custo final de recolha e entrega na proposta apresentada ao cliente.

Após receção e análise da proposta, o cliente procedeu ao envio da respetiva encomenda, formalizando a adjudicação do serviço.

Posteriormente, aguarda-se a chegada física dos componentes às instalações da empresa, sendo então efetuada a receção e verificação inicial das peças, com o objetivo de confirmar que as quantidades recebidas e o estado geral dos componentes correspondem ao esperado e não apresentam danos de transporte ou inconformidades visíveis.

Após esta verificação inicial, procede-se à emissão da confirmação de encomenda, documento através do qual são comunicadas ao cliente as datas previstas de conclusão e expedição do serviço. Antes do envio desta confirmação, é realizada uma validação interna com o departamento de produção, de forma a assegurar que a capacidade produtiva disponível permite cumprir os prazos previamente indicados na proposta apresentada ao cliente.

Importa referir que, embora a proposta apresentada incluísse diferentes alternativas de execução, a confirmação de encomenda contempla apenas a opção selecionada pelo cliente, correspondente à solução com retificação dos rasgos após aplicação do revestimento, inicialmente apresentada na Pos. 1 na proposta comercial.

A confirmação de encomenda enviada ao cliente encontra-se apresentada na Figura 4.7.

Encomenda Cliente / Client Order										
Número/Number						Data/Date				
6368						02.12.2025				
V/Encomenda/Your Order										
Contacto/Contact person						Telefone/Phone				

Moeda /Currency:
EURO

Pagamento /Payment:
30 Dias

Pos. Pos.	Ref. Ref.	Designação Description	Qtd Qty	Und Un	Preço Unit Cost	Descontos Discount	Total Total	Tx. IVA VAT Rate	Dt.Expedição Dispatch dt.
1		C-Proposta a Contacto no. 6619 de 14.11.2025							
2	62301010001	Revestimento APS de rodillos Ø62,1x105mm	8,00	un					13.01.2025
		Revestimento com Óxido de Crómio e retificação de rasgos de rodillos em zona Ø62,1x105mm de acordo com desenho 1003-0125.0535-0009.							
3	62301010001	Recolha das peças	1,00	un					13.01.2025

		EUR	
Total Iliquido Subtotal			
Desconto Comercial Commercial Discount			
Total Liquido Subtotal			
Total de I.V.A. VAT / Sales Tax			
TOTAL			

Figura 4.7: Confirmação de encomenda enviada ao cliente

Após o envio da confirmação de encomenda ao cliente, procede-se à abertura da respetiva PLT, documento interno que acompanha o componente ao longo de todo o processo produtivo e onde são registadas as operações a executar.

Nesta fase inicial, são introduzidos apenas os dados base de identificação do trabalho, nomeadamente o nome do cliente, número da proposta associada, identificação dos componentes a processar, quantidade de peças e informação geral do serviço solicitado. Concluída esta etapa, toda a documentação associada ao trabalho é entregue ao departamento de logística, sendo simultaneamente colocadas as peças na zona de produção para posterior processamento.

Compete posteriormente ao departamento de logística encaminhar a documentação para produção, onde a equipa produtiva procede ao preenchimento das informa-

ções técnicas específicas do processo, incluindo a definição dos processos e parâmetros de revestimento a aplicar, bem como restantes dados associados às operações produtivas.

A interface do *software* utilizada para criação inicial da PLT encontra-se apresentada na Figura 4.8, sendo possível observar que os campos destacados correspondem às informações técnicas posteriormente preenchidas pelo departamento de produção.

PLT

TIPO : PT

Cod PLT: 40 761 **Batch Nº:** **Cod Orç:** 6619 **Data actual:** 02/12/2025

Área de actividade: Metalom **Empresa :**

Cod Cliente: 5 890 **Trabalho a efectuar:** REVESTIMENTO

Peça: 8 x Revestimento APS de rodillos Ø62,1x105mm
[1 x Recolha das peças]

Quantidade: 8 **Substrato :**

Funcionamento:

PLT's Semelhantes

Trabalho a Efectuar / Obs

EC 6368
Enc. cliente nº 0125/0535

Ref. da Peça:	SUB-CAMADA	CAMADA	SUB-CAMADA	CAMADA
Processo	APS	APS	APS	APS
Referência	APS 120.1	APS 230.10	APS 120.1	APS 230.10
Espessura (mm):				
Espessura final:				
Preparação da peça:			Acabamento:	
Recepção das peças: TEandM			Expedição: Outra Transportadora	
Entrega das peças:			Data de execução: 02/12/2025	Data de entrega: 13/01/2026
Valor EUR:			Data de envio: 27/01/2026	
Entregue: ☒	Reclamação: ☐		Fora de Prazo: ☒	

Figura 4.8: Registo inicial da PLT no sistema interno, destacando-se a vermelho os campos posteriormente preenchidos pela produção

Após o preenchimento de todos os campos, a PLT é finalizada e convertida em documento PDF, passando a constituir o registo completo das operações a realizar. O aspeto final do documento encontra-se apresentado nas Figuras 4.9 e 4.10.

	Tecnologia e Engenharia de Materiais, S.A.		PLT:	40 761	IMP 7.1
			Batch Nº:		

PLT:	40 761

8 x Revestimento APS de rodillos Ø62,1x105mm [1 x Recolha das peças]

Expedição:	Outra Transportadora	Quantidade:
-------------------	----------------------	--------------------

	APS	8
		Data abertura: 02/12/2025
	APS	Data de execução: 02/12/2025
		Data de entrega: 13/01/2026
		Valor EUR:

Figura 4.9: Primeira folha do documento da PLT

 Tecnologia e Engenharia de Materiais, S.A.			PLT: 40 761	IMP 7.1
		Batch Nº:		
Orçamento:	6619	Cod Cliente:	5890	Data actual: 02/12/2025
Área de actividade:	Empresa:			
Metalom				
Trabalho a efectuar:	REVESTIMENTO			
Peça:	8 x Revestimento APS de rodillos Ø62,1x105mm [1 x Recolha das peças]			Quant.: 8
Substrato:				
Funcionamento:				
PLT's Semelhantes				
Descrição trabalho /Obs				
EC 6368 Enc. cliente nº 0125/0535				
Ref. da Peça:				
	SUB-CAMADA	CAMADA	SUB-CAMADA	CAMADA
Processo:				
Referência-mat:				
Espessura (mm):				
Mater. Gasto				
Tempo Gasto				
Lotes mat:				
Espessura final:				
Preparação da peça:			Acabamento:	
Expedição:	Outra Transportadora		Data de execução:	02/12/2025
Recepção das peças:	TEandM		Data de entrega:	13/01/2026
Entrega das peças:			Valor EUR:	

IMP 7.1 - PLT (Folha de Obra)

Figura 4.10: Segunda folha do documento da PLT

O aspeto final dos componentes após conclusão do revestimento e operações subsequentes de acabamento encontra-se ilustrado na Figura 4.11, sendo possível observar a recuperação das superfícies funcionais e o restabelecimento das condições necessárias ao correto funcionamento dos rodilhos em serviço.



Figura 4.11: Aspeto final dos componentes após conclusão do revestimento

Este caso evidencia a importância da análise técnica prévia e da verificação dos meios produtivos disponíveis durante a fase de elaboração de propostas, permitindo antecipar constrangimentos técnicos e apresentar soluções alternativas que conciliem qualidade de execução e prazos de entrega exigidos pelos clientes.

4.2 Atividade 2 – Processo de elaboração e execução de proposta de revestimento de camisas usadas em ambiente químico

Durante o período de estágio foi acompanhado um pedido técnico relativo à aplicação de revestimento em componentes destinados a operar em ambiente industrial sujeito a ciclos frequentes de limpeza química.

Na consulta inicial enviada pelo cliente, era solicitado orçamento para aplicação de revestimento por HVOF com carboneto de cromo (Cr_3C_2), solução habitualmente empregue quando se pretende aumentar a resistência superficial de componentes su-

jeitos a desgaste. O pedido incluía igualmente operações de acabamento dimensional após aplicação do revestimento, permitindo restabelecer as tolerâncias funcionais necessárias ao correto funcionamento do componente.

A documentação técnica recebida incluía o desenho do componente a processar, permitindo identificar a geometria e as dimensões da peça a revestir, conforme ilustrado na Figura 4.12.

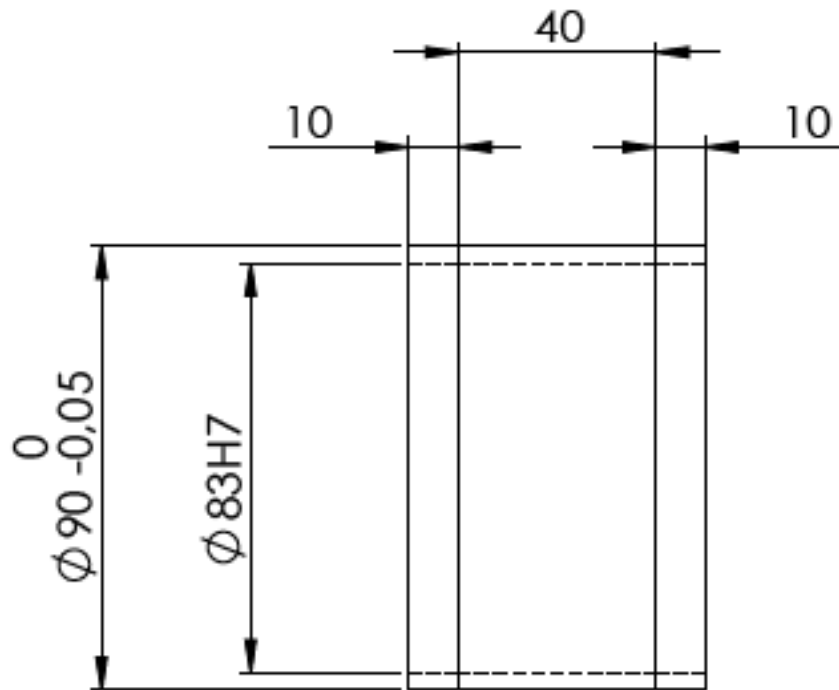


Figura 4.12: Desenho técnico do componente fornecido pelo cliente para elaboração da proposta (dimensões em mm)

Posteriormente, o cliente enviou mais informação técnica sobre as condições reais de funcionamento do equipamento e sobre os produtos usados nos ciclos de limpeza. Com estes dados foi possível obter de forma mais concreta o ambiente em que o componente trabalha.

A documentação indicava que os equipamentos são limpos com alguma regularidade. Nessas operações são usados detergentes alcalinos de alto desempenho, para remover resíduos orgânicos, em conjunto com aditivos oxidantes estabilizados à base de peróxido de hidrogénio. Estes produtos são aplicados em concentrações definidas pelo fabricante e, em alguns ciclos, trabalham a temperaturas mais elevadas. Esta combinação aumenta a eficácia da limpeza, mas também torna o ambiente mais agressivo para as partes metálicas do equipamento.

Assim, o componente fica exposto, em diferentes momentos, a soluções fortemente alcalinas e a agentes oxidantes usados na higienização. Quando o revestimento

não tem resistência química suficiente, ou apresenta porosidade elevada, estas condições podem acelerar a degradação da superfície metálica.

O revestimento inicialmente pedido, em Cr_3C_2 aplicado por HVOF, tem bom desempenho em termos de resistência ao desgaste e ao funcionamento a alta temperatura. No entanto, utilizado sozinho, pode não ser a solução mais segura se houver risco de penetração de soluções químicas através de pequenas discontinuidades da camada.

Quando as soluções de limpeza conseguem atingir o substrato metálico por falhas locais ou porosidade do revestimento, podem surgir situações de corrosão localizada. Com o tempo, esta corrosão fragiliza a zona de interface entre o revestimento e o substrato, gera tensões internas e pode levar à perda de aderência e ao destacamento parcial ou total da camada, reduzindo de forma marcada a vida útil do componente.

Perante esta análise, foi necessário rever a solução inicialmente definida e procurar uma alternativa com maior resistência química, mantendo ao mesmo tempo a resistência mecânica exigida pelo serviço.

Entre as alternativas estudadas, foi proposta a aplicação de um revestimento em óxido de titânio (TiO_2), depositado por APS, material com boa estabilidade química em meios agressivos. Para reforçar a barreira de proteção, recomendou-se ainda a aplicação de um selante, com o objetivo de fechar parte da porosidade aberta e dificultar a passagem de agentes químicos até ao substrato metálico.

