

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS NUMA EMPRESA DE MOBILIÁRIO

FRANCISCO DA SILVA REIS

Setembro de 2021

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS NUMA EMPRESA DE MOBILIÁRIO

Francisco da Silva Reis

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS NUMA EMPRESA DE MOBILIÁRIO

Francisco da Silva Reis

Estudante n.º 1160975

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação da Professora Doutora Maria Teresa Pereira e coorientação do Professor Doutor António Manuel Pereira da Silva Amaral.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a concretização desta etapa e me ajudaram ao longo do meu percurso académico.

Começo por agradecer à Professora Maria Teresa Pereira e ao Professor António Amaral, orientadores no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), por toda a disponibilidade, ajuda e conselhos dados ao longo deste projeto de dissertação.

Agradeço à IKEA Industry Portugal S.A pela oportunidade de realizar o estágio e o projeto de dissertação nas suas instalações. Em especial, deixo um sincero obrigado a todos os elementos da equipa de Desenvolvimento de Produto, que desde o primeiro dia me apoiaram e me ajudaram ao longo de todo o projeto e que tornaram esta experiência inesquecível. Deixo também um obrigado a todos os restantes colaboradores que contribuíram para o meu processo de formação e integração.

Aos meus pais, ao meu irmão e aos meus familiares pelo apoio incondicional, pelo incentivo, pela inspiração e por terem sempre acreditado em mim ao longo destes anos.

À Diana, por toda a força, presença, compreensão e, acima de tudo, por sonhar comigo.

Aos meus amigos, pelo apoio, amizade e pela compreensão.

Aos meus colegas de curso, agradeço todo o companheirismo e todas as memórias criadas ao longo destes anos únicos.

A todos, o meu sincero obrigado.

página propositadamente em branco

RESUMO

A globalização, juntamente com o avanço tecnológico, tem criado um cenário cada vez mais competitivo para as empresas, deixando-as diante da necessidade de se tornarem mais flexíveis, eficientes e sustentáveis, de forma a melhorar a sua performance competitiva. Neste contexto, muitas organizações começam a ganhar sensibilidade para a importância da redução e controlo de custos, racionalização de recursos e para a melhoria dos processos internos. Assim, e impulsionado pela crescente importância da recolha, tratamento e análise de dados, as empresas começam a procurar soluções que façam uso do valor dos dados existentes para melhorar os processos produtivos, internos e de tomada de decisão, assim como a qualidade dos produtos ou serviços e a tomada de decisão.

Neste sentido, este projeto de investigação surgiu no âmbito da melhoria do processo de custeio de novos produtos no seio do Departamento de Desenvolvimento do Produto da IKEA Industry Portugal S.A. O presente trabalho consistiu no desenvolvimento de um modelo paramétrico de estimativa de custos com base na aplicação de regressões lineares simples e múltiplas, tendo em conta os dados existentes dos produtos já produzidos e respetivos custos. O modelo proposto contempla a estimativa do custo de produção de um artigo, que abrange o custo em materiais e o custo em operações.

Ao longo deste projeto, foram desenvolvidas várias análises de identificação e avaliação de diferentes variáveis independentes capazes de explicar o comportamento do custo em materiais e operações. Após um período de mapeamento e tratamento de dados, em função de características dos produtos e dos processos, foram consideradas diferentes variáveis independentes como variáveis explicativas do custo. Através da aplicação de regressões lineares simples e múltiplas, foi estudada a adequabilidade das diferentes variáveis, tendo-se obtido um conjunto de funções que retornam uma estimativa do custo em função dessas variáveis preditoras.

O modelo construído com as funções obtidas permite obter uma estimativa dos custos em materiais e em operações, sendo que os resultados alcançados em 75% dos testes realizados evidenciam um erro de estimativa de inferior a 2% no custo total de um produto. A incorporação deste modelo numa ferramenta com o propósito de estimativa de custos traz a capacidade de prever custos de forma mais rápida, melhorando o processo interno de obtenção custeio e potenciando a capacidade analítica da equipa na procura incessante da minimização de custos e da criação de valor.

Deste modo, o modelo proposto faz uso dos dados existentes na organização, possibilitando a previsão de custos de novos artigos de uma forma mais eficiente, acelerando o processo de custeio e, conseqüentemente, libertando os responsáveis por estas tarefas para outras em que o seu conhecimento e criatividade possam acrescentar mais valor à organização.

PALAVRAS-CHAVE

Estimativas de Custos, Análise de Regressão, Modelo Paramétrico, Desenvolvimento do Produto

página propositadamente em branco

ABSTRACT

Globalization along with technological advancement has created an increasingly competitive environment for companies, leaving them facing the need to become more flexible, efficient, and sustainable to improve their competitive performance. In this context, many organizations are becoming aware of the importance of cost reduction and control, rationalization of resources, and the improvement of internal processes. Thus, and driven by the growing importance of data collection, processing and analysis, companies are beginning to seek solutions that make use of the value of existing data to improve production, internal and decision-making processes, as well as product or service quality and decision making.

In this sense, this research project arose within the scope of the improvement of the costing process of new products within the Product Development Department of IKEA Industry Portugal S.A. This work consisted of developing a parametric cost estimation model based on the application of simple and multiple linear regressions, considering the existing data of the products already produced and their respective costs. The proposed model contemplates the estimation of the production cost of an article, which includes the cost of materials and the cost of operations.

Throughout this project, several analyses were developed to identify and evaluate different independent variables capable of explaining cost behavior in materials and operations. After a period of data mapping and treatment, according to product and process characteristics, different independent variables were considered as explanatory variables of cost. Through the application of simple and multiple linear regressions, the suitability of the different variables was studied, and a set of functions that return an estimate of the cost as a function of these predictor variables was obtained.

The model built with the obtained functions allows obtaining an estimate of the costs in materials and in operations, and the results achieved in 75% of the tests performed show an estimation error of less than 2% in the total cost of a product. The incorporation of this model in a tool with the purpose of cost estimation brings the ability to predict costs in a faster way, improving the internal process of obtaining costing and enhancing the analytical capacity of the team in the relentless pursuit of cost minimization and value creation.

In this way, the proposed model makes use of existing data in the organization, making it possible to forecast the costs of new items in a more efficient way, speeding up the costing process and, consequently, freeing up those responsible for these tasks for other activities where their knowledge and creativity can add more value to the organization.

KEYWORDS

Cost Estimation, Regression Analysis, Parametric Model, Product Development

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
LISTA DE SIGLAS, acrónimos e glossário.....	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento e pertinência	1
1.2. Questão e objetivos de investigação.....	1
1.3. Opções metodológicas	2
1.4. Apresentação da empresa.....	3
1.5. Estrutura do trabalho	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Técnicas de Estimativas de Custos	5
2.2. Análises de Regressão	11
2.2.1. Regressão Linear Simples.....	12
2.2.2. Regressão Linear Múltipla.....	15
3. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	17
3.1. Departamento de Desenvolvimento do Produto.....	17
3.2. Custeio no Departamento de Desenvolvimento do Produto.....	18
3.3. Caracterização da Situação Atual.....	20
4. DESENVOLVIMENTO	23
4.1. Metodologia	23
4.2. Análise de Custos de Materiais	27
4.2.1. Análise da família de Produtos “Produtos A”	28
4.2.2. Análise da família de Produtos “Produtos B”	31
4.3. Análise de Custos de Operações	32
4.3.1. Análise dos Centros de Trabalho do Fluxo “Produtos B”	33
4.3.2. Análise dos Centros de Trabalho do Fluxo “Produtos A”	42
4.4. Proposta de modelo	43
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	47
5.1. Conclusões.....	47
5.2. Limitações e Trabalhos Futuros.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
APÊNDICES	52

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Fases do processo de investigação segundo a metodologia Investigação – Ação (Susman & Evered, 1978).....	2
Figura 2- Vista aérea do site da IKEA Industry Portugal. [Fonte: (IKEA Industry Portugal,2020)]	4
Figura 3- Classificação das técnicas de estimativas de custo de produtos [Fonte: Adaptado de (Niazi et. al., 2006)]	7
Figura 4-Abordagem geral para a implementação de uma técnica de estimativa de custos [Fonte: (Altavilla, 2018)]	10
Figura 5- Medidas de Variação. [Fonte: (Berenson et al., 2003)]	15
Figura 6- Atividades do departamento de Desenvolvimento do Produto. [Fonte: Elaboração própria]	17
Figura 7- Fases do desenvolvimento do produto na IKEA Industry Portugal. [Fonte: Elaboração própria]	18
Figura 8- Diagrama de Dispersão do Custo em Materiais em função do Volume	28
Figura 9- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação em função do Tempo de Ciclo	34
Figura 10- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25187 em função do Volume .	34
Figura 11- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25136 em função do Comprimento	36
Figura 12- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25104-1 em unção do Comprimento	37
Figura 13- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25142 em função do Perímetro para portas, gavetas e vitrines	38
Figura 14- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25142 em função do Perímetro para Painéis	38
Figura 15- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25157 em função do comprimento	42
Figura 16- Esquema representativo do modelo e ferramenta de estimativa de custos. [Fonte: Elaboração própria].....	44

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Classificação dos Custos nos SI da organização.....	23
Tabela 2- Resumo dos artigos da família “Produtos A”	24
Tabela 3- Resumo dos artigos da família “Produtos B”	25
Tabela 4- Estatísticas da regressão linear	28
Tabela 5- Teste ANOVA da regressão linear	29
Tabela 6- Coeficientes da regressão linear	29
Tabela 7- Resumo dos resultados das regressões lineares dos artigos “Produtos A”	30
Tabela 8- Resumo dos resultados das regressões lineares dos artigos “Produtos A”	31
Tabela 9- Centros de trabalho analisados.....	33
Tabela 10- Resumo dos resultados das regressões feitas na análise do custo da linha 25134	35
Tabela 11- Intervalos de comprimento e respetivo custo de operação	37
Tabela 12- Resumo dos resultados das regressões feitas na análise do custo da linha 25142	39
Tabela 13- Resumo dos resultados das regressões feitas na análise do custo da linha 25113	40
Tabela 14- Resultados dos testes de estimativa dos Custos em Materiais.	45
Tabela 15- Resultados dos testes de estimativa dos Custos em Operações	45
Tabela 16- Resultados dos testes de estimativa do Custo Total.....	46

página propositadamente em branco

LISTA DE SIGLAS, ACRÓNIMOS E GLOSSÁRIO

Lista de Siglas

BOF	<i>Board on Frame</i>
DLC	<i>Direct Labour Cost</i>
HDF	High Density Fiberboard
IC	<i>Indirect Costs</i>
IOS	<i>IKEA of Sweden</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
MDF	Medium Density Fiberboard
ODC	<i>Other Direct Costs</i>
PDC	Product Development Center
PFF	<i>Pigment Furniture Factory</i>
PI	<i>Price Indication</i>
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
RFQ	<i>Request for Quotation</i>
SI	Sistemas de Informação
SQR	Soma dos Quadrados da Regressão
SQRE	Soma dos Quadrados dos Resíduos
SQT	Soma dos Quadrados Total

Glossário

“Outsourcing”	Percentagem do custo de um produto que contempla os custos de sucata e retrabalho.
“RFQ”	“Request for Quotation” é um pedido de cotação para um produto.

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento e pertinência

O presente projeto foi desenvolvido na empresa IKEA Industry Portugal S.A, no âmbito da dissertação do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), e visa o desenvolvimento de um modelo de estimativas de custos.

Este projeto de investigação surgiu no seio do Departamento de Desenvolvimento do Produto, cujas necessidades de melhoria do processo de desenvolvimento passam pela procura de soluções que conduzam a maior eficiência nas tarefas que fazem parte deste processo. Neste caso, o custeio de produtos foi identificado como sendo uma atividade fundamental e com oportunidades de melhoria relevantes. Neste sentido, e com o intuito de otimizar o processo de custeio, foi proposto o desenvolvimento de um modelo de estimativa de custos que permita prever o custo de novos produtos de forma menos morosa e mais eficiente.

Além de criar valor através de um histórico de dados, a utilização deste tipo de ferramentas pode ter um impacto direto nos processos internos da organização, contribuindo para o seu desenvolvimento tecnológico e melhoria do seu desempenho global.

1.2. Questão e objetivos de investigação

No sentido de melhorar a eficiência do processo de desenvolvimento de um produto, foi proposto o desenvolvimento de um modelo de estimativas de custos de novos produtos com base nos dados existentes dos artigos já produzidos na organização. Sendo assim, enuncia-se a seguinte a questão de investigação: será possível aplicar regressões lineares simples e múltiplas no desenvolvimento de um modelo paramétrico de estimativa de custos?

Com o intuito de responder à questão formulada, foi definido o objetivo geral como sendo: desenvolver um modelo paramétrico de estimativa de custos com recurso à aplicação de regressões lineares simples e múltiplas.

Para a concretização do objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma base de conhecimento relativo à organização por meio de formação, com especial foco no custeio de produtos;
- Recolher informação relativa aos processos de custeio, sistemas de informação e dados passíveis de ser usados no modelo;
- Tratar, filtrar e trabalhar os dados históricos sobre custos de produtos existentes por forma a desenvolver um *dataset* de dados para posterior análise estatística;
- Aplicar regressões lineares e múltiplas aos dados relativos a custos em materiais e operações e analisar os resultados;
- Validar o modelo paramétrico de estimava de custos baseado em regressões.

1.3. Opções metodológicas

O presente projeto de dissertação foi desenvolvido em ambiente industrial, sendo o Método Investigação – Ação (*action-research*) a metodologia inicialmente definida. Neste projeto foi desenvolvido um modelo de estimativa de custos integrado no âmbito de uma empresa de mobiliário, pelo que esta metodologia surge adequada uma vez que está presente uma grande componente prática de desenvolvimento de uma solução para a resolução de um problema organizacional através de análise e contribuição científica.

Segundo Susman & Evered (1978) e, mais recentemente (Saunders et al., 2019), esta metodologia contempla três objetivos quando seguida num contexto investigacional: contribuir de forma prática para a melhoria e resolução de problemas existentes no sistema em estudo, contribuir para a criação de conhecimento científico através produção de resultados e conclusões retiradas da análise do sistema em estudo e, por fim, contribuir para o desenvolvimento das competências de resolução de problemas e aprendizagem de todos os intervenientes.

A metodologia apresentada é frequentemente vista como sendo um processo cíclico composto por cinco fases: Diagnóstico, Planeamento de Ações, Implementação de Ações, Avaliação dos Resultados e Identificar Aprendizagem (Figura 1). As interações cliente – sistema, ou seja, entre o investigador e a população investigada, mantêm e asseguram o progresso entre as diferentes fases do projeto de investigação.

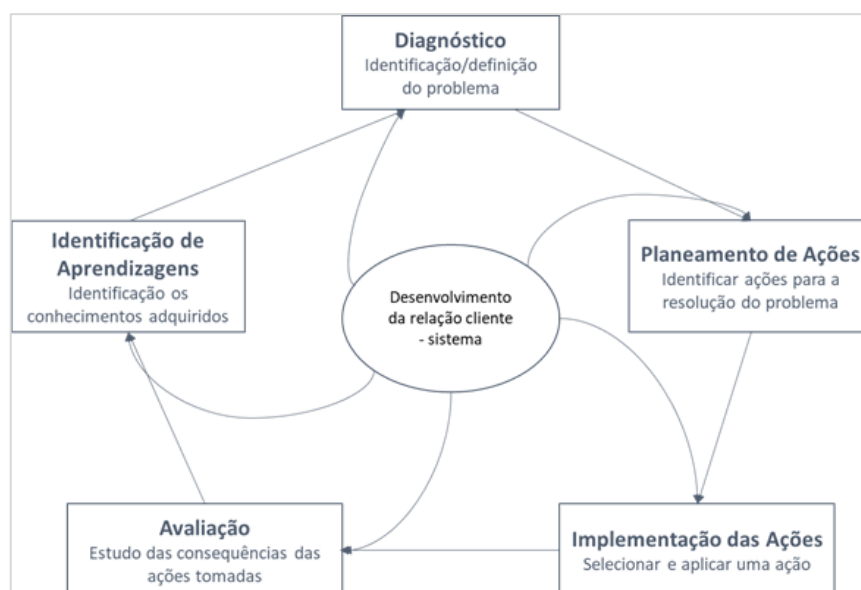


Figura 1- Fases do processo de investigação segundo a metodologia Investigação – Ação (Susman & Evered, 1978)

A metodologia Investigação - Ação surge muitas vezes associada ao desenvolvimento de projetos de investigação no âmbito da gestão industrial nos contextos de implementação de melhorias de processos, sejam produtivos ou de gestão e organização (Martins et al., 2020).

Dada a complexidade do sistema organizacional e face às restrições de tempo disponível para a realização da investigação, o mais indicado seria seguir uma metodologia Estudo de Caso. A fase de formação e desenvolvimento de conhecimentos em relação à organização, aos seus processos produtivos e internos, aos produtos e, em especial, às atividades de custeio foi extremamente

necessária para conduzir uma abordagem fundamentada em conhecimento da realidade industrial e organizacional da empresa. A maioria das atividades desenvolvidas ao longo desta fase consistiu, primeiramente, em momentos e entrevistas informais com diferentes colaboradores e, posteriormente, em tarefas de estudo de processos e análise documental da organização. Assim, a abordagem seguida pode ser descrita em três momentos distintos, nomeadamente, o processo de compreensão do contexto da investigação, o processo de identificação, mapeamento e tratamento de dados e, por fim, o processo analítico de análise estatística.

Neste projeto de investigação procurou-se desenvolver um modelo de estimativa de custos de forma a melhorar o processo de custeio de produtos. Após a fase de formação e integração na organização, começou-se por fazer um estudo do processo de custeio de produtos e um levantamento dos sistemas de informação (SI) existentes. Posteriormente, foi feita uma análise aos dados relativos a custos existentes nos sistemas de informação e uma avaliação de como poderiam ser utilizados para obter um modelo de estimativa de custos. Com base numa amostra do portefólio de produtos da empresa, foram aplicadas técnicas paramétricas de estimativas de custos através de análises de regressão que permitiram compreender a relação entre certas variáveis do produto e os respetivos custos.

1.4. Apresentação da empresa

Inter IKEA Group

O Grupo IKEA foi fundado em 1943, na Suécia, por Ingvar Kamprad, e dedica-se ao design, produção e venda de mobiliário e artigos de decoração acessíveis à maioria das pessoas em todo o mundo. O grupo internacional, agora designado por *Inter IKEA Group*, está dividido em três áreas de negócio que juntas contribuem para a criação das condições para implementar e melhorar o conceito e o crescimento da marca. Estas três áreas distintas (*Franchise*, *Range* e *Supply*) ocupam-se de atividades distintas, desde o design ao fabrico e retalho de produtos decorativos. O Grupo IKEA está presente em 61 mercados e chega a milhões de pessoas através de uma rede de 458 lojas (*IKEA Industry Portugal*, 2020).

IKEA Industry Group

O grupo IKEA Industry é o maior produtor mundial de móveis de madeira e tem como objetivo a produção dos móveis à base de madeira para a marca sueca. Este grupo dedicado à produção de mobiliário está estruturado em 4 divisões: *Division Purchase*, *Division Boards*, *Division SolidWood* e *Division Flatline*. Atualmente, existem cerca de 19000 colaboradores a operar em 38 fábricas localizadas em 9 países diferentes (*IKEA Industry Portugal*, 2020).

IKEA Industry Portugal

A fábrica IKEA Industry Portugal, fundada em 2008, é uma das fábricas da divisão *Flatline* do grupo IKEA Industry e está localizada em Paços de Ferreira. Atualmente, a empresa emprega cerca de 1500 colaboradores e apresentou uma faturação que rondou os 200€ milhões no ano de 2020. A empresa é constituída por duas fábricas distintas, *Board on Frame* (BoF) e *Pigment Furniture Factory* (PFF), que se distinguem pelo tipo de produtos que fabricam (Figura 2).

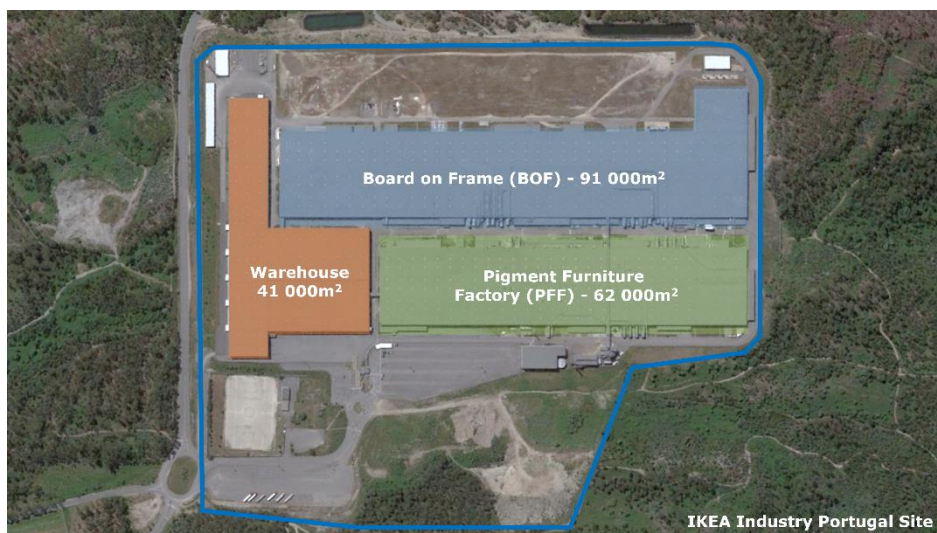


Figura 2- Vista aérea do site da IKEA Industry Portugal. [Fonte: (IKEA Industry Portugal,2020)]

A PFF dedica-se ao fabrico de frentes de cozinha, portas de armários, enquanto a BoF se ocupa da produção e móveis de sala, escritório e quarto, como estantes, secretárias ou cómodas. As duas fábricas produziram em 2020 cerca de 16 milhões de móveis, tendo como destino lojas de Portugal, Espanha, França, Estados Unidos da América e alguns países da Ásia como a China e o Japão. Os produtos da PFF são essencialmente painéis de madeira prensada (MDF, HDF) que passam por processos de corte, maquinagem, furação e pintura. Os artigos da BoF possuem uma estrutura mais complexa, uma vez que incorporam, geralmente, uma moldura em ripas de madeira cujo interior é preenchido com cartão estruturado e à qual são adicionadas duas placas de madeira de menor espessura que funcionam como superfícies superior e inferior das peças. Estes semi-produtos são posteriormente maquinados, furados e pintados. Ambas as fábricas possuem várias linhas de embalagem manual e automática onde todos os produtos são embalados e preparadas as unidades de transporte que têm como destino os centros de distribuição e, posteriormente, as lojas IKEA.

1.5. Estrutura do trabalho

Para além da Introdução, o presente trabalho é constituído pelos capítulos da “Revisão Bibliográfica”, da “Contextualização”, do “Desenvolvimento” e das “Conclusões e Trabalhos Futuros”. Neste primeiro capítulo, é feito o enquadramento do trabalho, apresentados os objetivos, a metodologia utilizada e a empresa na qual o projeto de investigação foi desenvolvido.

No Capítulo 2 são apresentados os fundamentos teóricos que sustentaram o desenvolvimento do projeto. São abordados temas como as técnicas de estimativas de custos e as análises de regressão, técnica estatística base deste projeto.

No Capítulo 3 é feita a contextualização do projeto no âmbito da empresa, sendo apresentado o departamento no qual foi desenvolvido, assim como as suas atividades. Adicionalmente, é apresentado o diagnóstico da situação sobre a qual decorreu o projeto.

No Capítulo 4 é descrito todo o trabalho realizado e apresentado o modelo de estimativa de custos resultante da investigação desenvolvida.

No Capítulo 5 são expostas todas as conclusões relativas ao projeto e sugeridos trabalhos futuros que possam acrescentar valor ao trabalho realizado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica com o intuito de enquadrar o trabalho, abordando as Técnicas de Estimativa de Custos e Análises de Regressão, de modo a fundamentar teoricamente o projeto desenvolvido.

2.1. Técnicas de Estimativas de Custos

A capacidade de estimar custos de produtos ou serviços é uma competência que pode ter um impacto significativo na competitividade de qualquer empresa. A obtenção de boas estimativas de custos tem uma influência direta na performance e na eficiência de uma empresa uma vez que permite à organização ter uma visão tanto estratégica como operacional do seu negócio e das suas atividades (Niazi et al., 2006). Apesar de ser um tema muitas vezes descorado pelas empresas, principalmente pelas mais pequenas, a capacidade de estimar custos corretamente pode definir o sucesso ou insucesso da organização. A sobrestimação de custos pode resultar na perda de clientes e má imagem no mercado, enquanto a subestimação pode levar a problemas financeiros relacionados com a insuficiência de ganhos para o negócio. Adicionalmente, fazer estimativas de custos consistentes e precisas é importante para satisfazer as necessidades dos clientes ao entregar um produto com elevada qualidade, a um baixo preço e no tempo requerido (Niazi et al., 2006). É facilmente perceptível que incorrer em erros no custeio ou aplicar os métodos errados de custeio pode conduzir a decisões estratégicas pouco adequadas ou a consequências indesejáveis para o negócio, mas quando adequadas, podem ter um papel decisivo no design ou desenvolvimento de um produto. Cometer erros de estimativa de custos em fases iniciais do ciclo de vida do produto pode levar ao comprometimento da qualidade e potencial do produto, por um lado, uma subestimação pode levar uma perspetiva de um produto como sendo económico enquanto uma sobrestimação pode colocar em causa o conceito do produto (Altavilla, 2018).

Vários autores têm vindo a investir esforços no tema da estimativa de custos de produtos, procurando identificar e categorizar as diferentes técnicas e metodologias associadas a este tema. Na literatura identificam-se quatro principais classificações das técnicas de estimativas de custos, cujas diferenças se encontram essencialmente nas técnicas consideradas, no formato dos dados utilizados e na potencialidade da sua utilização, na precisão pretendida para a estimativa e no grau de integração entre diferentes técnicas (Altavilla, 2018). As classificações dividem-se da seguinte forma:

- Métodos Qualitativos e Quantitativos;
- Técnicas baseadas em Analogia, Modelos Paramétricos e Abordagem de Engenharia;
- Estimativas de Custos com base em Variantes, generativas ou híbridas;
- Métodos Clássicos e Avançados de estimativas de custos.

A categorização mais conhecida é proposta por Niazi et al. (2006) na qual é feita uma classificação hierárquica extensiva das técnicas de estimativas de custos agrupando diferentes técnicas segundo semelhança de características. Os autores sustentam toda a categorização numa primeira distinção entre técnicas qualitativas e quantitativas. Segundo Niazi et al. (2006), a estimativa de custos com recurso a métodos qualitativos assenta na análise comparativa entre um novo produto e outros produtos existentes com o intuito de identificar semelhanças entre o que já é produzido e o novo

artigo, sendo feita uma comparação qualitativa dos produtos. A identificação de semelhanças entre artigos permite considerar dados relativos a produtos existentes, fazendo com que haja um ponto de partida desenvolvido para o custeio do novo produto. Para tal, a experiência da pessoa responsável pela estimativa, juntamente com dados relativos ao produto existente, podem ser a base para estimar os custos de um novo produto que é semelhante a outro já produzido. Niazi et al. (2006) sugerem ainda que a existência de um histórico de dados de custos dos produtos existentes pode servir para a obtenção de estimativas de uma forma eficiente. Os autores acrescentam ainda que as técnicas qualitativas podem ser utilizadas em fases prematuras de desenvolvimento de produto para obter estimativas iniciais dos custos associados ao artigo em estudo.

Para Niazi et al. (2006), as técnicas quantitativas baseiam-se na análise detalhada das características do produto e seu processo produtivo, sendo os custos obtidos por meio de aplicação de funções paramétricas ou analíticas que descrevem o custo em função de certos parâmetros do produto ou através do cálculo de todos os recursos consumidos no fabrico do artigo. A complexidade e o detalhe de cálculo destas técnicas é maior, permitindo a elaboração de estimativas mais rigorosas, mas requerendo uma descrição mais madura do produto. Este tipo de técnicas surge assim em fases mais avançadas do ciclo de vida de um produto. A categorização feita por Niazi et al. (2006) divide as técnicas qualitativas em “Intuitivas” e “Análogicas” e as técnicas quantitativas em “Paramétricas” e “Analíticas”. Kadir et al. (2020) considera também que as técnicas de estimativa de custos podem ser divididas em Qualitativas e Quantitativas, e estas em intuitivas e analógicas, e paramétricas e analíticas, respetivamente.

De acordo com Niazi et al. (2006), as técnicas intuitivas são baseadas em experiência passada sendo as estimativas obtidas com base no conhecimento de outros produtos dos quais se conhecem as características e os parâmetros. Kadir et al. (2020) acrescenta que as técnicas intuitivas consistem na obtenção de estimativas através do conhecimento de pessoas que possuem uma grande experiência naquilo que está a ser custeado. Segundo Niazi et al. (2006), as técnicas analógicas baseiam-se em conhecimento passado, nomeadamente em dados relativos aos custos de outros produtos conhecidos. Kadir et al. (2020) considera que estas técnicas juntam, por um lado, a experiência e grau de conhecimento da pessoa a estimar e, por outro lado, os históricos de dados relativos aos produtos e respetivos custos.

Relativamente às técnicas paramétricas, (Niazi et al., 2006) considera que estes modelos resultam da aplicação de métodos estatísticos que permitem a definição de funções capazes de explicar os custos em função de certas variáveis do produto, variáveis estas frequentemente designadas *cost drivers*. Niazi et al. (2006) e Kadir et al. (2020) estão de acordo na definição das técnicas analíticas ao definir que são métodos que consistem na decomposição do produto em unidades e operações que representam os diferentes recursos consumidos ao longo da produção do produto. A soma de todas as parcelas resulta no custo total do artigo.

Na Figura 3 encontra-se esquematizada a classificação das técnicas de estimativas de custos de produtos proposta por (Niazi et al., 2006).

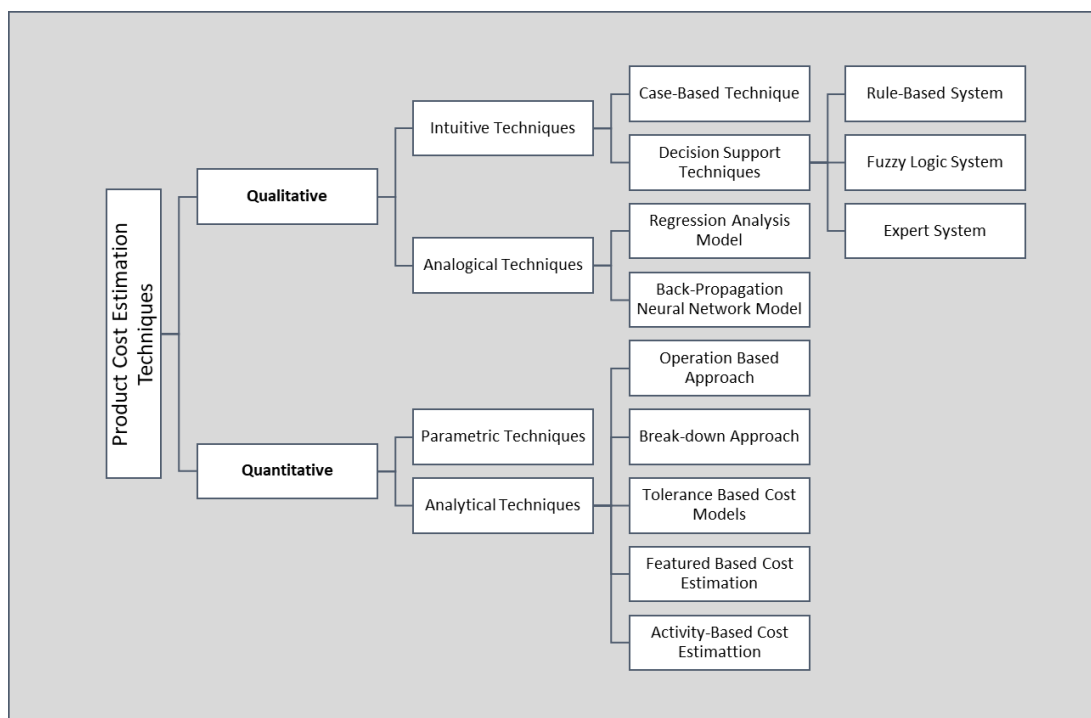


Figura 3- Classificação das técnicas de estimativas de custo de produtos [Fonte: Adaptado de (Niazi et al., 2006)]

Outra classificação é proposta por Cavalieri et al. (2004) e as técnicas são divididas em três categorias, nomeadamente, Técnicas baseadas em analogia, Modelos Paramétricos e Abordagem de Engenharia. A categorização feita por Cavalieri et al. (2004) evidencia graus diferentes de precisão obtidos em função da técnica utilizada. As Técnicas Baseadas em Analogias têm como fundamento a definição e análise do grau de semelhança entre o produto novo e outros que foram ou são produzidos pela organização. Estas técnicas apresentam algumas desvantagens, como a dificuldade de medir o conceito de semelhança entre produtos e a dificuldade de integrar neste parâmetro o efeito de progressos tecnológicos ou outros fatores externos ao produto (Cavalieri et al., 2004). São um conjunto de técnicas adequadas a fases iniciais de desenvolvimento de um produto, uma vez que permitem obter uma primeira estimativa de custo com pouca informação, mas ainda assim fiável. Os Modelos Paramétricos, por sua vez, procuram expressar o possível custo de um produto em função de certas variáveis que, geralmente, são características do produto e que influenciam o custo final. Estas funções, designadas por Relações de Estimativa de Custos, são construídas por meio de aplicação de métodos estatísticos e matemáticos, usando os *cost drivers* como variáveis independentes. Cavalieri et al. (2004) sugere que são técnicas que podem ser aplicadas tanto em fases de desenvolvimento de produto como em fases de implementação, funcionando como ferramenta de controlo de custos. Geralmente são usadas na obtenção de estimativa de custos de grandes projetos, mas cuja eficácia também pode ser encontrada em produtos em que os *cost drivers* são identificáveis. A Abordagem de Engenharia implica uma análise bastante detalhada do processo de fabrico e das características do produto, sendo a estimativa de custo um cálculo analítico da soma de todos os custos de cada componente do produto. Além de ser uma técnica que requer grandes volumes de informação relativa ao produto e ao processo, é também morosa e complexa, mas a que permite obter estimativas mais precisas. Por esse motivo

é uma abordagem mais adequada a fases avançadas do ciclo de vida do produto ou do desenvolvimento em que os detalhes do produto e do processo já se encontram definidos (Cavalieri et al., 2004).

A classificação proposta por Wierda (1990) divide as técnicas de estimativa em Técnicas baseadas em Variantes, Genéticas e Híbridas. Tal como a categorização indica, esta taxonomia difere das anteriores pelo facto de considerar a integração de várias técnicas de estimativas de custos. O primeiro tipo de técnicas, baseadas em Variantes, consistem na procura de produtos semelhantes através da recolha de informação de produtos existentes de forma a adaptar ao produto novo. Já as técnicas generativas baseiam-se na análise detalhada da informação existente relativo ao produto e ao processo e posterior desagregação dos custos de cada componente. Em semelhança às taxonomias anteriores, as técnicas que utilizam critérios de semelhança com produtos já produzidos surgem aplicadas em fases iniciais do desenvolvimento do produto ou em que existe ainda falta de definição das características do produto, enquanto as generativas são aplicadas em fases mais avançadas ou nas quais existe informação detalhada e definida.

Por fim, Curran et al. (2004) propõe uma classificação das técnicas de estimativa de custos em Métodos Clássicos e Métodos Avançados. Na primeira categoria são incluídas as técnicas mais convencionais, desde as baseadas em analogias, as paramétricas até às abordagens de engenharia. Na segunda categoria, Curran et al. (2004) inclui as técnicas cujo base são tecnologias e algoritmos mais avançados para a obtenção de estimativas de custos.

Segundo Altavilla (2018), as semelhanças existentes nas quatro propostas de classificação de técnicas de estimativas de custos estudo resultam do facto de todas terem em consideração três aspetos em comum, nomeadamente, a natureza da estimativa, a precisão dos dados usados como *input* e o nível de precisão dos valores estimados. Apesar destas semelhanças, as diferentes técnicas não surgem categorizadas da mesma forma nem a sua interpretação é a mesma nas várias classificações, havendo ainda uma lacuna relativamente às técnicas existentes utilizadas na estimativa de custos (Altavilla, 2018).

Neste sentido, uma nova taxonomia é proposta por Altavilla (2018), na qual as técnicas de estimativa de custos são classificadas segundo um sistema de cinco camadas, sendo elas: a natureza da técnica, a natureza da análise, as características do produto/processo, o objetivo, fase de aplicação e o responsável, e por último, o objeto de estimativa.

Na primeira camada, natureza da técnica, os diferentes métodos são agrupados de acordo com a sua abordagem metodológica e o seu poder de estimativa, tendo também em consideração o grau de precisão que os métodos possuem. Na segunda camada, natureza da análise, o foco da categorização está no tipo, na qualidade e na granularidade dos *inputs* e dos *outputs* da estimativa, sendo a distinção feita com base na existência ou não de dados históricos relativos a outros produtos. A terceira camada, características do produto/processo, baseia-se nas características do produto/processo para a identificação de técnicas mais ou menos adequadas, enquanto a quarta camada, o objetivo, fase de aplicação e o responsável, se baseia em aspetos gerais da análise e que podem conduzir a diferentes técnicas a aplicar. Por fim, a quinta camada, o objeto de estimativa, foca-se na fase do ciclo de produto na qual se pretende fazer a estimativa de custos e, consequentemente, no tipo de custos a considerar (Altavilla, 2018).

No contexto desta dissertação é considerada e mantida a taxonomia proposta por Niazi et al. (2006) que classifica as técnicas de estimativas de custos em Intuitivas, Analógicas, Paramétricas e

Analíticas, tal como descrito anteriormente. Neste sentido, é relevante apresentar as vantagens e desvantagens apontadas na literatura de cada uma destas categorias.

As técnicas Intuitivas baseiam-se na experiência passada dos estimadores, cujo conhecimento pode existir num formato qualitativo de bases de dados ou simplesmente sob a forma de regras ou árvores de decisão resultantes de experiência (Layer et al., 2002). Apesar de serem técnicas que para determinadas situações podem ser práticas, o conhecimento utilizado pode estar dependente da memória do estimador e sem fundamento matemático, o que pode dificultar a sua justificação e análise comparativa entre outros tipos de técnicas (Ong, 1993).

As técnicas Analógicas assentam no nível de semelhança entre o produto a ser analisado e outros produtos anteriormente produzidos, sendo as semelhanças consideradas de um ponto de vista funcional ou geométrico (Layer et al., 2002). Existindo um certo nível de semelhança entre produtos certas técnicas são utilizadas para extrair de dados históricos a previsão de custos do novo artigo. De acordo com (Ong, 1993), a utilização de análises, comparações, ajustes ou interpolações são métodos simples e rápidos de usar, considerando-os, por esse motivo, mais precisos do que as técnicas Intuitivas. Contudo, tanto Ong, (1993) como Layer et al. (2002) apontam a necessidade de grandes históricos de dados bem como se sistemas de informação para que estas técnicas sejam genuinamente úteis e eficazes.