A utilização conjunta do revestimento cerâmico e do selante permite aumentar a durabilidade do componente em serviço, diminuindo a probabilidade de falhas prematuras ligadas ao ataque químico e alongando o intervalo entre manutenções.

Com base nesta análise técnica foi elaborada e enviada ao cliente uma proposta contendo a solução recomendada, conforme ilustrado na Figura 4.13, onde se apresenta o documento enviado com a solução alternativa proposta.

Proposta/Proposal**Número/Number**

006643

Data/Date

19.11.2025

Contacto/Contact person**Telefone/Phone****Validade/Validity period**

7 dias/days

Assunto Proposta para revestimento com TiO₂ de 2 camisas em zona Ø90[+0,00; -0,05]x40mm.
Subject

No seguimento da receção da vossa encomenda e peças, apresentamos confirmação de encomenda para revestimento com TiO₂ de 2 camisa em zona Ø90[+0,00; -0,05] x40mm.

Pos. Pos.	Ref. Ref.	Designação Description	Qtd Qty	Und Un	Preço Unit Cost	Total Total
1	62301010001	Revestimento APS de camisa em zona Ø90[+0,00; -0,05]x40mm. Preparação da superfície, revestimento por projecção Plasma com Óxido de Titânio + Selante com 0,15mm de espessura após retificação e polimento de camisas em zona Ø90[+0,00; -0,05]x40mm.	2,00	un		

Prazo: 2 semanas após confirmação de encomenda e receção da peça nas nossas instalações.
Delivery Time

Local de Entrega: Nas vossas instalações em condições CPT do Incoterms de 2020.
Delivery Place

Condições Financeiras: 30 Dias / Days
Payment terms

Obs/Análise de risco: Devido aos pH dos produtos de limpeza (pH5 e pH14) é bastante provável que o aço não vá resistir e quando sofrer
Obs/Risk Analysis ataque químico vai provocar um destacamento do nosso revestimento.
 Vamos aplicar um selante para tentar minimizar o ataque químico ao aço.

TOTAL

Aos preços indicados acresce o IVA à taxa em vigor

Figura 4.13: Proposta técnica enviada ao cliente contendo solução de revestimento recomendada

Este caso evidencia que o trabalho desenvolvido no departamento técnico-comercial não se limita à conversão direta das especificações fornecidas pelo cliente em propostas comerciais, envolvendo frequentemente a análise das condições reais de funcionamento dos componentes e a recomendação de soluções técnicas que permitam aumentar a fiabilidade e durabilidade dos equipamentos em operação.

Além disso, demonstra a importância da colaboração entre áreas técnicas e comerciais na antecipação de potenciais mecanismos de falha, permitindo propor soluções preventivas que contribuem para a redução de custos de manutenção e aumento da disponibilidade operacional dos equipamentos industriais.

4.3 Atividade 3 – Processo de elaboração e execução de proposta de revestimento por Laser *Cladding* em componente de grandes dimensões

Durante o período de estágio foi acompanhado um pedido técnico cuja complexidade ultrapassava a seleção do processo de revestimento a aplicar, envolvendo igualmente condicionantes logísticas, produtivas e operacionais associadas às dimensões e peso do componente a processar. Este caso revelou-se particularmente relevante por evidenciar que, em determinados serviços industriais, a viabilidade de execução depende tanto de fatores técnicos como da capacidade de movimentação, posicionamento e integração do componente no fluxo produtivo existente.

A consulta recebida do cliente solicitava orçamento para execução de revestimento num veio pertencente a um equipamento industrial de grandes dimensões, sendo especificada a necessidade de deposição de material numa zona muito limitada quando comparada com o volume total do componente. A intervenção tinha como objetivo restaurar ou reforçar uma região funcional específica do veio, sem necessidade de revestimento total da peça.

A documentação técnica enviada incluía cortes e detalhes dimensionais do componente, permitindo identificar com precisão a região onde seria necessário proceder à deposição de material por Laser *Cladding*, bem como as tolerâncias dimensionais finais a garantir após operações subsequentes de acabamento.

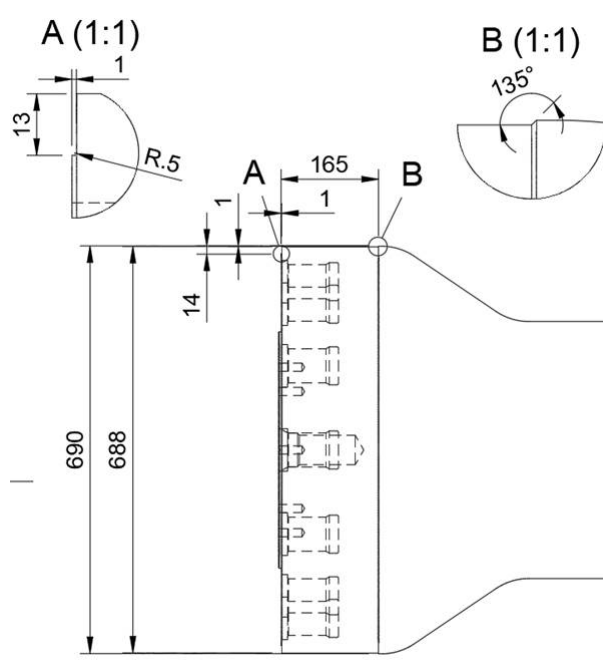


Figura 4.14: Desenho do componente indicando a localização da zona sujeita a intervenção (dimensões em mm)

A Figura 4.14 apresenta um dos desenhos técnicos fornecidos, onde é possível observar a dimensão da zona a tratar.

Para melhor identificação da região a tratar, o cliente forneceu igualmente pormenores ampliados da zona de intervenção, permitindo visualizar com maior detalhe a geometria local e as dimensões associadas à área a revestir. Estes detalhes encontram-se apresentados na Figura 4.15.

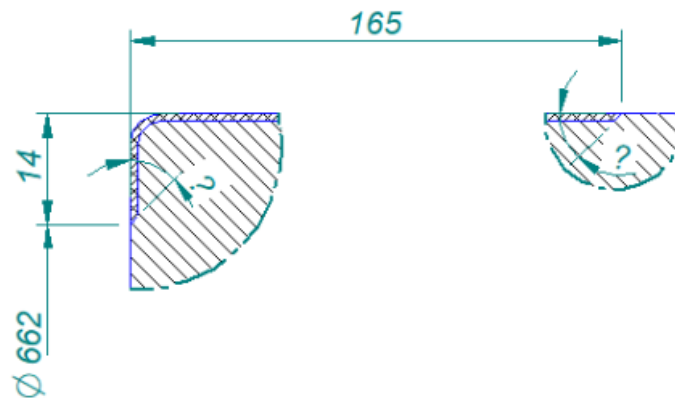


Figura 4.15: Pormenores ampliados da zona de intervenção (dimensões em mm)

Embora a área a revestir fosse relativamente pequena, a análise inicial mostrou que o componente completo tinha um peso aproximado de 25 toneladas, valor muito superior ao dos componentes habitualmente processados na empresa. Esta situação levantou dúvidas quanto à possibilidade de receber, movimentar e posicionar a peça recorrendo apenas aos meios internos disponíveis.

A movimentação de componentes com este peso acarreta riscos elevados para os operadores e para as infraestruturas, pelo que é necessária uma avaliação cuidada antes de aceitar um serviço deste género. A inexistência de equipamentos internos com capacidade para assegurar a descarga e o posicionamento seguro do componente tornava a execução do trabalho inviável sem recorrer a apoio externo especializado.

Antes de avançar para a preparação da proposta comercial, foi necessário confirmar se existiam condições logísticas para realizar o trabalho em segurança. Para tal, foi solicitado o apoio do departamento de logística, encarregado de analisar soluções de transporte e movimentação compatíveis com as características do componente.

Da análise conjunta das alternativas disponíveis concluiu-se que a solução mais adequada passava pela contratação de um serviço externo com camião-grua, capaz de efetuar o transporte e o posicionamento do componente nas instalações da empresa.

A utilização do camião-grua permitiria não só a descarga do componente, como também a sua movimentação interna até à zona de trabalho, garantindo condições seguras para a execução do revestimento. Após a conclusão do serviço, seria ainda ne-

cessário proceder à recolha e ao transporte do componente de volta às instalações do cliente, o que tornava o custo logístico uma parcela significativa do orçamento.

Verificou-se, contudo, que a transportadora contactada demorou um período considerável a apresentar uma proposta com valores definitivos. Este atraso teve impacto direto na preparação da proposta, uma vez que o custo logístico representava uma parte essencial do preço final.

Quando foi finalmente disponibilizada uma estimativa, esta baseava-se numa operação de movimentação com duração prevista de oito horas por dia. A análise interna das operações mostrou, porém, que o tempo efetivamente necessário para descarga e posicionamento poderia ser inferior ao considerado pela transportadora.

Foi, por isso, necessário proceder a um ajustamento interno dos valores, aplicando uma margem comercial adequada ao custo estimado, de forma a manter a proposta competitiva e, em simultâneo, assegurar cobertura para os riscos associados à operação.

Na elaboração da proposta tornou-se também necessário analisar os prazos de execução. Apesar de, por prática interna, ser frequentemente indicado um prazo padrão de cerca de duas semanas para operações de revestimento, existem casos em que este período não é suficiente, sobretudo quando estão em causa componentes de grandes dimensões ou quando o trabalho implica etapas adicionais de preparação, movimentação complexa ou ocupação prolongada dos equipamentos. Nestas situações é necessário rever o planeamento interno, garantindo que o prazo apresentado ao cliente é exequível e não interfere com outros trabalhos em curso.

No caso em estudo, a proposta enviada ao cliente incluiu apenas a operação de deposição por laser, uma vez que a empresa não dispunha de capacidade interna para realizar operações posteriores de retificação e maquinação num componente com estas dimensões. Assim, o âmbito da proposta ficou limitado à aplicação do revestimento, ficando as operações de acabamento a cargo do cliente.

Para determinar o custo associado ao revestimento, recorreu-se a uma ferramenta interna baseada numa folha de cálculo, na qual são introduzidos tempos estimados para cada etapa do processo produtivo. Nessa ferramenta são considerados tempos de programação do equipamento, preparação e posicionamento do componente, tempo de maquinação, retificação e polimento.

A folha de cálculo utilizada é selecionada em função do material de revestimento a aplicar e do tipo de tocha, uma vez que os parâmetros produtivos variam consoante se trate de aplicações em superfícies exteriores ou interiores.

Para além dos tempos de execução, é necessário introduzir a área efetiva da zona a revestir e a espessura de material a depositar, fatores que influenciam diretamente o consumo de material e o tempo necessário para concluir o processo. A espessura

indicada pelo cliente corresponde, em regra, à dimensão final após as operações de acabamento. Por esse motivo, é aplicada inicialmente uma camada ligeiramente superior, sabendo-se que parte do revestimento será removida durante a retificação. A espessura considerada no cálculo do custo deve, portanto, incluir esta margem adicional, garantindo que as dimensões finais especificadas são atingidas após o acabamento.

No caso concreto analisado, não foram incluídos tempos de retificação, maquinação ou polimento, uma vez que estas etapas não seriam realizadas internamente devido às limitações impostas pelas dimensões do componente. Em contrapartida, foi atribuído um tempo significativo às operações de preparação e posicionamento, tendo em conta a dimensão e o peso elevados da peça.

Foi ainda ponderado o impacto produtivo da ocupação prolongada da área de trabalho e do equipamento, já que a realização deste serviço implicaria a indisponibilidade temporária dos recursos para outros trabalhos de menor dimensão e maior rotatividade. Assim, foram consideradas horas adicionais de ocupação produtiva, de forma a refletir no custo final a utilização prolongada dos meios disponíveis.

A ferramenta de cálculo utilizada encontra-se apresentada na Figura 4.16, onde se observa a folha de cálculo empregue para estimativa do custo do serviço.



Folha de cálculo para revestimento AISI 420

Ø690

Cliente	
Referência do Pó	
Preço do pó (€/Kg)	
Consumo (g/cm ³)	
Eficiência (1/0,5)	
Caudal Pó (g/min)	
Gás (processo + transporte) (l/min)	
Energia Eléctrica (kwh)	
Programação DCAM (h)	2,00
Preparação + Posicionamento da peça (h)	16,00
Tempo de Maquinação (h)	0
Tempo de Retificação (h)	0
Tempo de Polimento (h)	0

Superfície da peça a revestir:	
Área (mm ²)	387402
Espessura (mm)	2
Volume (cm ³)	775

Pó gasto (g)	
Tempo de máquina (min)	
Tempo de máquina = Tempo execução revestimento (h)	

Custo Pó	
Custo Gás (processo + transporte) ()	
Custo energia Eléctrica (l)	
Custo Programação DCAM	
Custo Preparação + Posicionamento	
Custo Execução Revestimento ()	
Custo Maquinação ()	
Custo Retificação ()	
Custo Polimento ()	
Custo amortização equipamento	

Figura 4.16: Ferramenta interna utilizada para estimativa do custo de revestimento por Laser Cladding

Com base na análise técnica e logística realizada, foi então elaborada e enviada ao cliente a proposta comercial evidenciada na Figura 4.17 contendo os custos associados ao revestimento e à movimentação do componente através de meios externos.

DURIT COATINGS®

by TEandM - Tecnologia e Engenharia de Materiais, S. A.

 Parque Industrial de Taveiro
 Lotes 41 e 42, 3045-504
 Coimbra - PORTUGAL

Página 1 de 1

Proposta/Proposal
Número/Number
 007057

Data/Date
 03.02.2026

Contacto/Contact person
Telefone/Phone
Validade/Validity period

7 days

Assunto Proposta para revestimento de veio.
Subject

No seguimento da receção da vossa consulta, apresentamos proposta para revestimento de veio em zona Ø690x(165+14)mm.

Pos. Pos.	Ref. Ref.	Designação Description	Qtd Qty	Und Un	Preço Unit Cost	Total Total
1	63101300001	Revestimento Laser com AISI420 de veio zona Ø690x(165+14)mm Revestimento Laser com AISI420 (2mm de espessura) de veio em zona Ø690x(165+14)mm. Retificação ao encargo do cliente.	1,00	un		
2	63101300001	Manuseamento do veio de 25 ton com camião grua	1,00	un		

Prazo: 3 semanas após confirmação de encomenda e receção do componente na Durit Coatings.
 Delivery Time

Local de Entrega: Nas vossas instalações em condições CPT do Incoterms de 2020.
 Delivery Place

Condições Financeiras: Pronto Pagamento / Payment in advance
 Payment terms

Obs/Análise de risco: Pagamento pode ser feito 50% com encomenda e 50% na entrega.
 Obs/Risk Analysis

TOTAL

Aos preços indicados acresce o IVA à taxa em vigor

Figura 4.17: Proposta técnica e comercial enviada ao cliente para execução do serviço

Embora o cliente tenha dito depois que o nosso preço era bom em comparação com outras empresas, a demora para obter os custos de logística acabou por fazer perder o negócio. Como o serviço era urgente, eles foram para outra empresa.

Isto mostrou bem como a rapidez na resposta é fundamental em orçamentações industriais. Mesmo tendo uma boa solução técnica e preço competitivo, se a proposta demora, perde-se a oportunidade.

O caso deixou claro que, com peças tão grandes, a parte logística e o tempo para ter cotações de fora são fatores decisivos. É preciso pensar nisso logo no início, quando

se começa a preparar a proposta.

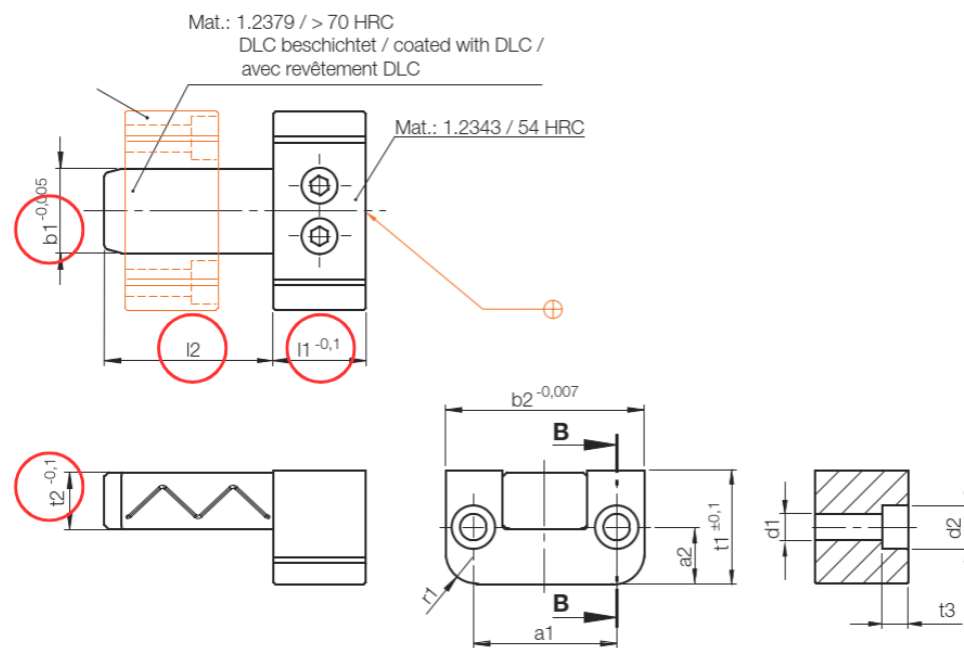
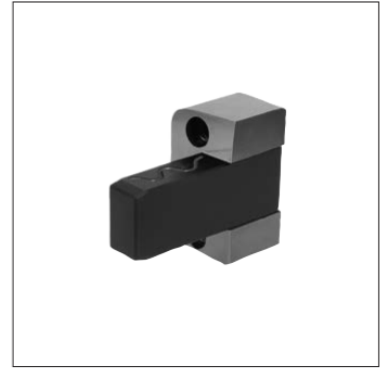
Acima de tudo, este trabalho no departamento técnico-comercial vai muito além de escolher o processo técnico. É preciso olhar para as condições de produção, logística e tudo o resto junto, para entender melhor como a empresa funciona no dia a dia.

4.4 Atividade 4 - Processo de elaboração e execução de proposta de revestimento por PVD

No âmbito da análise técnica de propostas de revestimento, foi analisado um pedido de revestimento PVD com DLC para dois componentes distintos. Este caso revelou-se particularmente relevante por evidenciar que, em processos como o PVD, a viabilidade e o custo de execução não dependem exclusivamente das características do revestimento solicitado, mas também de fatores como as dimensões máximas das peças.

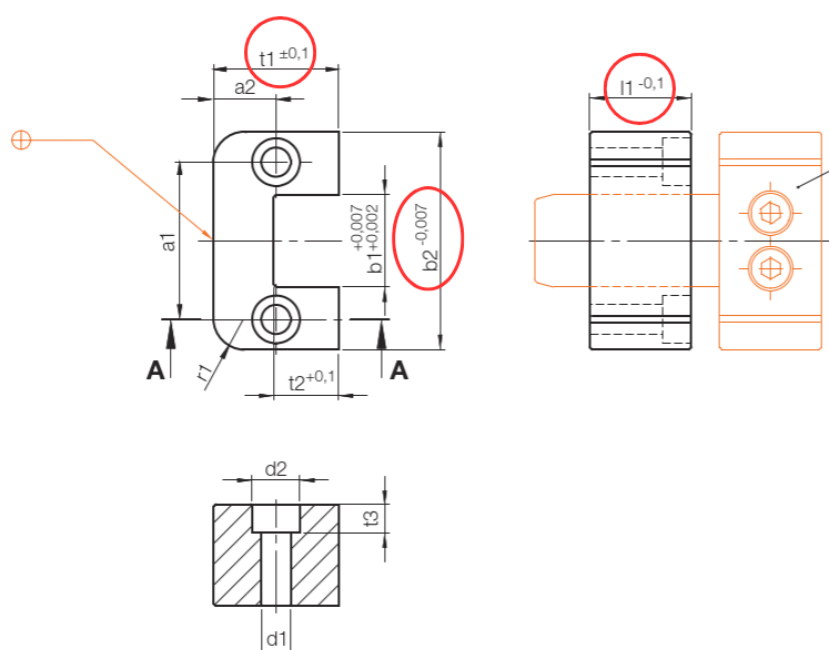
No caso específico do processo PVD, a determinação das dimensões máximas de cada peça assume particular importância. Ao contrário de outros processos onde a área superficial pode ser o fator mais relevante, no PVD o parâmetro determinante para efeitos de orçamentação é o volume ocupado na câmara de deposição. Assim, foi necessário identificar as dimensões máximas envolventes de cada componente de forma a estimar corretamente o espaço que cada peça irá ocupar na câmara de revestimento.

Apresentam-se de seguida, nas Figuras 4.18 e 4.19, os desenhos técnicos dos componentes que serviram de base à análise dimensional necessária para a elaboração da proposta.



r1	t3	t2	t1	a2	a1	b2	d2	d1	b1	l1	l2	Typ	Nr./No.
6	6,8	13,5	27	13,5	34	47	11	6,6	20	22	22	2	
											40		
8		14,5	30	15	39	52			25	27	63		
	9	19,5	40	20	49	67	15	9	32	36	40		
											80		
10	11	22,5	50	23	63	88	18	11	40	46	50		
											100		
	13	24,5	55	27,5	75	100	20	14	50	56	56		
											112		

Figura 4.18: Desenho técnico do primeiro componente (dimensões em mm)



r1	t3	t2	t1	a2	a1	b2	d2	d1	b1	l1	Typ	Nr./No.
6	6,8	14	27	13,5	34	47	11	6,6	20	22	2	
8		15	30	15	39	52			25	27		
10	9	20	40	20	49	67	15	9	32	36		
	11	23	50	23	63	88	18	11	40	46		
	13	25	55	27,5	75	100	20	14	50	56		

Figura 4.19: Desenho técnico do segundo componente (dimensões em mm)

Na figuras apresentadas encontram-se assinaladas a vermelho as dimensões consideradas para efeitos de cálculo. Estes valores correspondem às cotas máximas de cada componente, retiradas diretamente da tabela dimensional associada à referência fornecida pelo cliente.

Importa referir que, no caso da peça apresentada na Figura 4.18 o cliente apenas pede revestimento na zona da peça correspondente à zona representada a preto.

As dimensões máximas são posteriormente introduzidas na folha de cálculo interna, apresentada na Figura 4.20, onde é estimada o preço unitário das peças. Uma vez que a capacidade produtiva está diretamente relacionada com o volume útil disponível e com a forma como as peças podem ser dispostas no interior da câmara, a determinação rigorosa destas medidas é fundamental para calcular o número de componentes por carga.

[illegible]

Figura 4.20: Folha de cálculo utilizada para a realização do orçamento

Importa referir que "Diextra" corresponde a um revestimento do tipo DLC, sendo esta uma designação comercial utilizada pela empresa para identificar este tipo de revestimento.

Para além da análise dimensional, foi igualmente considerada a especificação do material base, nomeadamente o aço 1.2379, bem como o seu estado de tratamento térmico. Na proposta emitida foi incluída a nota técnica referente à necessidade de o material apresentar revenidos acima de 500 °C. Esta indicação está diretamente relacionada com a estabilidade térmica do aço durante o ciclo de revestimento PVD.

No processo de deposição PVD, as peças são submetidas a um ciclo térmico em ambiente controlado, podendo atingir temperaturas próximas dos 480–500 °C durante a deposição do revestimento. Embora o objetivo do processo não seja realizar um tra-

tamento térmico, esta exposição térmica pode influenciar o estado metalúrgico do material base.

No caso do aço 1.2379, as propriedades mecânicas, nomeadamente a dureza, dependem diretamente da temperatura do último revenido realizado após a têmpera. Como evidenciado na curva de revenido apresentada na Figura 4.21, a dureza do material varia em função da temperatura aplicada.