Já os métodos Paramétricos baseiam-se nas relações existentes entre determinados parâmetros dos produtos e os custos, definidas segundo funções analíticas de certas variáveis do produto ou do processo. Apesar de serem técnicas simples e baseadas em funções, a estimativa implica sempre o senso comum e o conhecimento empírico do estimador como ponto de partida para a análise das possíveis relações entre as variáveis do produto e os custos (Layer et al., 2002). No que a dados necessários para a construção de funções diz respeito, Altavilla (2018) aponta como vantagem os pequenos volumes de dados requeridos, mas suficientemente grandes para garantir a correta construção e validação das relações definidas por funções.

As técnicas Analíticas consideram o produto como uma decomposição de unidades, tarefas, operações ou atividades que representam os vários recursos consumidos e cuja soma de todos estes elementos constitui o custo total do produto (Niazi et al., 2006). O detalhe e precisão inerentes a estes métodos implicam um elevado grau de certeza em relação ao produto e às operações, o que se verifica geralmente em fases avançadas do ciclo de vida do produto ou em fases de produção. Associadas à precisão, surgem as desvantagens relacionadas com os esforços e dados necessários para a obtenção de estimativas, uma vez que são métodos fortemente dependentes de grandes quantidades de informação para analisar e, consequentemente, muito tempo e esforço para efetuar essa análise (Layer et al., 2002; Ong, 1993).

Contextos de aplicação

Tal como foi sendo apontado nos parágrafos anteriores, as várias técnicas de estimativas de custos possuem diferenças nos contextos em que podem ser aplicadas, podendo estas diferenças surgir na fase do ciclo de vida do produto em estudo, da informação disponível ou da experiência da pessoa que está a realizar a estimativa dos custos. Atualmente, o foco das empresas é cada vez mais orientado ao cliente e à satisfação das suas necessidades, não só relativamente ao produto ou serviço que oferecem a um custo baixo, mas também aos custos que o cliente terá com o produto ao longo do seu ciclo de vida como na eliminação ou reutilização do mesmo. Desta forma, as

empresas surgem obrigadas a avaliar não só os custos do produto em si, mas os custos existentes ao longo de todo o seu ciclo de vida (Altavilla & Montagna, 2015).

Neste sentido, Altavilla & Montagna (2015) propõem um modelo integrado para estimar o custo de um produto ao longo de todo ciclo de vida, integrando informação qualitativa normalmente disponível desde o início do processo de desenvolvimento e os dados quantitativos disponíveis nas fases mais avançadas do ciclo de vida do produto.

Implementação de uma ferramenta de estimativa de custos

Apesar de ser evidente a necessidade de as empresas gerirem e usarem a informação para prever os custos, entre a decisão de aplicar técnicas de estimativa de custos e conseguir, efetivamente, atingir a eficiência nesta tarefa, existe um processo de desenvolvimento que Altavilla & Montagna (2015) estrutura em três módulos, de acordo com a Figura 4.

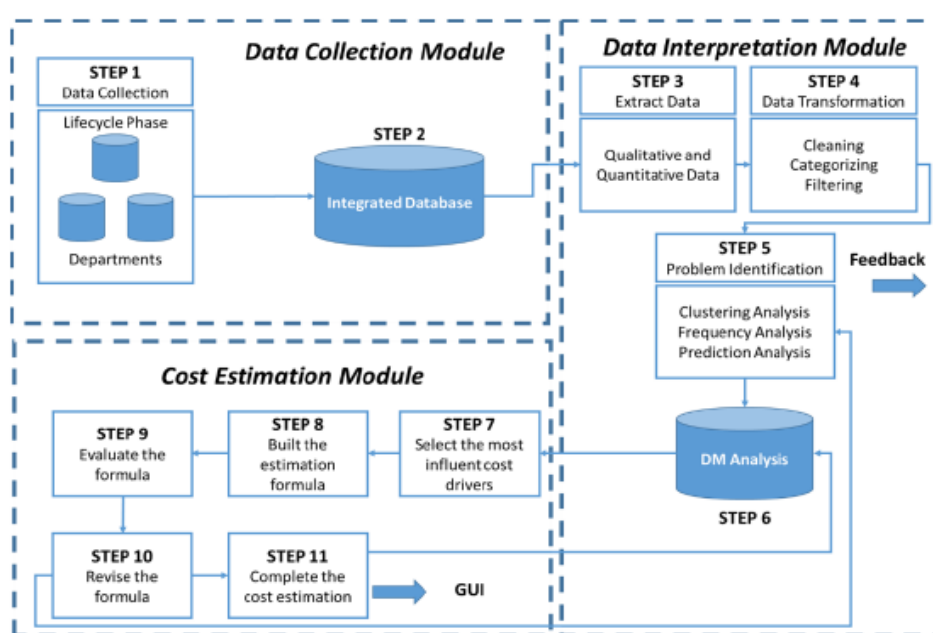


Figura 4-Abordagem geral para a implementação de uma técnica de estimativa de custos [Fonte: (Altavilla, 2018)]

O módulo de recolha de dados é o primeiro passo na implementação de uma ferramenta de estimativa de custos numa empresa, podendo ser uma fase onde podem surgir maiores dificuldades para as organizações. Por um lado, é requerido um certo desenvolvimento a nível de sistemas informáticos que pode ainda não fazer parte da realidade da organização e, por outro lado, é necessário recolher e juntar dados de vários departamentos, sendo este alinhamento de dados uma tarefa por vezes de grande complexidade (Altavilla, 2018).

O segundo módulo concretiza o tratamento e transformação dos dados recolhidos em informação e preparando-os para a sua utilização no módulo de estimativa de custos no qual é construído o modelo representativo da técnica escolhida para estimar custos de produtos (Altavilla, 2018).

Regressão como técnica de estimativa de custos

A utilização de análises de regressão como técnica de estimativa de custos é uma das abordagens possíveis para estimar custos de produtos. De acordo com Niazi et al. (2006), esta é uma técnica

analogica dado que recorre a um critério de similaridade e dados históricos de custo relativos a produtos existentes. Os modelos utilizam estes dados para estabelecer uma relação entre o custo e certas variáveis do produto, permitindo usar essa relação para prever o custo de produtos novos e semelhantes. Contudo, o recurso a variáveis e a métodos estatísticos na obtenção de custos pode fazer das regressões uma técnica paramétrica, tendo em conta as características que descrevem este tipo de abordagem. Além disso, as análises de regressão podem ser utilizadas para estimar uma parte de um modelo paramétrico constituído por mais elementos, deixando de se enquadrar no domínio qualitativo das classificações. Estas diferenças nas taxonomias reforçam, por um lado, as diferentes classificações propostas pelos diversos autores e, por outro lado, a necessidade de analisar cada situação e perceber de que formas as diferentes técnicas podem ser aplicadas.

As análises de regressão foram utilizadas como modelo de estimativa de custos por Gunduz et al. (2011), numa comparação com um modelo baseado em ANN (*Artificial Neural Networks*). Os autores desenvolveram um modelo paramétrico com base em regressões múltiplas para estimar o custo de projetos de trânsito ferroviário e obras de metropolitano. O modelo incluía 17 parâmetros disponíveis na fase inicial do desenvolvimento dos projetos. Esses mesmos parâmetros foram usados como possíveis variáveis independentes, tendo chegado a um modelo com apenas 5 variáveis preditoras. Quando comparado com o modelo ANN desenvolvido, o modelo baseado em regressão múltipla conduziu a um erro de estimativa menor e, portanto, a estimativas mais precisas. A conclusão apresentada pelos autores vai ao encontro daquela estabelecida por Smith & Mason (1997), de que as análises de regressão podem conduzir a melhores resultados do que a ANN, quando existe um grande conhecimento do comportamento da variável dependente, sustentado num conjunto de variáveis independentes com um grande poder explicativo.

2.2. Análises de Regressão

A regressão é uma técnica estatística frequentemente utilizada em vários campos da ciência e que permite avaliar e descrever a relação entre variáveis, podendo ser expressa como uma função ou um modelo, relacionando a variável dependente (ou de resposta) e uma ou mais variáveis independentes (explicativas ou preditoras) (Chatterjee & Hadi, 2006). Além de prever valores da variável dependente, a análise de regressão permite identificar o tipo de relação matemática existente entre uma variável dependente e as independentes, quantificar o efeito que as variáveis independentes possuem na variável dependente e também identificar observações anormais (Berenzon et al., 2003).

Na literatura, a variável de resposta é denotada por Y e as variáveis independentes por $X_1, X_2, \dots, X_p$ sendo p o número de variáveis explicativas consideradas. A verdadeira relação entre Y e $X_1, X_2, \dots, X_p$ pode ser obtida pela aproximação do modelo de regressão

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_p) + \varepsilon \quad (1)$$

sendo ε o erro aleatório associado à aproximação e que afasta o ajustamento exato do modelo aos dados e $f(X_1, X_2, \dots, X_p)$ a função que descreve a relação entre Y e $X_1, X_2, \dots, X_p$.

2.2.1. Regressão Linear Simples

Uma relação entre duas variáveis pode assumir várias naturezas que podem ir de funções matemáticas simples a expressões de grande complexidade. A relação mais simples, a relação linear, pode ser representada por uma reta em que uma variação da variável X (independente) conduz a uma variação na variável Y (dependente). A Regressão Linear Simples pode ser descrita de acordo com o seguinte modelo linear:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2)$$

sendo β_0 e β_1 constantes, designados por coeficientes do modelo de regressão ou parâmetros, e ε o erro aleatório. Segundo este modelo, Y pode ser descrito através da aproximação de uma função linear tendo como ε a medida da discrepância nessa aproximação. O coeficiente β_1 , que representa o declive, pode ser interpretado como a variação em Y por variação de X , enquanto β_0 , frequentemente designado ordenada na origem, corresponde ao valor estimado de Y quando $X = 0$. Em certos contextos práticos esta interpretação pode não ser válida, mas em muitos outros casos pode ser relevante conhecer o valor de Y quando a variável X é nula (Chatterjee & Hadi, 2006).

Considerando uma amostra de tamanho n , cada observação $i = 1, 2, \dots, n$ pode ser escrita da seguinte forma:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

Onde y_i , x_i e representam, respetivamente, o valor estimado de Y e o valor da variável X da observação i , sendo ε_i o erro da aproximação de y_i .

A representação num diagrama de dispersão da variável X em função da variável independente pode ajudar a visualizar uma possível relação entre as duas variáveis. Se for uma aparente relação do tipo linear, então será possível estimar a função da reta que se ajusta melhor aos pontos existentes no diagrama. De forma a obter a função linear que melhor se ajusta aos pontos é necessário estimar os parâmetros ou coeficientes do modelo de regressão β_0 e β_1 (Chatterjee & Hadi, 2006).

O Método dos Mínimos Quadrados é o método mais popular para estimar os parâmetros e permite obter a linha que, tal como o nome indica, minimiza a soma dos quadrados das distâncias verticais entre a linha e cada um dos pontos, sendo essa distância o erro associado à variável de resposta. Os parâmetros $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ são os valores de β_0 e β_1 obtidos pelo método dos mínimos quadrados e, portanto, a equação linear pode ser definida como:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X \quad (4)$$

Até este ponto da análise, é apenas definido o pressuposto de que as variáveis Y e X se relacionam linearmente. De uma forma informal, a análise do diagrama de dispersão com a representação de Y em função de X pode ajudar a compreender se X é um bom estimador de Y (Berenson et al., 2003).

Uma forma mais formal de confirmar esta relação é através de um teste de hipóteses em relação ao parâmetro β_1 . Se o declive da reta, β_1 , for diferente de zero, então é possível confirmar a relação linear entre X e Y . Com o intuito de averiguar se β_1 toma um valor diferente de zero, é utilizado o teste t , tendo como hipóteses de teste:

$$H_0 : \beta_1 = 0;$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0;$$

A rejeição da hipótese nula, pela análise do valor- p em comparação com o nível de significância ($1 - \text{nível de confiança}$), permite concluir que existe evidência de que β_1 é significativamente diferente de zero, ou seja, existe uma relação linear entre as variáveis analisadas.

Outra forma de avaliar a significância estatística do declive da reta é através do teste de Fisher (teste F), que permite considerar diversas amostras independentes, sendo por isso utilizado em regressões lineares múltiplas. No caso de regressões lineares simples, as hipóteses de teste associadas ao teste F são iguais às do teste t, anteriormente descritas.

Contudo, estes métodos implicam que se verifiquem quatro pressupostos, nomeadamente, (1) linearidade da relação entre as variáveis, (2) independência dos resíduos, (3) normalidade da distribuição dos resíduos e (4) variância constante (BerenSON et al., 2003).

- (1) O pressuposto na normalidade estabelece a existência de uma relação de normalidade entre a variável independente e a variável dependente;
- (2) O pressuposto da independência dos erros requer que sejam independentes entre si. Este pressuposto assume maior importância quando os dados são recolhidos ao longo de uma série temporal. Nestas situações pode haver uma correlação entre os erros de um determinado período e outro anterior;
- (3) O terceiro pressuposto, normalidade dos erros, estabelece que para cada valor de X , os erros assumem uma distribuição normal. A regressão linear é uma técnica estatística relativamente robusta em relação à normalidade, pelo que se a distribuição dos erros não for extremamente diferente da normal, as inferências em relação a β_0 e β_1 não são severamente afetadas;
- (4) O quarto pressuposto, variância constante, também denominado por homocedasticidade, requer que a variância dos erros seja constante, ou seja, que a variabilidade de Y seja a mesma para todos os valores de X . Este é um pressuposto bastante importante nas inferências sobre β_0 e β_1 , sendo afetadas por situações de heterocedasticidade.

Com o objetivo de validar estes pressupostos e se o modelo é adequado aos dados, é necessário proceder à análise residual. A avaliação dos resíduos pode ser feita recorrendo essencialmente a análises visuais de determinados diagramas.

Linearidade

O pressuposto da linearidade pode ser avaliado através da representação dos resíduos da regressão no eixo vertical e os correspondentes valores de X_i da variável independente no eixo horizontal. Se o modelo é linear, então espera-se uma distribuição dos pontos sem qualquer padrão evidente.

Independência

A independência pode ser verificada através da análise da distribuição dos resíduos por ordem de recolha das variáveis independentes associadas. Se a condição de independência for violada, então é provável que se encontre algum tipo de padrão ao longo do tempo.

Normalidade

A normalidade da distribuição dos resíduos, independentemente do tamanho da amostra, pode ser avaliada através de diagrama de probabilidade normal, onde são representadas as frequências dos resíduos. A normalidade é evidenciada pela maior ou menor aproximação dos pontos à reta.

Homocedasticidade

O pressuposto da variância constante pode ser avaliado através da distribuição de pontos num diagrama dos resíduos e dos valores da variável independente. No caso de a variância ser constante, os pontos encontram-se aleatória e uniformemente distribuídos ao longo de todos os valores de X . Caso se verifique uma tendência crescente ou decrescente na dispersão dos pontos à medida que X aumenta, então há uma violação do pressuposto.

Medição da Qualidade do ajustamento

A utilização do Método dos Mínimos Quadrados para estimar os parâmetros da regressão implica o cálculo de três medidas de variação, nomeadamente, a Soma dos Quadrados dos Resíduos (SQRE), a Soma dos Quadrados devidos à Regressão (SQR) e a Soma dos Quadrados Total (SQT), correspondendo às seguintes expressões:

$$SQR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (5)$$

$$SQRE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (6)$$

$$SQT = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (7)$$

A Soma dos Quadrados Total corresponde à medida da variação entre os valores observados de Y_i e a sua média $\bar{Y}$ e pode ser dividida em dois tipos de variação: a variação explicada e não explicada. O primeiro tipo de variação, correspondente à Soma dos Quadrados Devidos à Regressão, representa a variação que é explicada pela relação entre X e Y . Já a variação não explicada, que corresponde à Soma dos Quadrados dos Resíduos, diz respeito à variação resultante de outros fatores que não a relação existente entre X e Y . Graficamente, a relação entre estas três medidas de variação pode ser explicada de acordo com a Figura 5.

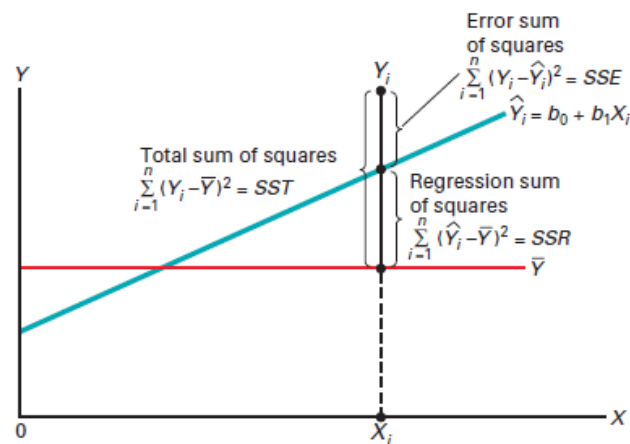


Figura 5- Medidas de Variação. [Fonte: (Berenson et al., 2003)]

Por si só, as Somas dos Quadrados contêm pouca informação, mas o quociente entre SQR e SQT, Equação 8, mede a proporção da variação em Y que é explicada pela variação da variável independente X no modelo de regressão linear (Berenson et al., 2003). Este quociente é denominado por Coeficiente de Determinação, (R^2), e é utilizado para medir a qualidade do ajustamento da regressão linear.

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} = 1 - \frac{SQRE}{SQT} \quad (8)$$

O Coeficiente de Determinação, toma valores entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo da unidade maior a proporção da variável Y que é explicada pela variável X , e mais forte é a relação linear entre a variável preditora e a variável de resposta. Desta forma, quando o modelo é ajustado aos dados, os valores estimados e os valores observados de Y vão estar próximos e, portanto, a SQT é pequena. Por outro lado, se não existe uma relação entre X e Y , o modelo não se ajusta aos pontos e, o melhor valor estimado para uma observação y_i seria a média da amostra, $\bar{y}$, pois é o valor que minimiza a soma dos quadrados dos desvios (Chatterjee & Hadi, 2006). Um valor elevado de R^2 não significa obrigatoriamente um bom ajustamento, pelo que outros pressupostos têm de ser verificados, nomeadamente, que o coeficiente da variável explicativa é diferente de zero.

Em conjunto com o R^2 , o Erro Padrão da Estimativa, s_{YX} , é frequentemente utilizado para medir a qualidade de um ajustamento. O Erro Padrão representa a medida de variação em torno da reta de regressão, ou seja, mede a variabilidade associada à utilização da reta de regressão como função de estimativa. Em termos práticos, ao estimar um valor de Y utilizando a reta obtida na regressão está-se a incorrer num erro igual ao Erro Padrão da Estimativa, sendo por isso interpretado segundo a unidade da variável independente.

2.2.2. Regressão Linear Múltipla

Em muitas situações, a consideração de apenas uma variável independente é suficiente, mas em certos casos pode ser relevante estudar o efeito de duas ou mais variáveis preditoras numa variável dependente. Quando se consideram duas ou mais variáveis independentes entra-se no domínio da regressão linear múltipla. Assim, numa amostra com n observações de uma variável independente Y e p variáveis explicativas, o modelo que descreve a relação entre Y e $X_1, X_2, \dots, X_p$ pode ser formulado da seguinte forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon \quad (9)$$

Sendo, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ os coeficientes da regressão e ε o erro aleatório associado. Também neste caso, espera-se que para um determinado conjunto de valores de $X_1, X_2, \dots, X_p$, a equação forneça uma aproximação da relação entre Y e os valores de X , onde o ε mede a discrepância da aproximação.

Considerando uma amostra de tamanho n , cada valor da variável Y pode ser descrito da seguinte forma:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

onde, para a observação i , y_i corresponde ao valor da variável de resposta, x_i representam os valores das variáveis explicativas e ε_i o erro associado à aproximação de y_i .

No geral, a regressão linear múltipla é uma generalização da regressão linear simples, uma vez que é possível obter a função mais simples considerando apenas uma variável preditora, ou seja, a diferença entre a equação (2) e (10) está apenas em considerar $p = 1$.

Assim, o Método dos Mínimos Quadrados é também utilizado para estimar os coeficientes da regressão tal como na regressão simples, tendo associados os mesmos testes estatísticos para os coeficientes da regressão, mas considerando diferentes hipóteses de teste.