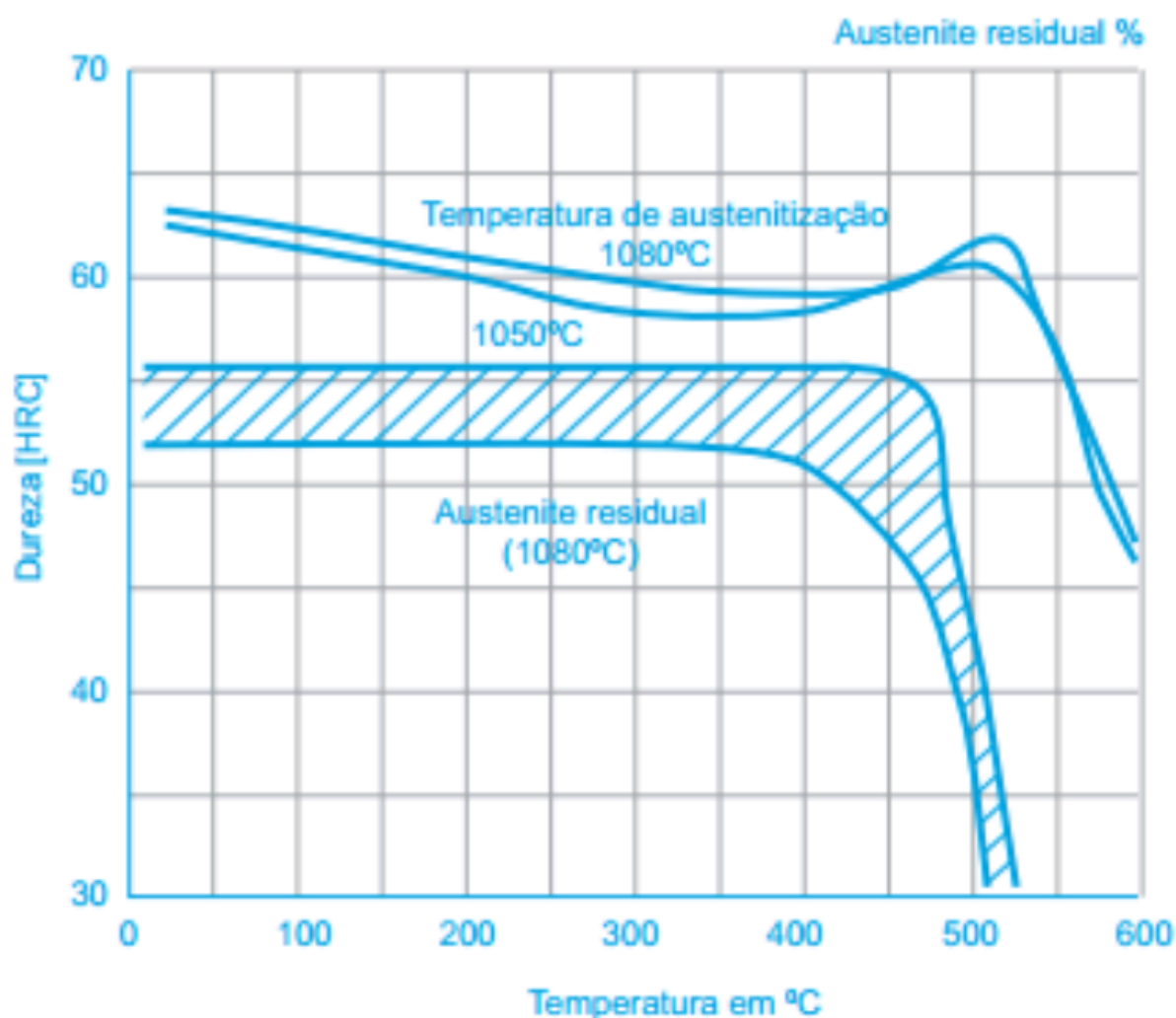


Figura 4.21: Curva de revenido do aço 1.2379, adaptado de [25]

Assim, caso o último revenido tenha sido efetuado a uma temperatura inferior àquela atingida durante o processo PVD, o componente poderá ser novamente exposto a um nível térmico capaz de modificar as suas propriedades mecânicas. Para evitar essa situação e garantir estabilidade dimensional e de dureza após o revestimento, foi indicado que as peças deveriam apresentar um último revenido realizado acima da temperatura máxima da câmara de PVD.

Desta forma, assegura-se que o material já se encontra estabilizado para o ciclo térmico associado ao processo de revestimento, evitando alterações não previstas no

desempenho final do componente.

Assim, a elaboração da proposta não se limitou à quantificação das peças solicitadas, mas integrou uma análise técnica completa que envolveu a extração rigorosa das dimensões máximas para cálculo do custo unitário e a verificação das condições metalúrgicas do material base, assegurando que o revestimento PVD com DLC pudesse ser aplicado sem comprometer o desempenho final dos componentes.

Face às condições técnicas identificadas e à análise efetuada, apresenta-se na Figura 4.22 a proposta técnico-comercial desenvolvida para o revestimento solicitado.

DURIT COATINGS®

by TEandM - Tecnologia e Engenharia de Materiais, S. A.

Parque Industrial de Taveiro
Lotes 41 e 42, 3045-504
Coimbra - PORTUGAL

Página 1 de 1

Proposta/Proposal	
Número/Number 006836	Data/Date 19.12.2025
Contacto/Contact person Mariana Reis mariana.reis@duritcoatings.pt	Telefone/Phone
Validade/Validity period 7 dias/days	

Assunto Subject	Proposta para revestimento PVD de 16 componentes.					
No seguimento da receção da vossa consulta, apresentamos proposta para o revestimento PVD com revestimento DLC de 8 peças.						
Pos. Pos.	Ref. Ref.	Designação Description	Qtd Qty	Und Un	Preço Unit Cost	Total Total
1	61052010001	REVEST. DIEXTRA COMPONENTES Revestimento DLC de componente com 88x50x46mm.	8,00	un		
Ref:						
2	61052010001	REVEST. DIEXTRA COMPONENTES Revestimento DLC de componente com 96x40x22,5mm.	8,00	un		
Ref:						

Prazo:
Delivery Time

1 semana após confirmação de encomenda e receção das peças nas nossas instalações.

Local de Entrega:
Delivery Place

Nas vossas instalações em condições CPT do Incoterms de 2020.

Condições Financeiras: Pronto Pagamento / Payment in advance
Payment terms

Obs./Análise de risco:
Obs/Risk Analysis

O aço 1.2379 tem de ter os revenidos acima dos 525°C.

TOTAL	
--------------	--

Aos preços indicados acresce o IVA à taxa em vigor

Figura 4.22: Proposta enviada ao cliente

4.5 Atividade 5 - Processo de elaboração e execução de proposta de remoção de aba e revestimento de bobina

No seguimento das propostas anteriormente descritas, foi acompanhado um pedido de intervenção numa bobina industrial de Ø710mm, em que a consulta inicial enviada pelo cliente tinha como objetivo exclusivo remover uma aba intermédia existente no corpo da peça. A Figura 4.23 corresponde à bobina no estado inicial e como foi recebida nas instalações (antes do envio da proposta ao cliente), evidenciando a geometria global e a zona intermédia onde se localiza a aba a remover.

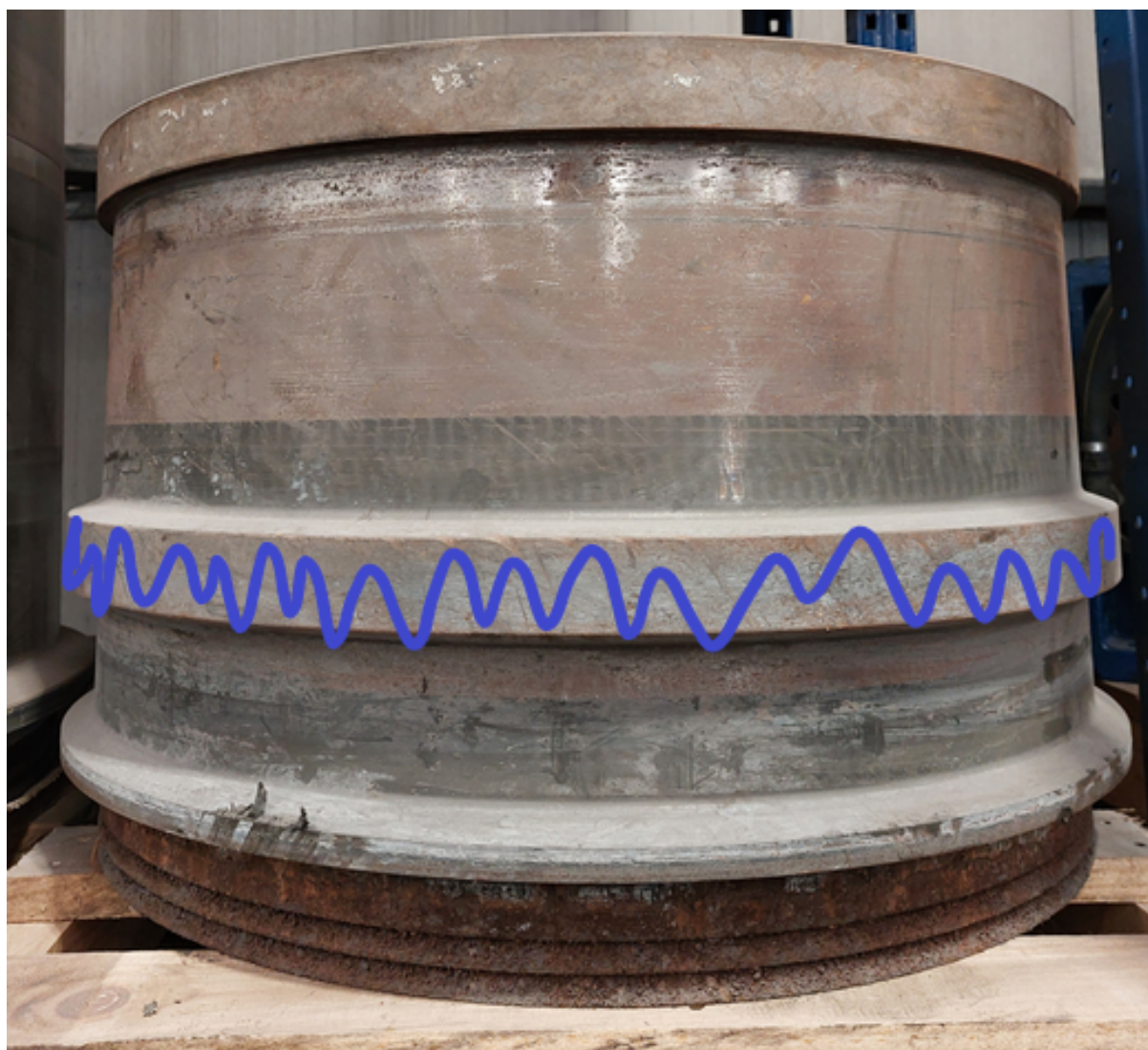


Figura 4.23: Bobina antes de ser intervencionada

Após a apresentação do estado inicial do componente, apresenta-se de seguida na Figura 4.24 o respetivo desenho técnico da mesma, onde se encontram identificadas as principais dimensões geométricas e a localização da aba intermédia cuja remoção foi inicialmente solicitada, permitindo enquadrar tecnicamente a intervenção proposta.

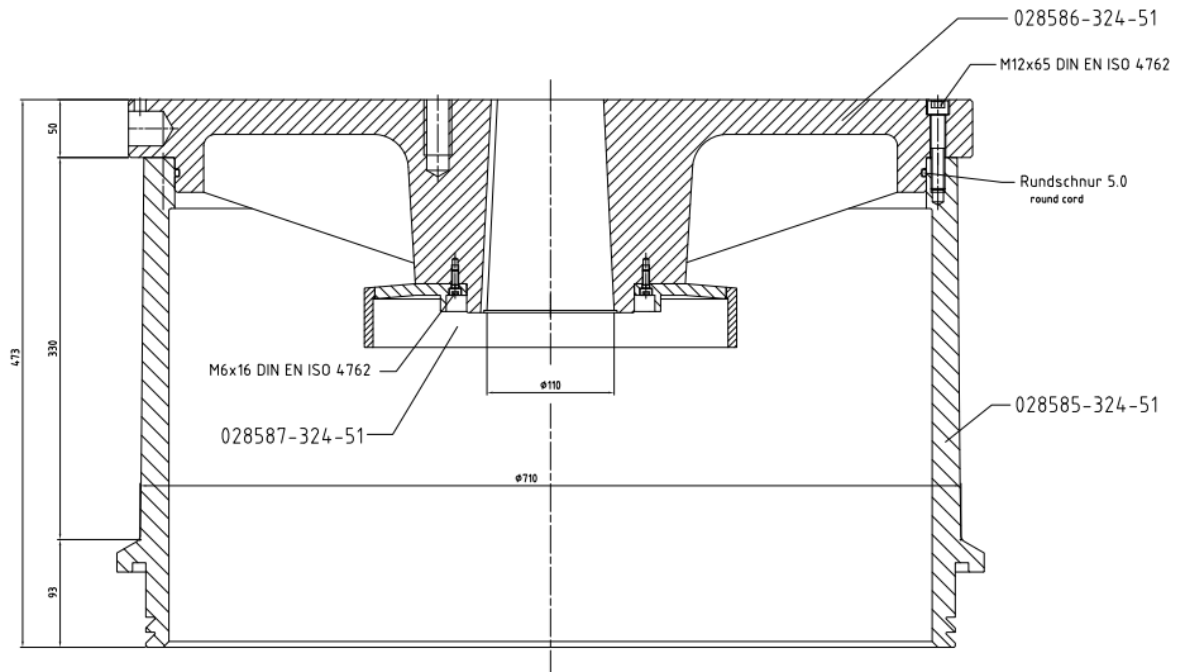


Figura 4.24: Desenho técnico da bobina (dimensões em mm)

Antes de avançar diretamente para a execução do serviço solicitado, procedeu-se a uma análise técnica detalhada do componente, com o objetivo de avaliar o estado do revestimento existente e verificar a viabilidade da intervenção. Esta etapa revelou-se determinante, uma vez que a zona revestida apresentava indícios visíveis de degradação na interface entre o corpo da bobina e a aba concordante.

Para permitir uma avaliação mais rigorosa do estado do revestimento, foi necessário proceder à lixagem localizada da superfície revestida. Esta operação teve como principal objetivo remover sujidades superficiais, oxidação e resíduos acumulados com o tempo de serviço, garantindo uma observação mais clara e aprofundada da camada aplicada e por outro lado, analisar também o tipo de material de revestimento aplicado anteriormente. A identificação do material foi realizada através da observação do pó resultante da lixagem, quando se trata de revestimento cerâmico, o pó apresenta coloração esverdeada, no caso do AISI 420 (aço inoxidável com alto teor de cromo) o resíduo tende a ser escuro e no caso de ser WC (carboneto de tungsténio), o pó assume um aspeto mais brilhante e metálico. A conclusão foi que naquela zona o revestimento anteriormente aplicado tinha sido WC.

A Figura 4.25 mostra a bobina após lixagem permitindo visualizar a presença de fissuras na zona revestida, confirmando a necessidade de uma intervenção mais abrangente do que a inicialmente solicitada.



Figura 4.25: Fissuras na zona revestida da bobina

Face ao estado observado, foi contactado o cliente no sentido de avaliar a possibilidade de remover integralmente o revestimento antigo e proceder à sua reaplicação após a remoção da aba. Embora esta operação não constasse no pedido inicial, o cliente solicitou que a proposta fosse apresentada com duas opções distintas:

- (i) uma primeira opção correspondente exclusivamente à remoção da aba, conforme pedido inicial do cliente;
- (ii) uma segunda opção contemplando a remoção da aba, remoção do revestimento antigo e aplicação de novo revestimento.

Para a elaboração do orçamento relativo à remoção da aba, recorreu-se ao histórico interno, analisando intervenções anteriores realizadas em bobinas de características semelhantes. Através da consulta dos registos de tempo associados a operações idênticas, foi possível determinar uma duração média de execução, sendo o valor final obtido pela multiplicação do número estimado de horas pelo custo por hora de maquinaria definido internamente.

Relativamente ao revestimento, o valor apresentado foi definido com base no

preço anteriormente praticado para uma bobina idêntica, garantindo assim coerência e alinhamento com intervenções anteriores. Contudo, o montante foi atualizado tendo em consideração a evolução normal dos custos associada às taxas de inflação e à variação do preço das matérias-primas.

A atualização do preço teve em consideração a evolução do custo da matéria-prima WC, cuja variação tem impacto direto no custo final do revestimento.

A Figura 4.26 ilustra a tendência de crescimento do preço do material, justificando o ajustamento aplicado ao orçamento.

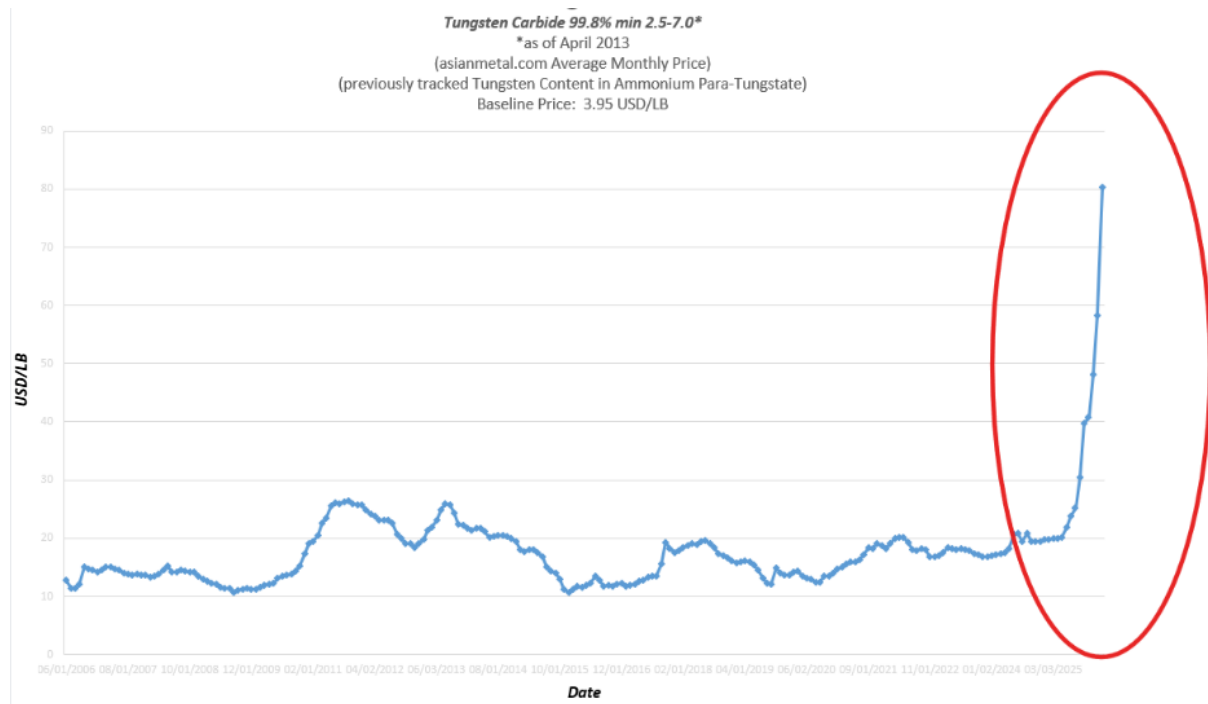


Figura 4.26: Gráfico com a tendência de crescimento do preço do WC, adaptado de [26]

Importa ainda referir que a solução de revestimento considerada não contempla a aplicação de WC em toda a superfície da bobina. Tendo em conta as condições de funcionamento do componente, optou-se pela aplicação de revestimento à base de WC apenas na zona da aba, região onde ocorre o contacto mais intenso com o arame e, consequentemente, onde se verifica maior desgaste. Nas restantes zonas do componente, onde o nível de solicitação é significativamente inferior, foi considerada uma solução por EAWS. Esta abordagem permite garantir a resistência ao desgaste nas áreas críticas, evitando simultaneamente um aumento significativo do custo associado à aplicação de WC em toda a superfície.

A proposta técnica e comercial foi, assim, estruturada nas duas alíneas solicitadas, permitindo ao cliente comparar tecnicamente e economicamente ambas as alternativas. Apresenta-se de seguida, na Figura 4.27, a proposta emitida.

Gestão de Propostas Técnico-Comerciais na Durit Coatings

DURIT COATINGS®

by TEandM - Tecnologia e Engenharia de Materiais, S. A.

Parque Industrial de Taveiro
Lotes 41 e 42, 3045-504
Coimbra - PORTUGAL

Página 1 de 1

Proposta/Proposal

Número/Number

006983

Data/Date

21.01.2026

Contacto/Contact person

Telefone/Phone

Validade/Validity period

7 dias/days

Assunto V/ Consulta:130126
Subject Proposta para remoção de aba intermédia e revestimento de bobina Ø710mm KOCH.

No seguimento da receção da vossa consulta via email, apresentamos proposta para remoção de aba intermédia e revestimento de bobina Ø710mm KOCH.

Pos. Pos.	Ref. Ref.	Designação Description	Qty Qty	Und Un	Preço Unit Cost	Total Total
1	62101020001	Remoção da aba intermédia. Maquinação para remoção da aba intermédia. Transformação de bobina dupla em simples.	1,00	un		
2	62101010001	Revestimento HVOF e EAWS de bobina Ø710 mm. Maquinação da aba intermédia. Pré maquinação, revestimento EAWS com Aço/13%Cr em zona Ø710x270mm e revestimento com WC/12%Co em zona com Ø710x50mm + aba concordante. Retificação e polimento das duas zonas revestidas.	1,00	un		

Prazo: 2 semanas após confirmação de encomenda.
Delivery Time

Local de Entrega: Nas vossas instalações em condições CPT do Incoterms de 2020.
Delivery Place

Condições Financeiras: 30 Dias / Days
Payment terms

Obs/Análise de risco: S/R.
Obs/Risk Analysis

TOTAL

Aos preços indicados acresce o IVA à taxa em vigor

Figura 4.27: Proposta enviada ao cliente com as duas opções possíveis para execução do serviço.

Após a apresentação da proposta com as duas opções técnicas para execução do serviço, o cliente confirmou a adjudicação da solução que incluía o revestimento. A confirmação formal da encomenda encontra-se apresentada na Figura 4.28.

Encomenda Cliente / Client Order

Número/Number	Data/Date
6650	27.01.2026
V/Encomenda/Your Order	
Contacto/Contact person	Telefone/Phone

Pos.	Ref.	Designação	Qtd	Und	Preço	Descontos	Total	Tx. IVA	Dt. Expedição
Pos.	Ref.	Description	Qty	Un	Unit Cost	Discount	Total	VAT Rate	Dispatch dt.
1		C-Proposta a Contacto no. 6983 de 21.01.2026							
2	62101010001	Revestimento HVOF e EAWS de bobina Ø710 mm.	1,00	un					10.02.2026

Maquinação da aba intermédia.
Pré maquinação, revestimento EAWS com
Aço/13%Cr em zona Ø710x270mm e revestimento
com WC/12%Co em zona com Ø710x50mm + aba
concordante. Retificação e polimento das duas zonas
revestidas.

Local de entrega <i>Delivery Place</i>	Total Iliquido <i>Subtotal</i>	EUR
	Desconto Comercial <i>Commercial Discount</i>	
	Total Liquido <i>Subtotal</i>	
	Total de I.V.A. <i>VAT / Sales Tax</i>	
	TOTAL	

Figura 4.28: Confirmação de encomenda apenas com a opção escolhida pelo cliente

Na sequência da adjudicação, procedeu-se ao início dos trabalhos, começando pela remoção da aba, seguido da remoção do revestimento existente, preparação da superfície e aplicação de novo revestimento.

A Figura 4.29 ilustra o estado do componente após a remoção da aba intermédia e revestimento da zona a interencionar.



Figura 4.29: Bobina após remoção da aba e novo revestimento

Após as operações de acabamento e controlo dimensional, o componente atingiu o seu estado final, encontrando-se pronto para expedição. O resultado final pode ser observado na Figura 4.30.



Figura 4.30: Bobina após conclusão dos trabalhos

Globalmente, esta proposta demonstra que o processo de elaboração de orçamento no departamento técnico-comercial não se limita à quantificação direta de operações solicitadas, exigindo uma análise crítica do estado real do componente, consulta de históricos produtivos e validação técnica das soluções apresentadas.

Este caso evidencia a importância da análise técnica prévia dos componentes re-
cecionados, demonstrando que a execução direta do serviço solicitado pode não ser,
por si só, a solução mais adequada do ponto de vista funcional e de durabilidade.

4.6 Atividade 6 – Processo de elaboração e execução de proposta de revestimento de veios usados em indústria alimentar

No seguimento das propostas anteriormente apresentadas, foi analisado um novo caso relativo ao revestimento de dois veios integrados num equipamento industrial destinado ao processamento de pasta de guloseimas. Nesta aplicação, a zona funcional do veio encontra-se em contacto direto com o produto, operando sob uma pressão aproximada de 100 bar. Este caso introduz uma variável adicional relevante, a necessidade de conformidade com os requisitos aplicáveis a materiais destinados a contacto com géneros alimentícios.