Tal como referido anteriormente, o teste F, quando aplicado numa regressão linear múltipla, permite averiguar a existência de pelo menos uma variável independente capaz de influenciar a variável dependente. Neste sentido, as hipóteses de teste passam a incluir os coeficientes de todas as variáveis independentes:

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0;$$

$$H_1 : \text{Pelo menos um } \beta_j \neq 0, j = 1, 2, \dots, p;$$

Neste caso, a rejeição da hipótese nula significa que existe pelo menos um coeficiente diferente de zero e, portanto, pelo menos uma das variáveis independentes está linearmente relacionada com a variável dependente. Por sua vez, nas regressões lineares múltiplas, o teste t avalia cada um dos coeficientes das variáveis independentes, permitindo a analisar a contribuição de cada uma para a explicação do comportamento da variável Y . Assim, a título de exemplo, as hipóteses de teste para uma variável X_1 , considerando que se replicariam para as restantes variáveis independentes, são:

$$H_0 : \beta_1 = 0;$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0;$$

A rejeição da hipótese nula permite concluir que existe uma relação linear significativa entre a variável X_1 e a variável dependente, tendo em conta as restantes variáveis explicativas.

A qualidade do ajustamento obtido em regressões lineares múltiplas é também medida através do Coeficiente de Determinação, mas é frequente usar o Coeficiente de Determinação Ajustado, R_a^2 . Esta medida tem em consideração os graus de liberdade da SQR e da SQT e é usado para comparar diferentes modelos com números diferentes de variáveis preditoras. Ao realizar regressões lineares múltiplas, o Coeficiente de Determinação Ajustado permite comparar modelos diferentes e perceber quais as variáveis independentes que melhoram a explicação da variável dependente (Berenon et al., 2003).

3. CONTEXTUALIZAÇÃO

Neste capítulo é apresentado o Departamento de Desenvolvimento de Produto da IKEA Industry Portugal através de uma descrição das suas atividades e contributos para a organização. Além disso, é feito um enquadramento das atividades relacionadas com o custeio de produto e que foram o ponto de partida para este projeto.

3.1. Departamento de Desenvolvimento do Produto

O Departamento de Desenvolvimento do Produto ocupa-se, essencialmente, de atividades de desenvolvimento de novas soluções de produtos, novos materiais e fornecedores, industrialização de produtos desenvolvidos e gestão de projetos. As atividades desta equipa estruturam-se essencialmente em torno de três tipos de projeto, nomeadamente, o desenvolvimento e implementação de produtos novos do cliente, o desenvolvimento e implementação de produtos que já foram implementados noutras fábricas do grupo IKEA Industry e desenvolvimento e implementação de novas soluções de produtos ou materiais.

Enquanto empresa integrante do grupo IKEA Industry, a organização portuguesa não faz o *design* de novos produtos, uma vez que todos os artigos são desenhados e desenvolvidos pelo cliente, *IKEA of Sweden* (IOS). Assim, este departamento funciona principalmente em função das propostas de produtos feitas pela IOS, propostas estas que avalia em função dos interesses da fábrica, das capacidades produtivas existentes e das características do produto. Além disso, a equipa de Desenvolvimento portuguesa também coopera com o *Product Development Center* (PDC), centro de desenvolvimento do grupo IKEA, no desenvolvimento de produtos, contribuindo com a experiência de industrialização e produção em massa de mobiliário. Adicionalmente, o Departamento de Desenvolvimento do Produto trabalha por iniciativa própria através da criação e desenvolvimento de novas soluções ou melhorias para produtos já produzidos. Na Figura 6 encontram-se esquematizadas as atividades-chave do departamento apresentado.

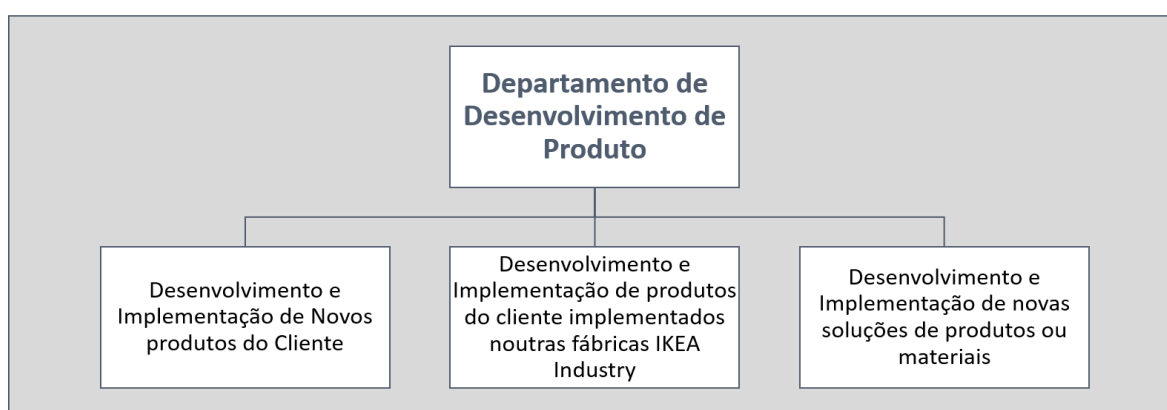


Figura 6- Atividades do departamento de Desenvolvimento do Produto. [Fonte: Elaboração própria]

O departamento em questão é responsável por conduzir a introdução de novos produtos na fábrica, desde a avaliação inicial do produto aos primeiros testes de produção e de tecnologias de fabrico e primeiros lotes de produção. Na Figura 7 são apresentadas as quatro fases de desenvolvimento de produto.

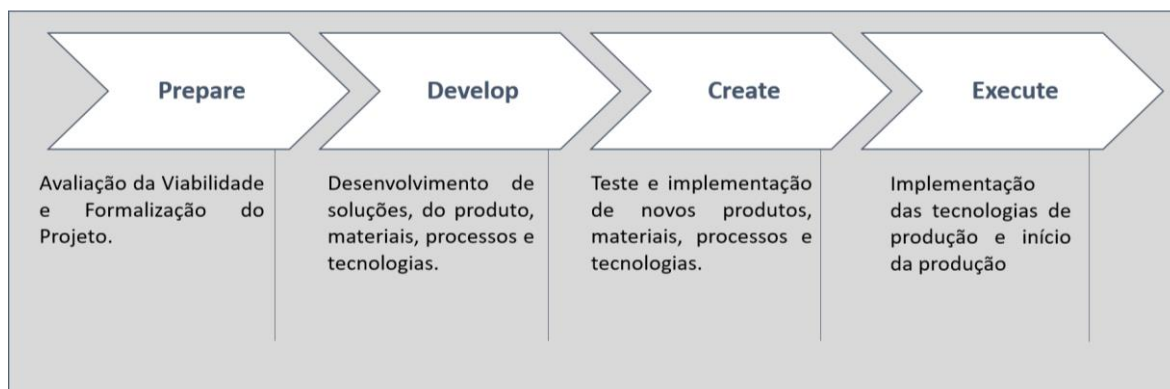


Figura 7- Fases do desenvolvimento do produto na IKEA Industry Portugal. [Fonte: Elaboração própria]

Na Fase *Prepare*, a equipa recebe a proposta por parte do cliente e faz uma avaliação da viabilidade de produção do artigo. Nesta fase são analisados os desenhos e requisitos técnicos e as características do produto, bem como os materiais, processo produtivo e respetivos custos e investimentos. O *output* desta fase é a decisão de avançar (ou não) para a futura produção do produto proposto.

Se na Fase de *Prepare* é decidido que o produto fará parte do catálogo de artigos produzidos pela empresa, então inicia-se a Fase *Develop*. Nesta segunda etapa é feito o planeamento das atividades necessárias à implementação de um novo artigo em produção, desde a definição de materiais e fluxos de produção, planeamento de testes internos e externos ao produto até ao planeamento de compras de equipamentos e alterações de *layout* das áreas produtivas.

A fase seguinte, *Create*, consiste na execução das atividades planeadas na fase de *Develop* e que culminam no fim da preparação de todos os meios e requisitos necessários para iniciar a produção do novo produto. Nesta fase os testes ao produto são feitos, os equipamentos instalados, os *layouts* são alterados, adquiridos os materiais e ferramentas, e finalizadas todas as formalidades contratuais entre a empresa e o cliente, dando-se início à produção de pequenos lotes do novo artigo. Por último, e após mais algumas validações e testes finais na fase *Create*, inicia-se a Fase *Execute* com o arranque da produção em massa do novo produto.

3.2. Custeio no Departamento de Desenvolvimento do Produto

Em atividades de desenvolvimento e inovação, além de procurar garantir qualidade e a satisfação das necessidades do cliente, é necessário ter em consideração que o preço do produto/serviço é um aspeto que pode ter uma grande relevância na decisão final de compra. O Departamento de Desenvolvimento de Produto desempenha algumas tarefas relacionadas com o custeio de produtos, uma vez que em qualquer projeto é necessário apurar os custos dos produtos ou das soluções desenvolvidas. Ao longo de um projeto, independentemente da sua origem, existem diferentes tarefas relacionadas com a apuração de custos que podem ser necessárias realizar.

Geralmente, na fase inicial de um projeto é feita uma estimativa de custos com o intuito de analisar a viabilidade económica do produto/solução em causa e decidir, muitas vezes ainda numa fase conceptual, se o produto/solução devem ser alvo de uma avaliação mais profunda e detalhada. No caso em que o cliente propõe e apresenta à empresa um produto novo, é pedida uma estimativa de custos (*Price Indication*) que pode servir para este analisar questões como limitações de industrialização, limitações nos materiais utilizados, custos de produção e investimentos. Com a informação de custos e uma primeira análise da equipa de desenvolvimento, o cliente pode concluir se necessita de fazer alterações no design para, por exemplo, criar uma solução mais barata e que se enquadre num intervalo de preços-alvo pré-estabelecido ou então para facilitar a sua industrialização e possibilitar a sua produção em massa. No caso em que se trata de um produto já implementado em outras fábricas, esta estimativa de custos pode servir como informação necessária à avaliação da competitividade entre fornecedores numa perspetiva estratégica dentro do grupo. As estimativas de custos são também necessárias quando surgem novos conceitos de produtos/soluções no seio do departamento de desenvolvimento de produto e constituem uma forma de análise e avaliação económica da solução em questão. A título de exemplo, a alteração de um componente num artigo para outro tipo de construção pode à primeira vista ter impactos positivos no consumo de materiais, mas a nível económico a substituição pode não ser interessante.

Após as fases iniciais de pré-estudo de desenvolvimento de um produto, e em caso de decisão de implementação, formaliza-se um projeto e é dado seguimento a todas as atividades associadas à introdução de um novo artigo em produção. Ao longo deste processo, as alterações feitas aos produtos e aos processos vão sendo realizadas e os detalhes do produto e de produção começam a ser afinados e definidos. Em fases mais avançadas e em que o produto está menos sujeito a alterações, começa a ser possível apurar os custos de forma mais analítica e rigorosa. Neste momento, e também para efeitos contratuais e estratégicos, o cliente faz um pedido de cotação para o artigo. O pedido de cotação (*Request for Quotation - RFQ*) consiste no processo apurar todos os custos do produto com o objetivo de dar ao cliente (IOS) um preço para um determinado artigo. Nesta análise detalhada são consideradas os custos de materiais, os custos de produção, os custos administrativos e ainda considerada uma margem de lucro sobre o custo total do artigo.

As estimativas de custo e os pedidos de cotação são atividades com um nível de detalhe diferente, mas cada uma necessária em momentos específicos do processo de desenvolvimento do produto. No que a tempo de realização destes documentos diz respeito, é de esperar que também ambas as atividades apresentem diferenças. Um *Price Indication (PI)*, realizado em fases mais prematuras, é baseado muitas vezes em pressupostos relativamente a preços de materiais ou de processo que acabam por conduzir a um menor rigor e detalhe nos valores. O objetivo é definir, com uma certa margem de erro, uma estimativa do custo do produto. Além do tempo normalmente dado pelo cliente ser menor, o tempo necessário para obter estas estimativas é também menor visto que são baseadas em pressupostos. Contrariamente, o detalhe exigido num RFQ requer que se passem os pressupostos a dados concretos e, por isso, é necessário mais tempo para clarificar e acertar determinados custos. Em certas situações é necessário obter um custo de uma matéria-prima de um fornecedor, o que pode demorar cerca de duas semanas. Caso se trate de um Pedido de Cotação é de esperar que se aguarde uma resposta do fornecedor para considerar o valor mais rigoroso, mas se se tratar de uma estimativa apenas então poderá ser considerada o custo de alguma matéria-prima semelhante outrora usada noutros produtos. Embora não exista um tempo definido como aquele que é necessário para obter um RFQ, diferentes produtos podem levar tempos

diferentes a abordar, podendo chegar às 4 semanas de construção e validação de um pedido de cotação. Em certas situações, em função da complexidade dos produtos, estas atividades de custeio podem prolongar-se, uma vez que muita informação necessária não está imediatamente acessível e pode depender de outros departamentos da organização.

Além das atividades de custeio de novos produtos/soluções, o Departamento de Desenvolvimento de Produto também pode ter de fazer atualizações de cotações de produtos que já são produzidos cujo custo já foi aprovado anteriormente. Em fases de negociação e reavaliação de preços com o cliente pode ser necessário atualizar os custos dos produtos de forma a contemplar alterações que possam ter contribuído para uma alteração significativa do custo de um artigo. Por vezes, esta reavaliação é feita para produtos que não são produzidos na fábrica e que já foram cotados em períodos anteriores.

Ambas as atividades são suportadas por ficheiros Excel, quer na sua entrega final quer ao longo da sua realização. As pessoas responsáveis pela elaboração destes documentos têm uma grande experiência profissional na organização e um profundo conhecimento dos produtos, dos materiais e dos processos. No entanto, por estarem num departamento que não está diretamente ligado à produção, precisam muitas vezes de informações e dados dos departamentos responsáveis pelos processos, pelos materiais e pelos equipamentos e infraestruturas, uma vez que a realidade fabril vai sofrendo alterações que não são do conhecimento dos departamentos técnicos. Por este motivo, a elaboração destes documentos está fortemente dependente da interação e da comunicação com outros departamentos e que é suportada essencialmente por folhas de cálculo e documentação técnica relativa ao produto, caso exista, e por reuniões ou algumas interações informais entre os elementos das diferentes equipas. Adicionalmente, alguns dados a considerar no custeio encontram-se nos sistemas de gestão de informação da empresa, como por exemplo os preços de matérias-primas e as estruturas de produtos.

Tal como apresentado anteriormente, uma parte das atividades do Departamento de Desenvolvimento são de custeio de produtos e novas soluções, uma vez que o apuramento de custos em diferentes fases do processo de desenvolvimento e/ou implementação de um produto é extremamente importante para avaliar a viabilidade económica de um artigo. Além disso, é com base nas primeiras análises de custos e possíveis preços a praticar ao cliente que a organização pode definir a sua estratégia, o que evidencia a importância e relevância das tarefas de custeio e orçamento por parte deste departamento.

3.3. Caracterização da Situação Atual

Tal como descrito nas secções anteriores, o Departamento de Desenvolvimento de Produto desempenha tarefas no âmbito do custeio de produtos e/ou novas soluções. Conforme a fase do processo de desenvolvimento, pode ser necessário elaborar uma estimativa de custos (*Price Indication*) ou um apuramento detalhado e analítico dos custos de um produto para fornecer ao cliente o preço de um artigo (*Request for Quotation*). Atualmente, estas atividades são realizadas por pessoas com um grande conhecimento técnico dos produtos e processos da empresa, mas ainda assim é necessária a intervenção e o contributo de outros departamentos no processo. Informações relativas a detalhes de produção, capacidades de linhas, limitações de processo, necessidade de investimentos ou detalhes financeiros estão na posse dos departamentos especializados nessas questões, nomeadamente, Departamento de Processos, Departamento de

Investimentos e Departamento Financeiro. Por este motivo, o responsável por custear um certo produto pode, eventualmente, ficar dependente da contribuição destes departamentos cujas atividades principais podem impedir o dispêndio de alguma atenção para o processo de custeio de produtos. Esta dependência pode levar a atrasos significativos na elaboração de custeios, pois quando recebida a informação esta tem de ser analisada e tratada de forma a ficar adequada aos formatos dos documentos. O tratamento tardio da informação pode conduzir à ocorrência de erros que podem ter um grande impacto nos valores apurados.

A organização possui um conjunto de bases de dados e sistemas de informação nos quais estão armazenados dados de várias naturezas e que podem ser consultados por vários departamentos. Através destes sistemas é possível consultar toda a informação em relação a um determinado produto, como por exemplo os desenhos técnicos e a sua estrutura (*Bill of Materials*), os requisitos e documentação do produto, os custos do produto, as previsões de venda e o preço ser praticado de cada artigo. Além disso, toda a informação em relação ao processo de fabrico de cada artigo (*Bill Of Operations*) é igualmente acessível, bem como dados relativos aos centros de trabalho e à sua ocupação. No âmbito das atividades de custeio, é de salientar que nestes sistemas existem também dados relativos aos custos de produtos, aos custos de matérias-primas e materiais e aos custos dos centros de trabalho e das operações. Durante o processo de custeio, quer seja de novos produtos ou de artigos já produzidos, é necessário aceder aos SI para consultar, por exemplo, os custos das matérias-primas ou os custos dos centros de trabalho, as estruturas ou outros tipos de documentação.

Em certa parte, a performance do Departamento de Desenvolvimento do Produto é avaliada pelo valor que introduz na empresa, ou seja, pelos produtos que efetivamente consegue fazer com que passem a ser produzidos na organização. Isto implica que este departamento avalie vários produtos por forma a identificar os que deverão ser potenciais apostas. Assim, a eficiência na avaliação de artigos é algo que se pretende melhorar de forma a conseguir analisar mais produtos ou soluções. Esta avaliação inclui atividades de custeio que consomem bastante tempo e, muitas vezes, em produtos que acabam por não ser produzidos.

Neste sentido, a utilização da informação relativa aos custos em materiais e operações de todos os produtos existente nos SI da empresa pode contribuir para a melhoria do processo de custeio e de obtenção de estimativas de custos. Uma ferramenta que permita estimar, com base nos custos atuais de materiais e processos dos produtos existentes, o custo de um novo produto, pode trazer uma melhoria significativa no tempo e recursos investidos na obtenção de pedidos de cotação. Se o departamento de desenvolvimento do produto for mais eficiente a calcular e analisar estimativas, poderá avaliar mais artigos e, dessa forma, trazer mais valor para a organização. Adicionalmente, a criação de ferramentas informáticas que auxiliem o trabalho das pessoas responsáveis pela avaliação de produtos, permite a libertação das mesmas de atividades morosas e de pouco valor acrescentado para atividades onde a sua experiência e criatividade têm maior impacto.

Assim, neste projeto de investigação procurou-se desenvolver um modelo de estimativas de custo adequado ao contexto da organização e que possa, futuramente, ser integrado numa ferramenta de estimativas de custos de novos produtos com base nos dados históricos dos artigos já produzidos na organização.

4. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são descritas a metodologia seguida e a solução desenvolvida no ano âmbito da melhoria do processo de custeio resultantes da análise da situação atual feita no Capítulo 3. A solução aqui descrita é uma proposta de um modelo paramétrico de estimativa de custos, cujo objetivo é incorporar numa futura ferramenta como o mesmo propósito.

4.1. Metodologia

Uma vez percebida a necessidade de uma ferramenta de estimativa de custos, foi feito um mapeamento dos dados e respetivos sistemas de informação que poderiam ser utilizados como base para a construção do modelo de estimativa de custos. Através de alguma análise dos sistemas de informação da organização, notou-se a existência de um conjunto de relatórios em formato de tabelas que consistem numa descrição de todos os custos imputados a um produto. Para cada referência de produto, existem dois relatórios onde todos os custos são detalhados: um relatório reflete os custos em materiais e outro os custos das operações.

Nos sistemas da organização, os custos estão categorizados e refletidos nas estruturas de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1- Classificação dos Custos nos SI da organização

Custos de Materiais <i>(Direct Materials Cost)</i>	Materiais Processados <i>(Processed Materials)</i>	Custos associados a todos materiais e matérias-primas consumidos na produção do produto (Ex: Placas de madeira)
	Materiais Fornecidos <i>(Traded Materials)</i>	Custos associados a todos os materiais/componentes incorporado no produto final (Ex: Caixas de cartão para embalagem)
Custos de Operações <i>(Operations Cost)</i>	Custo de Mão-de-Obra <i>(Direct Labour Cost - DLC)</i>	Custos de Mão-de-Obra Direta utilizada na produção de um produto.
	Outros Custos Diretos de Produção <i>(Other Direct Costs - ODC)</i>	Custos Diretos de Produção que não são Mão-de-Obra e que podem ser imputados individualmente a um produto (Ex: Ferramentas)
	Custos Indiretos de Produção <i>(Indirect Costs - IC)</i>	Custos Indiretos à Produção que não podem ser imputados individualmente a um produto (Ex: Eletricidade)
	Depreciações <i>(Depreciations - DEP)</i>	Custo de desgaste dos ativos da organização.

Além da discriminação de todos os custos de materiais e de operações, são também descritos os custos de *Outsourcing* de cada artigo, ou seja, os custos de retrabalho e de sucata associados a um determinado produto. O custo de *Outsourcing* surge como sendo uma percentagem do custo de matéria-prima, mão-de-obra e outros custos diretos e que é considerado no custeio de qualquer

produto. A percentagem de *Outsourcing* é atribuída a cada artigo em função da família de produto a que pertence, sendo por isso um valor tabelado para cada tipo de produto.

O facto de este tipo de dados estar disponível nos sistemas de gestão de informação e para todas as referências produzidas na empresa, constitui um importante elemento no desenvolvimento de uma ferramenta de estimativa de custos, uma vez que representam um extenso histórico de todos os custos de todos os produtos que foram sendo produzidos na organização. De acordo com a literatura, certas metodologias de estimativas de custos requerem a análise de vastos conjuntos de dados de forma a encontrar relações entre variáveis e custos e, assim criar, modelos que permitem estimar custos com base em produtos já produzidos.

Uma forma de obter os custos de um produto é através da utilização dos dados relativos a outros já produzidos e dos quais existe um conhecimento rigoroso dos custos associados. Trata-se de uma técnica paramétrica de estimativa de custos que se baseia na obtenção de custos por meio de aplicação de expressões matemáticas, estatísticas e histórico de dados. Este tipo de estimativa pressupõe a existência de grandes quantidades de dados que possam ser explorados de forma a encontrar, em função de uma certa variável (comprimento, largura, área, volume, peso, perímetro, etc), o custo estimado de um certo componente/produto. Ao representar um custo em função de uma destas variáveis, pode-se avaliar a relação existente entre o custo e a variável e, posteriormente, usar essa relação para prever o custo para um determinado valor que a variável possa tomar.

Com o intuito de avaliar a possibilidade de criar um modelo paramétrico de estimativa de custos por meio de análises de regressão, começou-se por fazer uma análise de possíveis produtos a considerar. Tal como descrito na Secção 1.4, a IKEA Industry Portugal é composta por duas fábricas (PFF e BoF) cujos produtos produzidos apresentam formas de construção diferentes e, consequentemente, níveis de complexidade distintos. Os artigos produzidos na PFF são essencialmente frentes de cozinha (menos complexos) enquanto os artigos da BoF são estantes, secretárias, cómodas e armários (mais complexos). Dada a diferença significativa de complexidade, decidiu-se direccionar a análise dos custos dos artigos apenas da PFF. Adicionalmente, foi necessário seleccionar quais as famílias de artigos que seriam alvo desta análise, dado que existem cerca de 700 referências na PFF e o tempo disponível não permitiria analisar todos os artigos.

Assim, foram escolhidas duas famílias de produtos, “Produtos A” e “Produtos B”, que, por um lado, juntas representam cerca de 51% da produção da fábrica de frentes de cozinha e, por outro lado, são famílias compostas por vários produtos representativos da variedade existente no portefólio. A análise de ambas as famílias pressupõe a observação de portas de cozinha, gavetas, painéis e vitrines, num total de 382 referências.

Na Tabela 2 e na Tabela 3 é feito um resumo de cada uma das famílias de produtos referidas anteriormente.

Tabela 2- Resumo dos artigos da família “Produtos A”

	Portas	Frentes de Gaveta	Painéis
White 2,5	39	24	-
Light Grey	17	9	6
TOTAL	56	33	6

A família “Produtos A” é constituída por diferentes tipos de artigos, nomeadamente, portas, frentes de gaveta, painéis e frentes para eletrodomésticos, sendo que este último tipo de produto não foi considerado neste estudo. Estes artigos são pintados em duas cores (*White 2,5* e *Light Grey*), sendo que os painéis só existem numa delas.

Tabela 3- Resumo dos artigos da família “Produtos B”

	Portas	Frentes de Gaveta	Painéis	Vitrines
White 5	38	24	-	26
Grey 28	38	24	14	26
Dark Green	38	24	14	21
TOTAL	114	72	28	73

A família “Produtos B” é composta pelo mesmo tipo de artigos da família “Produtos A”, adicionando ainda as vitrines. Os artigos “Produtos B” existem em três cores (*White 5*, *Grey 28* e *Dark Green*), à exceção dos painéis que não são fabricados com a cor *White 5*.

Tal como descrito anteriormente, os custos totais associados a um produto podem ser divididos em três categorias principais: Custos em Materiais, os Custos em Operações e o *Outsourcing*. Neste sentido, e na perspetiva de estimar um custo total de um produto, decidiu-se que o *Outsourcing* seria abordado como é atualmente, ou seja, atribuída uma percentagem em função da família de produto. Os restantes dois tipos de custos seriam estudados em separado, uma vez que são de natureza diferente e, por isso, os *cost drivers* explicativos dos custos em materiais poderiam ser também distintos dos associados aos custos em operações.

Para ambas as famílias de produtos consideradas, começou-se por analisar os custos em materiais e só depois os custos de operações. Posto isto, neste capítulo é apresentada toda a análise feita aos custos de materiais e custos de operações com o objetivo de encontrar relações entre parâmetros do produto e os custos, de forma a possibilitar a estimativa de custos para novos produtos. Em ambos os tipos de custo analisados, materiais e operações, seguiram-se um conjunto de passos semelhante desde o tratamento de dados até à análise de resultados, sendo o tratamento e preparação dos dados um ponto essencial neste tipo de estudo.

Assim, de seguida é descrito o trabalho realizado no âmbito do tratamento de dados, tanto para a análise de custos em materiais como de operações.

Tratamento e preparação dos dados

Neste trabalho, o tratamento de dados foi desenvolvido com recurso ao Excel por ser, por um lado, uma ferramenta cujas capacidades são adequadas ao volume de dados a tratar e, por outro lado, por ser o *software* já utilizado para a extração de dados dos sistemas de informação da organização. Complementarmente, a análise estatística foi suportada pelo software IBM SPSS 25, um dos *softwares* mais usados no contexto de análise de dados e estudos estatísticos.

Tal como referido, existe nos sistemas de gestão de informação da empresa um conjunto de dados que foram utilizados para as análises realizadas. Os dados, relativos a materiais e a operações, representam uma discriminação de todos os custos dessas duas categorias associados a todos os artigos e, por isso, a sua utilização começou com uma fase de obtenção e tratamento. Os relatórios a partir dos quais são retirados os dados possuem vários campos que não são relevantes, bem como um nível de detalhe que no estudo desenvolvido não seria necessário. Além disso, estes relatórios

são geralmente consultados nas bases de dados do sistema, pelo que a sua utilização começa com a transferência para um formato passível de ser editado, neste caso ficheiros Excel.

Desta forma, o primeiro passo foi transferir os ficheiros Excel com os custos de materiais e operações para cada família de produtos analisada. Cada um dos relatórios contempla todos os artigos pertencentes a uma mesma família de produtos, sendo cada artigo identificado por um código único e pelo respetivo nome.

Os relatórios com os dados relativos aos custos em materiais, além do código e nome do artigo, possuem campos relativos aos diferentes níveis da estrutura do produto e aos materiais utilizados em cada elemento, assim como a sua classificação e o respetivo custo desse consumo. Para a análise realizada neste projeto, foi necessário fazer uma seleção e agregação dos dados adequados ao estudo. Desta forma, e com o intuito de associar certos parâmetros ao custo em materiais de um certo artigo, foi necessário obter tanto os parâmetros como os custos totais em materiais para cada referência. Em relação aos parâmetros (possíveis *cost drivers*) baseados sobretudo nas dimensões de um artigo, cada um foi definido para cada artigo individualmente, uma vez que não surgem nos relatórios de forma explícita e na forma adequada a serem utilizados. Mais concretamente, para cada artigo foram definidos a largura, comprimento, espessura e, através dessas medidas, calculados a área lateral, área superficial, área total, o perímetro e o volume. Já os custos totais em materiais de cada artigo foram calculados através da soma dos custos de cada material gasto no produto. Neste processo, recorreu-se essencialmente à definição de formas de cálculo mais eficientes com recurso ao Excel, uma vez que a quantidade de artigos caracterizados era considerável.

Por sua vez, os relatórios com os dados relacionados com as operações também foram alvo de tratamento e preparação de dados semelhante ao descrito anteriormente para os materiais. O custo total de operação em cada centro de trabalho foi resultado da soma do Custo em Mão de Obra Direta, Custos Indiretos de Produção, Depreciações e Outros Custos Diretos de Produção. Desta forma, para cada artigo houve a necessidade de obter estes valores dos diferentes custos, para calcular o custo total de uma operação para cada produto.

Identificação dos *Cost Drivers*

No âmbito da fase de tratamento dos dados foram sendo definidos vários *cost drivers* que pudessem representar o comportamento do custo. Os *cost drivers* são variáveis independentes numa função de custo e que poderão ser usadas para explicar a variação de um determinado custo. Neste contexto de custeio pretende-se obter uma estimativa dos custos em materiais e em operações, o que implica que sejam estudados diferentes tipos de *cost drivers*. Desta forma, os *cost drivers* definidos foram os seguintes:

- Comprimento (*mm*);
- Largura (*mm*);
- Espessura (*mm*);
- Cor;
- Perímetro (*m*);
- Área Superficial (*m*²);
- Área Total lateral (*m*²);
- Área Total (*m*²);

- Volume (m³);
- Run Time (min/peça)

O conjunto de *cost drivers* definido é constituído essencialmente por características dimensionais que caracterizam cada artigo. No âmbito do custo em materiais foram selecionados estes parâmetros por estarem sempre associados a qualquer artigo a partir do momento em que este é analisado. Além disso, o comportamento dos custos dos processos produtivos pode estar relacionado com as dimensões do produto. A variedade de dimensões e as limitações do processo podem, à partida, ter uma influência no custo de cada peça num determinado centro de trabalho. É esperado que este estudo permita também identificar as variáveis que explicam o comportamento dos custos e, dessa forma, confirmar os pressupostos acima definidos.

Numa perspetiva estatística, os *cost drivers* definidos podem ser classificados de forma diferentes relativamente ao tipo de variável que representam. O conjunto de *cost drivers* é essencialmente definido por variáveis expressas numa unidade dimensional de comprimento ou tempo, ou seja, são variáveis quantitativas contínuas, mas a “Cor” é uma variável qualitativa nominal. Uma vez que foram consideradas várias cores em cada família de produtos, foi necessário tratar esta variável através da criação de *dummy variables*, ou seja, atribuir uma codificação binária às diferentes categorias.

De uma forma geral, o tratamento dos dados, a identificação e cálculo dos *cost drivers*, e o cálculo dos custos em materiais e operações são tarefas de grande relevância para a análise desenvolvida, mas que implicam um grande dispêndio de tempo na sua realização.

4.2. Análise de Custos de Materiais

O custo em Materiais é um dos dois principais componentes do custo de um produto, uma vez que representa o custos das matérias-primas e materiais gastos no fabrico de um artigo. A análise feita dividiu-se em duas fases distintas: a análise dos artigos “Produtos A”, seguida da análise dos artigos “Produtos B”

Nos sistemas de informação da organização, as estruturas dos produtos contemplam todos os materiais e matérias-primas utilizados em cada artigo. Os *Direct Materials* podem ser divididos em *Processed Materials* e *Traded Materials*. Os *Processed Materials* podem ser divididos em diversas categorias consoante os tipos de materiais utilizados, bem como os *Traded Materials*. As referências consideradas são artigos de mobiliário simples cujos principais elementos são placas de madeira e um conjunto de materiais aplicados na pintura denominados *Phantoms*. A análise feita contempla os *Direct Materials* por inteiro, ou seja, incluindo todas as subcategorias referidas e foi estruturada segundo os seguintes passos:

- 1) Tratamento dos dados;
- 2) Identificação dos *cost drivers* de cada artigo;
- 3) Cálculo dos custos em *Direct Materials* (sem *outsourcing*);
- 4) Representação do custo em função de *cost drivers*;
- 5) Aplicação de análises de regressão simples e/ou múltiplas;
- 6) Análise dos resultados.

4.2.1. Análise da família de Produtos “Produtos A”

Após o tratamento de dados e preparação dos custos e *cost drivers*, foram feitos vários diagramas de dispersão com o intuito de, numa primeira análise, avaliar o tipo de relação entre a variável independente e o custo em materiais. A título de exemplo, na Figura 8 encontra-se um diagrama de dispersão que toma como variável independente o Volume (m³) das portas e das gavetas “Produtos A” e como variável dependente o Custo em Materiais (€).

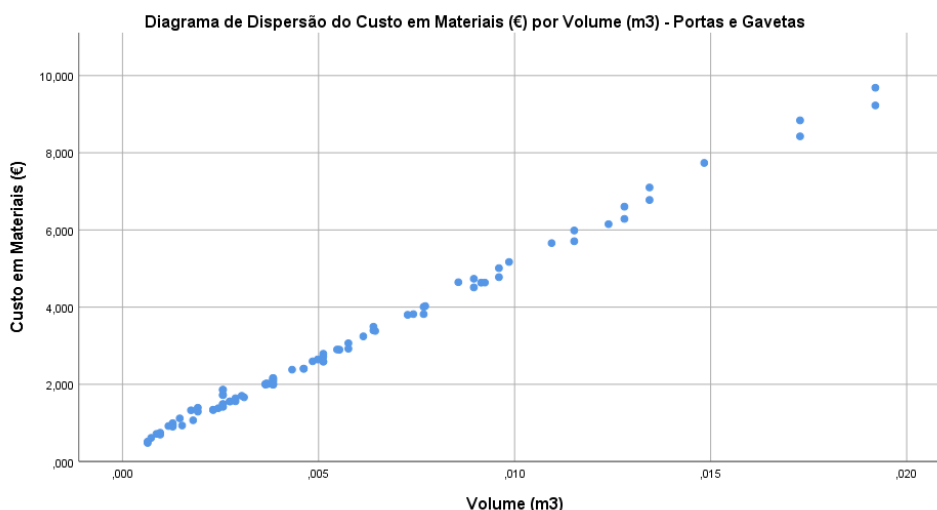


Figura 8- Diagrama de Dispersão do Custo em Materiais em função do Volume

O diagrama de dispersão da Figura 8 mostra uma aparente relação linear entre o volume de um produto e o custo em materiais à qual foi dada atenção através da aplicação de análises de regressão. A representação deste tipo de diagramas foi feita para os diferentes tipos de produto analisados da família “Produtos A”(portas e gavetas) e para as restantes amostras consideradas. Estes diagramas evidenciaram igualmente uma aparente relação linear entre o Volume e o Custo em Materiais, podendo ser consultados no Apêndice A.

Tal como referido na secção 4.1 deste relatório, foi utilizado o IBM *SPSS Statistics* 25 para a realização das análises de regressão e respetiva validação estatística. Com o intuito de comprovar a existência de uma relação linear entre o Volume (m³) e o Custo em Materiais (€), foi feita uma regressão linear cujos resultados podem ser consultados nas Tabelas 4 a 6. Para a análise conduzida foi considerado um nível de confiança de 95% com um nível de significância, de 5% ($\alpha = 0.05$).

Tabela 4- Estatísticas da regressão linear

Resumo do modelo ^b				
Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,998 ^a	,997	,997	,127552

a. Preditores: (Constante), Volume (m³)

b. Variável Dependente: Custo em Materiais (€)

Na Tabela 5, encontram-se os resultados obtidos no teste de Análise de Variância (ANOVA) associado à regressão linear feita, que possui as seguintes hipóteses de teste:

$H_0 = 0$ Volume não explica o Custo em Materiais

$H_1 = 0$ Volume explica o Custo em Materiais

Tabela 5- Teste ANOVA da regressão linear

ANOVA ^a						
Modelo		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
1	Regressão	408,697	1	408,697	25120,319	,000 ^b
	Resíduo	1,415	87	,016		
	Total	410,113	88			

a. Variável Dependente: Custo em Materiais (€)

b. Preditores: (Constante), Volume (m³)

Tendo em conta que o *p-value* obtido (Sig.) é inferior ao nível de significância considerado ($\alpha = 0.05$), há evidência para rejeitar a hipótese nula (H_0) e, desta forma, concluir que o Volume (m³) tem influência no Custo em Materiais (€).

Na Tabela 6, são apresentados coeficientes da regressão que reforçam a relação de linearidade enunciada anteriormente. Neste caso, as hipóteses de teste têm como alvo os coeficientes da variável independente (Volume), sendo formuladas da seguinte forma:

H_0 : O coeficiente da variável independente Volume é igual a 0;

H_1 : O coeficiente da variável independente Volume é diferente de 0;

Tabela 6- Coeficientes da regressão linear

Coeficientes ^a					
Modelo		Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	Sig.
		B	Erro	Beta	
1	(Constante)	,273	,022		,000
	Volume (m ³)	483,838	3,053	,998	,000

a. Variável Dependente: Custo em Materiais (€)

Também neste caso, considerando que o *p-value* obtido é menor do que o nível de significância definido, existe evidência para rejeitar hipótese nula (H_0) e, portanto, que o coeficiente associado à variável Volume (m³) é diferente de zero, ou seja, reforça a linearidade da relação Volume(m³) – Custo em Materiais (€).

Em certas regressões, quando necessário confirmar a qualidade do ajustamento, procede-se à análise de resíduos, procurando a validação dos seus pressupostos, nomeadamente, que sejam normalmente distribuídos, independentemente aleatórios e de variância constante (Chatterjee & Hadi, 2006).

Na Tabela 7 é apresentado um resumo dos resultados das regressões realizadas para as restantes amostras consideradas em relação aos artigos “Produtos A” com o intuito de avaliar a relação entre

variáveis independentes e o Custo em Materiais. No total, foram criadas 12 amostras que incluem: portas, gavetas e, conjuntamente, portas e gavetas, e respectivas cores.

Tabela 7- Resumo dos resultados das regressões lineares dos artigos “Produtos A”

Tipo de Produto	Cor	Variável Independente	Variável Dependente	Tamanho Amostra (n)	Coefficiente de Determinação (R^2)	R^2 ajustado	Erro Padrão
Portas	White 2,5	Volume	Custo DM	39	0.997	0.996-	0.1202
Portas	Light Grey	Volume	Custo DM	17	0.998	0.998	0.1059
Portas	Ambas	Volume	Custo DM	56	0.996	0.996	0.1358
Portas	Ambas	Volume; Cor	Custo DM	56	0.997	0.997	0.1196
Gavetas	White 2,5	Volume	Custo DM	24	0.980	0.979-	0.0925
Gavetas	Light Grey	Volume	Custo DM	9	0.967	0.962	0.1395
Gavetas	Ambas	Volume	Custo DM	33	0.972	0.972	0.1100
Gavetas	Ambas	Volume; Cor	Custo DM	33	0.973	0.971	0.1113
Portas + Gavetas	White 2,5	Volume	Custo DM	63	0.997	0.997	0.1108
Portas + Gavetas	Light Grey	Volume	Custo DM	26	0.998	0.998	0.1141
Portas + Gavetas	Ambas	Volume	Custo DM	89	0.997	0.997	0.1276
Portas + Gavetas	Ambas	Volume; Cor	Custo DM	89	0.997	0.997	0.1152

Como expectável, o Volume de uma peça é uma variável explicativa para o Custo em Materiais e os dados da Tabela 7 confirmam esta relação.

Relativamente às portas, em todas as amostras foram obtidos coeficientes de determinação e erros padrão que refletem um bom ajustamento da reta de regressão aos dados. Ainda assim, uma vez que o tamanho da amostra constituída por produtos com a cor *Light Grey* não era considerável, analisaram-se as duas cores em simultâneo passando a amostra a ter 56 elementos. Para esta amostra, e porque existem duas cores consideradas, fizeram-se duas análises alterando as variáveis independentes, tendo sido feita uma regressão linear múltipla com as variáveis independentes Cor e Volume (m^3). A consideração de mais do que uma variável independente conduziu a uma melhoria do erro padrão da estimativa de cerca de 11.9%.

Para as gavetas foi feita uma análise muito semelhante à anteriormente descrita para as portas, tendo sido dada maior relevância à análise dos artigos das duas cores em simultâneo de forma a constituir uma amostra com um n superior a 30. Contrariamente ao verificado nas portas, a consideração da Cor e Volume (m^3) como variáveis independentes, não conduz a uma melhoria do ajustamento, tendo o coeficiente de determinação e o erro padrão associado piorado. O tamanho da amostra bem como a tecnologia de pintura utilizada podem ser duas possíveis causas para a variável Cor não ser explicativa do Custo em Materiais. As diferentes gavetas podem ter fluxos produtivos distintos e condicionados pelas dimensões das peças, levando a que a tecnologia de aplicação da tinta seja também ela distinta. Esta diferença no processo reflete-se diretamente no tipo de tinta aplicada, o que pode trazer para a amostra uma variação do custo que não é explicada simplesmente pela Cor.

Com o objetivo de trazer maior robustez às funções que podem ser obtidas através das regressões, foi construída uma amostra que inclui as portas e as gavetas o que concretiza um n igual a 89. Os resultados foram bastante positivos, tendo sido obtido um coeficiente de determinação ajustado de 0.9971 e um erro padrão igual a 0.1152. Perante estes resultados é possível concluir que cerca de 99% da variação de Custo em Materiais é explicada pela variação do volume e da cor das peças, podendo uma futura estimativa ter associado um erro aproximado de mais ou menos 0.11 euros, o que em relação ao custo médio de todos os artigos considerados (3.00 euros) é cerca de 3.6%.

À semelhança do exemplo relativo à amostra constituída por portas e gavetas na integra apresentado, as restantes amostras foram analisadas com o mesmo método de análise, desde a representação de um diagrama de pontos até à análise de resíduos, cujos resultados se encontram no Apêndice A.

4.2.2. Análise da família de Produtos “Produtos B”

A análise dos artigos da família “Produtos B” foi desenvolvida de forma semelhante à da família “Produtos A”, tendo sido consideradas 19 amostras referentes aos diferentes tipos de artigo nas cores existentes. Tal como no exemplo apresentado na secção 4.2.1., foi também feita uma análise que contemplou todos os passos desde a representação do diagrama de pontos até à análise de resíduos para cada uma das amostras presentes no Apêndice B. Na Tabela 8, é apresentado um resumo dos resultados obtidos para cada uma das regressões realizadas.

Tabela 8- Resumo dos resultados das regressões lineares dos artigos “Produtos A”

Tipo de Produto	Cor	Variável Independente	Variável Dependente	Tamanho Amostra (n)	Coefficiente de Determinação (R^2)	R ajustado	Standard Error
Portas	Grey	Volume	Custo DM	38	0.996	0.996	0.1876
Portas	White 5	Volume	Custo DM	38	0.996	0.996	0.1804
Portas	Green	Volume	Custo DM	38	0.995	0.995	0.2245
Portas	3 cores	Volume	Custo DM	114	0.982	0.982	0.3976
Portas	3 cores	Volume; Cor	Custo DM	114	0.9918	0.9916	0.2706
Gavetas	Grey	Volume	Custo DM	24	0.992	0.992	0.0838
Gavetas	White 5	Volume	Custo DM	24	0.986	0.985	0.1058
Gavetas	Green	Volume	Custo DM	24	0.995	0.9945	0.0779
Gavetas	3 cores	Volume	Custo DM	72	0.982	0.981	0.1293
Gavetas	3 cores	Volume; Cor	Custo DM	72	0.983	0.982	0.1265
Paineis	Grey	Volume	Custo DM	14	0.989	0.988	0.3818
Paineis	Green	Volume	Custo DM	14	0.989	0.988	0.3853
Paineis	2 cores	Volume	Custo DM	28	0.989	0.989	0.3718
Paineis	2 cores	Volume; Cor	Custo DM	28	0.989	0.988	0.3775
Vitrines	Grey	Volume	Custo DM	26	0.997	0.997	0.1058
Vitrines	White 5	Volume	Custo DM	26	0.998	0.998	0.0962
Vitrines	Green	Volume	Custo DM	21	0.992	0.992	0.1794
Vitrines	3 cores	Volume	Custo DM	73	0.990	0.990	0.1933
Vitrines	3 cores	Volume; Cor	Custo DM	73	0.995	0.995	0.1364

No que às portas diz respeito, os coeficientes de determinação refletem um bom ajustamento da regressão aos dados com um erro padrão substancial, mas ainda assim suportável no contexto em questão. Na amostra em que foram consideradas as portas de todas as cores, foi feita uma regressão linear múltipla com o Volume (m^3) e a Cor como variáveis independentes, tendo-se verificado uma melhoria tanto no coeficiente de determinação como no erro padrão da estimativa.

Em relação às gavetas, os resultados obtidos são também satisfatórios, mas refletindo uma melhoria menos significativa quando a variável Cor é, em conjunto com o Volume (m^3), considerada uma variável preditora do Custo em Materiais.

Os painéis são o tipo de artigo em que os resultados obtidos são menos satisfatórios, podendo ser explicado pelo reduzido número de elementos das amostras. Contrariamente aos casos anteriores, a inclusão da variável Cor como independente não conduz a uma melhoria do ajustamento e, por isso, o Volume (m^3) poderá ser utilizado unicamente para explicar a variação do custo em Materiais.

Por fim, as vitrines são também um exemplo de que a utilização do Volume (m^3) e da Cor como variáveis independentes conduz a uma melhoria do ajustamento quando comparado com o Volume (m^3) isoladamente. Neste caso, a variação do volume e cor de uma peça explicam cerca de 99.5% da variação do Custo em Materiais com um erro padrão associado de 0.1364€, constituindo uma melhoria de cerca de 29% no erro padrão da estimativa, quando comparado com o Volume de forma isolada.

De uma forma geral, e na ótica da estimativa dos custos em materiais, é possível concluir que o Volume é um parâmetro do produto que pode ser usado como variável preditora de custos. As regressões lineares simples realizadas nas diferentes amostras das duas famílias de produtos consideradas e nas quais o Volume é a única variável independente, permitem concluir que o comportamento do custo em questão é praticamente explicado pela variação do Volume das peças. Por sua vez, a cor de um produto pode também ter um papel na melhoria do ajustamento da reta de regressão aos pontos quando surge a complementar o Volume numa regressão linear múltipla. Ainda assim, esta influência da cor nem sempre leva a uma melhoria no ajustamento, como por exemplo nos painéis “Produtos B” ou nas gavetas “Produtos A”. Uma possível causa é o tamanho das amostras, em que no primeiro caso o n é igual a 28 e, no segundo, igual a 33, o que tendo em conta as observações, pode ser insuficiente. Uma outra causa para a não melhoria do ajustamento ao considerar a Cor como variável independente, é a facto de a categorização da cor ser feita apenas com base na referência e não no tipo de tecnologia aplicada em cada artigo. No caso das gavetas existem fluxos de produção com ligeiras diferenças na aplicação da tinta e, consequentemente, nos materiais de pintura.

4.3. Análise de Custos de Operações

A análise dos custos de operações foi feita de forma bastante semelhante à análise dos custos de materiais. As famílias de produtos consideradas foram as mesmas (“Produtos A” e “Produtos B”), sendo que os centros de trabalho considerados neste estudo se encontram na Tabela 9.

Tabela 9- Centros de trabalho analisados

	“Produtos A”	“Produtos B”
Board Preparation	25187	25187
Edge & Drill	25135	25134
	-	25101
	25136	25136
Edge Coating	25104-1	25104-1
	25142	25142
Roller Coating	25113	25113
Spray Coating	-	25114
	25116	25116
Glass Assembly	-	25152
	-	25152-2
Packing	25151	25151
	25155-2	25155-2
	25159	25159
	25156	25156
	25157	25157

A PFF possui mais centros de trabalho que não foram analisados uma vez que os produtos considerados não passam por todas as linhas de produção, sendo aqui apresentadas apenas as operações que fazem parte do fluxo produtivo destes artigos. Ainda assim, os centros analisados constituem uma amostra representativa de todos os centros de trabalho existentes na fábrica pelo que o comportamento do custo em certas máquinas poderá ser semelhante noutros equipamentos idênticos. Além disso, existem centros de trabalho comuns aos fluxos produtivos das duas famílias de produto consideradas.

A análise feita ao comportamento dos Custos em Operações foi estruturada da seguinte forma:

- 1) Identificação dos artigos que passam pelo centro de trabalho;
- 2) Definição dos *cost drivers* para cada centro de trabalho;
- 3) Cálculo dos custos de operação para cada centro de trabalho (DLC+ODC+DEP.+IC, sem *outsourcing*);
- 4) Representação do custo em função de possíveis *cost drivers*;
- 5) Aplicação de regressões lineares simples e múltiplas.
- 6) Análise dos resultados.

4.3.1. Análise dos Centros de Trabalho do Fluxo “Produtos B”

O fluxo produtivo dos artigos “Produtos B” inclui 16 centros de trabalho, mas à semelhança da família de produtos “Produtos A”, diferentes artigos passam por diferentes centros de trabalho. A título de exemplo, em função da largura, as faces laterais de uma peça podem ser pintadas em dois centros de trabalho distintos. De seguida, é apresentada toda a análise feita aos diferentes centros de trabalho pertencentes ao fluxo dos artigos “Produtos B”.

Numa primeira análise superficial, verificou-se a existência de uma relação linear entre o tempo que uma peça permanece num centro de trabalho e o respetivo custo de operação, tal como se pode constatar no diagrama de dispersão representado na Figura 9. Além disso, a respetiva regressão linear confirma esta clara relação de linearidade com um coeficiente de determinação igual a 1.0.

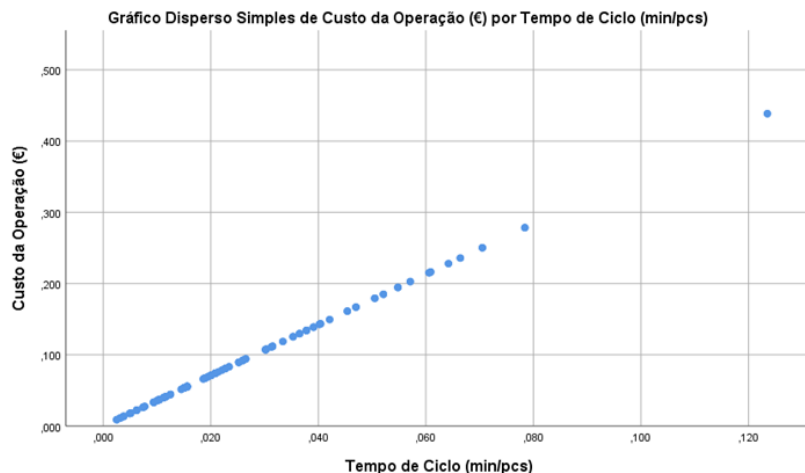


Figura 9- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação em função do Tempo de Ciclo

Como seria de esperar, esta relação entre tempo e custo é verificada em todos os centros de trabalho, pelo que o estudo desenvolvido se baseou na procura dos parâmetros/ características que influenciam o tempo de permanência de uma peça numa linha. As variáveis que ditam o tempo de ciclo serão então as que determinam o custo de uma operação, sendo este o pressuposto para o estudo realizado nos vários centros de trabalho.

25187 – Pannel Saw

Este centro de trabalho é o primeiro do processo produtivo e no qual as placas de madeira são cortadas para dar origem aos painéis com as dimensões de cada produto. Nesta operação as placas de madeira são cortadas em pilha, ou seja, vários painéis são obtidos em simultâneo e a partir do mesmo conjunto de placas. Por este motivo, o *cost driver* a ser considerado foi o Volume. Como se pode ver no diagrama de dispersão da Figura10, parece existir uma relação linear entre o volume das peças e o custo do centro de trabalho.

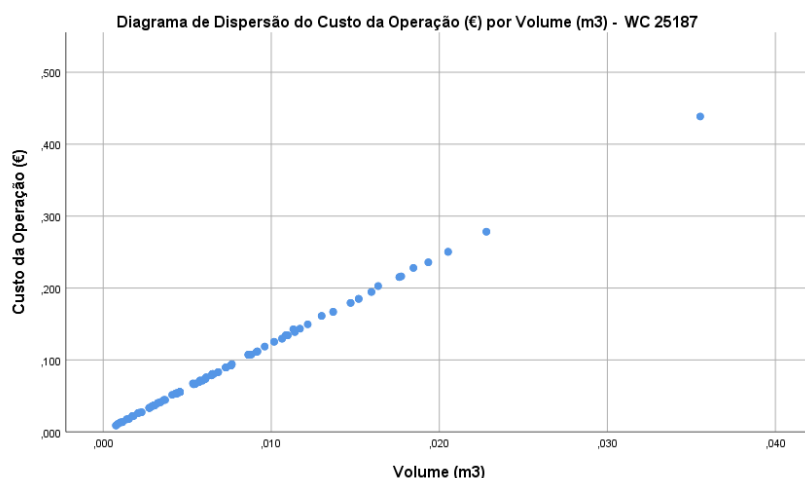


Figura 10- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25187 em função do Volume

Com o objetivo de avaliar a aparente relação linear entre estas duas variáveis, foi feita uma regressão linear simples. O coeficiente de determinação é igual a 1, o que quer dizer que a variação do custo de operação neste centro de trabalho é completamente explicada pela variação do volume das peças. Pelo resultado no teste da ANOVA presente no Apêndice C, o valor de prova inferior a 0,05 permite concluir que o modelo é adequado aos dados e, pelo *p-value* do teste t, também inferior a 0.05, é possível rejeitar a hipótese nula associada ao teste, ou seja, o coeficiente associado à variável independente é diferente de zero. Pode-se concluir que o custo de operação da linha 25187 é explicado pelo Volume das peças, fazendo desta variável uma característica preditora do custo.

25134 – CNC

As CNC são máquinas onde é feita maquinagem e formatação de algumas peças. Cada centro de trabalho é constituído por robôs de alimentação de peças, um tabuleiro de corte e cabeças de corte. Geralmente, as operações de maquinagem são para criar perfis nas peças e fazer entalhes decorativos, pelo que o tempo que as peças passam na mesa de corte será tanto maior quanto maior for a complexidade do corte. As CNC fazem parte do processo produtivo das portas, gavetas e vitrines da família “Produtos B” pelo que estes foram os artigos considerados na análise feita. Além disso, alguns destes produtos necessitam de mais do que uma passagem no equipamento, pelo que houve a necessidade de considerar o custo da operação como sendo o custo de apenas uma passagem.

Todo o processo neste centro de trabalho é de difícil análise quando analisado numa perspetiva de tempos de ciclo. O processo é completamente automático, desde a retirada das peças da paleta antes da maquinação até à colocação das mesmas novamente na paleta após a operação. Por este motivo, o tempo de ciclo do processo em função da peça possui um comportamento dependente de vários aspetos que podem ser influenciados pelas dimensões das peças, como por exemplo o número de peças no tabuleiro de corte ou até o *layout* de paletização das peças à saída da CNC.

Numa primeira análise às CNC, considerou-se o perímetro como variável independente, tendo-se analisado cada tipo de produto em separado. Na Tabela 10 é apresentado um resumo dos resultados das regressões feitas.

Tabela 10- Resumo dos resultados das regressões feitas na análise do custo da linha 25134

Tipo de Produto	Variável Independente	Variável Dependente	Tamanho Amostra (n)	Coeficiente de Determinação (R^2)	R^2 ajustado	Standard Error
Portas	Perímetro	Custo da Operação	114	0.886	0.885	0.0941
Gavetas	Perímetro	Custo da Operação	48	0.875	0.872	0.0093
Vitrines	Perímetro	Custo da Operação	39	0.953	0.952	0.0644

Tal como se pode ver na Tabela 10, o perímetro parece ser uma boa variável explicativa do custo de operação da CNC para todos os tipos de produto. Os responsáveis de produção não possuem um conjunto de parâmetros do produto que permita estimar o tempo de ciclo, pelo que nas portas e nas gavetas o perímetro das peças é o parâmetro em função do qual é estabelecido o NPC e, consequentemente, o tempo de ciclo. No caso das vitrines, os responsáveis pelo processo possuem já uma melhor caracterização dos produtos que lhes permite uma previsão dos tempos de ciclo mais fundamentada. Estas diferenças surgem evidentes na Tabela 10, dado que o coeficiente de determinação obtido na amostra constituída pelas vitrines é o melhor.

25101 – DET 1

A linha 25101 é constituída por um conjunto de elementos onde é feita a formatação de cada peça, o que inclui operações de maquinagem, formatação de arestas e furação. Desta forma, a largura e o comprimento da peça são parâmetros relevantes para a disposição e número de peças na linha. O processo produtivo nesta linha tem algumas condicionantes que têm impacto no tempo de ciclo das diferentes peças e, consequentemente, no custo desta operação. Os responsáveis de produção desta linha consideram que a largura e o comprimento são os parâmetros que ditam o tempo de ciclo e que impactam o custo da operação. Por este motivo, começou-se por considerar a largura e o comprimento como sendo variáveis independentes. Dado que foram considerados dois *cost drivers*, foi feita uma regressão linear múltipla cujo coeficiente de determinação permite concluir que a variação das duas variáveis, Comprimento (*mm*) e Largura (*mm*), explica cerca de 89% da variação do Custo da Operação (€) da linha 25101 com um erro associado de 0.028€.

25136 – Moulder and Drill

Esta linha, à semelhança da 25101, é também uma linha de maquinagem e formatação, mas neste caso para peças estreitas. Nesta linha entram placas de madeira que são cortadas longitudinalmente dando origem a ripas que são seccionadas originando as placas estreitas que serão as frentes de gaveta. Ao analisar este processo, percebeu-se que a disposição dos elementos da linha leva a mudanças de direção das ripas e das peças. Em função do comprimento das peças estas mudanças podem levar a cadências de produção diferentes. Os responsáveis da linha reconhecem que o comprimento das peças é o parâmetro de dita o tempo de ciclo, tendo sido por isso este o *cost driver* considerado.

Tal como se pode ver na Figura 11, a representação do custo desta operação em função do comprimento evidencia um comportamento estratificado dos custos, ou seja, o custo da operação varia em função de certos intervalos de comprimento. Desta forma, não existe uma evidência visual que indique uma possível relação direta entre o comprimento e o custo de operação. Contudo, é igualmente possível estimar o custo desta operação em função do comprimento das peças através da seguinte forma.

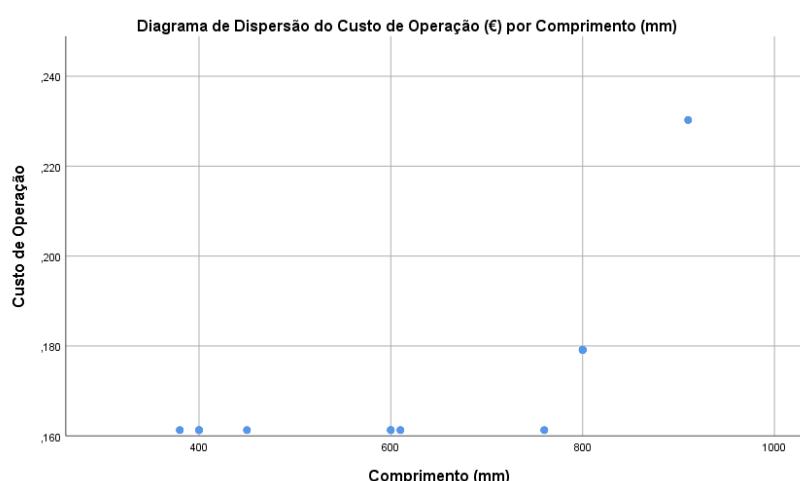


Figura 11- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25136 em função do Comprimento

Numa perspetiva de utilizar os intervalos de comprimento para estimar o custo, a obtenção de uma estimativa passa pela análise do comprimento da peça e pela identificação do intervalo

correspondente e respetivo custo. A título de exemplo, na Tabela 11 são os intervalos de comprimento e o respetivo custo de operação.

Tabela 11- Intervalos de comprimento e respetivo custo de operação

Comprimento (mm)	Custo de Operação (€)
< 800	0.1613
= 800	0.1791
> 800	0.2303

Desta forma, em função do comprimento da peça cujo custo se pretende estimar, obtém-se um valor de custo da operação na linha 25136 com base nos intervalos de comprimento identificados. Neste centro de trabalho não existe, portanto, a necessidade de recorrer a uma regressão para encontrar uma função explicativa do custo da operação.

25104-1 – *Makor Narrow Line*

Este centro de trabalho é uma linha de pintura de laterais onde são pintadas apenas as superfícies laterais de peças estreitas, essencialmente frentes de gaveta e algumas portas cuja largura é semelhante à das gavetas. À semelhança da linha 25136 anteriormente analisada, a disposição dos diferentes elementos da linha leva a que as peças tenham um fluxo condicionado pelas mudanças de direção. Desta forma, o comprimento das peças é também o parâmetro usado para estimar o tempo de ciclo de um artigo e, por esse motivo, foi a variável independente usada para estimar o custo da operação. Na Figura 12, é novamente visível a estratificação de custos de operação em quando representados em função do comprimento das peças.

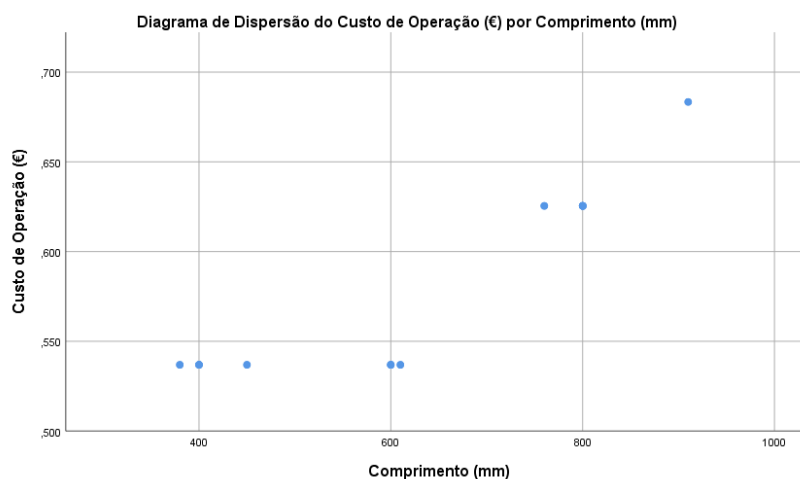


Figura 12- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25104-1 em função do Comprimento

Pela semelhança à linha 25136, a estimativa de custo da linha 25104-1 pode ser feita através da caracterização dos custos para os diferentes intervalos de comprimento.

25142 – *Automatic Edge Spray*

Esta linha de pintura é também direcionada à pintura de laterais, mas de peças com maiores dimensões. As peças são colocadas numa pilha e pintadas por um braço automático que contorna a pilha aplicando tinta nos quatro lados das peças. Por este motivo, a primeira variável independente considerada foi o perímetro. Nas operações de pintura é frequente as peças

passarem mais do que uma vez numa linha, pelo que foi calculado o custo por passagem de forma a normalizar os valores de custo.

A representação dos diferentes custos em função do perímetro sugeriu uma relação linear nas portas, gavetas e vitrines, mas não para os painéis, representados na Figuras 13 e 14.

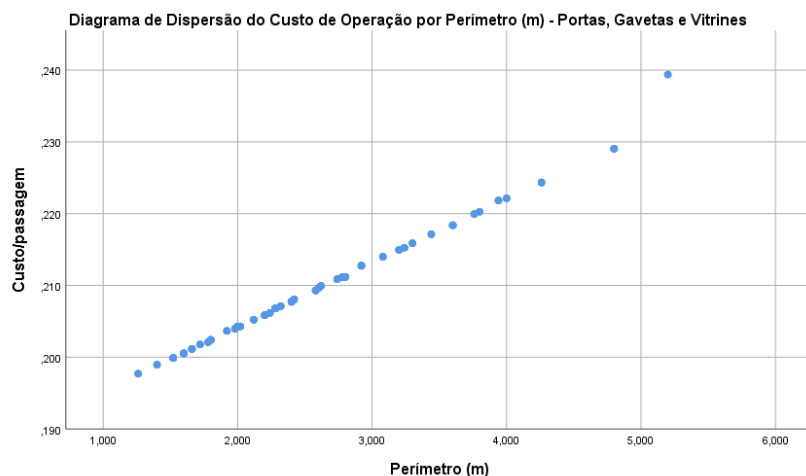


Figura 13- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25142 em função do Perímetro para portas, gavetas e vitrines

Ao representar portas, gavetas e vitrines em conjunto existe uma aparente relação linear entre o perímetro das peças e o custo da linha 25142.

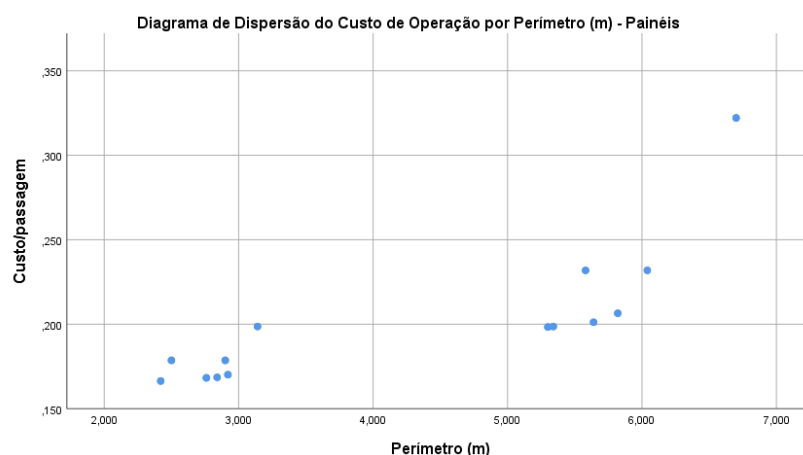


Figura 14- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25142 em função do Perímetro para Painéis

No caso dos painéis surgem dois grupos de pontos resultantes, possivelmente, das diferentes espessuras existentes.

Na Tabela 12 pode ser visto um resumo dos resultados obtidos para as diferentes regressões realizadas para a linha 25142. Tal como se pode constatar, custo de operação das portas, das gavetas e das vitrines pode ser explicado pelo perímetro das peças, confirmando o pressuposto estabelecido anteriormente. Já nos painéis o mesmo não se reflete, pelo que foi considerado como variável independente o Volume (m^3) em vez do Perímetro (m). A escolha desta variável deve-se ao facto de os painéis serem peças de dimensões significativamente maiores e que, pelo peso, acabam por trazer limitações ao processo. Desta forma, foi considerado o Volume (m^3) para

contemplar a espessura. Pela melhoria no ajustamento, percebe-se que efetivamente esta variável conduz a uma melhor explicação do comportamento do custo da operação.

Tabela 12- Resumo dos resultados das regressões feitas na análise do custo da linha 25142

Tipo de Produto	Variável Independente	Variável Dependente	Tamanho Amostra (n)	Coefficiente de Determinação (R^2)	R^2 ajustado	Standard Error
Portas	Perímetro	Custo da Operação	111	0.988	0.988	0.0010
Gavetas	Perímetro	Custo da Operação	39	1	1	0.0001
Vitrines	Perímetro	Custo da Operação	39	0.999	0.999	0.0001
Portas + Gavetas + Vitrines	Perímetro	Custo da Operação	189	0.991	0.991	0.0008
Painéis	Perímetro	Custo da Operação	28	0.614	0.600	0.0255
Painéis	Volume	Custo da Operação	28	0.854	0.849	0.0157

De acordo com a Tabela 12, é possível que quando considerada uma amostra com portas, gavetas e vitrines, os resultados da regressão linear simples são satisfatórios. O Custo de Operação da linha 25142 para portas, gavetas e vitrines é explicado em 99% pelo perímetro dessas mesmas peças com um erro associado de 0.0008. Por sua vez, o Volume (m^3) dos painéis é uma variável que explica cerca de 85% da variação do custo de operação para este tipo de artigos, com um erro padrão igual a 0.0157.

Numa fase posterior à análise feita, percebeu-se que uma variável que pode contribuir para a melhoria dos resultados obtidos é o tempo de forno. Tal como visível na Tabela 12, as portas, as gavetas e as vitrines apresentam um comportamento semelhante entre si, mas distinto dos painéis, podendo este ser explicado pelo tempo de forno de cada grupo de produtos. A diferença no tempo de forno entre estes dois grupos está relacionada com diferenças existentes no processo produtivo. Desta forma, a consideração futura do tempo de forno como variável independente pode conduzir à obtenção de melhores ajustamentos.

25113 – Roller Coating

Esta linha é dedicada à pintura com rolos onde são pintadas as superfícies das peças, nomeadamente, de portas, gavetas e painéis. Uma vez que é aplicada tinta nas superfícies, começou-se por considerar como variável independente a área superficial das peças. Para as portas e gavetas a área superficial conduz a um resultado bastante positivo, refletido num coeficiente de determinação ajustado de 0.940 e um erro de estimativa igual a 0.0337, o que contraria o resultado obtido para os painéis.

Ao considerar como variáveis independentes o comprimento e a largura, tanto para a amostra composta pelas portas e gavetas como para a amostra dos painéis, os resultados foram ligeiramente menos satisfatórios, havendo uma diminuição do coeficiente de determinação ajustado, e um aumento do erro padrão da estimativa, visíveis na Tabela 13.

Tabela 13- Resumo dos resultados das regressões feitas na análise do custo da linha 25113

Tipo de Produto	Variável Independente	Variável Dependente	Tamanho Amostra (n)	Coefficiente de Determinação (R^2)	R^2 ajustado	Erro Padrão
Portas + Gavetas	Área Superficial	Custo da Operação	162	0.940	0.940	0.0337
Painéis	Área Superficial	Custo da Operação	28	0.786	0.778	0.2940
Portas + Gavetas	Comprimento, Largura	Custo da Operação	162	0.912	0.911	0.0411
Painéis	Comprimento, Largura	Custo da Operação	28	0.774	0.756	0.3085

Nesta linha, os processos de alimentação e retirada de peças possuem uma grande influência no na velocidade da linha. A consideração de algumas restrições relacionadas com estes processos pode levar à identificação de novas variáveis independentes e, dessa forma, encontrar outros *cost drivers* que contribuam para a melhoria do ajustamento.

25114 – *Spraying Line Fillings and Fronts*

A linha 25114 é uma linha de pintura de superfícies através da aplicação de *spray*. Por esta operação passam as portas, gavetas e vitrines de maiores dimensões. Por se tratar de pintura de superfícies, considerou-se que a Área Superficial (m^2) e o Comprimento (mm) e a Largura (mm) como possíveis variáveis explicativas do Custo de Operação (€) por passagem. Deste modo foram feitas duas análises de regressão, simples e múltiplas, e os resultados permitem concluir que o Comprimento (mm) e a Largura (mm) explicam melhor a variação do Custo de Operação (€) do que a Área Superficial (m^2). A diferença entre coeficientes de determinação ajustados e erros padrão é pouco significativa, mas assinalável.

O coeficiente de determinação ajustado, apesar de satisfatório, não é tão bom quanto os obtidos para os restantes centros de trabalho, tomando o valor de 0.877 e um erro padrão mais elevado em relação às restantes operações igual a 0.0963.

25116 – *Spraying Roller Coating Line*

A linha 25116 é também uma linha de pintura de superfícies de frentes de cozinha e é um misto de tecnologias das linhas 25114 e 25113 e, portanto, as peças que passam pela 25116 são pintadas por *spray* e por rolos. Neste centro de trabalho são pintas algumas portas, gavetas e vitrines.

Na análise do comportamento do custo deste centro de trabalho foram consideradas a área superficial e, conjuntamente, o comprimento e a largura, sendo a amostra considerada constituída por portas, gavetas e vitrines. A regressão linear simples com variável independente Área Superficial (m^2) reflete um ajustamento ligeiramente melhor do que a regressão múltipla com as variáveis independentes Comprimento e Largura, evidente no coeficiente de determinação ajustado e no erro padrão da estimativa, sendo estes 0.924 e 0.0486, respetivamente.

25151 – *Small Genax*

A linha 25151 é uma linha de embalagem manual na qual apenas são embaladas algumas referências. É um tipo de processo que se encontra numa fase de substituição e, por isso, são poucas os artigos que ainda são embalados neste centro de trabalho. Atualmente, por esta linha passam as frentes de gaveta mais estreitas. Por este motivo, ao analisar a distribuição dos pontos numa representação do Custo de Operação (€) em função da Largura (mm) verificou-se a existência de apenas um custo da operação para cada uma das larguras existentes no range considerado. À semelhança das linhas 25136 e 25104-1, o custo desta linha pode ser caracterizado, neste caso, por dois intervalos de custo em função da largura. Mais uma vez, não existe a necessidade de realizar uma análise de regressão, o que simplifica a estimativa pretendida.

25156 – Unit load wrapping line

Este centro de trabalho, que se encontra a jusante da linha 25157, é onde é feita a aplicação do filme plástico na palete de produtos embalados, possuindo dois elementos que aplicam filme. No primeiro são colocadas cintas que envolvem a paleta e, no segundo, é aplicado filme em torno de toda a paleta. O custo deste centro de trabalho está fortemente relacionado com a paletização de cada artigo, sendo este um aspeto específico de cada referência. A paleta em que os artigos são colocados pode levar mais ou menos cintas, encontrando-se aqui a variação existente no centro de trabalho. Em cada paleta é colocado determinado um número de unidades, tendo em conta a altura máxima de paleta e o peso permitidos. Por este motivo, percebeu-se que existe um extenso conjunto de combinações de paletização, onde as dimensões e a espessura dos artigos podem ser características explicativas do custo.

Assim, o *cost driver* considerado para esta linha de embalagem foi o Volume (m^3), tendo a regressão linear simples resultado num coeficiente de determinação ajustado é igual a 0.664 com um erro padrão de estimativa de 0.0105. Em comparação com os resultados de outros centros de trabalho, a variável independente considerada leva a uma explicação da variação do custo em cerca de 66%, sendo menos satisfatório do que as restantes linhas. Por este motivo, para este centro de trabalho será necessário analisar outro tipo de possíveis variáveis independentes relacionadas com a paletização.

25157 – GBZ Packing Line

A linha 25157 é uma linha automática de embalagem de produtos acabados constituída por três centros de trabalho semelhantes. Por esta operação passam todos os tipos de produtos da família “Produtos B”, sendo a operação de embalagem mais significativa da PFF. No fim da linha são obtidas paletes de produtos embalados que ainda têm de passar pela operação de *wrapping*. Na análise desta linha de embalagem considerou-se o comprimento das peças como variável independente, sendo que à semelhança de outros centros de trabalho já analisados, a representação do Custo da Operação (€) em função do Comprimento (mm) resultou em intervalos de custo, tal como se pode ver na Figura 15. Neste caso, existem dois intervalos de comprimento e respetivo custo, sendo eles peças com um comprimento até 1200 mm e peças com comprimento superior a 1200 mm.

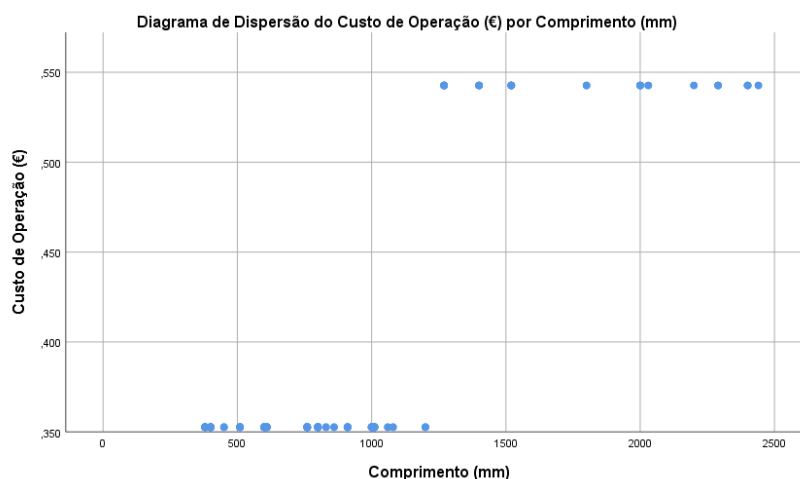


Figura 15- Diagrama de Dispersão do Custo de Operação da linha 25157 em função do comprimento

Neste sentido, a abordagem foi a mesma que nos centros de trabalho semelhantes e a estimativa do custo da operação pode ser feita pela análise do comprimento da peça e a seleção do intervalo de comprimento correspondente, bem como o respetivo custo.

Restantes centros de trabalho

Tal como demonstrado nas análises anteriores, uma primeira análise dos dados pode indicar a existência de uma relação linear entre as variáveis independentes e os custos. Nos centros de trabalho 25152, 25152-2, 25155-2 e 25159, constatou-se imediatamente que o custo do centro de trabalho é constante para todos os artigos nessas operações. As linhas 25152 e 25152-2 são linhas de montagem do vidro nas vitrines, pelo que o cuidado requerido durante o processo implica uma velocidade de linha constante e independente do tamanho do artigo no qual o vidro está a ser aplicado. Por sua vez, os centros de trabalho 25155-2 e 25159 são de inspeção visual de peças grandes e pequenas, respetivamente, sendo o custo também constante para todos os artigos que passam por esta operação.

4.3.2. Análise dos Centros de Trabalho do Fluxo “Produtos A”

O fluxo de produção dos produtos “Produtos A” inclui um total de 12 centros de trabalho, sendo que tipos de artigos diferentes possuem fluxos com algumas diferenças entre si. Existem fluxos para as portas e para as frentes de gaveta que são diferentes, mas com elementos comuns.

Na secção anterior foram analisados os diferentes centros de trabalho que fazem parte dos fluxos dos artigos “Produtos B” com o intuito de perceber o comportamento dos custos de operação em função de certas variáveis independentes. Uma vez que 11 centros de trabalho são comuns às duas famílias de produtos, assume-se que as relações estabelecidas para os centros de trabalho com os artigos “Produtos B” se mantêm para os artigos “Produtos A”. Neste sentido, foi analisada apenas a linha 25135 dado que é uma linha que não faz parte do fluxo “Produtos B”.

25135 – Edge & Drill

A linha 25135 é uma linha de maquinagem e formatação de peças com algumas semelhanças à linha 25101, passando por esta operação as portas e as gavetas de maiores dimensões. Uma vez que se trata de uma linha semelhante a outra já analisada e dado que ambos os centros de trabalho

são analisados da mesma forma por parte dos responsáveis de produção, foram consideradas como variáveis independentes o Comprimento (mm) e a Largura (mm) das peças tal como feito na análise da linha 25101.

A aplicação de uma regressão linear múltipla com as variáveis independentes acima referidas e como variável dependente o custo de operação, conduziu a um ajustamento igualmente satisfatório. Pela análise dos resultados obtidos e presentes no Apêndice C, pelo coeficiente de determinação ajustado, pode-se concluir que a variação do custo de operação da linha 25135 é explicada pela variação do Comprimento e da Largura das peças, com um erro padrão associado igual a 0.02179.

4.4. Proposta de modelo

Tal como descrito na secção 4.1, o custo de um produto pode ser dividido em três componentes principais, nomeadamente, o Custo em Materiais, o Custo em Operações e o *Outsourcing*.

Pela análise estatística apresentada nas secções anteriores, é possível definir um modelo de estimativa de custos de produtos baseado na aplicação de regressões lineares simples e múltiplas. Por meio desta técnica estatística, podem ser obtidas funções que descrevem o comportamento de um custo em função de um determinado parâmetro, neste caso, explicar os custos em materiais e operações através de certas variáveis independentes relacionadas com o produto. O conhecimento das variáveis que influenciam os custos, bem como a caracterização dessa relação por meio de funções, permite que sejam feitas estimativas para novos produtos, tendo como base os produtos e os processos de fabrico já existentes na PFF e utilizando um critério de semelhança entre um novo produto e os produtos já produzidos.

Na análise feita foram consideradas duas famílias de produtos, “Produtos A” e “Produtos B”, cujos artigos representam uma grande parte da produção na fábrica de frentes de cozinha. Assim, o primeiro passo ao realizar uma estimativa será identificar qual o tipo de produto mais semelhante àquele cujo custo se pretende estimar. Após estabelecer uma relação de semelhança entre o produto a estimar e uma das famílias possíveis, é necessário definir os parâmetros do produto que serão usados como variáveis independentes nos diferentes cálculos de estimativas. Com esta informação é então possível obter a estimativa do custo em materiais através da função relativa ao tipo de artigo selecionado.

Pela análise conduzida relativa às operações, pode-se concluir que, de forma semelhante ao custo em materiais, é possível estabelecer relações entre características de um produto e o custo de operação em cada linha de produção. A existência de uma função de custo de operação cujas variáveis independentes são também características do produto, permite estimar o custo de cada centro de trabalho que esteja no fluxo produtivo de um certo produto em análise. Desta forma, o custo total de produção será igual à soma das estimativas de custo dos diferentes centros de trabalho.

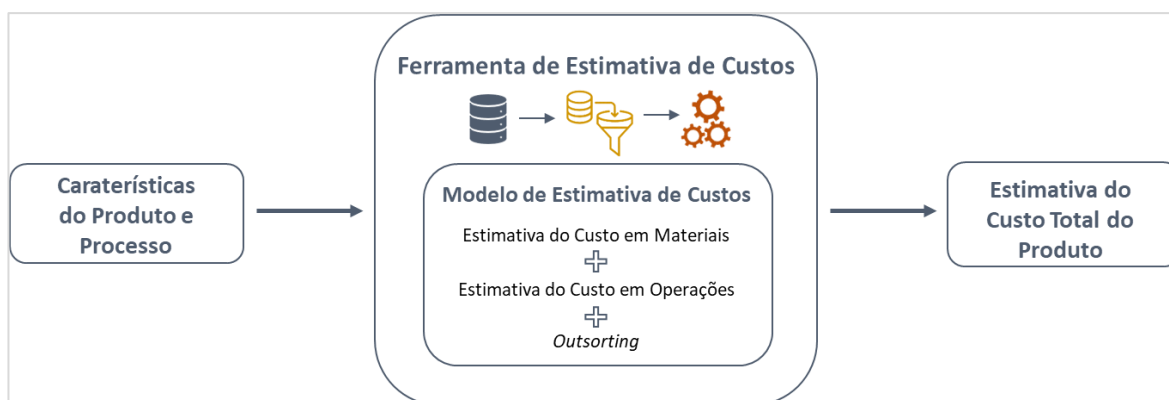


Figura 16- Esquema representativo do modelo e ferramenta de estimativa de custos. [Fonte: Elaboração própria]

Tal como se pode ver no esquema da Figura 16, o modelo de estimativa de custos pode ser dividido em três componentes, nomeadamente, as estimativas de custo em materiais, operações e a percentagem de *outsourcing*. Como explicado na secção 4.1, o valor em *outsourcing* diz respeito ao custo de retrabalho e de sucata, encontrando-se atualmente definido por família de produto. Assim, ao estabelecer uma certa semelhança entre um novo produto e um artigo já existente para estimar o custo em materiais e operações, está-se indiretamente a definir qual a percentagem de *outsourcing* associada ao novo produto. Desta forma, a soma da estimativa do custo em materiais, do custo em operações e do valor em *outsourcing*, resulta numa estimativa de um custo total do produto.

A utilização do critério da semelhança entre artigos novos e existentes surge adequada neste contexto, uma vez que se trata de uma fábrica de produção em massa de um conjunto de artigos standardizados. Os meios de produção encontram-se desenvolvidos e orientados à produção de elementos maciços de madeira, pelo que futuros artigos que possam ser analisados serão, à partida, semelhantes àquilo que é atualmente produzido.

Toda a análise feita ao longo deste projeto teve como base móveis classificados como frentes de cozinha e que têm em comum o tipo de construção. Contudo, não há qualquer impedimento na utilização deste modelo para estimar produtos que não sejam frentes de cozinha, desde que sejam semelhantes. De forma mais concreta, podem existir móveis constituídos por elementos de construção diferente e com peças semelhantes a frentes de cozinha, embora na realidade não o sejam. Pelo critério da semelhança entre artigos, o modelo proposto permite estimar o custo desses elementos, que embora não sejam portas, gavetas, vitrines ou painéis, são peças cujos materiais e processo produtivo possam ser idênticos aos das frentes de cozinha.

A Figura 16 evidencia a incorporação deste modelo de estimativa de custos numa ferramenta com o propósito de estimar o custo de novos produtos. Esta ferramenta terá de ser capaz de utilizar os dados existentes em sistema e que serviram de base para este projeto, garantindo a sua atualização constante. Se os dados não estiverem atualizados, a ferramenta pode devolver estimativas de custo baseadas em preços de materiais ou custos de centros de trabalho que não refletem a realidade, levando a erros de estimativa significativos. Não só da atualização dos dados depende a eficácia da ferramenta, mas também da sua veracidade e viabilidade, pelo que o pressuposto deste tipo de modelos e ferramentas é que os dados são confiáveis e representativos da realidade.

Com o intuito de testar as estimativas devolvidas pelas equações que foram sendo obtidas ao longo da investigação, foram selecionados quatro produtos de teste, dois de cada família considerada, em relação aos quais se tem conhecimento dos custos reais em materiais e operações. Os dados de custos relativos a estes produtos não foram utilizados nas análises feitas nem na construção das funções que caracterizam as relações estabelecidas. Os quatro artigos são frentes de máquinas de lavar loiça e existem, com as mesmas dimensões, nas famílias “Produtos A” e “Produtos B”, em duas cores por família. É de salientar que nestes testes foram apenas consideradas as equações mais adequadas aos artigos considerados. Uma vez que se trata de produtos cujas dimensões e fluxo produtivo são semelhantes às das portas, o cálculo da estimativa em materiais foi feito através das equações relativas às regressões cujas amostras incluíram portas. No caso das operações, foram apenas selecionadas as equações resultantes das regressões dos centros de trabalho que fazem parte dos fluxos dos artigos de teste.

Desta forma, como se pode ver na Tabela 14, a aplicação das funções obtidas nas regressões lineares para análise de materiais, conduziu a estimativas satisfatórias, uma vez que em três dos artigos considerados o erro da estimativa do custo em materiais foi inferior a 5% em relação ao custo real do produto.

Tabela 14- Resultados dos testes de estimativa dos Custos em Materiais.

Artigo de teste	Produto	Custo Materiais			
		Estimado	Real	Erro	Erro (%)
00000001	“Produtos A” frnt dshwshr 45x80 wh	3,024 €	3,481 €	0,457 €	13%
00000002	“Produtos A” frnt dshwshr 45x80 grey	3,146 €	3,130 €	-0,017 €	0,5%
00000003	“Produtos B” frnt dshwshr 45x80 wh	3,944 €	3,876 €	-0,067 €	1,7%
00000004	“Produtos B” frnt dshwshr 45x80 grey	4,034 €	3,967 €	-0,067 €	1,7%

Relativamente aos custos em operações, os resultados apresentados na Tabela 15 permitem retirar conclusões semelhantes às expostas acima, mas com metade dos artigos analisados e refletirem um erro superior a 5%.

Tabela 15- Resultados dos testes de estimativa dos Custos em Operações

Artigo de teste	Produto	Custo Operações			
		Estimado	Real	Erro	Erro (%)
00000001	“Produtos A” frnt dshwshr 45x80 wh	2,144 €	2,171 €	0,027 €	1,3%
00000002	“Produtos A” frnt dshwshr 45x80 grey	1,831 €	1,830 €	-0,001 €	0,1%
00000003	“Produtos B” frnt dshwshr 45x80 wh	2,734 €	2,908 €	0,174 €	6,0%
00000004	“Produtos B” frnt dshwshr 45x80 grey	2,734 €	2,908 €	0,174 €	6,0%

No geral, pela informação Tabela 16, ao considerar a soma dos custos em materiais e operações, percebe-se que a estimativa feita conduz, em três dos artigos considerados, a um resultado muito positivo evidenciado por erros inferiores a 2%. Contudo, no quarto artigo o erro obtido na estimativa do custo total foi de 8.6%, o que neste contexto pode ser incomportável.

Tabela 16- Resultados dos testes de estimativa do Custo Total.

Artigo de teste	Produto	Custo total			
		Estimado	Real	Erro	Erro (%)
00000001	"Produtos A" frnt dshwshr 45x80 wh	5,168 €	5,653 €	0,484 €	8,6%
00000002	"Produtos A" frnt dshwshr 45x80 grey	4,978 €	4,960 €	-0,018 €	0,4%
00000003	"Produtos B" frnt dshwshr 45x80 wh	6,678 €	6,784 €	0,106 €	1,6%
00000004	"Produtos B" frnt dshwshr 45x80 grey	6,768 €	6,874 €	0,107 €	1,6%

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões relativas a este projeto de investigação, bem como as oportunidades de melhoria e respetivos trabalhos a desenvolver futuramente.

5.1. Conclusões

O projeto de dissertação aqui apresentado consistiu no desenvolvimento de um modelo paramétrico de estimativa de custos utilizando regressões lineares e surgiu no âmbito do Departamento de Desenvolvimento do Produto da IKEA Industry Portugal S.A. Este projeto decorreu ao longo de 6 meses, 3 dos quais foram de preparação e formação para abordar de forma mais fundamentada o tema do custeio e da estimativa de custos. Esta fase de formação e desenvolvimento de uma base de conhecimento em relação à empresa, aos seus processos e produtos foi fundamental para o projeto de investigação apresentado. Além disso, um estudo desta natureza implica um grande volume de trabalho, não só de investigação, mas de tratamento de dados de forma a garantir análises viáveis e orientadas ao objetivo último pretendido.

De uma forma geral, pelos resultados obtidos nas análises conduzidas relativas aos custos em materiais e operações, pode-se concluir que a utilização de certas variáveis independentes como variáveis explicativas de uma variável dependente pode ser uma abordagem para estimar o custo de um produto com base num critério de semelhança. Como descrito no capítulo anterior, a aplicação de regressões lineares simples e múltiplas permite a definição de funções de custo cujas variáveis independentes são parâmetros do produto e do processo conhecidos *a priori* no momento de obter uma estimativa para um determinado artigo ou elemento. A utilização destas funções para obter uma estimativa de custos conduziu a resultados extremamente positivos. Para os artigos testados, a comparação entre o valor de custo estimado e o valor real de custo permite concluir que em 75% dos casos testados, o erro de estimativa total do custo total do produto foi inferior a 2%. É de reforçar que, tal como referido na secção 2.1, o conhecimento detalhado das variáveis independentes que explicam a variável dependente leva a que a estimativa de custos com recurso a regressões lineares proporcione bons resultados. Neste sentido, os resultados obtidos evidenciam que o estudo feito em relação às variáveis independentes foi fundamental para o bom desempenho do modelo.

Para a organização, o modelo de estimativa de custo de novos produtos descrito pode constituir uma importante ferramenta de apoio à análise, avaliação e custeio de novos produtos. O modelo proposto traz ao processo de desenvolvimento de um produto, mais especificamente aos processos de custeio e estimativa de custos, a capacidade de avaliar economicamente um novo produto de forma mais célere e baseada num histórico de custos que representa a realidade da organização. Além da melhoria da eficiência do processo de avaliação do custo de novos artigos, a utilização de um modelo desta natureza contribui para a libertação de recursos humanos para atividades onde efetivamente podem acrescentar valor. Adicionalmente, uma ferramenta que incorpore este modelo pode ser usada para analisar que género de produtos é mais interessante para a empresa, fundamentando decisões estratégicas no âmbito da gestão do portefólio da organização.

5.2. Limitações e Trabalhos Futuros

O modelo paramétrico proposto encontra-se dividido em três elementos, dois dos quais são estimativas obtidas por meio de aplicação de regressões lineares simples e múltiplas, apresentado algumas limitações. Por um lado, a consideração de variáveis independentes baseadas nas dimensões dos produtos limita a obtenção de estimativas para produtos cujas variáveis preditoras não se encontram no intervalo considerado na construção do modelo. O modelo está orientado para estimar o custo de produtos cujas dimensões estão entre a mínima e a máximas consideradas na obtenção das funções de custo. Por outro lado, a eficácia e a precisão do modelo proposto estão fortemente relacionadas com o conhecimento do comportamento da variável dependente através de determinadas variáveis independentes. Em certas situações futuras, a complexidade dos processos produtivos pode levar a que a identificação destas variáveis seja limitada, deixando o modelo de ser capaz de obter estimativas com maior qualidade.

Ao longo da análise dos custos em materiais e operações, foram sendo identificadas outras variáveis independentes passíveis de ser incorporadas no estudo, podendo conduzir à melhoria dos resultados obtidos, nomeadamente à obtenção de melhores ajustamentos e consequentes previsões de custos. Como apresentado em alguns casos, a variação do custo pode ser mais ou menos explicada pela variação das variáveis independentes, pelo que a definição de mais variáveis independentes pode, em certas situações, levar à melhoria do ajustamento. No que à análise do custo em materiais diz respeito, seria interessante considerar como variável independente “Tipo de tecnologia de pintura”, uma vez que os materiais aplicados na pintura diferem consoante a tecnologia aplicada. Adicionalmente, existem linhas de produção apresentadas ao longo do trabalho que podem ser alvo de uma análise mais profunda. Em certos centros de trabalho, podem existir parâmetros ou características inerentes aos processos produtivos que, sendo incorporadas como variáveis independentes, podem contribuir para a obtenção de melhores ajustamentos e, consequentemente, estimativas mais precisas. Neste sentido, destaca-se a necessidade de dar continuidade à análise das diferentes linhas de produção, preferencialmente trazendo para o estudo a opinião dos responsáveis pelos processos, dado que o seu conhecimento dos centros de trabalho pode trazer novas perspetivas que acrescentem valor ao trabalho desenvolvido.

Na secção 4.1 foi explicado que, pela complexidade e diversidade de produtos produzidos nas duas fábricas, foram apenas consideradas duas famílias de produtos na análise realizada. Por este motivo, salienta-se a necessidade de estender o estudo feito a outras famílias de produtos da PFF que apresentam algumas diferenças a nível de construção e de processo, mas relativamente às quais se esperam resultados semelhantes aos obtidos. É também importante destacar que o trabalho desenvolvido pode e deve ser estendido aos produtos da fábrica BoF, na qual a abordagem terá de ser adaptada ao tipo de construção destes artigos. A sua complexidade de construção requer a identificação de outras variáveis independentes que poderão não estar diretamente ligadas com as dimensões dos artigos, mas sim com as dimensões dos elementos que os constituem. Da mesma forma, as linhas de produção dos produtos BoF são igualmente diferentes, pelo que requerem um estudo detalhado das suas características, parâmetros e restrições.

Em suma, os objetivos gerais e específicos inicialmente estabelecidos foram atingidos, podendo-se responder positivamente à questão de investigação enunciada e, portanto, confirmar a utilização de regressões lineares simples e múltiplas como base a um modelo paramétrico de estimativa de custos de novos produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altavilla, S. (2018). When costs from being a constraint become a driver for concept generation. In *Instituitonal Repository*. Politecnico di Torino.
- Altavilla, S., & Montagna, F. (2015). When costs from being a constraint become a driver for concept generation. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 5(DS 80-05), 1–10.
- Berenson, M. L., Levine, D. M., & Krehbiel, T. C. (2003). *Basic Business Statistics: concepts and applications* (12th ed.). Prentice Hall.
- Cavalieri, S., Maccarrone, P., & Pinto, R. (2004). Parametric vs. neural network models for the estimation of production costs: A case study in the automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 91(2), 165–177. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.08.005>
- Chatterjee, S., & Hadi, A. S. (2006). *Regression Analysis by Example* (4th ed.). Wiley-Interscience.
- Curran, R., Raghunathan, S., & Price, M. (2004). Review of aerospace engineering cost modelling: The genetic causal approach. *Progress in Aerospace Sciences*, 40(8), 487–534. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2004.10.001>
- Gunduz, M., Ugur, L. O., & Ozturk, E. (2011). Parametric cost estimation system for light rail transit and metro trackworks. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2873–2877. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.080>
- IKEA Industry Portugal. (2020). Internal Presentation. <https://www.industry.ikea.pl/>
- Kadir, A. Z. A., Yusof, Y., & Wahab, M. S. (2020). Additive manufacturing cost estimation models—a classification review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107(9–10), 4033–4053. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05262-5>
- Layer, A., Brinke, E. Ten, Van Houten, F., Kals, H., & Haasis, S. (2002). Recent and future trends in cost estimation. In *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* (Vol. 15, Issue 6, pp. 499–510). <https://doi.org/10.1080/09511920210143372>
- Martins, R., Pereira, M. T., Ferreira, L. P., Sá, J. C., & Silva, F. J. G. (2020). Warehouse operations logistics improvement in a cork stopper factory. *Procedia Manufacturing*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.240>
- Niazi, A., Dai, J. S., Balabani, S., & Seneviratne, L. (2006). Product cost estimation: Technique classification and methodology review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 128(2), 563–575. <https://doi.org/10.1115/1.2137750>
- Ong, N. S. (1993). Activity-based cost tables to support wire harness design. *International Journal of Production Economics*, 29(3), 271–289. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(93\)90033-H](https://doi.org/10.1016/0925-5273(93)90033-H)
- Saunders, M. N. K., Thornhil, A., & Lewis, P. (2019). *Research Methods For Business Students*. (8th ed.). PEARSON.
- Smith, A. E., & Mason, A. K. (1997). Cost Estimation Predictive Modeling: Regression Versus Neural Network. *The Engineering Economist*, 42(2), 137–161.
- Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. *Administrative Science Quarterly*, 23(4), 582–603. <https://doi.org/10.2118/169428-ms>
- Wierda, L. S. (1990). *Cost Information Tools for Designers: a survey of problems and possibilities with an emphasis on mass produced sheet metal parts*. Delft University Press.

APÊNDICES

Dada a extensão total dos Apêndices deste trabalho, foi necessário colocá-los num ficheiro em separado que pode ser consultado através do seguinte *link*:

https://drive.google.com/file/d/1rOiT4uw2wSrlEhx_HwTR9va2RIZPmTPR/view?usp=sharing

Este ficheiro com os Apêndices estará disponível no *Google Drive* até dia 31/10/2021.