A Figura 4.31 apresenta o desenho técnico do componente fornecido pelo cliente, onde se identifica a zona de intervenção a vermelho, correspondente a um diâmetro de 35mm e a um comprimento aproximado de 85mm. A análise do desenho permitiu delimitar com precisão a área funcional sujeita a desgaste.

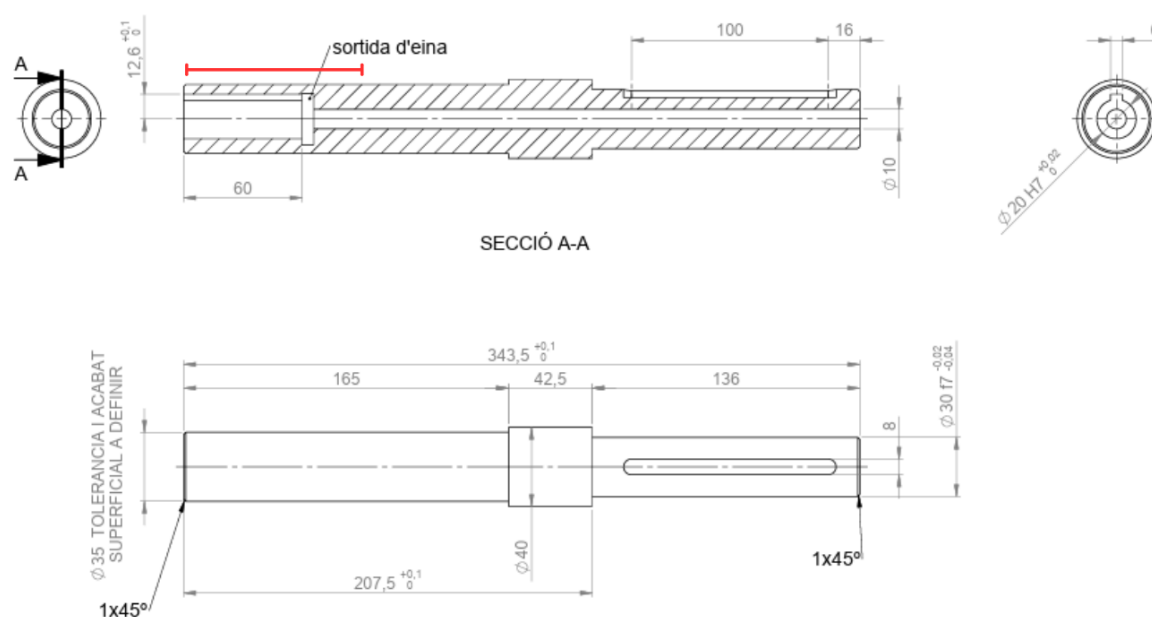


Figura 4.31: Desenho técnico da peça (dimensões em mm)

Do ponto de vista funcional, o veio encontra-se em contacto com pasta alimentar sob pressão, exigindo adequada resistência superficial e estabilidade química do revestimento face às condições de operação indicadas. Tratando-se de uma aplicação no setor alimentar, foi necessário enquadrar a solução técnica à luz do Regulamento (CE) n.º 1935/2004, que estabelece que os materiais e objetos destinados a entrar em contacto com alimentos não devem transferir substâncias em quantidades suscetíveis

de comprometer a segurança do produto ou alterar a sua composição e características.

Para responder a estes requisitos, foi proposta a aplicação de um revestimento por APS com Cr_2O_3 , com espessura final aproximada de 0,2mm após retificação da zona intervencionada. O Cr_2O_3 apresenta elevada dureza, boa resistência ao desgaste e estabilidade química, características adequadas para aplicações com fricção contínua e contacto com produto alimentar.

Importa referir que, apesar de ser habitual se utilizar uma subcamada metálica de ligação, não foi considerada a sua utilização neste caso específico. Embora as subcamadas sejam frequentemente utilizadas para melhorar a aderência e acomodar tensões entre o substrato e a camada cerâmica, a sua aplicação introduz um sistema multicamada com interfaces adicionais e materiais metálicos que nem sempre são especificados para contacto alimentar. Atendendo ao enquadramento da aplicação, optou-se por um sistema simplificado, aplicando o Cr_2O_3 diretamente sobre o substrato devidamente preparado. Esta abordagem reduz o número de interfaces internas e minimiza potenciais riscos associados à exposição de camadas metálicas intermédias, mantendo níveis adequados de aderência para o regime de funcionamento previsto.

Relativamente às condições de operação, a pressão de serviço de aproximadamente 100 bar foi analisada do ponto de vista da integridade do sistema revestido. Com base na experiência técnica interna, este nível de pressão não constitui um fator crítico isolado. Situações potencialmente problemáticas tendem a surgir em regimes superiores a cerca de 300 bar, sobretudo quando associadas a variações cíclicas acentuadas de carga. No cenário apresentado, não se identificaram estrangimentos estruturais relevantes.

A Figura 4.32 apresenta a proposta técnica e comercial elaborada para este caso, onde se especificam as operações de preparação superficial, aplicação do revestimento APS com Cr_2O_3 e retificação final, bem como a referência ao enquadramento regulamentar aplicável.

Proposta/Proposal	
Número/Number 007213	Data/Date 26.02.2026
Contacto/Contact person	Telefone/Phone
Validade/Validity period 7 dias	

Assunto Proposta para revestimento de 2 veios com Cr2O3.
Subject

No seguimento da receção da vossa consulta via email, apresentamos proposta para revestimento de 2 veios com Cr2O3.

Pos. Pos.	Ref. Ref.	Designação Description	Qtd Qty	Und Un	Preço Unit Cost	Total Total
1	62301010001	Revestimento APS de veio em zona Ø35x85mm. Preparação da superfície, revestimento por projecção Plasma com Óxido de Crómio (CE 1935/2004) com 0,2mm de espessura após retificação de veio em zona Ø35x85mm.	2,00	un		

Prazo: 2 semanas após confirmação de encomenda e receção dos componentes na Durit Coatings.
Delivery Time

Local de Entrega: Nas vossas instalações em condições CPT do Incoterms de 2020.
Delivery Place

Condições Financeiras: 30 Dias / Days
Payment terms

Obs/Análise de risco: S/R.
Obs/Risk Analysis

TOTAL

Aos preços indicados acresce o IVA à taxa em vigor

Figura 4.32: Proposta enviada ao cliente com a especificação do Regulamento (CE) n.º 1935/2004

Após o envio da proposta ao cliente, surgiu uma questão adicional relativamente à preparação dimensional da peça antes da aplicação do revestimento. Em particular, o cliente procurou esclarecer se o veio deveria ser previamente maquinado por ele com as dimensões finais ajustadas à espessura do revestimento prevista ou se essa operação seria realizada nas instalações da *Durit Coatings*.

No caso em análise, está prevista a aplicação de um revestimento com espessura aproximada de 0,2mm na zona funcional do componente. Assim, o cliente questionou se deveria considerar essa espessura na pré-maquinação da peça, incluindo a execução de um chanfro de aproximadamente 45° nas extremidades da zona a revestir.

Em resposta, foi esclarecido que, após a receção das peças nas instalações da empresa, estas são inicialmente submetidas a uma etapa de inspeção e controlo dimen-

sional. Esta verificação é particularmente relevante neste caso, uma vez que se trata de um veio com diâmetro reduzido e comprimento relativamente elevado, o que aumenta a suscetibilidade a fenómenos de empeno ou desvios geométricos resultantes do funcionamento em serviço.

Assim, antes do início das operações de preparação superficial e deposição do revestimento, procede-se à medição do veio com o objetivo de avaliar eventuais desvios de alinhamento ou concentricidade. Esta análise permite definir com maior precisão as operações subsequentes, nomeadamente a preparação da superfície, a aplicação do revestimento e o acabamento final por retificação, garantindo que a geometria final do componente cumpre os requisitos funcionais do equipamento.

Assim, o principal fator crítico identificado nesta proposta não esteve relacionado com a pressão de trabalho, mas sim com a necessidade de assegurar simultaneamente resistência ao desgaste e conformidade regulamentar para contacto com alimentos, garantindo a integridade superficial do componente em condições reais de funcionamento.

5. Análise crítica dos processos

5.1 Representação do processo de elaboração de propostas (SIPOC)

De forma a representar de forma estruturada o processo de preparação de propostas comerciais observado durante o estágio, foi utilizado o modelo SIPOC. Esta ferramenta permite identificar de forma simplificada os principais intervenientes no processo, bem como as entradas necessárias, as etapas realizadas e os resultados obtidos até à entrega da proposta ao cliente.

A utilização desta abordagem permite compreender de forma global como a informação proveniente de diferentes origens é tratada pelo departamento técnico-comercial até à elaboração e envio da proposta, evidenciando igualmente a interação com outros departamentos da empresa e com entidades externas.

A Tabela 5.1 apresenta a análise SIPOC do processo de elaboração de propostas.

Tabela 5.1: Representação SIPOC do processo de elaboração de propostas

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Cliente	Pedido e dados técnicos	Análise do pedido e definição do serviço	Proposta técnica e comercial	Cliente
Sistema interno	Histórico de propostas anteriores	Consulta de serviços anteriores	Proposta coerente com histórico	Cliente
Produção	Capacidade produtiva e prazos	Validação técnica e confirmação de prazos	Prazo incluído na proposta	Cliente
Fornecedores externos	Cotações externas	Integração de custos na proposta	Proposta final enviada	Cliente

A análise apresentada evidencia que o processo de elaboração de propostas depende de múltiplas fontes de informação e da articulação entre diferentes intervenientes internos e externos à empresa. Verifica-se que, embora o fluxo geral do processo seja definido, a variabilidade da informação recebida e a necessidade de validação técnica e produtiva introduzem frequentemente incertezas e tempos de espera que podem influenciar o prazo de resposta ao cliente.

Esta representação permite assim estabelecer uma base para a análise das dificuldades e riscos associados ao processo, apresentados nas secções seguintes.

5.2 Análise SWOT

A análise SWOT apresentada de seguida na Figura 5.1 permite sintetizar os principais pontos fortes e limitações observadas durante o estágio, bem como fatores externos que influenciam o desenvolvimento das atividades.

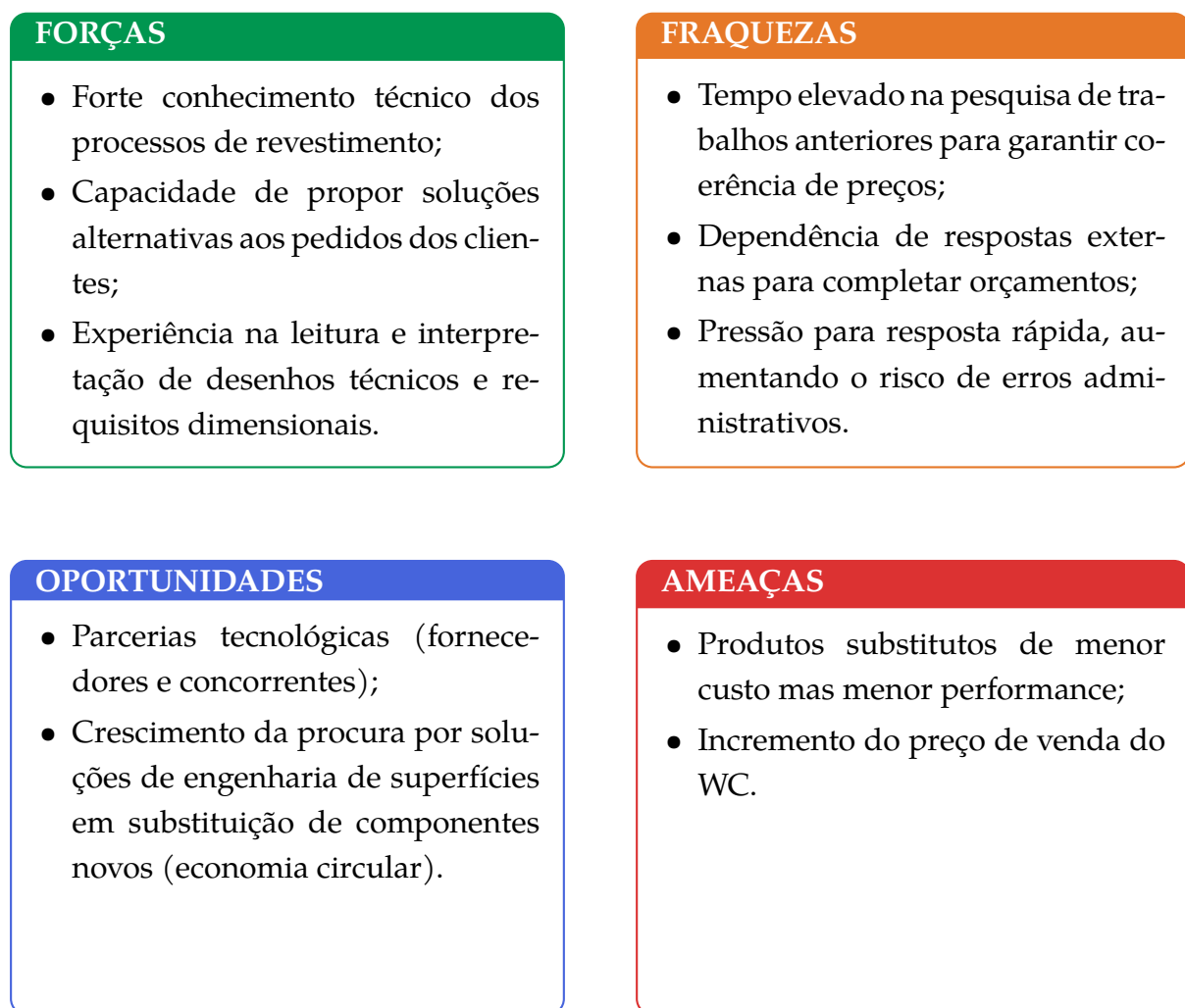


Figura 5.1: Análise SWOT

5.3 Identificação dos riscos operacionais

De forma a sistematizar as principais situações observadas que podem influenciar o normal desenvolvimento dos serviços, apresenta-se na Tabela 5.2 um resumo dos riscos operacionais identificados durante o estágio.

Tabela 5.2: Riscos operacionais observados durante o estágio

Situação observada	Impacto possível	Medida de mitigação
Demora de fornecedores externos	Atraso no envio de propostas	Base de dados interna com histórico de preços para estimativas preliminares
Alterações solicitadas após envio da proposta	Perda de tempo adicional na revisão de propostas e possível atraso na adjudicação do serviço	Confirmação técnica e validação final do âmbito do trabalho antes do envio da proposta
Início do processamento de peças sem que a documentação seja previamente encaminhada ao departamento comercial	Necessidade de preparação urgente da documentação e propostas, devido a prazos curtos já em curso, aumentando o risco de erros administrativos	Encaminhamento imediato da informação de receção das peças ao departamento comercial após controlo
Consultas esquecidas no email	Perda de negócios	Reforço do procedimento de registo e acompanhamento das consultas recebidas no sistema interno
Propostas enviadas sem resposta do cliente	Incerteza na adjudicação do serviço e possível perda de oportunidades comerciais	Realização de acompanhamento junto do cliente para identificar o motivo da não adjudicação
Tempo inadequado de resposta às solicitações do cliente	Cliente desiste do trabalho	Fazer uma triagem, selecionar prioridades/ clientes
Não cumprimento do contratualizado por parte das transportadoras	Não cumprimento dos prazos de entrega	Levantamento das peças nas instalações da <i>Durit Coatings</i> , procura de fornecedores.

A análise dos riscos operacionais identificados evidencia que a maioria das situações observadas está associada a falhas de comunicação, dependência de terceiros e ausência de procedimentos totalmente padronizados. Estes fatores contribuem para atrasos, retrabalho administrativo e, em alguns casos, perda de oportunidades comerciais.

Verifica-se igualmente que vários dos riscos têm impacto direto na satisfação do cliente, nomeadamente ao nível dos prazos de entrega e da clareza na definição de pro-

postas. Tal reforça a importância de implementar medidas preventivas, como o reforço da comunicação interna, a definição de prazos intermédios de controlo e a criação de mecanismos de acompanhamento mais estruturados.

A adoção das medidas de mitigação propostas permitirá reduzir a probabilidade de ocorrência destes riscos e minimizar os seus impactos, contribuindo para uma maior eficiência operacional e para o fortalecimento da imagem da empresa junto dos clientes.

5.4 Identificação das causas de atraso na elaboração de propostas

Com o objetivo de identificar de forma estruturada as principais causas associadas aos atrasos na elaboração e envio de propostas comerciais, foi elaborado um diagrama de causa-efeito (*Ishikawa*), apresentado na Figura 5.2. Este diagrama permite organizar e relacionar os diferentes fatores observados durante o estágio, evidenciando como aspetos relacionados com métodos de trabalho, qualidade da informação recebida, limitações do sistema informático, organização interna e interação com a produção influenciam diretamente o tempo necessário para preparação das propostas.

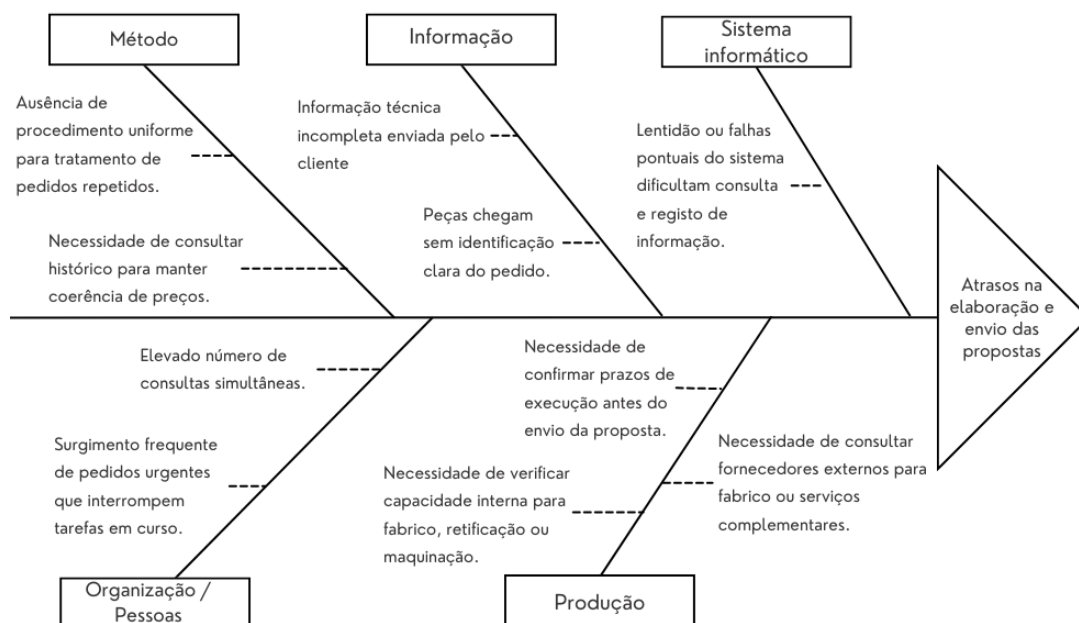


Figura 5.2: Diagrama de causa-efeito para identificação das causas de atraso na elaboração de propostas

A análise do diagrama evidencia que os atrasos não resultam de um único fator, mas sim da combinação de diversas situações que ocorrem ao longo do processo de orçamentação. Destacam-se, por exemplo, a inexistência de procedimentos uniformes para tratamento de pedidos repetidos, a recepção de informação técnica incompleta por parte dos clientes, limitações ocasionais do sistema informático utilizado e a necessidade frequente de articulação com o departamento de produção para confirmação de prazos e viabilidade técnica.

Adicionalmente, verificou-se que a existência de múltiplas consultas simultâneas e de pedidos urgentes pode interromper tarefas em curso, contribuindo igualmente para o aumento dos tempos de resposta. Desta forma, o diagrama permitiu consolidar uma visão global das causas de atraso, servindo de base para identificação de oportunidades de melhoria nos procedimentos internos associados à elaboração de propostas.

5.5 Proposta de melhoria para a definição de SLA na criação de RFQ

Durante o estágio desenvolvido no departamento técnico-comercial foi possível acompanhar o processo de recepção e análise de consultas enviadas pelos clientes, designadas internamente como RFQ. No momento da criação de um RFQ no sistema interno da empresa é necessário definir um parâmetro principal: o nível de *SLA* associado à consulta.

O nível de *SLA* corresponde ao tempo máximo esperado para a elaboração e envio da proposta técnico-comercial ao cliente. Atualmente, a empresa utiliza três níveis de *SLA* representados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Níveis de *SLA* e respetivos tempos de resposta

Nível de <i>SLA</i>	Tempo de resposta
<i>SLA</i> nível 1	Resposta em até 2 dias
<i>SLA</i> nível 2	Resposta entre 3 e 5 dias
<i>SLA</i> nível 3	Sem prazo definido

Apesar desta estrutura permitir organizar os tempos de resposta às consultas recebidas, observou-se durante o estágio que a atribuição do nível de *SLA* associado a cada RFQ é frequentemente realizada com base na experiência individual do colaborador responsável pela análise do pedido. Não existem critérios formais que orientem esta decisão, podendo ocorrer situações em que consultas semelhantes são classificadas de forma diferente.

A ausência de critérios estruturados pode dificultar a priorização consistente das

consultas, especialmente em períodos de maior volume de pedidos, contribuindo potencialmente para uma gestão menos eficiente do tempo dedicado à elaboração de propostas técnico-comerciais.

Face a esta observação, propõe-se a utilização de um modelo simples de apoio à decisão que permita orientar a definição do nível de SLA associado a cada RFQ. O modelo baseia-se na avaliação de um conjunto de critérios objetivos relacionados com as características da oportunidade comercial.

A proposta consiste na avaliação de quatro critérios principais que influenciam a prioridade associada a cada consulta, representados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Critérios propostos para avaliação de RFQ

Critério	Descrição
Urgência do cliente	Prazo solicitado pelo cliente para obtenção de resposta
Valor potencial da proposta	Estimativa do valor económico associado ao serviço
Importância estratégica do cliente	Relevância do cliente para a empresa
Complexidade técnica	Esforço necessário para análise técnica e preparação da proposta técnico-comercial

Cada critério pode ser avaliado através de um sistema simples de pontuação como mostra a Tabela 5.5, permitindo apoiar a classificação das consultas recebidas.

Tabela 5.5: Sistema de pontuação para avaliação de RFQ

Critério	Baixo (1 ponto)	Médio (2 pontos)	Alto (3 pontos)
Urgência do cliente	Sem urgência definida	Resposta desejada em cerca de uma semana	Resposta urgente
Valor potencial da proposta	Baixo valor	Valor intermédio	Elevado valor
Cliente estratégico	Cliente novo	Cliente ocasional	Cliente recorrente ou estratégico
Complexidade técnica	Análise simples	Análise moderada	Análise complexa

A pontuação total resulta da soma dos valores atribuídos aos diferentes critérios.

Com base na pontuação total obtida, pode ser definido o nível de SLA a aplicar ao RFQ através da Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Definição do nível de SLA com base na pontuação obtida

Pontuação total	Prioridade	SLA
10–12	Elevada	SLA nível 1 – Resposta até 2 dias
7–9	Média	SLA nível 2 – Resposta entre 3 e 5 dias
4–6	Baixa	SLA nível 3 – Sem prazo definido

Este sistema permite apoiar a classificação das consultas de forma mais estruturada, mantendo os níveis de SLA atualmente utilizados pela empresa.

A aplicação deste modelo poderia ocorrer no momento da criação do RFQ no sistema interno, funcionando como um guia para a definição do nível de prioridade associado à consulta. A utilização de critérios estruturados permitiria reduzir a subjetividade na classificação das oportunidades e facilitar a gestão das prioridades no departamento técnico-comercial.

Importa salientar que o modelo proposto não pretende substituir a experiência dos colaboradores, mas sim funcionar como uma ferramenta de apoio à decisão que permita tornar o processo de classificação das consultas mais consistente.

A implementação de um modelo simples de priorização de RFQ poderá contribuir para melhorar o processo de gestão de consultas técnicas, apresentando diversos benefícios, nomeadamente maior uniformização na definição de prioridades entre diferentes consultas, melhor gestão do tempo dedicado à elaboração de propostas técnico-comerciais, redução do risco de atrasos na resposta a oportunidades com maior relevância e maior transparência no processo de classificação das consultas recebidas.

Desta forma, a introdução de critérios estruturados para a definição do nível de SLA poderá contribuir para uma gestão mais eficiente das consultas recebidas pelo departamento técnico-comercial.

6. Conclusão

O estágio curricular realizado na *Durit Coatings* constituiu uma experiência determinante para a consolidação das competências técnicas e de gestão adquiridas ao longo do percurso académico, permitindo a aplicação prática de conhecimentos num contexto industrial altamente exigente e tecnologicamente avançado. Inserido no departamento técnico-comercial, o trabalho desenvolvido proporcionou uma visão abrangente do funcionamento interno da organização, bem como da importância estratégica da engenharia de superfícies no aumento da durabilidade, fiabilidade e desempenho de componentes industriais.

O relatório estruturou-se de forma progressiva, iniciando-se com a contextualização da empresa, a sua evolução histórica, posicionamento no Grupo *Durit*, áreas de atuação e enquadramento normativo, evidenciando desde cedo o nível de exigência técnica e organizacional inerente à sua atividade. A forte aposta em tecnologias como APS, HVOF, EAWS, PVD, PACVD, *Laser Cladding* e *Laser Hardening* demonstra a capacidade da empresa em oferecer soluções diferenciadas e adaptadas a múltiplos setores industriais. Este enquadramento permitiu compreender que a seleção de uma tecnologia de revestimento não é apenas uma decisão técnica isolada, mas o resultado de uma análise criteriosa que envolve condições de serviço, propriedades do material base, requisitos normativos, viabilidade produtiva e impacto económico.

O enquadramento teórico desenvolvido ao longo do relatório revelou-se essencial para sustentar tecnicamente as decisões observadas em contexto real. A análise dos diferentes processos de projeção térmica, revestimentos em vácuo e revestimentos por laser evidenciou as suas vantagens, limitações e campos de aplicação, reforçando a ideia de que não existe uma solução universal em engenharia de superfícies. Cada tecnologia apresenta características específicas ao nível da microestrutura, espessura, aderência, porosidade e comportamento mecânico, sendo a sua adequação dependente dos requisitos funcionais do componente. Esta compreensão foi fundamental para interpretar as propostas técnico-comerciais elaboradas durante o estágio e para perceber a fundamentação técnica que orienta a recomendação de determinadas soluções em detrimento de outras.

No âmbito das atividades desenvolvidas, o acompanhamento integral de diferentes propostas técnico-comerciais permitiu observar todas as fases do processo, desde

a receção do pedido do cliente até à criação da PLT e articulação com a produção. Este contacto direto com casos reais evidenciou a complexidade associada à análise de desenhos técnicos, interpretação de requisitos, estimativa de custos e gestão de prazos. Ficou claro que o departamento técnico-comercial desempenha um papel de interface crítico entre cliente e produção, sendo responsável por assegurar que as soluções propostas são simultaneamente tecnicamente viáveis, economicamente sustentáveis e compatíveis com a capacidade produtiva instalada.

A análise crítica apresentada no Capítulo 5, realizada através da aplicação de ferramentas como o SIPOC, a análise SWOT, a identificação de riscos operacionais e o diagrama de causa-efeito, permitiu sistematizar as principais observações efetuadas ao longo do estágio. Verificou-se que os principais constrangimentos no processo de elaboração de propostas estão frequentemente associados a atrasos na recolha de informação técnica, à dependência de múltiplos intervenientes e à ausência de critérios estruturados para a priorização das consultas recebidas. Neste contexto, evidenciou-se também a necessidade de definir de forma mais objetiva o nível de SLA associado a cada RFQ, de modo a orientar a gestão de prioridades e garantir maior consistência nos tempos de resposta. A identificação destas fragilidades não deve ser interpretada apenas como uma limitação estrutural da organização, mas sobretudo como uma oportunidade de melhoria contínua, particularmente num contexto industrial onde a rapidez de resposta e a fiabilidade técnica das propostas assumem um papel determinante na competitividade das empresas.

Do ponto de vista pessoal e profissional, o estágio permitiu desenvolver uma maior capacidade de análise crítica e tomada de decisão em ambientes de incerteza. A necessidade de articular variáveis técnicas e económicas reforçou a importância da formação em Engenharia e Gestão Industrial, evidenciando que a componente de gestão é indissociável da componente técnica. A estimativa de custos, a avaliação de risco e a priorização de propostas exigiram uma abordagem estruturada e fundamentada, demonstrando que o engenheiro deve ser capaz de interpretar dados técnicos complexos e traduzi-los em decisões estratégicas alinhadas com os objetivos da empresa.

Foram igualmente enfrentadas dificuldades ao longo do percurso, nomeadamente na interpretação inicial de especificações técnicas complexas, na gestão de múltiplas tarefas em simultâneo e na necessidade de resposta rápida a solicitações urgentes. A exposição a contextos reais de pressão e responsabilidade contribuiu, no entanto, para o desenvolvimento de maior autonomia, organização e capacidade de comunicação técnica. A interação constante com diferentes departamentos evidenciou a importância do fluxo de informação claro e estruturado, reforçando a relevância da melhoria de processos internos como forma de aumentar a eficiência global.

Em termos de sugestões de evolução futura, a padronização da recolha de informação técnica, a criação de bases de dados estruturadas de cotações anteriores e

o desenvolvimento de ferramentas digitais de apoio à estimativa de custos poderão contribuir para reduzir tempos de resposta e minimizar riscos operacionais. A implementação de indicadores de desempenho específicos para o processo técnico-comercial permitiria ainda monitorizar a eficiência e identificar áreas prioritárias de intervenção.

Em síntese, o estágio na *Durit Coatings* permitiu compreender a engenharia de superfícies numa perspetiva integrada, onde tecnologia, gestão, qualidade e inovação se interligam de forma contínua. A experiência demonstrou que o sucesso de uma solução de revestimento não depende apenas da excelência técnica do processo aplicado, mas também da eficácia organizacional que suporta a sua implementação. O trabalho desenvolvido contribuiu para uma visão mais madura e estratégica da atividade industrial, consolidando o perfil profissional enquanto engenheira capaz de atuar na interface entre conhecimento técnico especializado e gestão de processos. A experiência adquirida constitui, assim, um passo decisivo na transição do contexto académico para o exercício profissional, reforçando a importância da aprendizagem em ambiente real como complemento indispensável à formação teórica.

Referências bibliográficas

- [1] Durit Coatings, “Empresa — história,” Online: Durit – Empresa, 2025, available: <https://duritcoatings.pt/empresa/>.
- [2] X. Zhang *et al.*, “Surface engineering of metals: Techniques, characterization and applications,” *Metals*, vol. 13, no. 7, p. 1299, 2023.
- [3] A. Bhatia, “Thermal spraying technology and applications course no: T04-002, credit: 4 pdh,” Continuing Education & Development, Inc., n.d., available: <https://www.cedengineering.com/course-page/thermal-spraying-technology-and-applications>.
- [4] F. S. Miranda, F. R. Caliari, A. Essiptchouk, and G. Petraconi, “Atmospheric plasma spray processes: From micro to nanostructures,” in *Atmospheric Pressure Plasma: From Diagnostics to Applications*, A. Nikiforov, Ed. London, United Kingdom: IntechOpen, 2019, pp. 1–15.
- [5] P. Fauchais, “Understanding plasma spraying,” *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 37, no. 9, pp. R86–R108, 2004.
- [6] Durit, “Tecnologias de revestimentos – aps, hvof, eaws, pvd e outros,” Online: Durit – Tecnologia de Revestimentos, 2025, available: <https://www.durit.com/pt/tecnologia/revestimentos>.
- [7] Durit Coatings, “Atmospheric plasma spray (aps),” <https://duritcoatings.pt/aps/>, acessado em 7 de fevereiro de 2026.
- [8] —, “Portfolio – durit coatings,” <https://duritcoatings.pt/en/portfolio/>, 2025, acessado em: 5 fev. 2026.
- [9] T. S. Sidhu, S. Prakash, and R. D. Agrawal, “State of the art of hvof coating investigations—a review,” *Marine Technology Society Journal*, vol. 39, no. 2, pp. 53–64, 2005.
- [10] M. Li, D. Shi, and P. D. Christofides, “Modeling and control of hvof thermal spray processing of wc-co coatings,” *Powder Technology*, vol. 156, pp. 177–194, 2005.
- [11] Z. U. Arif, M. Shah, E. u. Rehman, and A. Tariq, “Effect of spraying parameters on surface roughness, deposition efficiency, and microstructure of electric arc sprayed brass coating,” *International Journal of Advanced and*

- Applied Sciences*, vol. 7, no. 7, pp. 25–39, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21833/ijaas.2020.07.004>
- [12] E. Horisawa, M. Matsumura, R. Matsumoto, T. Tanimoto, K. Sugiura, and C. Morita, “Mechanical behavior of structural steel clad by wire arc thermal spraying,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 234, p. 109748, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2025.109748>
- [13] A. F. Costa, “Análise comparativa de ferramentas revestidas por pvd e cvd no torneamento do aço abnt 8620,” Master’s thesis, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, Brasil, 2016.
- [14] Y. Deng, W. Chen, B. Li, C. Wang, T. Kuang, and Y. Li, “Physical vapor deposition technology for coated cutting tools: A review,” *Ceramics International*, vol. 46, no. 11, pp. 18 373–18 390, 2020.
- [15] K. S. Saad, T. Saba, and A. B. Rashid, “Application of pvd coatings in medical implantology for enhanced performance, biocompatibility, and quality of life,” *Surface Coatings and Technology*, vol. 456, p. 129700, 2024.
- [16] Durit Coatings, “Revestimentos físicos em vapor (pvd),” <https://duritcoatings.pt/revestimentos-fisicos-em-vapor/>, acessado em 7 de fevereiro de 2026.
- [17] M. Azadi, A. Sabour Rouhaghdam, and S. Ahangarani, “A review on titanium nitride and titanium carbide single and multilayer coatings deposited by plasma assisted chemical vapor deposition,” *International Journal of Engineering (IJE), Transactions B: Applications*, vol. 29, no. 5, pp. 677–687, 2016.
- [18] M. Januś, K. Kyzioł, S. Kluska, J. Konefał-Góral, A. Małek, and S. Jonas, “Plasma assisted chemical vapour deposition – technological design of functional coatings,” *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 60, no. 2, pp. 909–914, 2015.
- [19] A. Aziz, R. Prabu, and D. Velmuruugan, “Overview of laser coating,” *International Journal of Research in Advent Technology*, vol. 3, no. 10, pp. 7–9, 2015. [Online]. Available: <http://www.ijrat.org>
- [20] F. Findik, “Laser cladding and applications,” *Sustainable Engineering and Innovation*, vol. 5, no. 1, pp. 1–14, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.37868/sei.v5i1.id186>
- [21] J. Cheng, Y. Xing, E. Dong, L. Zhao, H. Liu, T. Chang, M. Chen, J. Wang, J. Lu, and J. Wan, “An overview of laser metal deposition for cladding: Defect formation mechanisms, defect suppression methods and performance improvements of laser-clad layers,” *Materials*, vol. 15, no. 16, p. 5522, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/ma15165522>
- [22] Durit Coatings, “Laser cladding,” <https://duritcoatings.pt/laser-cladding/>, acessado em 7 de fevereiro de 2026.

- [23] P. Senthil Kumar, C. Jegadheesan, P. Somasundaram, S. Praveen Kumar, A. Vivek Anand, A. Pal Singh, and N. Jeyaprakash, "State of art: Review on laser surface hardening of alloy metals," *Materials Today: Proceedings*, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.259>
- [24] Łukasz Łach, "Recent advances in laser surface hardening: Techniques, modeling approaches, and industrial applications," *Crystals*, vol. 14, no. 8, p. 726, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/cryst14080726>
- [25] Ramada, *FT – 2379 Rev. 002 – Especificação Técnica do Aço 1.2379*, 2022, consultado em: data de acesso. [Online]. Available: https://www.ramada.pt/ficheiros_upload/ft--2379_rev00220527113403.pdf
- [26] Asian Metal. (2026) Tungsten carbide 99.8% min 2.5–7.0 μm – average monthly price. Accessed: 19-Feb-2026. [Online]. Available: <https://www.asianmetal.com/Tungsten-Carbide-Price-Index/>



**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra