Lusíada
Repositório das Universidades Lusíada

Universidades Lusíada

Monteiro, Pedro Miguel Silva

Estudo do processo industrial de uma empresa que se dedica à produção de materiais de construção em PVC

http://hdl.handle.net/11067/8470

Metadados

Data de Publicação 2025

Resumo A presente dissertação incide sobre o estudo do processo industrial de uma empresa dedicada à produção de materiais de construção em PVC, com especial ênfase na análise e melhoria do setor de corte CNC. A investigação iniciou-se com uma fundamentação teórica, que serviu de base a todo o desenvolvimento realizado. Posteriormente, foi efetuado um levantamento pormenorizado dos processos produtivos existentes, permitindo identificar ineficiências que comprometiam a produtividade e a gestão da capa...

This dissertation focuses on the study of the industrial process of a company dedicated to the production of PVC construction materials, with particular emphasis on the analysis and improvement of the CNC cutting sector. The research began with a theoretical foundation, which served as the basis for the entire development carried out. Subsequently, a detailed survey of the existing production processes was conducted, allowing for the identification of inefficiencies that were compromising produ...

Palavras Chave CNC, PVC, Planeamento da Produção, Melhoria Contínua, Simulação, Indústria 4.0

Tipo masterThesis

Revisão de Pares no

Coleções [ULF-FET] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2026-10-29T23:03:01Z com informação proveniente do Repositório

http://repositorio.ulusiada.pt

UNIVERSIDADE LUSÍADA
VILA NOVA DE FAMALICÃO

ESTUDO DO PROCESSO INDUSTRIAL DE UMA EMPRESA QUE SE DEDICA À PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO EM PVC

Pedro Miguel Silva Monteiro

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Vila Nova de Famalicão – julho 2025

UNIVERSIDADE LUSÍADA
VILA NOVA DE FAMALICÃO

ESTUDO DO PROCESSO INDUSTRIAL DE UMA EMPRESA QUE SE DEDICA À PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO EM PVC

Pedro Miguel Silva Monteiro

Orientadora: Professora Doutora Bruna Ramos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

AVISO LEGAL

O conteúdo desta tese reflete as perspetivas, o trabalho e as interpretações do autor no momento da sua entrega. Esta tese pode conter incorreções, tanto conceptuais como metodológicas, que podem ter sido identificadas em momento posterior ao da sua entrega. Por conseguinte, qualquer utilização dos seus conteúdos deve ser exercida com cautela. Ao entregar esta tese, o/a autor(a) declara que a mesma é resultante do seu próprio trabalho, contém contributos originais e são reconhecidas todas as fontes utilizadas, encontrando-se tais fontes devidamente citadas no corpo do texto e identificadas na secção referências. O autor, declara, ainda, que não divulga na presente tese quaisquer conteúdos cuja reprodução esteja vedada por direitos de autor ou de propriedade industrial.

Declaração sob compromisso de honra

(Artigo 6.º, n.º 2 das Normas e orientações para a submissão de trabalhos académicos na plataforma Urkund para deteção de similaridade e plágio)

Eu, abaixo assinado, tenho consciência de que a prática de plágio consiste numa forma de violação da integridade académica, constituindo um crime punível por lei com relevância nos regimes disciplinar, civil e criminal.

Nesse sentido, declaro por minha honra que a dissertação apresentada é original e que todas as fontes, incluindo as da minha autoria, estão devidamente identificadas e referenciadas.

Vila Nova de Famalicão, 25 de julho de 2025

O(A) Estudante

Pedro Miguel Silva Monteiro.

Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha mais profunda gratidão a todos os que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, um reconhecimento especial à minha noiva e futura esposa, Joana Pinto, pelo seu apoio incondicional, paciência e compreensão ao longo de todo este longo percurso.

Agradeço também à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão, pelo incentivo constante, pelos valores que me transmitiram e por estarem sempre presentes nos momentos mais importantes.

Um enorme agradecimento à empresa CAIXIAVE, onde tenho o privilégio de trabalhar há seis anos, pela confiança, pelas oportunidades de desenvolvimento profissional e pela colaboração, essencial para este projeto.

Um agradecimento enorme à minha orientadora, Professora Doutora Bruna Ramos, pela orientação dedicada, pela disponibilidade constante e pelas valiosas contribuições que foram fundamentais para a concretização desta dissertação.

Não poderia deixar de agradecer aos meus amigos, pelo companheirismo, pelas palavras de motivação nos momentos mais difíceis e por estarem sempre por perto, mesmo nos dias mais exigentes.

A todos, o meu sincero e sentido obrigado.

Resumo

A presente dissertação incide sobre o estudo do processo industrial de uma empresa dedicada à produção de materiais de construção em PVC, com especial ênfase na análise e melhoria do setor de corte CNC.

A investigação iniciou-se com uma fundamentação teórica, que serviu de base a todo o desenvolvimento realizado. Posteriormente, foi efetuado um levantamento pormenorizado dos processos produtivos existentes, permitindo identificar ineficiências que comprometiam a produtividade e a gestão da capacidade do setor em análise. Após a análise detalhada das operações, foram recolhidos tempos de atividade para cada função, de forma a adaptar o desenvolvimento de uma ferramenta que permite o planeamento formal de corte de materiais ao contexto real da empresa.

Para mitigar as limitações detetadas, foi desenvolvido um programa em Excel, capaz de estimar tempos de processamento por lote, calcular a taxa de ocupação das máquinas CNC e distribuir a produção pelos dias da semana, de acordo com as prioridades definidas pelo utilizador. Esta ferramenta considera parâmetros específicos dos equipamentos Schtec 320 e Schtec 360 utilizados no setor de corte da empresa e permite ao utilizador efetuar cálculos rápidos dos tempos médios por operação, planear cargas semanais e tomar decisões informadas sobre a afetação dos recursos produtivos.

Foram realizados ensaios experimentais para validação preliminar da ferramenta, cujos resultados derivam da comparação entre os tempos reais de produção e as estimativas geradas pelo programa, embora se verifiquem que os tempos indicados pelo planeamento formal são tipicamente superiores (entre 7% e 14% para perfis de aro e 2% e 7% nos perfis de folha), devido à consideração de valores médios para cálculo do mesmo, é permitido à empresa uma noção mais real do tempo de corte dos lotes, no entanto, denota-se a necessidade de uma análise mais aprofundada dos tempos recolhidos. Foi também adotado e testado em dois dos três lotes o sistema de agrupamento de obras por lote, demonstrando uma poupança de 125,64€ no lote do primeiro ensaio e de 41,88€ no segundo lote.

Este estudo representa um contributo importante para o setor e para a empresa, ao articular métodos de recolha de tempos com o desenvolvimento de ferramentas de apoio à tomada de decisão, apresentando propostas concretas de melhoria alinhadas com o estado da arte e ajustadas ao contexto específico da empresa selecionada para o caso de estudo.

Palavras-chave: Processos industriais, CNC, PVC, Planeamento da produção, Melhoria contínua, Apoio à decisão, Simulação, Indústria 4.0, Melhoria de processos.

Abstract

This dissertation focuses on the study of the industrial process of a company dedicated to the production of PVC construction materials, with particular emphasis on the analysis and improvement of the CNC cutting sector.

The research began with a theoretical foundation, which served as the basis for the entire development carried out. Subsequently, a detailed survey of the existing production processes was conducted, allowing for the identification of inefficiencies that were compromising productivity and capacity management in the sector under analysis. Following a thorough analysis of the operations, activity times were recorded for each function, in order to support the development of a tool that enables formal planning of material cutting tailored to the company's real context.

To mitigate the identified limitations, an Excel-based program was developed. This tool is capable of estimating processing times per batch, calculating the CNC machines' occupancy rate, and distributing production across the days of the week, according to user-defined priorities. The tool takes into account specific parameters of the Schtec 320 and Schtec 360 machines used in the company's cutting sector and enables users to quickly calculate average operation times, plan weekly workloads, and make informed decisions about the allocation of production resources.

Experimental trials were carried out for preliminary validation of the tool. The results were based on comparisons between actual production times and the estimates generated by the program. Although the times indicated by the formal planning tool were typically higher (between 7% and 14% for frame profiles, and 2% and 7% for sash profiles), due to the use of average values in the calculations, the company was provided with a more realistic notion of the actual batch cutting times. However, the need for a more in-depth analysis of the collected time data was noted. Additionally, a system of grouping jobs by batch was adopted and tested in two out of the three batches, demonstrating material savings of €125.64 in the first batch and €41.88 in the second batch.

This study represents a significant contribution to the sector and to the company by combining time data collection methods with the development of decision-support tools, presenting concrete improvement proposals aligned with the state of the art and tailored to the specific context of the company selected for this case study.

Keywords: Industrial processes, CNC, PVC, Production planning, Continuous improvement, Decision support, Simulation, Industry 4.0, Process improvement.

Índice geral

Resumo iv

Abstract v

Índice de tabelas ix

Índice de figuras xi

Lista de abreviaturas xiv

1. Introdução 1

1.1. Enquadramento e motivação 1

1.2. Objetivos propostos 2

1.3. Metodologia de investigação 3

1.4. Organização da dissertação 6

2. Fundamentação teórica 8

2.1. *Lean manufacuring* e melhoria contínua 8

2.2. Indústria 4.0 10

2.3. Sistemas de apoio à tomada de decisão 12

2.4. *Computer Numerical Control* 13

2.5. Planeamento e Controlo da Produção 15

2.5.1. Taxa de ocupação 16

2.5.2. Recolha de tempos 18

2.6. Método ABC 20

3. Caracterização da empresa 21

3.1. Apresentação da empresa 21

3.2. Principal material trabalhado pela empresa 23

3.3. Séries de produtos 24

3.4. *Layout* produtivo 31

3.4.1. Lacagem (A) 32

3.4.2. Película (B) 33

3.4.3. Separação de perfis (C) 34
3.4.4. Setor de corte CNC (D) 34
3.4.5. Soldadura (E) 35
3.4.6. Linhas de produção (F) 36
3.4.7. Corte de bites (G) 38
3.4.8. Perfis suplementares (H) 38
3.4.9. Expedição (I) 39
3.5. Descrição comercial 39
3.5.1. Canal de venda direta 40
3.5.2. Canal de revenda 41
4. Análise da situação atual 45
4.1. Processo atual de planeamento 45
4.2. Descrição do parque CNC 48
4.3. Análise documental das instruções de trabalho 56
4.3.1. Instruções de trabalho para CNC Schtec 320 56
4.3.2. Restantes instruções de trabalho 58
4.4. Registo de tempos do processo produtivo do setor de corte 59
4.4.1. Abastecimento da máquina 62
4.4.2. Corte e maquinagem das peças 66
4.4.3. Colocação de reforço 72
4.4.4. Aparafusamento 77
4.4.5. Furação das peças 82
4.4.6. Distribuição pelos carros de transporte 86
4.5. Problemas identificados no processo de corte CNC 89
5. Apresentação e análise das propostas de melhoria 94
5.1. Reestruturação do setor de planeamento 94
5.2. Explicação do processo de utilização da ferramenta de simulação 98
5.2.1. Interface 101

5.2.2. Planeamento Schtec 320 e Shtec 360 102
5.2.3. Schtec 320 e Schtec 360 104
5.2.4. Base de dados 107
5.3. Síntese de melhorias a implementar 108
6. Validação da ferramenta proposta e análise de benefícios 111
6.1. Validação de tempos de corte 111
6.1.1. 1º Ensaio 111
6.1.2. 2º Ensaio 114
6.1.3. 3º Ensaio 116
6.2. Redução do consumo de material 118
6.3. Planeamento formal do setor de corte CNC 120
6.4. Análise crítica dos resultados 122
7. Conclusões e trabalho futuro 123
Referências bibliográficas 127

Índice de tabelas

TABELA 1 - ALGUMAS CONFIGURAÇÕES POSSÍVEIS DA SÉRIE W70 25
TABELA 2 - TABELA DESCRITIVA DA SÉRIE SMART-SLIDE 29
TABELA 3 - TABELA DESCRITIVA DA SÉRIE OSCILO-PARALELA 29
TABELA 4 - TABELA DESCRITIVA DA SÉRIE GUILHOTINA 30
TABELA 5 - DISTRIBUIÇÃO DAS SÉRIES PELAS CNC QUE COMPÕEM O SETOR DE CORTE CNC 49
TABELA 6 -TEMPOS, EM SEGUNDOS, DE ABASTECIMENTO RELATIVOS A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC SCHTEC 320. 64
TABELA 7 – TEMPOS, EM SEGUNDOS, DE ABASTECIMENTO RELATIVOS A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC SCHTEC 360 65
TABELA 8 - TEMPOS, EM SEGUNDOS, DE CORTE POR PEÇA E BARRA RELATIVA A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC SCHTEC 320 69
TABELA 9 - TEMPOS, EM SEGUNDOS, DE CORTE POR PEÇA E BARRA RELATIVA A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC SCHTEC 360 71
TABELA 10 - TEMPOS, EM SEGUNDOS, DE COLOCAÇÃO DE REFORÇO POR PEÇA RELATIVA A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC 320 74
TABELA 11 - TEMPOS, EM SEGUNDOS, DE COLOCAÇÃO DE REFORÇO POR PEÇA RELATIVA A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC 360 76
TABELA 12 - TEMPOS, EM SEGUNDOS, DE APARAFUSAMENTO DE REFORÇO POR PEÇA RELATIVA A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC SCHTEC 320 79
TABELA 13 - TEMPOS, EM SEGUNDOS, DE APARAFUSAMENTO DE REFORÇO POR PEÇA RELATIVA A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC SCHTEC 360 81
TABELA 14 – TEMPOS, EM SEGUNDOS, DE FURAÇÃO POR PEÇA RELATIVA A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC SCHTEC 320 85
TABELA 15 – TEMPOS, EM SEGUNDOS, DE FURAÇÃO POR PEÇA RELATIVA A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC SCHTEC 360 86
TABELA 16 – TEMPOS, EM SEGUNDOS, DE DISTRIBUIÇÃO POR PEÇA RELATIVA A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC SCHTEC 320 88
TABELA 17 - TEMPOS DE DISTRIBUIÇÃO POR PEÇA RELATIVOS A CADA PERFIL NA MÁQUINA CNC SCHTEC 360 89
TABELA 18 - CONJUNTO DE INEFICIÊNCIAS IDENTIFICADAS NO PROCESSO PRODUTIVO DE CORTE CNC. 92
TABELA 19 - SÍNTESE DAS INEFICIÊNCIAS DETETADAS E RESPETIVAS PROPOSTAS DE MELHORIA 109
TABELA 20 - CARACTERIZAÇÃO DO LOTE SELECIONADO PARA O PRIMEIRO ENSAIO 111
TABELA 21 - TEMPOS REAIS E PREVISTOS DO LOTE G131 (H:MIN:SEG) 113
TABELA 22 - CARACTERIZAÇÃO DO LOTE SELECIONADO PARA O SEGUNDO ENSAIO 114
TABELA 23 - TEMPOS REAIS E PREVISTOS DO LOTE G176 (H:MIN:SEG) 116
TABELA 24 - CARACTERIZAÇÃO DO LOTE SELECIONADO PARA O TERCEIRO ENSAIO 116

TABELA 25 - TEMPOS REAIS E PREVISTOS DO LOTE A113300 (H:MIN:SEG)..... 118
TABELA 26 - CONSUMO DE BARRAS DAS OBRAS QUANDO PROCESSADAS INDIVIDUALMENTE..... 119
TABELA 27 - COMPARAÇÃO ENTRE O CONSUMO DAS REFERÊNCIAS 15XX03 E 15XX20 QUANDO PROCESSADAS POR LOTE OU INDIVIDUALMENTE..... 119
TABELA 28 - CONSUMO DE BARRAS DAS OBRAS QUANDO PROCESSADAS INDIVIDUALMENTE..... 119
TABELA 29 - COMPARAÇÃO ENTRE O CONSUMO DAS REFERÊNCIAS 15XX03 E 15XX20 QUANDO PROCESSADAS POR LOTE OU INDIVIDUALMENTE..... 120

Índice de figuras

FIGURA 1 - COMPLEXO PRODUTIVO DO GRUPO CAIXIAVE E ACWIN 21
FIGURA 2 -DISTRIBUIÇÃO DO MERCADO DE JANELAS E PORTAS POR TIPO DE MATERIAL (2024), ADAPTADO DE CERESANA MARKET RESEARCH (2025) 24
FIGURA 3 - SÉRIE W70 25
FIGURA 4 - SÉRIE W70 PLUS 26
FIGURA 5 - SÉRIE 76, NEO OU NEO+ 26
FIGURA 6 - SÉRIE C70 27
FIGURA 7 - SÉRIE C80 27
FIGURA 8 - SÉRIE C96 28
FIGURA 9 - SÉRIE ELEVADORA CORREDORA 28
FIGURA 10 - CAIXA DE ESTORE E POSSÍVEIS MEDIDAS 31
FIGURA 11 - LAYOUT PRODUTIVO CAIXIAVE 32
FIGURA 12 - CABINES DE PINTURA (LACAGEM) 33
FIGURA 13 - MÁQUINAS DE PASSAR PELICULA (PELICULA) 33
FIGURA 14 - ARMAZÉM VERTICAL AUTOMÁTICO (SEPARAÇÃO DE PERFIL) 34
FIGURA 15 - MÁQUINA DE CORTE CNC, SCHTEC 320 35
FIGURA 16 - MÁQUINA DE SOLDAR AUTOMÁTICA DE QUATRO CABEÇAS, GRAF (SOLDADURA) 36
FIGURA 17 - LINHA Nº2 DE PRODUÇÃO 37
FIGURA 18 - MÁQUINA DE CORTE DE BITES 38
FIGURA 19 - SETOR DE CORTE DE PERFIS SUPLEMENTARES 38
FIGURA 20 - CAIS DE CARGA 39
FIGURA 21 - PROCESSO DE ENCOMENDA DOS CLIENTES DE VENDA DIRETA OU PARTICULARES 40
FIGURA 22 - PROCESSO DE ENCOMENDA DOS CLIENTES DE REVENDA 42
FIGURA 23 - FOLHA DE ROSTO DO DOCUMENTO PRODUTIVO 46
FIGURA 24 - CONSUMO DE PERFIS AO DE JANEIRO A DEZEMBRO DE 2024 50
FIGURA 25 - MAPEAMENTO DE PROCESSO DA CNC EM SCHTEC 320 52
FIGURA 26 - MAPEAMENTO DE PROCESSO DA CNC EM SCHTEC 360 54
FIGURA 27 - INSTRUÇÕES DE TRABALHO DA MÁQUINA CNC SCHTEC 320 57
FIGURA 28 – ESQUEMA OPERACIONAL DO PROCESSO DE CORTE CNC 59
FIGURA 29 - GRÁFICO DE ATIVIDADES RELATIVO ÀS CNC SCHTEC 320 E 360 PARA PERFIS DE AROS (N14XX07 E 15XX03) 60
FIGURA 30 - GRÁFICO DE ATIVIDADES RELATIVO ÀS CNC SCHTEC 320 E 360 PARA PERFIS DE FOLHA (N14XX20 E 15XX20) 61
FIGURA 31 - TAPETE DE ABASTECIMENTO DA MÁQUINA SCHTEC 320 63
FIGURA 32 - TAPETE DE ABASTECIMENTO DA CNC SCHTEC 360 63

FIGURA 33 - FERRAMENTAS DE CORTE E MECANIZAÇÃO DA CNC SCHTEC 320 67
FIGURA 34 - FERRAMENTAS DE CORTE E MECANIZAÇÃO DA CNC SCHTEC 360 67
FIGURA 35 - PEÇAS DERIVADAS DO PROCESSAMENTO DE CORTE CNC. 68
FIGURA 36 - MÓDULO DE SAÍDA DAS PEÇAS DE PERFIL E ZONA DE COLOCAÇÃO DE REFORÇO 72
FIGURA 37 - CARROS DE FORNECIMENTO DE REFORÇO PARA AS CNC SCHTEC 320 E SCHTEC 360 73
FIGURA 38 - MÁQUINA MANUAL DE APARAFUSAMENTO DE REFORÇO QUE COMPLEMENTA A SCHTEC 320 78
FIGURA 39 - MÓDULO DE APARAFUSAMENTO AUTOMÁTICO CNC SCHTEC 360 78
FIGURA 40 - MÓDULO DE FURAÇÃO MANUAL SCHTEC 320 83
FIGURA 41 - MÓDULO DE FURAÇÃO AUTOMÁTICO CNC SCHTEC 360 83
FIGURA 42 - REPRESENTAÇÃO EXEMPLIFICATIVA DA BROCA 84
FIGURA 43 - MÁQUINA DE FURAÇÃO MANUAL DE APOIO À MÁQUINA CNC SCHTEC 360 84
FIGURA 44 - CARRO DE TRANSPORTE 87
FIGURA 45 - PROBLEMAS IDENTIFICADOS PARA FALTA DE APROVEITAMENTO DO TEMPO DE ATIVIDADE DA MÁQUINA CNC 90
FIGURA 46 - LISTAGEM DE CONSUMO DE PERFIS, CONTENDO DETALHES COMO DESCRIÇÃO, COR, COMPRIMENTO E QUANTIDADE DE MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A PRODUÇÃO 95
FIGURA 47 - SOFTWARE DESENVOLVIDO PARA AUXÍLIO DA EXECUÇÃO DO PLANEAMENTO E DIVISÃO DOS LOTES 96
FIGURA 48 - EXPLICAÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA 98
FIGURA 49 -AGRUPAMENTO DAS ENCOMENDAS DE DIFERENTES OBRAS POR LOTE 99
FIGURA 50 - LOTE DE PRODUÇÃO 99
FIGURA 51 - MENU DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA 101
FIGURA 52 - FOLHA DE PLANEAMENTO SEMANAL DA MÁQUINA CNC SCHTEC 320/ SCHTEC 360, TABELA DE CÁLCULO DA TAXA DE OCUPAÇÃO 102
FIGURA 53 - FOLHA DE PLANEAMENTO SEMANAL DA MÁQUINA CNC SCHTEC 320/ SCHTEC 360, TABELA DE DISTRIBUIÇÃO DE LOTES POR DIAS DA SEMANA 103
FIGURA 54 - PÁGINA DE SIMULAÇÃO DE TEMPO DE CORTE POR LOTE NA MÁQUINA SCHTEC 320 105
FIGURA 55 - TABELAS DE REPRESENTAÇÃO DAS MÉDIAS POR PEÇA/BARRA DE CADA OPERAÇÃO 107
FIGURA 56 - TEMPOS DE OPERAÇÃO DO LOTE G131 PARA O PERFIL 15XX03 (H:MIN:SEG).. 112
FIGURA 57 - TEMPOS DE OPERAÇÃO DO LOTE G131 PARA O PERFIL 15XX20 (H:MIN:SEG).. 113
FIGURA 58 - TEMPOS DE OPERAÇÃO DO LOTE G176 PARA O PERFIL 15XX03 EM (H:MIN:SEG) 114

FIGURA 59 - TEMPOS DE OPERAÇÃO DO LOTE G176 PARA O PERFIL 15XX20 EM (H:MIN:SEG) 115
FIGURA 60 - TEMPOS DE OPERAÇÃO DO LOTE A113300 PARA O PERFIL N14XX07 (H:MIN:SEG) 117
FIGURA 61 - TEMPOS DE OPERAÇÃO DO LOTE A113300 PARA O PERFIL N14XX20 EM (H:MIN:SEG) 117
FIGURA 62 - DISTRIBUIÇÃO DOS LOTES ANALISADOS POR UM DIA DA SEMANA (SEGUNDA-FEIRA) 120
FIGURA 63 - DISTRIBUIÇÃO DOS LOTES PELO DIA DE TRABALHO (SEGUNDA-FEIRA), DE ACORDO COM A ORDEM DE DISTRIBUIÇÃO 121
FIGURA 64 - IMAGEM REPRESENTATIVA DO PDF GERADO COM O PLANEAMENTO DIÁRIO DA MÁQUINA SCHTEC 320 121

Lista de abreviaturas

ABC – *Activity Based Costing*

CAE – Código de Atividade Económica

CNC – Controlo Numérico Computadorizado

ERP – *Enterprise Resource Planning*

JIT – *Just In Time*

MRP – *Material Requirements Planning*

MTM – *Methods Time Measurement*

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

PVC – Policloreto de vinilo

SAD – Sistemas de Apoio à Decisão

SI – Sistemas de Informação

TPM – *Total Productive Maintenance*

uPVC – Policloreto de vinilo não plastificado

VSM – *Value Stream Mapping*

1. Introdução

Neste primeiro capítulo é realizada uma breve introdução para enquadramento do projeto proposto em contexto industrial. São apresentados o enquadramento e a motivação para a implementação do projeto, os principais objetivos a alcançar, assim como a metodologia utilizada para o seu desenvolvimento.

1.1. Enquadramento e motivação

O projeto enquadra-se no âmbito da dissertação em Engenharia e Gestão Industrial no *campus* de Vila Nova de Famalicão da Universidade Lusíada. Desta forma, a presente dissertação, destina-se à análise do processo industrial de uma empresa do setor de materiais de construção (CAIXAIVE), mais concretamente caixilharia em uPVC (Policloreto de vinilo não plastificado), com especial ênfase na subsequente melhoria do setor de corte CNC (Controlo Numérico Computadorizado).

Para o caso de estudo desta dissertação, foi selecionada a empresa CAIXIAVE, esta labora sob o Código de Atividade Económica (CAE) 22230 - Fabrico de artigos de plástico para a construção e foi fundada em 1993 pelos engenheiros Luís Sá, Carlos Sá e pelo Dr. Artur Leite, atuando neste momento no fabrico de janelas e portas em uPVC.

Com a necessidade crescente de manter altos níveis de competitividade e de controlo das atividades associadas à gestão operacional, é necessário efetuar uma análise profunda sobre o processo produtivo, para averiguar a possibilidade de existência de alguns processos operacionais passíveis de melhoria. Para esse efeito deve ser efetuada uma análise desde o início da cadeia produtiva de forma a ser possível propor melhorias, e permitindo a tomada de decisões mais fundamentadas no processo de planeamento de corte da empresa CAIXIAVE. Estas melhorias têm o objetivo de permitir uma melhor gestão da capacidade produtiva e dos recursos associados a este processo. Para isso será necessário efetuar uma análise completa aos parâmetros e variáveis do referido processo para que possam ser definidas melhorias adequas à realidade inserida no caso de estudo. O controlo contínuo destas variáveis, torna possível a identificação de oportunidades de melhoria dos postos de trabalho que compõem o setor de corte CNC, redução dos custos desta atividade diária, a garantia do cumprimento das expectativas da componente comercial e da responsabilidade ambiental da empresa.

1.2. Objetivos propostos

Na atualidade, o aumento da produtividade, a redução de tempos de inatividade e de preparação de *setup* aliados ao cumprimento de padrões de qualidade constituem objetivos fundamentais para todas as empresas. Para alcançar estes resultados e reforçar a competitividade no setor industrial, muitas dessas entidades, procuram a automatização de diversos processos, recorrendo a tecnologias, como por exemplo a tecnologia CNC. A empresa em estudo, devido a uma reestruturação de *layout* irá aumentar a sua capacidade de produção, pelo que se torna essencial efetuar uma gestão eficiente dos recursos. De forma mais específica espera-se atingir os seguintes objetivos gerais:

- Realizar uma revisão da literatura sobre metodologias de gestão e melhorias de processo, com foco em abordagens de melhoria contínua, transformação digital, tecnologias de apoio à tomada de decisão, conceitos associados ao planeamento e controlo da produção, entre outros;
- Análise do processo de produção e distribuição de caixilharia uPVC não *standard*;
- Estudo dos tempos, para melhoria da gestão dos fluxos e matérias da estrutura produtiva em análise;
- Identificação de processos que necessitam de um melhor planeamento de fluxos e recursos produtivos;
- Apresentação de proposta de melhoria;
- Validação da proposta de melhoria;
- Análise crítica da proposta implementada;
- Proposta de trabalhos futuros para melhoria contínua do processo operacional da empresa.

Assente no princípio da melhoria contínua, o desenvolvimento desta dissertação incide na análise do processo produtivo de uma empresa, com o objetivo de identificar oportunidades de melhoria que, ainda que concretizadas através de alterações de pequena escala, possibilitem, a longo prazo, a construção de um sistema mais eficiente e sustentável. Esta abordagem procura não apenas incrementar a produtividade, mas também promover a redução de desperdícios, a criação de um ambiente operacional mais ágil e capaz de se adaptar às exigências dinâmicas do mercado.

Neste contexto, o objetivo central do presente trabalho consiste no estudo aprofundado de um setor que constitui uma componente essencial do processo produtivo da empresa: o setor de corte CNC. Assim, procede-se à análise detalhada do fluxo

produtivo associado a este setor, de forma a compreender de que modo os seus recursos, operações e sequências podem ser geridos com maior eficiência, assegurando a capacidade de resposta ao aumento de produção previsto. Esta análise permitirá, igualmente, identificar possíveis bloqueios e oportunidades de reorganização para o reforço do desempenho global da empresa.

1.3. Metodologia de investigação

Este estudo fundamenta-se numa análise de referências bibliográficas, com o objetivo de adquirir e consolidar conceitos fundamentais para a gestão eficiente de fluxos e recursos ao longo do processo produtivo. Para garantir uma adequada articulação entre os conceitos teóricos e processo operacional, adotar-se-á a metodologia de investigação-ação, a qual proporciona uma abordagem prática e reflexiva ao longo do desenvolvimento do estudo.

A presente investigação adota uma abordagem dedutiva, a qual se distingue da abordagem indutiva pela sua estrutura metodológica. A investigação inicia-se com a seleção de uma teoria pertinente ao tema em estudo, testando posteriormente as suas implicações através da análise de dados empíricos. Assim, a abordagem dedutiva evolui de um nível geral para um nível mais específico, sendo amplamente utilizada na investigação científica. Neste contexto, o investigador examina teorias e estudos prévios relacionados com o fenómeno em análise, formula hipóteses e testa-as com base em dados empíricos (Salah, 2024).

O presente projeto será desenvolvido em conformidade com as cinco fases características da abordagem dedutiva:

Teoria: Os sistemas de apoio à tomada de decisão contribuem para a melhoria da eficiência produtiva.

Hipóteses: A aplicação dos sistemas de apoio à tomada de decisão, contribuem, de forma eficaz, no controlo e planeamento do corte CNC na empresa utilizada como estudo de caso.

Recolha de Dados: Dados operacionais do setor de corte CNC da empresa utilizada para caso de estudo.

Análise: Utilização de estatísticas descritivas e exploratórias.

Conclusão: Avaliação dos resultados e propostas de melhoria.

A teoria adotada fundamenta-se nos Sistemas de Apoio à Tomada de Decisão, com foco no desenvolvimento de um sistema que possibilite o controlo e planeamento formal das necessidades do setor de corte CNC, sistema que até à data é inexistente. A implementação desta ferramenta, que incorporará variáveis e parâmetros específicos do contexto operacional da CAIXIAVE, será acompanhada de testes rigorosos e subsequente análise dos resultados obtidos. Caso sejam identificadas necessidades de melhoria, o processo será reiterado, em conformidade com os princípios da abordagem dedutiva e os requisitos necessários para a sua implementação.

As estatísticas descritivas desempenham um papel essencial na investigação académica, proporcionando métodos eficazes para a recolha e análise de dados provenientes de diversos domínios. O avanço das técnicas estatísticas e das ferramentas computacionais ou simulação tem permitido uma interpretação mais precisa dos dados, possibilitando a tomada de decisões fundamentadas. Além disso, estas estatísticas assumem particular relevância na formulação de hipóteses e na análise exploratória (Alabi & Bukola, 2023).

No decurso da análise de dados, o investigador poderá recorrer a uma abordagem exploratória para determinar os métodos mais adequados de recolha de dados, definir estratégias eficazes para análise dos parâmetros das máquinas e delinear questões de investigação pertinentes. Os estudos exploratórios constituem frequentemente uma etapa preliminar essencial para aprofundar a compreensão do fenómeno em análise e obter informações relevantes sobre as máquinas, contribuindo para a estruturação de investigações futuras mais robustas (Alabi & Bukola, 2023).

Considerando que, na empresa em análise, não existe qualquer registo de um estudo desta natureza, torna-se fundamental a definição dos parâmetros a serem analisados, permitindo a quantificação e identificação de padrões de desempenho para posterior melhoria. Neste contexto, a abordagem metodológica mais apropriada é a caracterização exploratória e descritiva, dado que possibilita uma análise detalhada dos dados, promovendo uma compreensão aprofundada dos padrões de desempenho e facilitando a implementação de melhorias.

A opção pelo estudo de caso justifica-se pela necessidade de realizar uma análise aprofundada e detalhada das ferramentas CNC utilizadas no processo produtivo da CAIXIAVE, constituindo este o foco central do presente projeto. O estudo de caso caracteriza-se como uma investigação empírica que examina um fenómeno contemporâneo

no seu contexto real, especialmente quando as fronteiras entre o fenómeno e o contexto não estão claramente definidas (Sena, 2023).

Para a recolha e análise de dados, recorrer-se-á à investigação documental, que permitirá explorar o conhecimento existente a partir de documentos internos da empresa, tais como descrições identificativas dos postos de trabalho. A investigação documental assenta na recolha e análise de informações contidas em documentos previamente disponíveis, com o objetivo de compreender um determinado fenómeno. A metodologia utilizada para a análise destes documentos é designada por "método de análise documental" (Kripka et al., 2015)

A realização de experiências introdutórias assume um papel fundamental na mitigação dos riscos inerentes à implementação de experiências em larga escala. Estas experiências preliminares visam colmatar lacunas de conhecimento identificadas na formulação do problema, permitindo a identificação de variáveis críticas para o estudo (Risan et al., 2024). No presente caso, a experimentação será integrada através da realização de testes programados à ferramenta desenvolvida, com o intuito de validar o cálculo da taxa de ocupação do equipamento e controlar as horas de funcionamento.

A investigação-ação constitui a metodologia central deste estudo, orientando-se por dois objetivos fundamentais: a resolução de problemas práticos e a contribuição para o avanço do conhecimento científico. Esta abordagem distingue-se pela relação entre a tomada de ação e a reflexão sistemática sobre um problema, promovendo um envolvimento ativo do investigador no processo de investigação. Contrariamente às metodologias meramente observacionais, a investigação-ação exige que o investigador atue diretamente sobre o problema, ajustando continuamente a sua interpretação com base em novas informações adquiridas ao longo da pesquisa. Assim, esta metodologia possibilita uma análise contínua das causas e efeitos, promovendo mudanças em diferentes níveis da organização ou contexto em análise (Coughlan & Coghlan, 2002).

A investigação-ação segue princípios éticos rigorosos, valorizando a colaboração entre os participantes e promovendo uma relação respeitosa e coerente entre todos os envolvidos. Para além disso, combina diferentes tipos de dados, qualitativos e quantitativos, obtidos por meio de técnicas como investigação *in loco*, entrevistas e observação em tempo real, frequentemente integrando os membros da organização no processo investigativo. Esta metodologia assenta num ciclo contínuo de autorreflexão, estruturado em quatro etapas fundamentais: planeamento, ação, observação e reflexão. Este ciclo incentiva os participantes a analisarem criticamente o seu próprio processo de

trabalho, com principal foco na melhoria contínua do desempenho organizacional (Semathong, 2023).

Deste modo, a presente investigação desenvolve-se num processo cíclico que integra pesquisa, análise, implementação e reflexão sobre os resultados obtidos, permitindo a identificação de oportunidades de melhoria e contribuindo para o avanço do conhecimento na área em estudo com especial foco na empresa selecionada para estudo de caso.

1.4. Organização da dissertação

A presente dissertação está organizada, em 6 capítulos, de forma a assegurar uma leitura clara, lógica e progressiva, permitindo a compreensão não apenas dos fundamentos teóricos do estudo, mas também a sua aplicação prática no contexto industrial analisado. A estrutura escolhida visa acompanhar o percurso metodológico seguido, desde a contextualização inicial até às conclusões finais, assegurando uma exposição coerente e articulada dos diversos conteúdos.

No primeiro capítulo, é apresentada a introdução ao trabalho, incluindo o enquadramento e a motivação para a realização do estudo, os objetivos definidos, a metodologia de investigação adotada e a explicação sobre a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo, aborda a fundamentação teórica, onde são explorados os principais conceitos e teorias que sustentam o desenvolvimento do trabalho, tais como *Lean Manufacturing*, Indústria 4.0, Sistemas de Apoio à Decisão, Controlo Numérico Computadorizado (CNC), Planeamento e Controlo da Produção, entre outros.

No terceiro capítulo, é feita a caracterização da empresa selecionada para o estudo de caso, detalhando o seu histórico, produtos, processos produtivos e *layout*, com especial foco no sector de corte CNC.

O quarto capítulo apresenta a análise da situação atual, onde se descrevem os processos existentes referentemente aos setores de planeamento e corte CNC, identificam-se ineficiências e recolhem-se dados operacionais essenciais para a investigação.

O quinto capítulo contém a apresentação e análise das propostas de melhoria identificadas, incluindo o desenvolvimento da ferramenta de simulação para apoio ao planeamento e gestão do sector de corte CNC.

Procede-se ainda à validação da ferramenta desenvolvida, no capítulo seis, através de ensaios, discutem-se os resultados obtidos e analisa-se possibilidades de melhoria à

ferramenta desenvolvida. São ainda apresentadas as conclusões relativas à ferramenta desenvolvida, destacando-se o impacto potencial da sua implementação no contexto produtivo da empresa.

No capítulo sete, são identificados e descritos os trabalhos futuros que poderão permitir à empresa evoluir no seu contexto operacional assim como estão apresentadas as principais conclusões relativas ao projeto desenvolvido.

Esta organização procura garantir uma abordagem completa, rigorosa e estruturada ao tema em análise, assegurando que cada etapa do trabalho contribui para o cumprimento dos objetivos definidos.

2. Fundamentação teórica

Neste capítulo, serão definidos os conceitos teóricos fundamentais que irão servir de suporte para o desenvolvimento do projeto. Estes foram selecionados com base na pertinência e adequação ao tema em questão.

2.1. *Lean manufacuring* e melhoria contínua

O *Lean Manufacturing*, enquanto filosofia de gestão originária do Sistema Toyota de Produção, tem como objetivo central a maximização do valor acrescentado através da eliminação de atividades que não contribuem para o valor do produto final, alinhando-se assim com as necessidades de flexibilidade e personalização características da produção contemporânea.

Para o desenvolvimento de ferramentas alinhadas com os princípios do *Lean* 4.0, é fundamental compreender as ferramentas tradicionais, nomeadamente:

A filosofia *Just-In-Time* (JIT), é conhecida pela sua utilização no sistema de produção da Toyota, consiste em manter um inventário nulo em que apenas é produzido o necessário para satisfazer o pedido do cliente sem armazenamento intermédio antes da entrega (Sanders et al., 2016).

Kanban, é um sistema que auxilia no controlo dos níveis de inventário. Este pode ser adequado para manter de forma ajustada os níveis de inventário de matérias-primas, componentes, produtos em vias de fabrico e produto acabado (Kolberg & Zühlke, 2015).

Total Productive Maintenance (TPM), é uma abordagem inovadora de manutenção que otimiza a eficácia dos equipamentos, elimina avarias e promove a manutenção autónoma pelos operadores através de atividades diárias envolvendo toda a força de trabalho (R. Singh et al., 2013).

Kaizen, a palavra *kaizen* em japonês significa simplesmente “boa mudança” ou “melhoria”. Trata-se de um conjunto de práticas que se concentram na melhoria contínua da qualidade dos processos. (Knechtges & Decker, 2014).

A integração com a Indústria 4.0 surge como um catalisador da integração de sistemas informáticos com estes princípios. A informatização, permite a análise em tempo real de dados operacionais, transformando ferramentas *Lean* em sistemas dinâmicos e adaptativos com auxílio, por exemplo de ferramentas como *Big Data Analytics*, que é o processo de examinar grandes volumes de dados para descobrir padrões ocultos,

correlações e *insights* que ajudam na tomada de decisões rápidas e informadas (Sadiku et al., 2020)

A abordagem *Lean* 4.0, tal como proposta por Valamede & Akkari (2020), não se limita à eficiência operacional. A sustentabilidade é outro pilar do *Lean* tradicional, beneficia da redução de desperdícios energéticos e materiais. Por exemplo, a simulação digital de tempos de corte, alimentada por dados históricos, permite testar cenários de melhoria sem interromper a produção, alinhando-se com o conceito de *Kaizen* (melhoria contínua) mas com uma escala e precisão inatingíveis manualmente (Sanders et al., 2016).

A melhoria contínua constitui um elemento fundamental para as organizações que pretendem manter-se competitivas num mercado global cada vez mais exigente. Enraizada na filosofia *Kaizen*, que significa "melhoria constante" (J. Singh & Singh, 2009). Esta abordagem assenta na premissa de que pequenas melhorias constantes resultam em melhorias significativas a longo prazo.

No contexto industrial contemporâneo, onde a qualidade, eficiência e eficácia se assumem como fatores determinantes para o sucesso, a implementação de práticas de melhoria contínua revela-se particularmente relevante. A aplicação sistemática de ferramentas que auxiliam na resolução de problemas, permitem alcançar resultados tangíveis, nomeadamente na rápida identificação de causas-raiz de problemas e no aumento substancial da produtividade (Costa, 2020).

Segundo Sanchez e Blanco (2014), estes métodos identificaram a implementação e as metodologias como os temas mais abordados nos estudos sobre melhoria contínua.

A metodologia *Kaizen* engloba um conjunto diversificado de ferramentas e técnicas orientadas para a otimização de processos. Entre as mais relevantes realçam-se:

- 5 Porquês: técnica eficaz para identificar causas-raiz de problemas, que consiste em repetir a pergunta 'porquê?' cinco vezes para revelar a natureza do problema e a sua solução (Card, 2017) ;
- Poka-Yoke, que recorre a mecanismos para prevenir defeitos, implementando inspeções aos produtos nas diferentes fases de produção, complementando com tomada de ações corretivas e preventivas (Shingo, 1986) ;
- O diagrama de causa e efeito é uma ferramenta visual que organiza, as possíveis causas de um problema específico, facilitando a identificação das raízes do problema para apoiar a tomada de decisão e a melhoria da qualidade (Hekmatpanah, 2011);

- PDCA, (Plan, Do, Check, Act) é uma metodologia de gestão da qualidade direcionada para a melhoria contínua de processos, por meio de um ciclo sistemático de planeamento, execução, verificação e ação corretiva (Taufik, 2020);

A implementação bem-sucedida de sistemas de melhoria contínua exige um compromisso organizacional transversal a todos os níveis hierárquicos. Esta perspetiva identifica os recursos humanos como o terceiro tema mais relevante na literatura especializada, sublinhando a importância crucial da motivação, formação e participação ativa de todos os colaboradores no processo de melhoria contínua (Sanchez & Blanco, 2014).

Em sectores industriais, a aplicação destas ferramentas tem demonstrado vantagens significativas, permitindo a redução de tempos de inatividade, a minimização de desperdícios de materiais, o aumento da qualidade do produto final e a melhoria da satisfação dos clientes (Costa, 2020). Nos casos analisados, a combinação do PDCA com ferramentas complementares como os "5 Porquês" e o diagrama de Ishikawa permitiu não apenas resolver problemas específicos, mas também implementar melhorias sustentáveis nos processos.

Em síntese, a melhoria contínua representa muito mais do que um simples conjunto de ferramentas, descreve-se como uma autêntica filosofia de gestão que, quando adequadamente implementada, traduz-se em ganhos tangíveis a nível da produtividade, qualidade e competitividade organizacional. O estudo de Sanchez & Blancoreforça esta conceção, destacando que a adaptação contínua e o envolvimento de todos os níveis hierárquicos se constituem como elementos essenciais para o sucesso sustentado das organizações no longo prazo.

2.2. Indústria 4.0

A Indústria 4.0, também conhecida como "Quarta Revolução Industrial", representa uma mudança estrutural sem precedentes nos sistemas de produção e gestão industrial, resultante da convergência entre tecnologias digitais, físicas e biológicas. A sua origem remonta à iniciativa promovida pelo governo alemão, conceito publicamente apresentado na Feira de Hannover em 2011. Este novo paradigma é caracterizado pela integração de sistemas computacionais e físicos, pela utilização extensiva da "Internet das Coisas", pela análise de grandes volumes de dados e pela conectividade inteligente entre máquinas,

sistemas, produtos e operadores humanos (Galar Pascual et al., 2020;Neto & Romero, 2023).

A Indústria 4.0 distingue-se das revoluções industriais anteriores pelo grau de autonomia, adaptabilidade e inteligência dos sistemas produtivos. Os sistemas computacionais e físicos desempenham um papel central neste ecossistema, conectando o mundo físico com o mundo digital através de simuladores, sensores, algoritmos e plataformas de comunicação em rede. Estes sistemas permitem a monitorização e controlo em tempo real de processos de produção, promovendo decisões descentralizadas com base em dados dinâmicos, contribuindo assim para a eficiência, flexibilidade e customização em massa dos produtos (Neto & Romero, 2023).

Neste novo modelo industrial, o papel do operador humano também é redesenhado: surge o conceito de "operador 4.0", apoiado por interfaces digitais e ferramentas de assistência que potenciam a sua capacidade de decisão e intervenção em ambientes altamente automatizados. A interligação entre homem e máquina torna-se bidirecional e contínua, permitindo uma colaboração em tempo real (Pascual et al., 2020).

Paralelamente, a Indústria 4.0 não se limita à vertente tecnológica. Ela introduz transformações profundas ao nível dos modelos de negócio, das relações organizacionais e da sustentabilidade. A Indústria 4.0 deve ser entendida como um ecossistema emergente que se articula com os pilares do desenvolvimento sustentável económico, social e ambiental, ao potenciar cadeias de valor digitais, estratégias de inovação abertas e novas formas de cooperação entre indústria e governo (Nabi & Zohora, 2022). Esta abordagem estruturada reforça a capacidade das empresas para responderem aos desafios globais, como a eficiência energética, a redução de desperdícios e a inclusão social.

A implementação da Indústria 4.0 nas empresas envolve também a digitalização completa da cadeia de valor, com especial destaque para a emancipação dos sistemas de produção para a estruturação igualitária do ambiente externo da empresa. Este tipo de integração permite uma resposta mais rápida às flutuações da procura, otimização de processos logísticos e maior transparência em todas as etapas da produção (Pascual et al., 2020).

No domínio específico de sistemas de produção avançados, a aplicação da Indústria 4.0 em máquinas CNC tem permitido evoluções tecnológicas significativas. A introdução de ferramentas de corte com capacidades de informatização, ligadas a aplicações informáticas de fabrico, cria um ambiente de produção interligado, no qual a monitorização em tempo real, a previsão de falhas, a adaptação automática dos parâmetros de maquinação

e a gestão de dados tornam-se uma realidade prática (Neto & Romero, 2023). Este tipo de integração não só aumenta a produtividade e a qualidade, como também permite simulações virtuais fiáveis, minimizando erros e desperdícios.

A Indústria 4.0, portanto, representa mais do que uma simples digitalização da indústria, trata-se de uma reconceptualização da produção e do valor organizacional, onde a fronteira entre o real e o virtual é constantemente analisada, com possibilidade de originar novos modelos de organização do trabalho, relacionamento com o cliente e de criação de valor. O processo de transformação requer, contudo, mudanças culturais e institucionais, investimento em competências digitais, reconfiguração das infraestruturas industriais e políticas públicas adequadas ao novo contexto tecnológico e social (Nabi & Zohora, 2022).

2.3. Sistemas de apoio à tomada de decisão

A evolução dos Sistemas de Informação (SI) tem transformado radicalmente os ambientes organizacionais, destacando-se os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) como pilares centrais na ampliação da capacidade humana para lidar com problemas de decisão complexa (Burstein & Holsapple, 2008). No contexto industrial moderno, esses sistemas assumem um papel estratégico, impulsionados pela necessidade de gestão eficiente de recursos, processos e cadeias de abastecimento face à crescente complexidade dos sistemas de produção (Miguel & Rodrigues, 2019). A informação, enquanto recurso crítico, influencia diretamente a eficácia operacional e a diferenciação competitiva das organizações, sendo os SAD infraestruturas essenciais que articulam o processamento de dados com a ação estratégica (Gouveia & Ramito, 2004).

A implementação dos SAD está intrinsecamente ligada aos princípios da Indústria 4.0, que promove a integração de tecnologias avançadas como simulação, *big data* para criar fábricas inteligentes e interligadas (Miguel & Rodrigues, 2019). A simulação, em particular, revela-se um componente fundamental, permitindo a criação de modelos virtuais que replicam sistemas reais, antecipando problemas e testando cenários antes da implementação prática. Um exemplo concreto são ferramentas desenvolvidas para ocupação de linhas de produção, que identificam *bottlenecks* e avaliam a capacidade fabril com base em parâmetros como mão de obra, rendimento e eficiência global dos equipamentos (Miguel & Rodrigues, 2019). Esta aplicação representa como a automação e a análise de dados transformam processos industriais, tornando-os mais ágeis e adaptáveis às flutuações do mercado.

A arquitetura dos sistemas de apoio à tomada de decisão, reflete a integração de componentes como bases de dados, modelos analíticos e interfaces intuitivas, além de mecanismos inteligentes baseados em inteligência artificial e aprendizagem automática (Burstein & Holsapple, 2008). Essa complexa estrutura acompanha a evolução dos próprios sistemas de informação, incorporando funcionalidades colaborativas, análises em tempo real e integração com sistemas de planeamento estratégico.

Na gestão operacional, os SAD destacam-se como elementos estruturantes para otimização de processos, desde cadeias de abastecimento até planeamento de produção. Em ambientes marcados por incerteza, a capacidade de simular cenários e reduzir entropia informacional é crucial (Gouveia & Ramito, 2004). Modelos quantitativos, como programação linear e análise multicritério, automatizam tarefas analíticas, ampliando a capacidade cognitiva dos gestores (Burstein & Holsapple, 2008). A incorporação de capacidades preditivas e adaptativas, aliada a sistemas de monitorização em tempo real, permite decisões proativas, essenciais em contextos como produção *just-in-time* e gestão de inventários.

Além da dimensão instrumental, os SAD estão ligados à gestão do conhecimento organizacional, integrando conhecimento explícito e tácito para reduzir incertezas em ambientes incertos (Burstein & Holsapple, 2008). A abordagem socio-tecnológica subjacente à sua arquitetura que combina tecnologia, processos e dinâmicas humanas, reforça a ideia de que estes sistemas potenciam, mas não substituem, as capacidades decisórias humanas (Gouveia & Ramito, 2004).

Em síntese, os SAD representam não apenas uma evolução funcional dos SI, mas uma reconceptualização do papel da informação nas organizações. Na Indústria 4.0, a sua adoção potencia eficiência operacional, inovação e adaptabilidade, alinhando objetivos estratégicos com execução prática. Ao integrar dados estruturados e não estruturados, ferramentas preditivas e colaborativas, os SAD capacitam as organizações a enfrentar um mercado globalizado e volátil, consolidando-se como vantagem competitiva decisiva (Burstein & Holsapple, 2008).

2.4. *Computer Numerical Control*

O sistema CNC (Computer Numerical Control) representou uma verdadeira mudança de paradigma nos processos industriais, sobretudo a partir da segunda metade do século XX. A sua origem está associada a avanços tecnológicos desenvolvidos durante a

Segunda Guerra Mundial, quando a IBM começou a dar os primeiros passos para o que hoje se conhece como controlo numérico (McLaughlin, 1990). Com o passar dos anos, invenções como o transístor, os circuitos integrados e a redimensionamento dos componentes eletrónicos tornaram possível o desenvolvimento de máquinas CNC mais compactas, potentes e acessíveis.

Na área específica da produção de janelas em uPVC, as máquinas CNC têm um impacto muito claro. Permitem a execução de cortes e operações de mecanização com um nível de precisão muito elevado, o que é essencial para garantir um processo de solda correto dos perfis e uma qualidade final do produto adequada. Estas máquinas funcionam com base em instruções digitais que controlam o movimento das ferramentas nos eixos X, Y e Z, permitindo realizar operações como cortes e outras mecanizações de forma automatizada e repetitiva. Como referido por McLaughlin,1990 estas características ajudam a aumentar não só a produtividade, mas também a uniformidade do produto final, reduzindo a dependência do trabalho manual.

Além da precisão, um dos grandes pontos fortes destas máquinas é a sua capacidade de programação. Os utilizadores podem definir todos os parâmetros de corte, desde as dimensões do perfil até à sequência de operações. Isto facilita a integração das CNC com sistemas de gestão da produção, permitindo um planeamento mais eficaz da semana de trabalho e reduzindo falhas desnecessárias. Nos últimos anos, têm também surgido ferramentas que simulam o tempo de corte de cada lote, o que permite antecipar necessidades de recursos e fazer ajustes à linha de produção com base em dados reais ou estimados, mas são normalmente adaptadas aos diferentes contextos produtivos onde estão inseridas.

Com o avanço da tecnologia, as máquinas mais recentes passaram também a incluir sensores e sistemas de monitorização em tempo real. Estes sensores permitem recolher dados sobre o funcionamento da máquina, por exemplo, o desgaste de ferramentas, o tempo de operação, eventuais paragens, entre outros indicadores. Esta recolha de dados em tempo real está alinhada com os princípios da Indústria 4.0, que defende uma produção mais inteligente e suportada por dados. No entanto, integrar este tipo de monitorização em equipamentos mais antigos ainda é um desafio (Tang et al., 2021). Muitas vezes, esses sistemas mais antigos não têm capacidade de comunicação com aplicações informáticas modernas ou requerem adaptações dispendiosas.

No contexto da produção de janelas em uPVC, esta evolução mostra como as máquinas CNC passaram de ferramentas que apenas executavam instruções para sistemas

inteligentes que interagem com toda a cadeia de produção. Desde os primeiros estudos sobre a automação até aos desafios atuais da digitalização total das fábricas, torna-se evidente que estas máquinas têm um papel central na modernização do setor e na sua adaptação às exigências da competitividade industrial.

2.5. Planeamento e Controlo da Produção

O planeamento e controlo da produção, constitui uma função importante nos sistemas produtivos, cuja principal missão consiste em garantir que os recursos disponíveis sejam utilizados de forma eficiente para satisfazer a procura, cumprir os prazos estabelecidos, mantendo os níveis de qualidade e minimizando os custos operacionais. Este conceito abrange um conjunto de atividades que vão desde a definição de quantidades a produzir e do momento ideal de produção, até à supervisão e ajuste das operações em tempo real, garantindo que o sistema produtivo responde adequadamente às variações internas e externas da empresa.

Embora o planeamento e controlo de produção tenha sido concebido como um sistema hierarquizado e centralizado, suportado pelas lógicas dos sistemas MRP, uma técnica estruturada de planeamento e controlo de inventários (Sarkar et al., 2013), e ERP, que consiste numa plataforma de software que integra, numa base de dados centralizada, a gestão de processos essenciais como finanças, contabilidade, produção, cadeia de abastecimento e recursos humanos (Sarkar et al., 2013), essa perspetiva tem vindo a ser progressivamente complementada e desafiada por abordagens mais dinâmicas e distribuídas. Uma dessas abordagens interpreta o conceito de planeamento e controlo de produção como um processo de identificar dinamicamente o melhor percurso para os produtos, com base em critérios como capacidade disponível, tempo de resposta e fiabilidade (Bach et al., 2018). Este modelo modifica a rigidez dos sistemas tradicionais, possibilitando a flexibilidade e robustez em ambientes industriais de elevada variabilidade.

Noutra perspetiva, o conceito em definição é apresentado como uma ferramenta de tomada de decisão que procura alinhar a capacidade produtiva com a procura. A utilização de modelação matemática e algoritmos genéticos mostra-se relevante para resolver problemas de planeamento em ambientes onde os recursos são limitados e onde a subcontratação e as horas extraordinárias são variáveis decisivas para garantir o cumprimento das encomendas (Mouli et al., 2006). Assim, o planeamento e controlo de

produção surge como mecanismo que encontra soluções de balanceamento entre o custo e a capacidade operacional, promovendo a adaptabilidade da produção.

Além disso, é possível explicar o conceito de planeamento e controlo de produção como um processo de otimização de múltiplos objetivos, que deve equilibrar não só os custos de produção, mas também variáveis como os níveis de inventário, a regularidade do fluxo produtivo e o cumprimento rigoroso dos prazos de entrega. Esta abordagem assume que este conceito como um sistema integrado que deve articular a comunicação com outras áreas da organização, como a logística e os recursos humanos (Wang & Liu, 2013).

Mais recentemente, este conceito tem-se expandido para incorporar objetivos de sustentabilidade, passando a considerar não apenas critérios económicos, mas também indicadores ambientais e sociais. Neste novo enquadramento, os processos de planeamento e gestão da produção devem alinhar-se com os princípios organizacionais que os envolvem, por exemplo, a minimização do desperdício e o compromisso com a responsabilidade social (Oluyisola et al., 2020). Este alargamento de perspetiva redefine o conceito de planeamento e controlo de produção como uma função estratégica, que não só garante a competitividade industrial, mas também contribui para a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Em síntese, o Planeamento e Controlo da Produção pode ser compreendido como uma função organizacional complexa, que evoluiu de modelos rígidos e hierarquizados para abordagens mais flexíveis, adaptativas e integradas, sendo atualmente considerado um pilar da eficiência operacional e da sustentabilidade industrial.

2.5.1. Taxa de ocupação

A taxa de ocupação, constitui um indicador fundamental tanto para a gestão operacional como para a análise económica, representando a relação entre o nível efetivo de produção e a capacidade máxima sustentável de uma unidade produtiva (Corrado & Mattey, 1997). No âmbito da gestão industrial, este conceito corresponde à proporção entre o trabalho planeado para um equipamento e a sua capacidade total de processamento, assumindo a disponibilidade de todos os recursos necessários e considerando períodos normais de inatividade (Corrado & Mattey, 1997). Esta métrica permite uma distribuição mais eficiente da carga laboral, antecipando períodos de maior procura de recursos e otimizando a utilização dos meios produtivos.

A definição operacional da taxa de ocupação não se confunde com a capacidade teórica máxima de produção, que frequentemente ignora restrições práticas como manutenção, falhas operacionais ou limitações logísticas. Em vez disso, baseia-se no que

Corrado & Mattey (1997) designam por "capacidade prática sustentável", ou seja, o nível de produção que pode ser mantido de forma realista dentro de um horário normal de trabalho, sem incorrer em desgaste excessivo ou custos desproporcionais. Esta abordagem reflete uma preocupação com a sustentabilidade a longo prazo, evitando a sobrecarga temporária que poderia comprometer a eficiência futura.

Metodologicamente, a medição da taxa de ocupação assenta em inquéritos anuais a estabelecimentos industriais, complementados por índices mensais de produção, permitindo estimar a utilização da capacidade por setor e, posteriormente, para a economia no seu todo (Corrado & Mattey, 1997). Dado que os dados de capacidade são recolhidos anualmente, as séries mensais são interpoladas com base no comportamento da produção, assumindo que as variações de curto prazo se devem principalmente a flutuações na atividade produtiva e não a alterações estruturais na capacidade instalada.

Para além da sua utilidade na gestão operacional, a taxa de ocupação assume um papel relevante na análise macroeconómica, particularmente como indicador de previsão de necessidades de efetuar trabalho suplementar. Embora a correlação direta com a inflação global seja fraca, estudos demonstram uma relação significativa entre elevadas taxas de ocupação industrial e a aceleração dos preços em alguns setores. Este fenómeno é explicado pela teoria dos custos marginais crescentes: à medida que a produção se aproxima da capacidade máxima, os custos operacionais aumentam de forma desproporcional devido a fatores como horas extraordinárias, menor eficiência marginal do capital e custos adicionais de manutenção e coordenação (Corrado & Mattey, 1997). Estas pressões são frequentemente transferidas para os preços, gerando inflação quando a taxa de ocupação atinge níveis críticos.

As fórmulas de cálculo deste conceito adaptado a este estudo, estão representadas pela Equações (1) e (2). A Equação (1), apresenta a fórmula de cálculo para a taxa de ocupação. A Equação (2), cálcula o tempo total de atividade, variável crítica para cálculo da taxa de ocupação.

$$Taxa\ de\ ocupação = \frac{\sum Tempo\ de\ produção(lote)}{Tempo\ total\ de\ atividade} \times 100 \quad (1)$$

$$Tempo\ total\ de\ atividade = Tempo\ total\ de\ atividade\ da\ máquina - Tempo\ total\ de\ inatividade \quad (2)$$

Apesar do crescimento do setor dos serviços nas economias modernas, a taxa de ocupação industrial mantém-se como um indicador-chave do ciclo económico devido à sua

sensibilidade a variações de procura e oferta (Corrado & Mattey, 1997). A sua relação com a inflação e a capacidade de antecipar sobrecargas produtivas justificam a sua utilização generalizada em modelos de previsão económica, gestão estratégica e operacional.

Em conclusão, a taxa de ocupação é um conceito, aplicável tanto à otimização de processos industriais como à análise macroeconómica. A sua capacidade de integrar dados operacionais com tendências estruturais, aliada ao seu poder preditivo em relação à inflação, reforça a sua importância como ferramenta de gestão e instrumento de política económica.

2.5.2. Recolha de tempos

A medição precisa dos tempos operacionais constitui um pilar fundamental no desenvolvimento de ferramentas para cálculo e otimização dos tempos de produção, particularmente em ambientes industriais onde a eficiência produtiva é determinante para a competitividade empresarial. A obtenção de dados temporais representativos e fiáveis exige a aplicação de metodologias estruturadas de medição do trabalho, que podem assumir diferentes abordagens consoante a natureza das operações e os objetivos específicos do estudo (Tajini & Elhaq, 2014).

No contexto específico do desenvolvimento de uma ferramenta para cálculo dos tempos de corte em lotes de produção, a abordagem de medição direta através de cronometragem manual revelou-se como uma solução prática e eficaz. A validade desta abordagem depende fundamentalmente da estabilidade do método de trabalho, da experiência dos operadores e da repetibilidade das tarefas nas condições normalizadas, que devem ser asseguradas durante o processo de recolha de dados (Tajini & Elhaq, 2014).

A análise cronométrica, enquanto metodologia mais abrangente, oferece um enquadramento teórico robusto para este tipo de medições. Segundo os mesmos autores, este método implica não apenas a medição dos tempos brutos de execução, mas também a sua correção através do julgamento de ritmo e da aplicação de coeficientes de descanso que consideram fatores ergonómicos e ambientais.

Paralelamente, o método MTM (Methods Time Measurement) apresenta-se como alternativa complementar, especialmente relevante para operações repetitivas e padronizadas. Esta abordagem baseada na decomposição das tarefas em movimentos elementares e na atribuição de tempos padrão pré-determinados oferece vantagens significativas em termos de padronização e eliminação de movimentos desnecessários. A aplicação do MTM, frequentemente realizada através de análise de vídeo e *software*

especializado, permite não apenas determinar tempos de referência, mas também identificar oportunidades de racionalização dos gestos técnicos e melhoria ergonómica dos postos de trabalho (Lopes et al., 2022).

A escolha entre estas diferentes abordagens deve considerar diversos fatores, incluindo a complexidade das operações, o grau de padronização desejado e os recursos disponíveis para a realização do estudo. Enquanto a cronometragem direta oferece a vantagem de captar a realidade operacional específica de cada contexto produtivo, incluindo eventuais variações naturais no ritmo de trabalho, o MTM proporciona maior objetividade e possibilidade de comparação entre diferentes operadores e unidades produtivas.

Do ponto de vista prático, a implementação destas metodologias exige cuidados específicos na fase de recolha de dados. A observação direta, efetuada através de cronómetro ou registo vídeo, deve ser realizada em condições operacionais estabilizadas, com métodos de trabalho normalizados e operadores experientes. A decomposição do ciclo de trabalho em elementos significativos é essencial para garantir a precisão das medições e a utilidade posterior dos dados obtidos.

A experiência prática demonstra que, independentemente da metodologia escolhida, o envolvimento dos operadores no processo de medição é crucial para garantir a aceitação dos resultados e a fiabilidade dos dados. Esta participação ativa não só melhora a qualidade das observações, como também facilita a posterior implementação de eventuais melhorias identificadas durante o processo de análise (Tajini & Elhaq, 2014).

Em conclusão, o desenvolvimento de ferramentas para cálculo e otimização de tempos de produção beneficia da aplicação estruturada de metodologias consolidadas de medição do trabalho. Tanto a abordagem cronométrica tradicional como o método MTM oferecem vantagens complementares, sendo a seleção da metodologia mais adequada dependente das características específicas de cada operação e dos objetivos do estudo. No entanto, como evidenciado pela literatura especializada (Tajini & Elhaq, 2014;Lopes et al., 2022), a integração progressiva de elementos das diferentes metodologias pode constituir um caminho promissor para o contínuo aperfeiçoamento das ferramentas de gestão e planeamento da produção.

2.6. Método ABC

O método de custo baseado em atividades ABC (Activity Based Costing) constitui uma alternativa aos sistemas tradicionais de custo, propondo que os custos devem ser atribuídos com base nas atividades que consomem recursos, e não diretamente aos produtos. Esta abordagem proporciona uma representação mais fidedigna da estrutura de custos organizacional, permitindo identificar com maior precisão quais produtos, serviços ou clientes são verdadeiramente rentáveis (Corrêa, 1997).

Ao integrar o Princípio de Pareto na lógica do ABC, ganha-se uma ferramenta de análise ainda mais poderosa. O Princípio de Pareto sustenta que, frequentemente, cerca de 20% das causas são responsáveis por 80% dos efeitos. Esta regra pode ser aplicada, por exemplo, na identificação de que uma pequena percentagem de produtos ou clientes gera a maior parte dos custos ou lucros da empresa. O artigo de Grosfeld-Nir et al., (2007) demonstra como o princípio pode ser sistematizado através de uma metodologia de três etapas: classificação dos elementos segundo a sua relevância; diferenciação de políticas de gestão para cada grupo identificado (A, B, C); alocação dos recursos conforme a importância atribuída a cada classe. Esta abordagem é particularmente útil na priorização de esforços de gestão e na redução do desperdício (Mata, 2004)

A sinergia entre o ABC e o Princípio de Pareto revela-se eficaz na alocação estratégica de recursos e na identificação das atividades que mais impactam os resultados, permitindo à organização concentrar-se nas áreas que mais valor geram e eliminar as que não acrescentam retorno significativo. Ao utilizar gráficos de Pareto como instrumento de apoio, é possível, inclusive, medir numericamente a aderência de um cenário empírico à regra 80/20, recorrendo a indicadores baseados em entropia para avaliar a sua utilidade prática (Grosfeld-Nir et al., 2007).

3. Caracterização da empresa

A trajetória da CAIXIAVE é um exemplo notável de crescimento estratégico, inovação e adaptação às exigências do mercado. Desde a sua fundação em 1993 até os dias atuais, a empresa consolidou-se como uma referência no setor do fabrico de caixilharia em uPVC para a construção, destacando-se pela sua capacidade de expansão e pela qualidade dos seus produtos. Na Figura 1, está representado o complexo produtivo da parceria estabelecida entre a CAIXIAVE e o grupo ATRYA.

Figura 1 - Complexo produtivo do grupo CAIXIAVE e ACWIN

3.1. Apresentação da empresa

Este capítulo apresenta a história da empresa, desde a sua fundação até à sua situação atual. Serão abordadas não apenas a evolução comercial, evidenciada pelas opções estratégicas quanto aos mercados de atuação, mas também a transformação do complexo produtivo, enquanto resposta às exigências impostas por essa evolução.

1993-1994: Os Primeiros Passos

A CAIXIAVE iniciou as suas atividades com foco na produção, venda e instalação de janelas em uPVC para o mercado nacional. Este período foi marcado pela definição de uma base sólida, com a empresa a estabelecer-se como uma concorrente estável no setor. Em 1994, a abertura de delegações na Covilhã e em Lisboa permitiu não só otimizar a distribuição dos produtos, mas também criar uma infraestrutura de apoio ao setor de instalação de janelas. Esta estratégia foi fundamental para potencializar o crescimento inicial da empresa, garantindo uma presença forte no mercado nacional.

1996-2006: Expansão Internacional

Com os rendimentos gerados nos primeiros anos de atividade, a CAIXIAVE iniciou a sua internacionalização em 1996, entrando nos mercados Francês e Espanhol. Esta fase foi crucial para a consolidação da marca além-fronteiras. Ao longo da década seguinte, a empresa realizou obras de grande envergadura em países como Cabo Verde, Marrocos, Moçambique, Argélia, Brasil e Chile. Este período de expansão internacional não só aumentou a visibilidade da empresa, mas também demonstrou a sua capacidade de adaptação a diferentes mercados e exigências.

2008: Consolidação Produtiva

Em 2008, a empresa deu um salto significativo ao construir um espaço produtivo de 15000 m². Esta ampliação permitiu à CAIXIAVE alcançar a solidez produtiva necessária para atender às demandas qualitativas e quantitativas dos mercados onde operava. A nova unidade foi um marco no desenvolvimento da empresa, garantindo a capacidade de produção em larga escala sem comprometer a qualidade.

2020: Parceria Estratégica com o Grupo ATRYA

O ano de 2020 marcou um novo capítulo na história da CAIXIAVE, com o estabelecimento de uma colaboração estratégica com o grupo ATRYA, um dos maiores grupos europeus de produção de materiais de construção. Esta parceria resultou na reformulação e ampliação do complexo produtivo para cerca de 60000 m². A construção de três novas naves produtivas refletiu o compromisso da empresa com a inovação e aumentou a capacidade de resposta às exigências do mercado.

Atualidade: Complexo Produtivo em Ribeirão

Atualmente, a CAIXIAVE opera num complexo produtivo moderno e eficiente, localizado em Ribeirão, Vila Nova de Famalicão. Este complexo inclui: uma nave produtiva de 22000 m² dedicada à produção de caixilharia em uPVC para os mercados Português, Espanhol e Francês; uma unidade de 3500 m² especializada na produção de alumínio, maioritariamente destinada aos mercados Francês e Português; uma zona logística de apoio a quatro das cinco naves produtivas, com cerca de 9000 m²; outra unidade produtiva de alumínio de 15000 m², destinada a obras de grande dimensão; uma área de 10000 m² para produção de vidro para fornecimento interno; uma nave produtiva de aproximadamente 10000 m² dedicada à produção de caixilharia uPVC standard.

A evolução da CAIXIAVE ao longo dos anos é um testemunho da sua visão estratégica, capacidade de inovação e compromisso com a qualidade. Desde a sua fundação até à atualidade, a empresa transformou-se de uma pequena produtora nacional numa empresa internacional de referência, consolidando a sua posição como líder, da península ibérica, no setor da construção na produção de janelas em uPVC. A parceria com o grupo ATRYA e a ampliação do complexo produtivo são exemplos claros do seu contínuo investimento no crescimento e na excelência operacional. A CAIXIAVE está, assim, bem posicionada para enfrentar os desafios futuros e continuar a sua trajetória de sucesso.

3.2. Principal material trabalhado pela empresa

O PVC (Policloreto de vinilo), é um polímero termoplástico inicialmente patenteado em 1913, consagrou-se como material de elevada relevância industrial devido às suas propriedades mecânicas e químicas excecionais, destacando-se pela sua durabilidade, resistência ao fogo e versatilidade de aplicação (Turner & Filella, 2021). Embora os primeiros registos da síntese deste composto remontem a 1838, a sua produção em escala industrial apenas se iniciou em 1938, fruto do desenvolvimento tecnológico promovido pelas empresas Goodrich Chemical e General Electric.

A aplicação do PVC no sector da construção civil registou um marco decisivo na década de 1950, quando a empresa alemã Dynamit Nobel AG fabricou, em 1954, os primeiros sistemas de janelas com este material (Parein et al., 2024). A introdução do uPVC (Policloreto de vinilo não plastificado), que se apresenta como um material mais rígido que o PVC devido à ausência de plastificantes após a polimerização, em 1959 representou uma revolução tecnológica no sector, permitindo avanços significativos nas propriedades mecânicas e nos processos de moldagem, com diferentes formulações a possibilitarem a otimização de características específicas (Titow, 1991). Esta evolução, aliada às excelentes propriedades do material e à sua versatilidade de processamento, incentivou o surgimento de numerosas empresas especializadas na transformação deste polímero.

Como evidenciado na Figura 2, que apresenta a distribuição do mercado global de janelas e portas por tipo de material em 2024, verifica-se a predominância do uPVC, com uma quota de mercado de 36%. Os restantes 64% distribuem-se por materiais como madeira, metal e outros compostos. Esta preponderância do uPVC deve-se às suas características intrínsecas, nomeadamente:

Versatilidade de processamento: Permite a produção de perfis complexos com elevada precisão dimensional.

Propriedades de isolamento: Baixa condutividade térmica e acústica.

Resistência ao fogo: Classificação B1 segundo a norma DIN 4102-1, "Esta norma aplica-se à classificação do comportamento ao fogo de materiais de construção para a avaliação de risco, tanto individualmente quanto em combinação com outros materiais de construção." (DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau))

Durabilidade: Vida útil superior a 20 anos em condições normais de utilização.

A Figura 2 suporta a ideia de que o uPVC se consolidou como material de eleição no sector das janelas e portas, facto que justifica o contínuo investimento em investigação e desenvolvimento por parte dos principais fabricantes, com particular foco na melhoria do desempenho ambiental do produto.

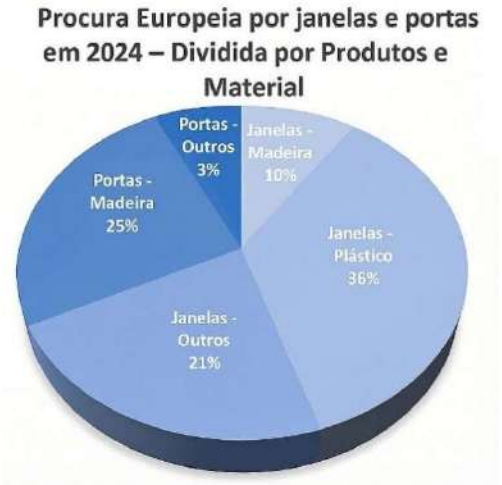


Figura 2 -Distribuição do Mercado de Janelas e Portas por Tipo de Material (2024), Adaptado de Ceresana Market Research (2025)

3.3. Séries de produtos

Atualmente, a empresa dispõe de 19 séries de perfis, que possibilitam a construção de diversas tipologias de janelas, com variadas formas e cores. Em seguida serão apresentadas as 10 séries com maior procura.

A série W70, ilustrada na Figura 3, é maioritariamente utilizada na conceção de janelas com elevado desempenho em isolamento térmico e acústico, devido ao número de câmaras interiores que a caracterizam. Nesta figura estão ainda representados a azul, os

reforços colocados ao longo do processo operacional do setor e corte, para prevenção de possíveis distorções que o perfil possa sofrer.

Figura 3 - Série W70

Esta série pode ser aplicada na Fabrico de janelas com diferentes configurações, representadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Algumas configurações possíveis da série W70

Nome da tipologia	Imagem
Oscilo batente (de uma ou duas folhas)	
Basculantes	
De abrir (de uma ou duas folhas)	
Portas	

Adicionalmente, permite a seleção entre centenas de combinações de cores e a integração de diversos tipos de vidro, consoante as necessidades específicas do projeto.

A série W70 *Plus*, ilustrada na Figura 4, foi desenvolvida para substituir a série W70 em situações em que se exija um maior desempenho térmico, acústico e de segurança. Esta melhoria deve-se à presença de uma parede interior, que atua como uma barreira adicional contra a transmissão de som e temperatura, além de dificultar o acesso à ferragem em caso de assalto.

Embora apresente um custo superior em cerca de 10%, esta série mantém a versatilidade na combinação de cores, tal como a anterior.

Figura 4 - Série W70 plus

A série 76, denominada Neo ou Neo+, distingue-se das restantes séries mencionadas anteriormente devido a características específicas, nomeadamente uma maior rigidez e dimensão do perfil, bem como a capacidade de acomodar vidros de maior espessura.

Esta rigidez reforçada é alcançada através da incorporação de fibras de vidro nas câmaras interiores (representadas a laranja na Figura 5), conferindo-lhe uma estrutura mais robusta. À semelhança das demais séries abordadas neste trabalho, a série 76 está disponível em diversas cores e configurações, garantindo versatilidade de aplicação.

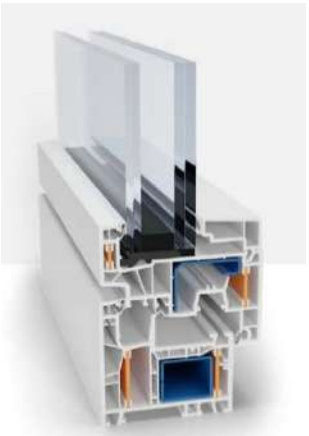


Figura 5 - Série 76, NEO ou NEO+

Para habitações de menores dimensões ou com limitações de espaço para abertura de janelas, a CAIXIAVE disponibiliza soluções que mantêm elevados padrões de qualidade, ainda que com coeficientes térmicos e acústicos mais moderados.

A série C70, ilustrada na Figura 6, destina-se especificamente a janelas de correr, integrando esta gama de produtos. Tal como as restantes séries, oferece versatilidade na personalização, estando disponível em diversas cores e dimensões.

Figura 6 - Série C70

A série C80, igualmente concebida para janelas de correr, foi desenvolvida com o objetivo de melhorar o desempenho em termos de isolamento térmico e acústico.

Como se pode observar na Figura 7, as principais diferenças em relação à série anterior (C70) residem no número de câmaras interiores e na espessura dos perfis. No entanto, ambas as séries mantêm a variedade de cores disponíveis, garantindo flexibilidade de personalização.

Figura 7 - Série C80

A série C96 foi desenvolvida pela CAIXIAVE para responder a requisitos específicos de vãos de maiores dimensões em janelas de correr.

Como ilustrado na Figura 8, esta série preserva todas as características técnicas essenciais e a mesma gama de cores disponíveis que as restantes séries de correr da gama, mantendo assim a coerência estética e funcional da linha de produtos.

Figura 8 - Série C96

Como ilustrado na Figura 9, esta série apresenta características muito semelhantes com as demais séries de correr da CAIXIAVE, diferenciando-se principalmente pelo sistema de base. Diferença técnica principal é na parte inferior, em vez de incorporar um perfil saliente convencional, o sistema apresenta uma soleira de alumínio de altura reduzida.

Esta solução mantém todas as demais características técnicas e opções de personalização (cores, dimensões) disponíveis nas outras séries de correr.

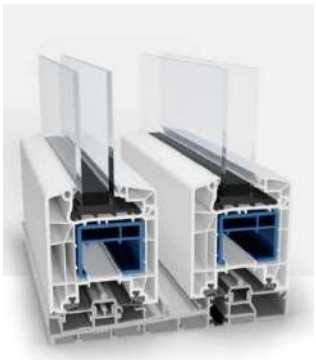


Figura 9 - Série elevadora corredora

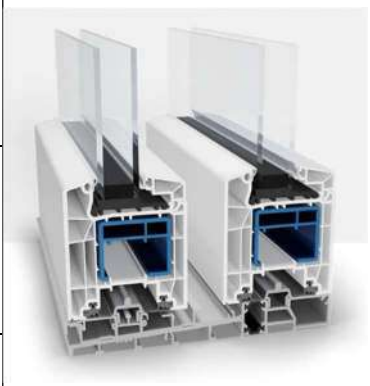
A série *Smart-Slide*, representada na Tabela 2, distingue-se das demais soluções anteriormente mencionadas pelo seu sistema operacional inovador que mesmo sendo um sistema de correr permite apresenta um movimento de vedação tão eficaz como a tipologia de oscilo batente.

Tabela 2 - Tabela descritiva da série Smart-Slide

Categoria	Descrição	
Características técnicas principais	Parte fixa estrutural; Folha móvel com sistema de correr;	
Mecanismo de vedação	Fecho convencional; Movimento adicional de vedação reforçada;	
Desempenho	Equivalente ao de janelas oscilo batentes; Coeficientes térmicos e sonoros significativamente superiores aos das séries de correr convencionais;	
Considerações económicas	Solução premium; Investimento inicial superior face às séries de correr tradicionais;	

A série Oscilo-Paralela, ilustrada na Tabela 3, representa uma evolução tecnológica em relação à série *Smart-Slide*, incorporando funcionalidades adicionais que a posicionam como uma solução premium no portfólio CAIXIAVE.

Tabela 3 - Tabela descritiva da série Oscilo-Paralela

Categoria	Descrição	
Características Técnicas	Função de correr (semelhante à *Smart-Slide*); Opção de basculante integrada; Mecanismo oscilo batente;	
Vantagens Operacionais	Adaptabilidade a diferentes requisitos espaciais e funcionais; Controlo modular de ventilação e iluminação natural;	
Fabrico	Processo produtivo mais complexo que séries convencionais;	
Valorização	Solução técnica superior com correspondente valor económico;	

A série Guilhotina, apresentada na Tabela 4, moderniza o conceito tradicional de janelas guilhotina, frequentemente encontrado em construções antigas, combinando funcionalidade histórica com tecnologia contemporânea.

Tabela 4 - Tabela descritiva da série Guilhotina

Categoria	Descrição	
Características Técnicas Principais	Parte superior fixa; Folha móvel com abertura vertical;	
Sistema de operação	Movimento suave e controlado; Mecanismo otimizado para durabilidade;	
Vantagens Competitivas	Integração perfeita em projetos de reabilitação; Compatibilidade com edifícios de estilo tradicional;	

Para além das variadas séries e tipologias de janelas, a CAIXIAVE disponibiliza aos clientes a escolha de caixas de estores em diversas medidas, conforme ilustrado na Figura 10. Para além das opções em monobloco, nas quais a caixa do estore é aplicada diretamente no caixilho, a gama comercial inclui também caixas de obra, em que o estore é instalado diretamente no local.

Todas as opções mencionadas anteriormente, à semelhança das séries apresentadas, estão disponíveis em várias cores.

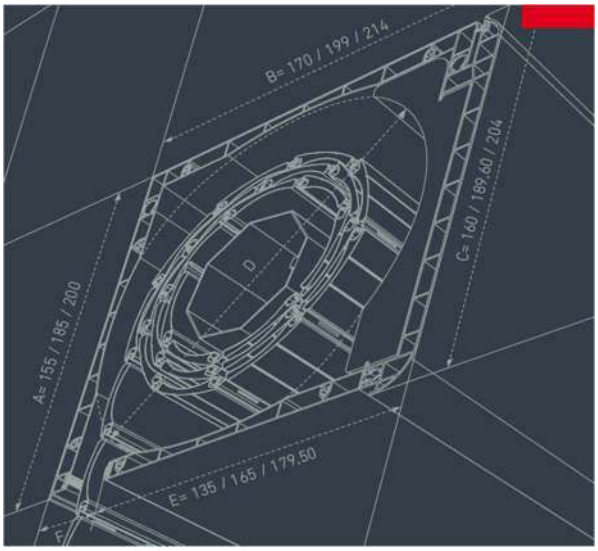


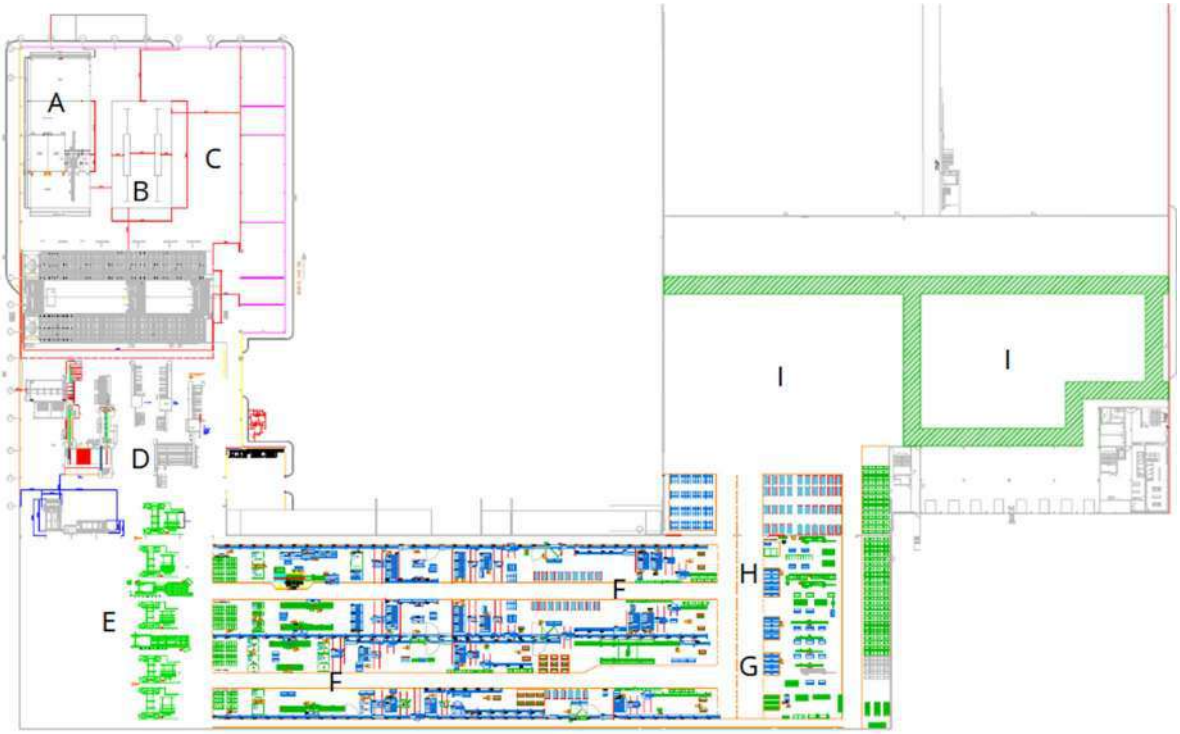
Figura 10 - Caixa de estore e possíveis medidas

Em suma a CAIXIAVE apresenta um portfólio abrangente de soluções para caixilharia, adaptadas a diversas exigências técnicas, estéticas e funcionais. Desde séries com elevado desempenho térmico e acústico (como a W70 e W70 Plus) até opções especializadas para vãos maiores ou sistemas inovadores (como a Smart-Slide e Oscilo-Paralela). A empresa combina versatilidade, inovação e qualidade.

A variedade de cores, configurações e tipologias permite responder a projetos distintos, garantindo soluções personalizadas sem comprometer o rigor técnico ou a eficiência energética.

3.4. *Layout* produtivo

Atualmente, a CAIXIAVE, em colaboração com o grupo ATRYA, opera num complexo produtivo situado em Ribeirão, Vila Nova de Famalicão. Este complexo integra uma nave produtiva com 22 000 m² dedicada à produção de caixilharia em uPVC para os mercados Português, Espanhol e Francês, uma unidade de 3 500 m² especializada na produção de alumínio, maioritariamente destinada aos mercados Francês e Português, uma zona logística de apoio a quatro das cinco naves produtivas, com cerca de 9 000 m², outra unidade produtiva de alumínio com 15 000 m² para obras de grande dimensão, uma área de 10 000 m² para produção de vidro destinado a fornecimento interno, e uma nave produtiva de aproximadamente 10 000 m² para produção de caixilharia de uPVC standard. Na Figura 11, encontra-se representado o layout produtivo da CAIXIAVE, no qual as letras correspondem aos diversos setores que compõem o processo operacional de construção das janelas em uPVC.



A-Lacagem; B-Pelicula; C-Separação de perfis; D-Setor de corte CNC; E-Soldadura; F- Linhas de produção; G- Corte de bites; H-Perfis suplementares; I-Expedição

Figura 11 - Layout produtivo CAIXIAVE

3.4.1. Lacagem (A)

A Lacagem dos perfis é um processo contemplado dependendo da personalização que o cliente pretende relativo à cor do perfil. Possibilitando a pintura dos mesmos em 213 cores diferentes. Para este fim, a empresa dispõe atualmente de duas cabines de pintura manual, conforme Figura 12, e uma cabine de pintura automática. O processo inicia-se com a separação dos perfis de acordo com as necessidades específicas de cada obra, seguida da limpeza dos mesmos e do isolamento da face a ser lacada. Posteriormente, os perfis são encaminhados para as cabines de pintura. Após a conclusão desta etapa, os perfis repousam durante aproximadamente 15 minutos antes de serem introduzidos no forno, onde permanecem cerca de seis horas a uma temperatura constante de 50 graus Celsius. Caso a obra exija lacagem em ambas as faces, o processo é repetido; caso contrário, as fitas de isolamento são removidas, é realizado um controlo de qualidade, aplica-se uma fita de proteção e o perfil é enviado para o setor de separação de perfis.

Figura 12 - Cabines de pintura (Lacagem)

3.4.2. Película (B)

Este setor permite à empresa oferecer soluções de caixilharia que simulam diversas texturas e padrões. A sua função principal consiste na aplicação de uma película sobre o perfil, contando para isso com duas máquinas especializadas. Cada perfil exige uma afinação específica das máquinas, representadas na Figura 13, que envolve o ajuste dos rolos responsáveis por guiar e regular a pressão exercida sobre a película durante a sua aplicação. O processo engloba a separação e limpeza dos perfis, o pré-aquecimento, a aplicação de "*primer*" (uma cola especializada para este processo), a colocação da película de acabamento e, por fim, a aplicação da película de proteção. Concluído o processo, as barras são encaminhadas para o setor de separação de perfis.

Figura 13 - Máquinas de passar pelicula (Pelicula)

3.4.3. Separação de perfis (C)

O setor de Separação de Perfis é responsável pela organização dos perfis consoante as especificidades de cada projeto ou obra. Além disso, assegura a aplicação de vedantes nas barras provenientes dos processos de lacagem ou aplicação de película que não incluam vedante. Após o tratamento, os perfis são armazenados num armazém automático vertical, como demonstrado na Figura 14, que serve de suporte e fornece os materiais necessários ao setor de corte CNC. Após o corte, este setor é também responsável pela gestão das sobras resultantes do processo.

Figura 14 - Armazém vertical automático (Separação de perfil)

3.4.4. Setor de corte CNC (D)

O uPVC, sendo um material derivado do plástico, apresenta uma componente de inércia bem estruturada, embora esta possa ser comprometida consoante a dimensão da janela. Quanto maior for a janela, maior será a necessidade de rigidez para evitar deformações provocadas pelo aumento da temperatura. Neste setor, destacam-se duas operações fundamentais: o corte do reforço e o corte das barras em uPVC. O corte do reforço é realizado por uma máquina de corte CNC ou por duas máquinas de corte manual, com o objetivo de incrementar a inércia do perfil em uPVC, o qual é posteriormente colocado no interior do mesmo. O corte das barras em uPVC é efetuado por cinco máquinas presentes no *layout* produtivo, incluindo uma da marca DUBUS, uma da BDM, uma desenvolvida em parceria entre DUBUS e BDM, e duas da marca SCHTEC (modelos SCHTEC 320 e SCHTEC 360). Estas máquinas distinguem-se não apenas pela tecnologia

utilizada, mas também pelas velocidades de corte e tempos de configuração exigidos para cada série de perfis.

Figura 15 - máquina de corte CNC, Schtec 320

3.4.5. Soldadura (E)

No setor de Soldadura, a empresa conta com um total de oito máquinas de soldar, que correspondem a três tipos distintos de soluções: solda fina, solda tradicional e solda manual. As diferenças entre estas soluções residem essencialmente no aspeto estético. Tanto a solda fina como a tradicional requerem contra formas especializadas que devem ser substituídas sempre que se altera o tipo de perfil a soldar, enquanto a solda manual não implica perdas de tempo com configurações. A solda fina destaca-se pelo elevado nível de acabamento e resistência; a soldadura tradicional oferece alta resistência, mas um acabamento menos refinado; e a solda manual, embora apresente boa resistência, tem um acabamento de qualidade inferior.

A solda fina baseia-se numa tecnologia desenvolvida há cerca de dez anos, centrada numa máquina de quatro cabeças que solda os quatro cantos simultaneamente. Esta máquina efetua uma fresagem interior do perfil, permitindo que as esquadrias cortadas a 45°, ao entrarem em contacto com uma resistência interna, atinjam aproximadamente 240° Celsius. Subsequentemente, são prensadas de modo que o excesso de material maleável seja direcionado para o interior do perfil, garantindo assim a resistência da estrutura e um acabamento de excelência.

A solda tradicional segue um processo semelhante, também realizado por uma máquina de quatro cabeças, mas sem a fresagem característica da solda fina. Como

resultado, o excesso de uPVC aquecido expande-se tanto para o interior como para o exterior, exigindo posteriormente a passagem de um disco de limpeza para remover o excesso e obter um acabamento esteticamente satisfatório.

A solda manual é normalmente executada numa máquina de duas cabeças, que solda dois cantos em simultâneo. Na ausência de fresagem ou limpeza automatizada, o operador recorre a um formão para alcançar um acabamento aceitável.

Atualmente, a CAIXIAVE dispõe de oito máquinas de soldadura: uma de solda manual, cinco de solda fina, semelhante à da Figura 16, e duas de solda tradicional.

Figura 16 - Máquina de soldar automática de quatro cabeças, Graf (Soldadura)

3.4.6. Linhas de produção (F)

Este processo, implementado há cerca de seis meses, integra de forma estruturada os setores de colocação de ferragens, estores e vidro. As linhas de produção ativas são a Linha 1, Linha 2, Linha 3 e Linha 4.

As Linhas 1 e 2, representadas na Figura 17 destinam-se principalmente à produção para Portugal, França e Espanha. Nestas linhas, os quadros de aros e folhas entram sem qualquer tratamento prévio. O perfil batente é colocado nas folhas passivas, seguindo-se a aplicação de ferragens tanto nas folhas passivas como nas ativas. Os componentes são então armazenados em *buffers* intermédios, que regulam o fluxo produtivo. Paralelamente, as ferragens são aplicadas nos aros, que também são colocados em *buffers*. Na fase de montagem, o operário recolhe o aro e as respetivas folhas, montando-os para formar uma janela parcialmente concluída. Esta janela segue depois para a colocação de guias e estores, se exigido pelo cliente, ou diretamente para o setor de colocação de vidro, caso contrário.

Se for necessário acrescentar perfis suplementares, veda-luz ou quadrículas exteriores, a janela (já com vidro) é encaminhada para uma zona específica para tratamento adicional. Caso não seja necessário, segue para o final da linha, onde é descarregada com o auxílio de uma grua e enviada para expedição. Ambas as linhas têm uma capacidade produtiva de 120 janelas por turno.

A Linha 3 é dedicada à produção de portas e janelas com soleira de alumínio. A criação desta linha específica justificou-se pela diversidade de ferragens necessárias e pela necessidade de otimizar os tempos produtivos. O processo inicia-se com o tratamento dos aros, onde são fixadas as soleiras de alumínio. As ferragens são aplicadas simultaneamente nas folhas e nos aros, seguindo-se a montagem da janela ou porta. As janelas com soleira de alumínio podem ser direcionadas para a colocação de guias e estores, enquanto as portas seguem para a aplicação de vidro ou painéis. Caso sejam necessários veda-luz, quadrículas exteriores ou outros perfis suplementares, os produtos são encaminhados para uma zona específica. Caso contrário, seguem diretamente para expedição. Esta linha produz 60 portas ou 80 janelas com soleira de alumínio por turno.

A Linha 4 é responsável pela produção de janelas de correr e outros modelos não abrangidos pelas restantes linhas. O processo assemelha-se aos das outras linhas, com a entrada simultânea de folhas e aros e a aplicação de ferragens em paralelo. Após a montagem, os aros são enviados para a colocação de guias e estores, se necessário, ou para expedição. As folhas seguem para a aplicação de vidro antes de serem descarregadas no final da linha.

Figura 17 - Linha nº2 de produção

3.4.7. Corte de bites (G)

Neste setor, representado na Figura 18, são cortados todos os bites necessários para a fixação do vidro nas janelas. Os bites exercem pressão sobre o vidro, impedindo a sua remoção pelo exterior da janela. Após o corte, os bites são distribuídos por carros de transporte e encaminhados para as linhas de produção conforme a necessidade.

Figura 18 - Máquina de corte de bites

3.4.8. Perfis suplementares (H)

Este setor, apresentado na Figura 19, é responsável pelo corte de perfis adicionais utilizados nas linhas de produção ou como complemento à montagem das janelas. Após receber o pedido da preparação de obra, os perfis são cortados e, se destinados ao processo produtivo, distribuídos para as linhas. Caso sejam necessários no local da obra, são embalados e enviados para expedição, devidamente identificados.

Figura 19 - Setor de corte de perfis suplementares

3.4.9. Expedição (I)

O setor de Expedição gere toda a logística associada à distribuição do produto final. A CAIXIAVE possui uma frota de seis camiões, cinco dos quais, semelhantes aos representados na Figura 20, servem o mercado português e um o mercado espanhol. As entregas em França são realizadas através de empresas subcontratadas. As operações incluem a organização das janelas por zonas de expedição (Aveiro e Viseu, Braga e Porto, Algarve, Lisboa, Covilhã, Espanha, França, e Vila Real e Trás-os-Montes), a preparação de paletes e o carregamento dos camiões. As janelas são colocadas em paletes para garantir a sua segurança durante o transporte, podendo as paletes ser *standard* ou personalizadas para otimizar o espaço. A carga é organizada por obra, projeto ou cliente, sendo sempre verificado o cumprimento dos pedidos antes da expedição.

Figura 20 - Cais de carga

Em suma, o modelo produtivo da CAIXIAVE ilustra como a combinação de planeamento rigoroso, investimento tecnológico e gestão de recursos humanos e materiais pode resultar numa cadeia de valor competitiva e sustentável.

3.5. Descrição comercial

A CAIXIAVE, fruto da estratégia comercial adotada ao longo dos seus 35 anos de atividade, consolida-se como uma das principais produtoras da Península Ibérica. Atualmente, a empresa opera através de dois canais de distribuição: revenda e venda direta.

3.5.1. Canal de venda direta

O canal de venda direta, destina-se a clientes particulares. A Figura 21 ilustra o processo de encomenda para clientes de venda direta ou particulares.

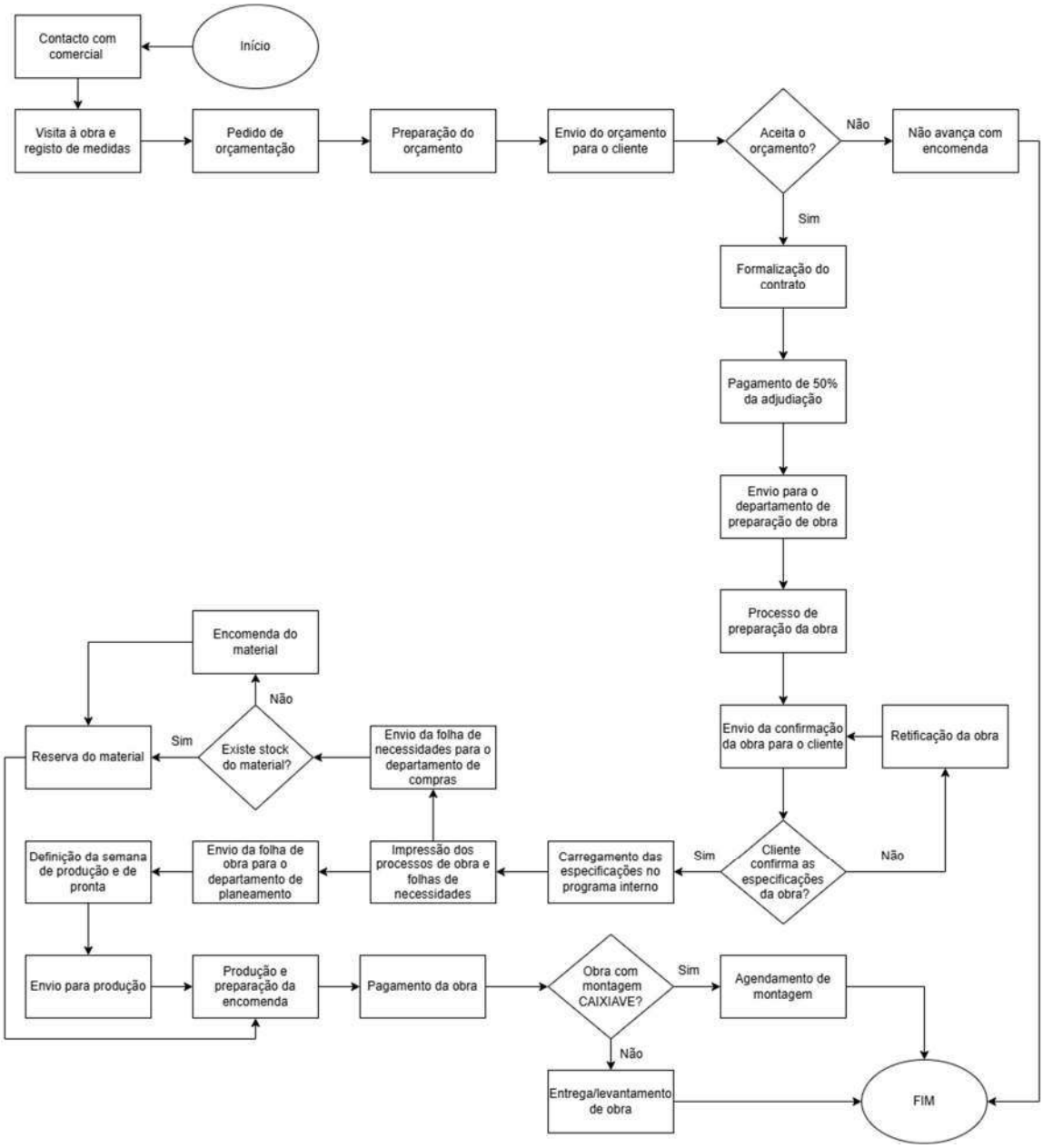


Figura 21 - Processo de encomenda dos clientes de venda direta ou particulares

O processo inicia-se com o contacto do cliente junto do comercial, sendo agendada, neste primeiro contacto, a data, hora e local para a visita à obra. Durante a visita, são apresentadas as séries disponíveis, tipologias de vidro e cores passíveis de encomenda. O comercial regista, então, as especificações técnicas necessárias, como a cor da caixilharia,

medidas, tipologia de vidro e sistema, de modo a elaborar um orçamento o mais fiel possível à obra real.

Com todos os parâmetros definidos, é gerado o pedido de orçamento. Após a sua preparação, o documento é enviado ao cliente, ficando o processo pendente de aceitação. Caso o orçamento seja aceite, procede-se à formalização do contrato de venda, que inclui todas as informações do cliente e exige o pagamento de 50% do valor total da obra. Uma vez cumpridos estes requisitos, o contrato é assinado e as características da obra são transcritas para um documento interno, que segue para o departamento de preparação de obra.

Neste departamento, o pedido é inserido no programa interno, o qual calcula automaticamente as necessidades da obra e formaliza o documento de produção (folha de obra). Essas informações são encaminhadas para o departamento de compras, enquanto o documento de obra é enviado para o setor de planeamento. A folha de necessidades permite ao setor de compras verificar a disponibilidade dos materiais em *stock* ou, se necessário, proceder à sua encomenda. Em ambos os casos, o departamento de planeamento é informado, através do programa interno, sobre a data de disponibilidade dos materiais.

O setor de planeamento, ao receber a folha de obra, atribui uma semana de produção e de entrega que esteja alinhada com a disponibilidade dos materiais. Próximo da data de produção, a folha é enviada para um dos setores de produção, nomeadamente setor e corte CNC. Após a conclusão do processo produtivo, o cliente efetua o pagamento do valor remanescente. Concluído o pagamento, é agendada a data para montagem (caso esta seja da responsabilidade da empresa) ou para entrega/levantamento da obra pelo cliente.

Este processo reflete a eficiência e organização da CAIXIAVE, garantindo a satisfação dos clientes e a qualidade do serviço prestado.

3.5.2. Canal de revenda

O canal de revenda destina-se exclusivamente a clientes profissionais do setor da construção, permitindo à CAIXIAVE uma distribuição mais ampla dos seus produtos. Estes revendedores beneficiam, habitualmente, de descontos comerciais proporcionais às quantidades encomendadas. A Figura 22 ilustra o fluxo detalhado do processo de encomenda seguido pelos clientes do canal de revenda da CAIXIAVE.

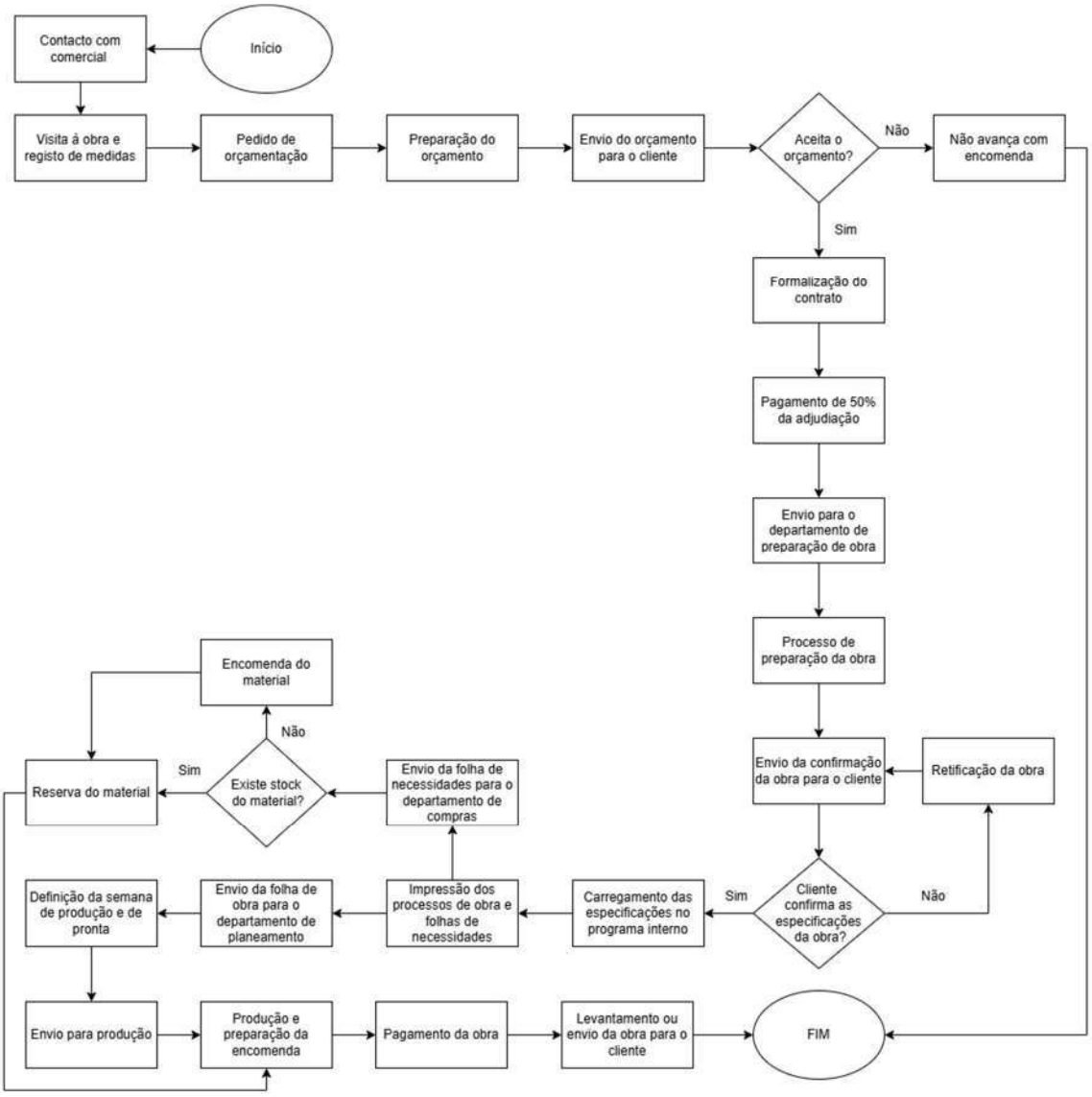


Figura 22 - Processo de encomenda dos clientes de revenda

O processo inicia-se com o pedido de orçamentação feito pelo revendedor. Contrariamente ao canal de venda direta, no qual a medição e a definição das características da obra são feitas diretamente pela CAIXIAVE, no canal de revenda essa responsabilidade é do revendedor. Após a receção do pedido, a empresa procede à preparação do orçamento, considerando as especificações fornecidas. Uma vez concluído, o orçamento é enviado ao revendedor, que deve decidir se o aceita ou não. Caso o orçamento não seja aceite, o processo é encerrado sem que a encomenda avance. No entanto, se o revendedor aceitar o orçamento, o processo prossegue para a formalização do contrato.

Com a aceitação do orçamento, dá-se início à formalização do contrato, oficializando o compromisso entre as partes. Para clientes que já possuem um histórico de compras recorrentes, a exigência de pagamento antecipado pode ser substituída por um regime de conta corrente, em que os valores são liquidados conforme prazos previamente

estabelecidos. Uma vez formalizado o contrato, o orçamento aprovado é convertido num documento interno e encaminhado ao departamento de preparação de obra. Nesta fase, todas as características e parâmetros técnicos da obra são registados num sistema interno da empresa. Esse registo automático gera dois documentos essenciais: a lista de necessidades da obra, que contém os materiais e componentes necessários para a execução da encomenda, e a folha de obra, documento técnico que acompanha todo o processo produtivo.

Após esta preparação, a empresa envia ao revendedor um documento para confirmação da obra. Este procedimento tem dois objetivos principais: a prevenção de erros internos, reduzindo o risco de incorreções no processo produtivo, e a possibilidade de retificação, proporcionando ao revendedor uma última oportunidade de verificar e ajustar quaisquer parâmetros ou características da obra antes do seu fabrico. Se o revendedor identificar alguma inconformidade, a encomenda entra na fase de retificação, onde as alterações são implementadas antes da produção. Caso contrário, se a obra for confirmada sem necessidade de ajustes, o processo segue para a fase seguinte.

Após a confirmação da obra, todos os documentos relativos à encomenda são impressos e encaminhados para os setores responsáveis. A folha de necessidades da obra é enviada ao departamento de compras, que avalia a disponibilidade dos materiais necessários. Neste ponto, existem duas possibilidades: se houver *stock* disponível, os materiais são reservados para a encomenda; caso não haja *stock* suficiente, é efetuada uma encomenda de material, e o sistema é atualizado com a data prevista de disponibilidade desses itens. Enquanto o departamento de compras gere os materiais, a folha de obra é encaminhada para o departamento de planeamento, que tem como função verificar a disponibilidade dos materiais no prazo necessário e definir a semana de produção e a data de previsão de conclusão da encomenda. Assim que os materiais estão disponíveis e a data de produção é estabelecida, a folha de obra segue para o setor de produção.

Na data definida para a produção, a folha de obra é enviada para o departamento de produção, onde se inicia o processo operacional. Nesta etapa, a encomenda passa por diferentes fases de fabrico até à sua conclusão. Após a finalização da produção, a encomenda é organizada e preparada para envio. Este processo inclui a colocação em palete da caixilharia, garantindo que os produtos são armazenados e transportados de forma segura. Finalmente, é agendada a data de entrega ou levantamento da obra, de acordo com a preferência do revendedor. Se optar pela entrega, a CAIXIAVE coordena o transporte até

ao local indicado. Caso prefira o levantamento, a encomenda fica disponível para recolha nas instalações da empresa.

Este fluxo estruturado permite à CAIXIAVE garantir a eficiência e precisão no tratamento das encomendas dos seus revendedores. A integração entre os diferentes departamentos assegura que cada etapa, desde o pedido de orçamento até à entrega final, seja realizada com o máximo rigor e qualidade. Além disso, o sistema de confirmação e retificação da obra minimiza erros e reforça a confiança dos revendedores no processo, promovendo uma relação comercial sólida e duradoura.

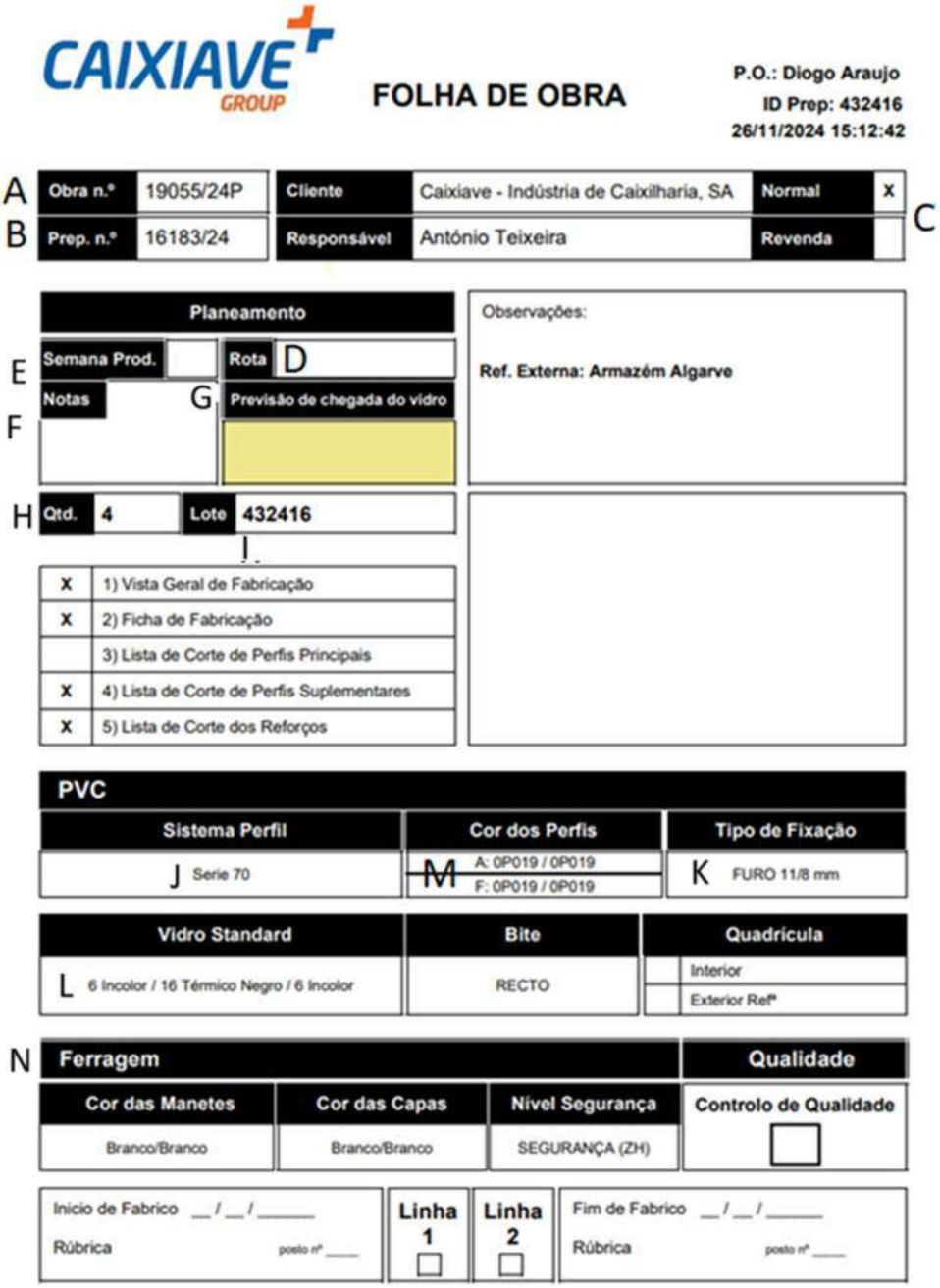
4. Análise da situação atual

Neste capítulo, é descrito o processo operacional do setor de corte CNC, assim como o canal comunicacional existente entre este setor e o setor de planeamento. Ainda neste capítulo são descritos os elementos presentes no parque CNC, o processo de recolha de tempos operacionais e identificação de alguns problemas passíveis de melhoria.

4.1. Processo atual de planeamento

Uma vez concluído o processo de preparação de obra, é gerada uma folha de obra que contém todas as informações relativas a cada janela ou porta. No contexto da indústria de caixilharia, a folha de obra constitui um documento central no processo produtivo, funcionando como uma compilação de informações técnicas e logísticas necessárias para a fabrico de janelas e portas. Como ilustrado na Figura 23, este documento agrega dados desde a identificação da obra até às especificações detalhadas de materiais e processos, servindo como guia para todas as fases de produção. A sua estrutura, organizada em campos específicos, visa assegurar o controlo qualitativo, a rastreabilidade e a eficiência operacional.

Este documento é o primeiro elemento do documento produtivo, contendo informações críticas para a identificação e gestão da obra. Cada campo, identificados por letras de A-N, descreve uma característica distinta, garantindo que todas as especificações do cliente sejam comunicadas aos diversos departamentos envolvidos, desde o planeamento até à expedição.



FOLHA DE OBRA

P.O.: Diogo Araujo
ID Prep: 432416
26/11/2024 15:12:42

A	Obra n.º	19055/24P	Cliente	Caixiave - Indústria de Caixilharia, SA	Normal	X
B	Prep. n.º	16183/24	Responsável	António Teixeira	Revenda	C

Planeamento			Observações:
E	Semana Prod.	Rota D	Ref. Externa: Armazém Algarve
F	Notas	G Previsão de chegada do vidro	

H Qtd. 4 Lote 432416 I

X	1) Vista Geral de Fabricação
X	2) Ficha de Fabricação
	3) Lista de Corte de Perfis Principais
X	4) Lista de Corte de Perfis Suplementares
X	5) Lista de Corte dos Reforços

PVC

Sistema Perfil	Cor dos Perfis	Tipo de Fixação
J Serie 70	M A: 0P019 / 0P019 F: 0P019 / 0P019	K FURO 11/8 mm

Vidro Standard	Bite	Quadrícula
L 6 Incolor / 16 Térmico Negro / 6 Incolor	RECTO	Interior / Exterior Refª

N Ferragem | Qualidade

Cor das Manetes	Cor das Capas	Nível Segurança	Controlo de Qualidade
Branco/Branco	Branco/Branco	SEGURANÇA (ZH)	

Inicio de Fabrico __/__/_____ Rúbrica posto nº ____	Linha 1	Linha 2	Fim de Fabrico __/__/_____ Rúbrica posto nº ____

A-Obra nº; B-Prep. nº; C-Tipo de canal de distribuição; D-Rota; E-Semana Pro.; F-Notas; G-Previsão de chegada do vidro; H-Quantidade de janelas; I-Lotes; J-Série de perfil; K-Tipo de fixação; L-Tipologia de vidro; M-Cor dos perfis; N-Ferragem.

Figura 23 - Folha de rosto do documento produtivo

"Obra nº" - Este campo atribui um identificador único à obra, permitindo o seu rastreamento em todas as etapas do processo, desde a preparação até à expedição da mesma (A). A numeração segue um padrão interno que facilita a consulta no sistema de gestão da empresa, assegurando a transparência e a simplicidade do processamento contabilístico.

“Prep. nº” - Destinado a obras com múltiplas fases ou entregas parcelares, este campo permite a segmentação lógica do projeto (B). Por exemplo, num empreendimento com vários pisos, cada preparação pode corresponder a um piso específico, facilitando a gestão operacional e financeira, bem como a coordenação com o cliente.

“Tipo de canal de distribuição” - Categoriza o tipo de cliente, “Normal” para clientes finais (venda direta) ou “Revenda” para distribuidores e parceiros comerciais (C). Esta distinção é crucial para adaptar estratégias de logística, atendimento e pós-venda.

“Rota” - Indica o local previsto para a entrega da obra. Caso a entrega seja realizada pelo cliente nas instalações da CAIXIAVE, o campo regista essa condição (D). Para entregas externas, a rota é definida com base na localização do cliente ou da obra a realizar.

“Semana Prod.” - Determinado pelo departamento de planeamento, este campo reflete a semana de produção atribuída à obra (E), após análise de fatores como: cor dos perfis; tipologia das janelas; disponibilidade de vidros e outros materiais necessários; carga laboral teórica das semanas subsequentes; entre outros.

“Notas” - Funciona como um campo de observações adicionais (F), frequentemente utilizado para registar datas de produção de painéis ou outras particularidades não abrangidas pelos campos *standard*.

“Previsão da Chegada do Vidro” - Informação crítica, fornecida pelo departamento de compras e atualizada em tempo real no sistema interno (G). A sua transcrição para a folha de obra visa alertar os operadores da fábrica sobre a data de entrega deste elemento.

“Qtd.” - Especifica o número total de caixilhos a produzir, assegurando que a expedição confirme a entrega integral do pedido (H). Este dado é também utilizado para calcular a alocação de recursos e o tempo estimado de produção.

“Lote” - Código gerado automaticamente pelo sistema, após preparação da obra, associado a um conjunto de instruções técnicas para cada peça (I). Os operadores das máquinas CNC acedem a este código para carregar as configurações específicas da obra na máquina que estão a operar.

“Sistema Perfil” - Indica a série de perfis utilizada na obra, refletindo as características técnicas dos caixilhos (J). Obras complexas podem integrar múltiplas séries, exigindo planeamento detalhado para evitar conflitos de produção.

“Cor dos Perfis” - Documenta as combinações de cores entre aros e folhas, um aspeto crítico para a satisfação do cliente e para a gestão de *stock* de materiais (M).

“Tipo de Fixação” - Especifica as dimensões e padrões de furos necessários, que variam consoante o tipo de instalação pretendida (K).

” Tipo de vidro” - Este campo, especifica o tipo de vidro considerado para a obra, que poderá variar com as diferentes escolhas do cliente (L).

” Ferragem” - Identifica as cores das ferragens a utilizar na construção das janelas, no caso em análise a cor das manetes e a cor das capas das dobradiças são brancas (N). A ferragem para esta obra em específico é “Segurança (ZH)”. Tanto a cor das manetes, das capas ou a tipologia de ferragem varia de acordo com a escolha do cliente.

Outros elementos da folha de obra, não estão em análise devido à pouca influência ou importância que representam para o processo produtivo.

À medida que a semana de produção se aproxima, procede-se a uma verificação rigorosa da disponibilidade de todos os materiais necessários, sendo a obra então encaminhada para o setor de corte, onde é agrupada com outras encomendas até atingir o limite de 450 janelas, valor que corresponde à capacidade teórica diária de produção definida pela empresa.

Contudo, o sistema atual apresenta diversas limitações que comprometem a sua eficiência global. Estas fragilidades são agravadas por um sistema documental ainda excessivamente dependente do papel. Dificuldades persistentes na antecipação de picos de produção e no cumprimento rigoroso de prazos.

4.2. Descrição do parque CNC

A CAIXIAVE, no âmbito da sua contínua modernização industrial, implementou um sistema produtivo baseado em cinco máquinas CNC de diferentes gerações e capacidades técnicas: Dubus 2 (CNC2), Dubus 3 (CNC3), Schtec 320 (CNC4), BDM (CNC5) e Schtec 360 (CNC6). Esta diversidade de equipamentos permite à empresa responder eficazmente às exigências do mercado, oferecendo um vasto portfólio de 19 séries de perfis adaptáveis a diversas tipologias construtivas. A Tabela 5, apresenta a matriz de compatibilidade entre máquinas e séries de perfis, demonstrando como as 19 séries ativas estão distribuídas pelos diferentes equipamentos. Esta configuração foi cuidadosamente planeada para responder às exigências técnicas dos diversos produtos comercializados pela empresa.

Tabela 5 - Distribuição das séries pelas CNC que compõem o setor de corte CNC

	CNC2 - DUBUS	CNC3 - DUBUS\BDM	CNC4 - SCHTEC 320	CNC5 - BDM	CNC6 - SCHTEC 360
W70	X	X	X	X	X
W70 FR	X				
W70 PLUS			X		X
ENERGETO NEO 76				X	X
C70	X	X			
C80	X	X			
C96	X	X			
SMART SLIDE		X			
ELEVADORA	X				
GUILHOTINA	X	X			
W85	X				
W85 PLUS	X				
PERFORMANCE	X	X			
HORIZON	X	X			
REPONSE	X	X			
VEKA SL70	X			X	
VEKA SL70 FR	X				
ARTENS 72	X	X		X	
EKOSOL 70	X	X			
FURAÇÃO 11/8	X			X	X
FURAÇÃO 8	X			X	X
FURAÇÃO 6	X			X	X

A CNC2 (Dubus 2), sendo o equipamento mais antigo, apresenta a maior versatilidade com capacidade para processar 16 séries distintas, incluindo W70, C70, C80, C96, W85, VEKA SL70 e ARTENS 72.

A CNC3 (Dubus 3), embora com menor espectro (11 séries), mantém capacidade para processar as principais linhas de produto, demonstrando uma complementaridade estratégica com a CNC2.

As CNC4 (Schtec 320) e CNC6 (Schtec 360) apresentam uma especialização marcada nas séries W70 e W70 *Plus*, complementada na CNC6 com a capacidade adicional de processar a série ENERGETO NEO 76. Esta distribuição justifica-se pelo peso económico destas séries no volume total de produção da empresa.

A CNC5 (BDM) ocupa uma posição intermediária, processando 7 séries com particular ênfase em soluções técnicas específicas como VEKA SL70 e ARTENS 72, séries adicionadas recentemente.

Para compreender plenamente o impacto desta distribuição no processo produtivo, realizou-se uma análise complementar dos padrões de consumo através da análise de Pareto onde os produtos são divididos em três classes consoante a quantidade consumida, como representado graficamente na Figura 24. O período selecionado foi de janeiro a dezembro de 2024 e revelou padrões no consumo dos diferentes perfis.

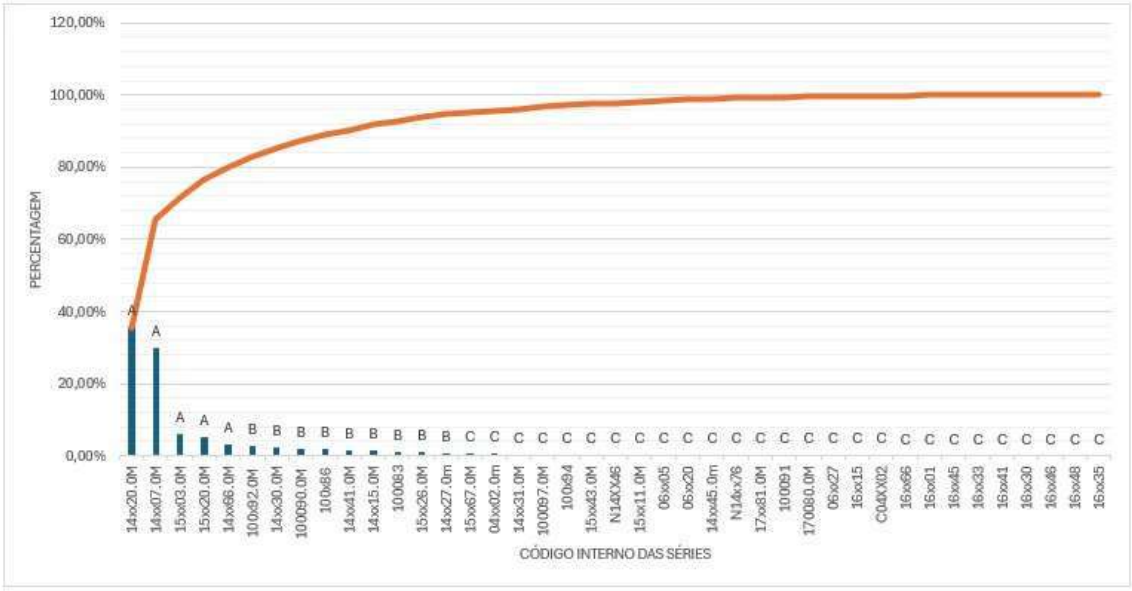


Figura 24 - Consumo de perfis ao de Janeiro a Dezembro de 2024

Os resultados demonstram que os perfis classificados como categoria A (N14xx20, N14xx07, 14xx66 da série W70 e 15xx03, 15xx20 da W70 *Plus*) representam aproximadamente 80% do consumo total. Estes perfis correspondem aos componentes estruturais fundamentais das janelas oscilo-batentes compostas na maioria dos casos por aros, folhas e batentes.

A correlação entre os dados das Tabela 5 e Figura 24 revela uma sinergia operacional bem planeada. As máquinas Schtec 320 (CNC4) e Schtec 360 (CNC6), especializadas precisamente nas séries W70 e W70 *Plus*, estão posicionadas para processar os perfis que demonstram o maior volume de consumo e impacto económico (categoria A). Esta convergência entre capacidade técnica e padrões de consumo realça a importância estratégica destes equipamentos no fluxo produtivo.

Os perfis da categoria B, representando cerca de 15% do consumo total, são maioritariamente variações da série W70 com funções complementares, enquanto os perfis da categoria C, com apenas 5% do consumo, correspondem a séries menos comuns utilizadas em situações específicas. Esta hierarquização valida a decisão de concentrar os

esforços de reformulação do processo de planeamento das máquinas que processam as séries dominantes.

A análise integrada dos dados apresentados fornece assim uma base técnica sólida para o desenvolvimento de ferramentas de melhoria produtiva. A seleção das máquinas Schtec 320 e Schtec 360 como foco principal para implementação de melhorias justifica-se pela sua especialização nas séries de maior volume. Esta abordagem metodológica, que combina análise técnica e padrões reais de consumo, maximiza o potencial retorno do investimento em inovação tecnológica.

Desta forma neste trabalho, foi utilizado um fluxograma do processo para identificar e descrever as diferentes fases do processo laboral das máquinas CNC selecionadas para análise, como retratado na Figura 25 e Figura 26. Este procedimento visa facilitar a interpretação do contexto em que o setor em análise se encontra inserido.

Na CNC Schtec 320, como ilustra o fluxograma representado na Figura 25, o processo é composto por várias fases sequenciais, que envolvem desde a recolha da matéria-prima até ao envio das peças para o setor de soldadura, passando por múltiplos controlos de qualidade.

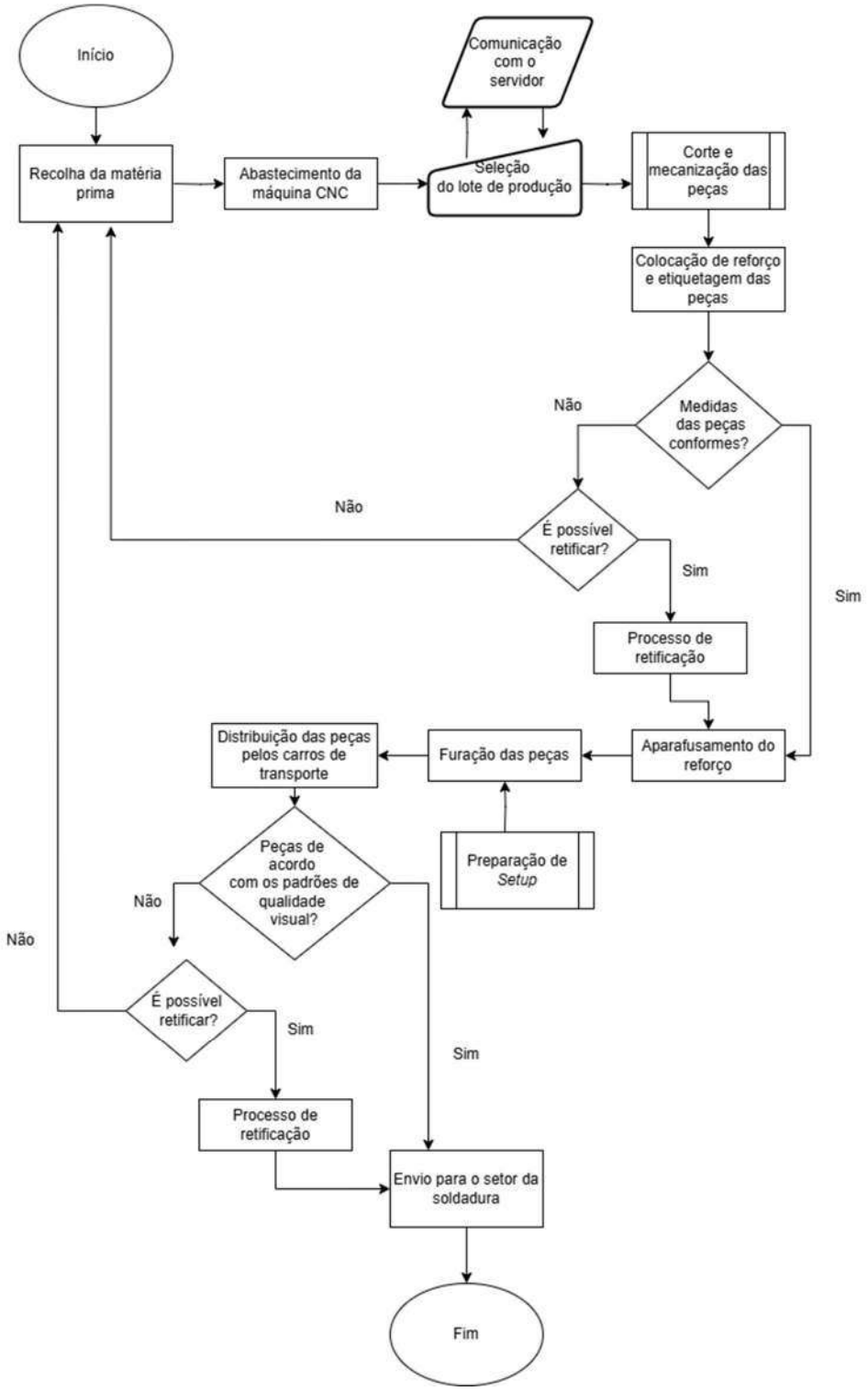


Figura 25 - Mapeamento de processo da CNC em Schtec 320

O processo inicia-se com a recolha da matéria-prima, que consiste na recolha do material necessário para a produção das peças. Este material, barras de perfil em uPVC, é subsequentemente abastecido na máquina CNC. O colaborador responsável pelo processo inicial da máquina, seleciona o lote de produção correspondente às obras definidas, e, ao

fazê-lo, a máquina estabelece comunicação com o servidor para obter as informações necessárias, tais como os parâmetros de corte e mecanização.

De seguida, a máquina CNC executa as operações programadas no lote de produção, procedendo ao corte e mecanização das peças. Esta fase transforma o material bruto em peças com as dimensões e ângulos de corte desejados. Após a execução, o colaborador responsável na saída da máquina aplica o reforço adequado à peça em questão e procede à etiquetagem para facilitar a identificação ao longo do restante processo produtivo.

Realiza-se então uma análise qualitativa às medidas de corte, ângulos de corte e marcações das operações definidas, com o objetivo de verificar a conformidade das peças. Se as peças estiverem conformes, seguem para o processo seguinte. Caso contrário, avalia-se a possibilidade de retificação. Se for possível retificar, as peças são submetidas a um processo de retificação e, após a correção, avançam para a fase seguinte. Se a retificação não for viável, as peças são descartadas ou reintegradas no início do processo.

As peças conformes ou retificadas são então encaminhadas para a próxima etapa. Nesta fase, as peças passam primeiro pelo aparafusamento do reforço, onde os reforços são fixados com parafusos para garantir maior resistência e durabilidade. Segue-se a furação, onde são realizados furos de acordo com as especificações técnicas definidas pelo cliente. Para esta operação, é necessário preparar a ferramenta de furação com base na parametrização especificada.

Posteriormente, as peças são submetidas a um controlo visual para identificar possíveis defeitos, tais como imperfeições superficiais ou desvios nos padrões de qualidade visual. Caso sejam detetados defeitos, o departamento de qualidade é novamente acionado, seguindo um procedimento semelhante ao controlo anterior. Se não forem identificados defeitos ou se existir a possibilidade de retificar, as peças seguem para o setor de soldadura devidamente distribuídas pelos carros de transporte.

O processo de produção na CNC Schtec 360, como demonstrado na Figura 26, segue uma sequência semelhante à da Schtec 320, mas com algumas particularidades que otimizam a eficiência e a automação.

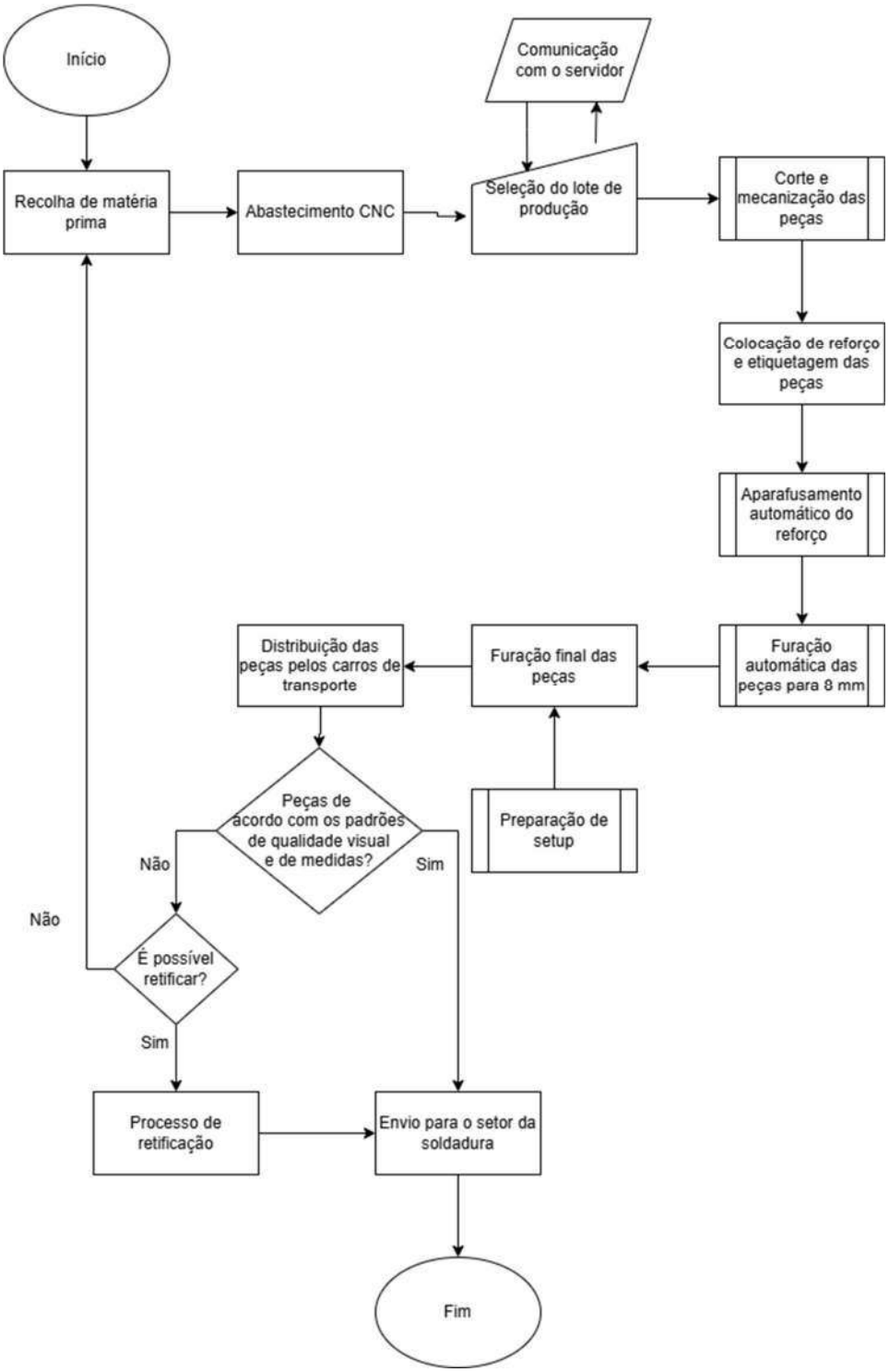


Figura 26 - Mapeamento de processo da CNC em Schtec 360

Tal como na Schtec 320, o processo inicia-se com a recolha da matéria-prima, que consiste na aquisição de barras de perfil em uPVC, material utilizado para a produção das peças. Este material é subsequentemente abastecido na máquina CNC pelo colaborador responsável, que também seleciona o lote de produção correspondente às obras definidas.

Ao fazê-lo, a máquina estabelece comunicação com o servidor para obter os parâmetros de corte e mecanização necessários.

De seguida, a máquina CNC executa as operações programadas no lote de produção, procedendo ao corte e mecanização das peças. Esta fase transforma o material bruto em peças com as dimensões e ângulos de corte desejados. Após a execução, o colaborador responsável aplica o reforço adequado à peça em questão e procede à etiquetagem para facilitar a identificação ao longo do restante processo produtivo.

Realiza-se então uma análise qualitativa às medidas de corte, ângulos de corte e marcações das operações definidas, com o objetivo de verificar a conformidade das peças. Se as peças estiverem conformes, seguem para o processo seguinte. Caso contrário, avalia-se a possibilidade de retificação. Se for possível retificar, as peças são submetidas a um processo de retificação e, após a correção, avançam para a fase seguinte. Se a retificação não for viável, as peças são descartadas ou reintegradas no início do processo.

As peças conformes ou retificadas são então encaminhadas para uma fase de maior automação, onde ocorre o aparafusamento automático do reforço. Este processo é realizado através de um tapete de abastecimento automático, que fixa os reforços com parafusos de forma precisa e eficiente, garantindo maior resistência e durabilidade às peças.

Segue-se a furação automática das peças, que na Schtec 360 é limitada, para procedimento automático, a furos de 8 mm. Esta etapa é realizada de forma automática, sem necessidade de intervenção manual, o que agiliza o processo. No entanto, para obras que requerem furação de 11/8 mm ou 6mm, é necessário que o colaborador recolha as peças e, efetue a furação manualmente de acordo com as especificações do cliente.

Posteriormente, as peças são submetidas a um controlo visual para identificar possíveis defeitos, tais como imperfeições superficiais ou desvios no padrão de qualidade visual. Caso sejam detetados defeitos, o departamento de qualidade é novamente acionado, seguindo um procedimento semelhante ao controlo anterior. Se não forem identificados defeitos ou se existir a possibilidade de retificar, as peças, são então distribuídas pelos carros de transporte e enviadas para o setor de soldadura.

Ambos os fluxogramas ilustram um processo de produção organizado, metódico e controlado, com múltiplas etapas de verificação e retificação, garantindo que as peças finais estejam em conformidade com os padrões de qualidade exigidos. A integração de controlos de qualidade ao longo do processo, aliada à automação de etapas como o aparafusamento e a furação, assegura a minimização de erros e a maximização da eficiência produtiva,

refletindo uma abordagem sistemática e rigorosa na Fabrico de peças utilizando tecnologia CNC.

4.3. Análise documental das instruções de trabalho

Neste tópico serão analisadas as instruções de trabalho atualmente existentes, com o objetivo de caracterizar e orientar os postos de trabalho associados às funções em estudo. Constata-se que nem todos os postos dispõem de instruções formalizadas. Por conseguinte, a análise incidirá apenas sobre as instruções disponíveis, as quais serviram de base para a construção e fundamentação da presente proposta de dissertação. Ter instruções de trabalho é essencial para garantir que todas as atividades sejam realizadas de forma padronizada, segura e consistente, promovendo a qualidade e rastreabilidade do processo desde a execução até à documentação(Lindgren, 2009).

4.3.1. Instruções de trabalho para CNC Schtec 320

No âmbito da presente dissertação, foi realizada uma análise a um exemplo de documentação técnica utilizada no setor de corte CNC. Este documento, representado na Figura 27, datado de 12 de dezembro de 2018, é referente à operação de uma máquina de controlo numérico computorizado (CNC) e tem como principal objetivo orientar os operadores na correta execução de tarefas associadas ao posto de trabalho, desde a preparação da máquina e do material até ao controlo da qualidade e à manutenção.

Contudo, apesar da sua teórica utilidade operacional, o documento em questão revela-se, consideravelmente desatualizado e pouco alinhado com a realidade contemporânea da organização do trabalho, gestão da qualidade e normalização documental. A sua última revisão remonta a mais de seis anos, o que por si só constitui um indício da ausência de uma política sistemática de revisão e atualização periódica da documentação técnica, algo que deveria estar contemplado num sistema de gestão da qualidade robusto e eficaz.

1. ESQUEMA DA MÁQUINA

2. PREPARAÇÃO DO TRABALHO

2.1. Analisar a folha de obra que se vai iniciar.
2.2. Verificar o estado dos perfis (Qualidade).
2.3. Verificar se o reforço está pronto para aplicar no perfil.

3. PREPARAÇÃO DO EQUIPAMENTO

3.1. Ligar as máquinas ver IT- 35.
3.2. Ver o alimentador de parafusos, existência de etiquetas e o reforço para a aplicação.

4. CONDUÇÃO DO TRABALHO

4.1. Colar as etiquetas e colocar os respetivos reforços nos perfis.
4.2. Verificar a qualidade do trabalho, conforme descrito no Ponto 5 seguinte.

5. CONTROLO DA QUALIDADE

CARACTERÍSTICAS A CONTROLAR	ESPECIFICAÇÃO / TOLERÂNCIA	MEIO DE CONTROLO	AMOSTRA / FREQUÊNCIA	REGISTO DE CONTROLO	ACÇÃO CORRECTIVA EM CASO DE ANOMALIA
Aparafusamento de reforços	Verificar presença (CONSULTA ANEXO)	Visual	1 peça no Início da FO (restante Obra Controlo Visual)	Proceder ao Registo de Controlo ou ao Responsável da Secção	Segregar e/ou corrigir peças
Centralidade dos furos e rasgos	(± 5 mm)	Visual			
Largura e Comprimento dos rasgos	Verificar presença	Visual			
Distância longitudinal do furo	(CONSULTA ANEXO)	Visual			
Aspecto do parafuso	Bem aparafusado	Visual			

Nota(s): Registar na folha Controlo das Incidências Internas todas as ocorrências anormais.

6. MANUTENÇÃO E LIMPEZA

6.1. Vigiar atentamente a operacionalidade da máquina.
6.2. Ver o estado de conservação da máquina.
(Ver o Plano de Lubrificação e Manutenção)

Figura 27 - Instruções de trabalho da máquina CNC Schtec 320

A estrutura do documento é bastante simples e apresenta seis secções principais: esquema da máquina, preparação do trabalho, preparação do equipamento, condução do trabalho, controlo da qualidade, e manutenção e limpeza. Esta organização, ainda que funcional, não segue as melhores práticas recomendadas para documentação técnica em ambiente industrial, como a adoção de instruções visuais padronizadas, fluxogramas de decisão ou critérios de aceitação ilustrados.

Outro aspeto crítico é a ausência de integração com tecnologias digitais. Em contexto de Indústria 4.0, espera-se que documentos operacionais como este estejam adaptados a suportes digitais, rastreabilidade de intervenções e recolha automática de dados de produção.

Em suma, a análise deste documento identificativo do posto de trabalho revela diversas fragilidades que não podem ser ignoradas no atual panorama industrial. A sua antiguidade, a ausência de atualizações regulares, a linguagem pouco precisa e a falta de alinhamento com os princípios da Indústria 4.0 demonstram a necessidade de uma

reestruturação profunda da documentação técnica. Este caso reforça a importância da revisão sistemática dos documentos operacionais anualmente e da sua adequação às tecnologias emergentes, de forma a garantir a eficiência dos processos, a segurança dos operadores e a qualidade do produto final.

4.3.2. Restantes instruções de trabalho

No que respeita às restantes atividades operacionais: colocação de reforços; aparafusamento dos mesmos; furação para fixação e distribuição pelos carros de transporte, constata-se a ausência de documentação técnica interna que permita uma análise formal e sistemática dos respetivos postos de trabalho. Esta lacuna documental representa um fator de risco tanto para a consistência operacional como para a manutenção dos padrões de qualidade definidos pela organização.

A inexistência de instruções de trabalho específicas e padronizadas para estas tarefas compromete a uniformização dos procedimentos, deixando margem para interpretações subjetivas por parte dos operadores e, consequentemente, para variações nos resultados do processo operacional. Esta realidade assume particular relevância em contextos industriais onde a precisão, a repetibilidade e a rastreabilidade são elementos críticos para garantir a conformidade dos produtos e a eficiência dos processos.

Face a esta constatação, considera-se fundamental reforçar junto da gestão operacional e da gestão da qualidade a necessidade de estabelecer uma política contínua de análise, revisão e atualização da documentação técnica associada aos postos de trabalho. Tal política deverá contemplar a adaptação constante das instruções operacionais e dos critérios qualitativos, assegurando a sua adequação à realidade contemporânea da produção, aos recursos tecnológicos disponíveis e à evolução dos requisitos normativos e dos mercados.

Para além da sua função orientadora, os documentos internos, quando devidamente estruturados e mantidos atualizados, desempenham um papel crucial na definição dos limites do comportamento decisório dos colaboradores. Permitem enquadrar essas decisões dentro de parâmetros previamente estabelecidos pela empresa, promovendo não só a conformidade com os procedimentos internos, mas também a responsabilização individual e coletiva perante os resultados obtidos.

Atualmente, torna-se evidente que a ausência de documentação específica não deve ser encarada como um mero lapso administrativo, mas sim como um obstáculo à estruturação organizacional. A construção de um sistema documental robusto e dinâmico

é, portanto, uma componente indispensável para sustentar a melhoria contínua, assegurar a transmissão de conhecimento operacional e promover uma cultura de qualidade profundamente enraizada em toda a organização.

4.4. Registo de tempos do processo produtivo do setor de corte

Neste subcapítulo serão apresentados os tempos operacionais relativos ao processo de corte CNC. Após a análise de Pareto efetuada no ponto 4.2 demonstrar a presença dos perfis N14xx07, N14xx20, 15xx03,15xx20 e 14xx66, escolheu-se para uma análise mais aprofundada os perfis principais excluindo o perfil 14x66 desta análise, pois é um perfil sem operações de mecanização e prevê-se a exclusão do seu processamento nas máquinas CNC sendo efetuado o corte desta referência numa máquina de corte de duas cabeças.

Desta forma para os perfis principais neste processo estão contemplados, como representado na Figura 28, as funções: Abastecimento da máquina; Corte e maquinação CNC; Colocação de reforço; Aparafusamento do reforço; Furação das peças; Distribuição das peças pelos carros de transporte.

Embora no presente estudo se tenha optado por trabalhar com tempos médios brutos, por se considerar suficiente para os objetivos imediatos da ferramenta em desenvolvimento, a análise cronométrica completa permanece como referência metodológica para futuras iterações do projeto, particularmente no que diz respeito à padronização dos processos e melhoria das condições de trabalho

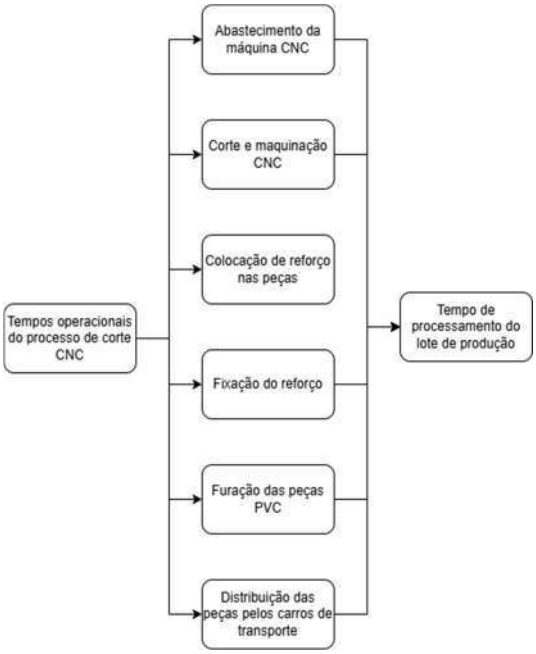


Figura 28 – Esquema operacional do processo de corte CNC

Na recolha dos tempos, nos perfis de aro, seguiu-se como modelo o gráfico de atividades representado na Figura 29.

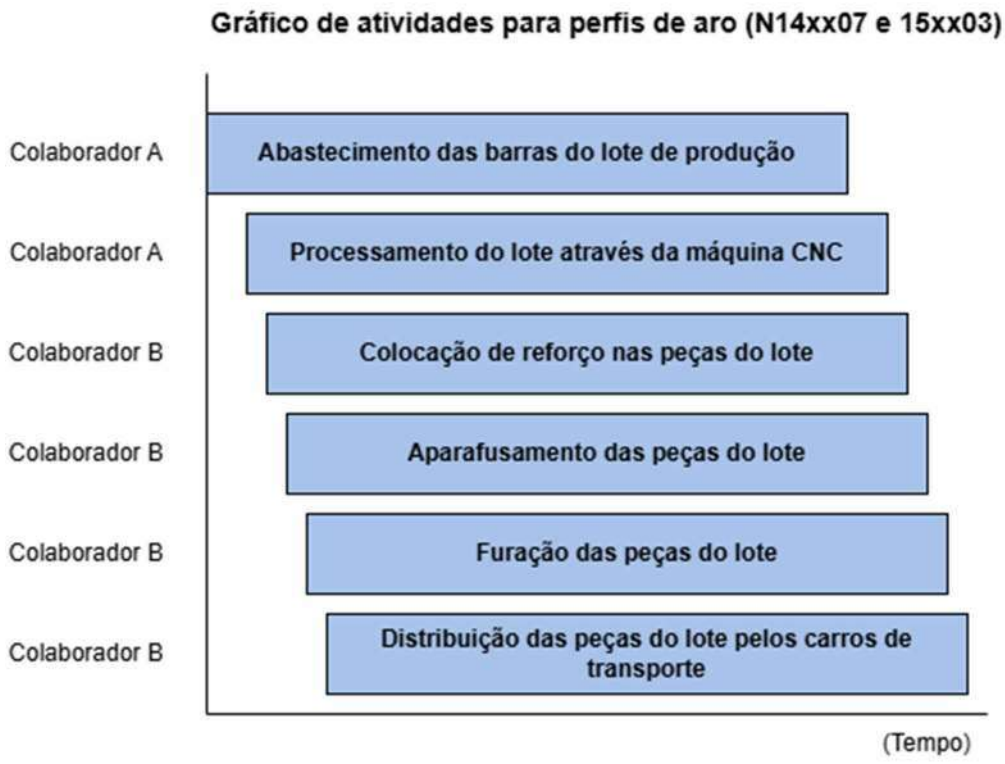


Figura 29 - Gráfico de atividades relativo às CNC Schtec 320 e 360 para perfis de aros (N14xx07 e 15xx03)

Neste gráfico estão representadas as principais funções a executar nas máquinas CNC, Schtec 320 e Schtec 360, para o fabrico de perfis de aro dos modelos N14xx07 e 15xx03. A elaboração deste gráfico tem um propósito unicamente explicativo. Embora o eixo dos X não apresente qualquer valor, os tempos que poderiam estar aí indicados não corresponderiam aos tempos reais necessários para a execução de cada função, uma vez que estes variam consoante o lote em processamento. Ainda assim, a distribuição das tarefas pelos colaboradores foi mantida de forma fidedigna, respeitando a prática atualmente implementada na empresa.

A primeira função representada "Abastecimento das barras do lote de produção" assinala o início do processo, quando se dá início ao corte de um novo lote. Durante o carregamento das duas primeiras barras, o colaborador A, dedica-se exclusivamente a esta tarefa, não sendo possível acumular qualquer outra função nesse intervalo. À medida que o restante lote vai sendo abastecido, o colaborador A consegue, em simultâneo, monitorizar e controlar o processamento do lote efetuado pela máquina CNC.

Assim que é cortada a primeira peça, o colaborador B pode dar início à sua sequência de tarefas, que compreende a colocação de reforço, o aparafusamento, a furação e, por fim, a distribuição das peças pelos carros de transporte. Esta sequência respeita a lógica do processo produtivo em vigor e encontra-se devidamente representada de forma escalonada no gráfico.

Relativamente aos perfis de folha, os tempos recolhidos referem-se às atividades representadas na Figura 30.

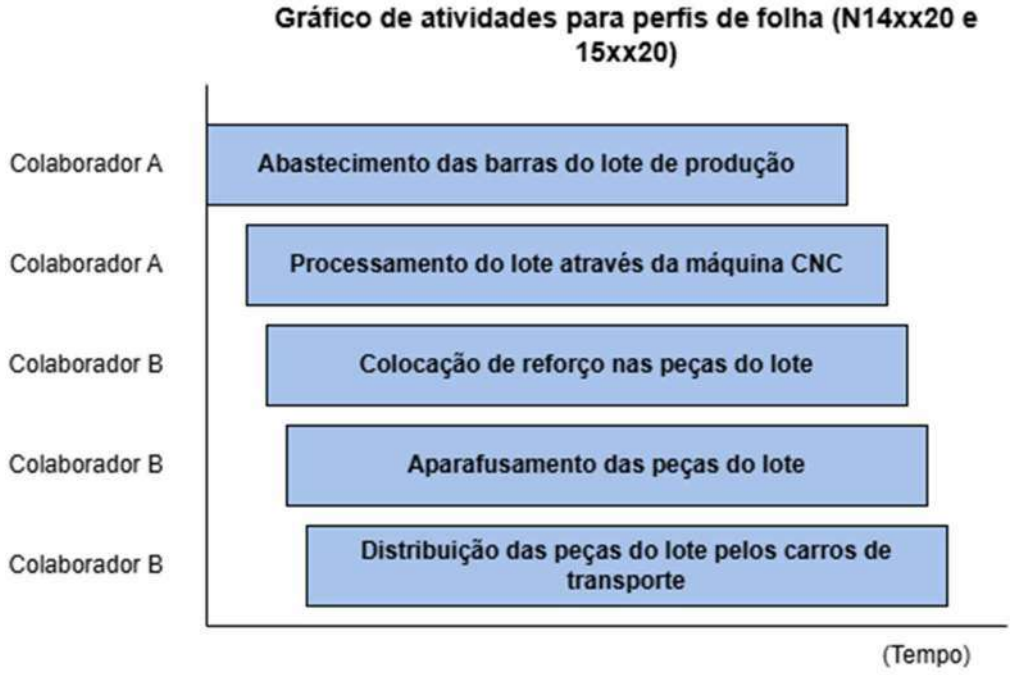


Figura 30 - Gráfico de atividades relativo às CNC Schtec 320 e 360 para perfis de folha (N14xx20 e 15xx20)

Neste gráfico estão representadas as principais funções a executar nas máquinas CNC, Schtec 320 e Schtec 360, para o fabrico de perfis de folha dos modelos N14xx20 e 15xx20. Tal como no gráfico anterior (Figura 29), referente aos perfis de aro, a elaboração deste gráfico tem um fim exclusivamente ilustrativo. A escala do eixo dos X, os valores temporais não estão considerados, isto acontece porque estes variam em função das características e dimensões específicas de cada lote de produção. Ainda assim, a distribuição funcional das tarefas entre os colaboradores foi mantida de forma rigorosa, refletindo o procedimento que se encontra atualmente em prática na empresa.

A função inicial representada, "Abastecimento das barras do lote de produção", marca o início do processo produtivo. Durante esta fase inicial, em que são carregadas as duas primeiras barras, o colaborador A concentra-se exclusivamente nesta tarefa. Posteriormente, com o início do abastecimento contínuo do restante lote, este colaborador

consegue acumular, em simultâneo, a supervisão e controlo do processamento efetuado pela máquina CNC.

Após o corte da primeira peça, o colaborador B inicia a sua sequência de intervenções, nomeadamente a colocação de reforço e o respetivo aparafusamento. Ao contrário do que sucede com os perfis de aro, no fabrico de perfis de folha não é necessária a furação adicional das peças, pelo que essa função foi excluída da representação gráfica. Por fim, procede-se à distribuição das peças pelos carros de transporte, encerrando o ciclo de produção. Esta sequência de atividades encontra-se representada de forma escalonada, permitindo uma visão clara da distribuição temporal e funcional das tarefas.

4.4.1. Abastecimento da máquina

O processo de abastecimento das máquinas CNC em estudo apresenta particularidades distintas consoante o modelo analisado, considerando características operacionais específicas em cada caso. Identificam-se dois métodos principais de abastecimento: o primeiro consiste no fornecimento direto a partir do armazém automático, enquanto o segundo caracteriza-se pelo abastecimento realizado mediante a utilização de cavaletes posicionados próximos da máquina.

No caso concreto da máquina Schtec 320, o abastecimento é realizado a partir de uma baía específica do armazém automático, situada a uma distância de seis metros do tapete de entrada da CNC. Esta operação é executada por um operador, que efetua o transporte manual das barras, transportando habitualmente uma unidade em cada deslocação entre o armazém e a máquina. O tapete de alimentação apresenta uma capacidade máxima de nove barras, conforme se pode observar na Figura 31, assegurando um fluxo contínuo de material durante o processo produtivo.

Figura 31 - Tapete de abastecimento da máquina Schtec 320

Por sua vez, a máquina Schtec 360 apresenta um sistema de abastecimento distinto, baseado na recolha de barras previamente dispostas em cavaletes posicionados a três metros do módulo de alimentação da máquina. À semelhança da Schtec 320 esta máquina tem um processo de abastecimento de uma barra a cada viagem do colaborador, e a capacidade deste tapete é também de nove barras, como demonstrado na Figura 32.

Figura 32 - Tapete de abastecimento da CNC Schtec 360

No que concerne à metodologia de contabilização do tempo de abastecimento, ilustrada na Tabela 6, para desenvolvimento da ferramenta de simulação optou-se por

utilizar exclusivamente, o período correspondente ao carregamento das duas primeiras barras porque é uma tarefa necessária para a continuidade do processo.

Esta opção metodológica fundamenta-se no facto de o abastecimento das restantes barras, tarefa a executar pelo operador, poder ocorrer em paralelo com a fase de processamento e corte das unidades já posicionadas no tapete de abastecimento. Esta abordagem reflete uma estratégia de gestão de tempo que visa aumentar a eficiência global do processo produtivo.

Os valores apresentados na Tabela 6, referem-se ao tempo necessário para o abastecimento de dez barras de cada perfil na máquina Schtec 320.

Tabela 6 -Tempos, em segundos, de abastecimento relativos a cada perfil na máquina CNC Schtec 320.

	Schtec 320			
	N14xx20	N14xx07	15xx03	15xx20
	Abastecimento da máquina	Abastecimento da máquina	Abastecimento da máquina	Abastecimento da máquina
	00:16,3	00:24,1	00:21,9	00:20,5
	00:16,7	00:19,5	00:23,8	00:20,9
	00:17,4	00:18,1	00:16,5	00:24,6
	00:19,4	00:20,3	00:27,6	00:16,8
	00:16,9	00:18,3	00:22,6	00:15,3
	00:17,4	00:16,8	00:22,7	00:16,3
	00:17,0	00:16,3	00:21,6	00:15,8
	00:17,3	00:16,8	00:37,0	00:17,9
	00:19,0	00:16,4	00:25,4	00:16,3
	00:18,3	00:17,3	00:26,3	00:18,2
Média	00:17,6	00:18,4	00:24,5	00:18,3
Desvio-padrão	00:01,0	00:02,3	00:05,1	00:02,8
Máximo	00:19,4	00:24,1	00:37,0	00:24,6
Mínimo	00:16,3	00:16,3	00:16,5	00:15,3

Durante a observação, verificou-se que a tipologia dos perfis não influenciou de forma expressiva o tempo de abastecimento. Constata-se ainda que o desvio padrão, com exceção do perfil 15xx03, se manteve baixo, sendo que, neste perfil, se observou que a posição em que as barras são retiradas do armazém automático obriga à rotação da barra para que possa ser colocada corretamente no tapete de abastecimento. Nas restantes referências, os valores variam entre um e dois segundos entre observações do mesmo perfil, representando diferenças reduzidas.

Foi ainda realizada uma breve análise descritiva, onde se podem observar algumas medidas de tendência central e de dispersão. Os valores máximos variam entre 19,4 segundos e 37 segundos, consoante os diferentes perfis, enquanto os valores mínimos se situam entre 15,3 segundos e 16,5 segundos nas várias referências. Relativamente aos valores médios, registaram-se 17,6 segundos para o perfil N14xx20, 18,4 segundos para o N14xx07, 24,5 segundos para o 15xx03 e 18,3 segundos para o 15xx20.

Na Tabela 7, estão apresentados os tempos, em segundos, que o colaborador demora a abastecer o módulo de alimentação da máquina Schtec 360.

Tabela 7 – Tempos, em segundos, de abastecimento relativos a cada perfil na máquina CNC Schtec 360

	Schtec 360			
	N14xx20	N14xx07	15xx03	15xx20
	Abastecimento da máquina	Abastecimento da máquina	Abastecimento da máquina	Abastecimento da máquina
	00:13,6	00:17,2	00:11,7	00:17,0
	00:12,6	00:12,7	00:12,6	00:14,5
	00:12,8	00:13,3	00:12,2	00:17,5
	00:14,0	00:11,8	00:14,9	00:14,3
	00:18,2	00:11,6	00:12,7	00:14,5
	00:11,5	00:15,4	00:12,5	00:15,2
	00:10,9	00:13,3	00:13,0	00:16,6
	00:10,1	00:14,6	00:14,1	00:15,7
	00:14,6	00:20,8	00:12,4	00:14,4
	00:12,7	00:15,4	00:13,4	00:17,6
Média	00:13,1	00:14,6	00:12,9	00:15,7
Desvio-padrão	00:02,1	00:02,7	00:00,9	00:01,3
Máximo	00:18,2	00:20,8	00:14,9	00:17,6
Mínimo	00:10,1	00:11,6	00:11,7	00:14,3

Após a comparação dos valores recolhidos para este processo na máquina Schtec 360, pode observar-se que, em todas as referências, o tempo de abastecimento é mais reduzido, fenómeno que se deve à distância entre o ponto de recolha das barras e o módulo de abastecimento da máquina.

Constata-se que as diferenças entre cada recolha de tempos para cada perfil, representado na Tabela 7, são reduzidas, premissa sustentada pelos valores baixos do desvio padrão.

Esta diferença espacial, entre os postos de recolha das barras e os módulos de abastecimento de cada máquina, reflete-se claramente nos tempos médios de abastecimento: relativamente ao perfil N14xx20, o colaborador demora 17,6 segundos por barra na Schtec 320, em contrapartida 13,1 segundos na Schtec 360; para o perfil N14xx07, na Schtec 320, o colaborador demora em média 18,4 segundos por barra, enquanto na Schtec 360 demora 14,6 segundos; no perfil 15xx03, na Schtec 320, o tempo médio por barra é de 24,5 segundos, sendo na Schtec 360, em média, de 12,9 segundos; quando comparados os tempos médios da referência 15xx20, na Schtec 320 demora em média 18,3 segundos, enquanto na Schtec 360 demora 15,7 segundos.

Todos os tempos foram registados com base na observação de colaboradores experientes. A cronometragem inicia-se a partir do momento em que o colaborador pousa uma barra e começa o deslocamento para recolher outra, tendo este movimento sido cronometrado dez vezes para cada perfil, tempos que foi possível registar de acordo com a disponibilidade do cronometrista destacado para esta função.

Em suma, a diferença nos tempos de abastecimento depende da distância percorrida, reforçando a importância da disposição dos equipamentos no espaço produtivo para a melhoria dos processos logísticos internos.

4.4.2. Corte e maquinagem das peças

O processo de corte e mecanização apresenta diferenças consideráveis entre as duas máquinas CNC selecionadas para análise neste estudo.

A máquina Schtec 320, ilustrada na Figura 33, está equipada com um sistema composto por uma cabeça de corte, que permite realizar operações de corte em diversos ângulos, e uma cabeça de mecanização dedicada a operações de fresagem, capaz de executar trabalhos com múltiplos ângulos de aproximação da peça em processamento.

Figura 33 - Ferramentas de corte e mecanização da CNC Schtec 320

No caso da Schtec 360, representada na Figura 34, sendo um modelo tecnologicamente mais avançado, mantém as capacidades angulares na cabeça de corte, mas diferencia-se pelo facto de incorporar duas cabeças de mecanização independentes. Esta configuração dupla permite uma otimização do processo de mecanização, reduzindo tempos de operação e aumentando a versatilidade no processamento das peças.

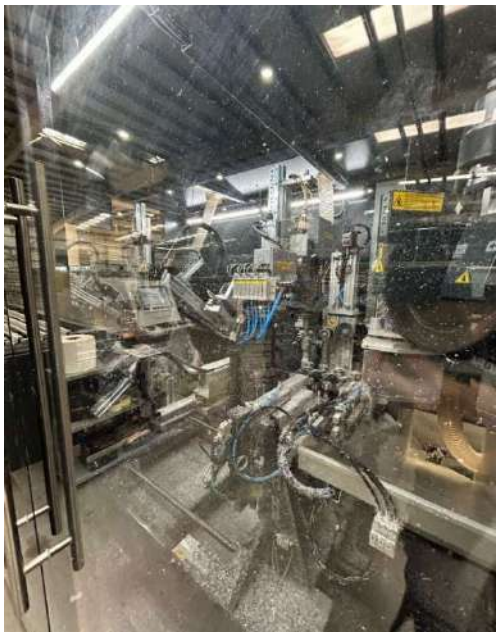


Figura 34 - Ferramentas de corte e mecanização da CNC Schtec 360

Durante a fase inicial de definição metodológica deste estudo, ponderou-se a possibilidade de contabilizar individualmente cada operação técnica definida pelo departamento técnico para cada peça processada, como apresentada na Figura 35, conforme

especificado no lote de produção. Contudo, verificou-se que a diversidade e complexidade de operações aplicáveis a cada barra tornavam esta abordagem metodologicamente inviável, considerando os constrangimentos temporais inerentes ao desenvolvimento desta dissertação.

Figura 35 - Peças derivadas do processamento de corte CNC.

Face a esta constatação, optou-se por uma metodologia alternativa, ao utilizado no ponto anterior que consiste na consideração do tempo médio de processamento por barra de perfil em uPVC, que dividido pelo número de peças, indica o tempo médio de corte por peça. Esta abordagem permite uma análise quantitativa mais adequada ao âmbito e objetivos desta proposta de dissertação, mantendo o rigor científico necessário enquanto se adapta às limitações práticas da investigação. Os tempos foram recolhidos por meio de observação direta, foram recolhidos em obras aleatórias em diferentes dias, mas sempre com o mesmo funcionário. A escolha de ser sempre o mesmo funcionário fundamenta-se essencialmente em dois aspetos: por um lado, a premissa de que colaboradores com maior antiguidade possuem experiência acrescida no desempenho das suas funções; por outro, a intenção de facilitar, em trabalhos futuros, a uniformização dos processos operacionais.

Os dez tempos recolhidos de processamento das barras de cada Perfil, realizaram-se entre o momento de a barra entrar na cabine de corte até ao momento da entrada de outra barra.

Na Tabela 8, estão representados os tempos recolhidos referente ao processo de corte CNC na máquina Schtec 320.

Tabela 8 - Tempos, em segundos, de corte por peça e barra relativa a cada perfil na máquina CNC Schtec 320

Schtec 320												
N14xx20			N14xx07			15xx03			15xx20			
Peças	Tempo/peça	Tempo de corte/barra	Peças	Tempo/peça	Tempo de corte/barra	Peças	Tempo/peça	Tempo de corte/barra	Peças	Tempo/peça	Tempo de corte/barra
6	00:30,0	03:04,0	4	00:48,0	03:13,0	4	00:45,0	03:00,0	8	00:36,0	04:50,0
6	00:25,0	02:34,0	3	01:07,0	03:21,0	6	00:45,0	04:31,0	8	00:36,0	04:52,0
8	00:27,0	03:38,0	3	00:51,0	02:35,0	5	00:48,0	04:00,0	7	00:23,0	02:41,0
10	00:28,0	04:41,0	4	00:57,0	03:50,0	4	00:45,0	03:00,0	7	00:25,0	02:59,0
7	00:25,0	03:00,0	3	00:53,0	02:41,0	3	01:16,0	03:48,0	7	00:25,0	02:58,0
10	00:26,0	04:24,0	4	00:48,0	03:12,0	3	01:00,0	03:01,0	8	00:33,0	04:31,0
7	00:38,0	04:27,0	3	00:51,0	02:33,0	3	00:58,0	02:55,0	6	00:23,0	02:18,0
7	00:25,0	03:00,0	3	00:41,0	02:03,0	3	00:56,0	02:48,0	6	00:23,0	02:23,0
7	00:22,0	02:38,0	5	00:44,0	03:40,0	3	01:10,0	03:32,0	10	00:27,0	04:36,0
6	00:28,0	02:49,0	5	00:49,0	04:09,0	3	01:02,0	03:08,0	7	00:23,0	02:44,0
Média	00:27,4	03:25,5	Média	00:50,9	03:07,7	Média	00:56,5	03:22,3	Média	00:27,4	03:29,2
Desvio-padrão	00:04,1	00:45,9	Desvio-padrão	00:06,8	00:37,4	Desvio-padrão	00:10,4	00:32,4	Desvio-padrão	00:05,2	01:01,1
Máximo	00:38,0	04:41,0	Máximo	01:07,0	04:09,0	Máximo	01:16,0	04:31,0	Máximo	00:36,0	04:52,0
Mínimo	00:22,0	02:34,0	Mínimo	00:41,0	02:03,0	Mínimo	00:45,0	02:48,0	Mínimo	00:23,0	02:18,0

Como referido anteriormente, os tempos recolhidos inicialmente corresponderam aos tempos necessários para a execução do corte de cada barra, tendo-se, numa fase posterior, procedido à divisão desse tempo total pelo número de peças cortadas em cada barra, de forma a determinar o tempo médio de corte por peça.

Com base nesses dados, os tempos médios de corte por peça e por barra, permitem uma análise mais pormenorizada da eficiência do processo. Verifica-se, assim, que os tempos médios observados para cada referência de perfil foram de 27,4 segundos para o perfil N14xx20, 50,9 segundos para a referência N14xx07, 56,5 segundos para o perfil 15xx03 e 27,4 segundos para o perfil 15xx20.

Os tempos recolhidos para cada perfil, refletem a variabilidade existente entre os mesmos, sendo possível constatar a ocorrência de alguns desvios nos tempos registados, sobretudo nos perfis de aro N14xx07 e 15xx03. Tal situação deve-se, em grande parte, ao facto de, em algumas das obras observadas para efeitos de cronometragem, estarem contempladas operações que implicam maior complexidade e duração, como, por exemplo, a abertura do enrolador, operação esta que ocorre apenas nos perfis de aro e que é habitual em sistemas de janelas com fita de estore. Importa salientar que este tipo de operação não só prolonga o tempo de corte como introduz maior variabilidade nos dados recolhidos, influenciando consequentemente os tempos médios apurados para estes perfis específicos.

Foram também analisados os valores máximos e mínimos relativos aos tempos registados, tendo-se verificado que os tempos máximos e mínimos mais elevados estão associados precisamente aos perfis de aro, o que confirma a premissa referida anteriormente quanto à maior exigência técnica e operacional destes perfis no processo produtivo.

Na Tabela 9, estão representados os tempos recolhidos para a máquina de corte CNC Schtec 360, que como é mencionado nos primeiros parágrafos deste capítulo, é uma máquina recente e dotada de ferramentas de mecanização mais otimizadas.

Tabela 9 - Tempos, em segundos, de corte por peça e barra relativa a cada perfil na máquina CNC Schtec 360

Schtec 360													
N14xx20			N14xx07			15xx03			15xx20		
Peças	Tempo/peça	Tempo de corte/barra	Peças	Tempo/peça	Tempo de corte/barra	Peças	Tempo/peça	Tempo de corte/barra	Peças	Tempo/peça	Tempo de corte/barra
8	00:25,0	03:21,0	6	00:23,0	02:19,0	5	00:30,2	02:31,0	4	00:37,7	02:31,0
8	00:28,0	03:49,0	6	00:24,0	02:25,0	5	00:30,6	02:33,0	6	00:25,5	02:33,0
6	00:21,0	02:09,0	6	00:23,0	02:23,0	5	00:32,8	02:44,0	6	00:27,3	02:44,0
5	00:21,0	01:47,0	6	00:23,0	02:23,0	5	00:31,4	02:37,0	6	00:27,7	02:46,0
5	00:18,0	01:32,0	8	00:26,0	03:30,0	4	00:41,5	02:46,0	6	00:28,2	02:49,0
7	00:25,0	02:58,0	7	00:24,0	02:54,0	4	00:42,2	02:49,0	6	00:24,2	02:25,0
6	00:21,0	02:10,0	5	00:25,0	02:06,0	2	00:40,0	01:20,0	6	00:23,2	02:19,0
5	00:24,0	02:02,0	5	00:21,0	01:45,0	2	00:48,0	01:36,0	4	00:24,0	01:36,0
5	00:19,0	01:37,0	4	00:23,0	01:32,0	3	00:35,7	01:47,0	4	00:26,3	01:45,0
6	00:20,0	02:01,0	6	00:25,0	02:35,0	4	00:34,7	02:19,0	5	00:22,8	01:54,0
Média	00:22,2	02:20,6	Média	00:23,7	02:23,2	Média	00:36,7	02:18,2	Média	00:26,7	02:20,2
Desvio-padrão	00:03,0	00:43,9	Desvio-padrão	00:01,3	00:31,5	Desvio-padrão	00:05,7	00:30,4	Desvio-padrão	00:04,1	00:25,0
Máximo	00:28,0	03:49,0	Máximo	00:26,0	03:30,0	Máximo	00:48,0	02:49,0	Máximo	00:37,7	02:49,0
Mínimo	00:18,0	01:32,0	Mínimo	00:21,0	01:32,0	Mínimo	00:30,2	01:20,0	Mínimo	00:22,8	01:36,0

Como pode ser observado na Tabela 9, a máquina Schtec 360, apresenta períodos médios relativos ao tempo de corte por peça mais baixos em todas as referências, principalmente nos perfis de aro, N14xx07 e 15xx03, este acontecimento deve-se ao processo de subdivisão de operações, pelas duas cabeças de mecanização, que a máquina executa automaticamente. Este cenário não acontece na Schtec 320, pois a máquina apenas possui uma cabeça de mecanização.

Denota-se ainda que os valores de desvio padrão associado aos tempos recolhidos são baixos. Os tempos recolhido em ambas as máquinas representam os elementos mais relevantes na análise operacional do processo produtivo de corte CNC, uma vez que representa o processo com maior tempo de ciclo.

4.4.3. Colocação de reforço

A decisão quanto à necessidade de aplicação de reforços nas peças processadas pelas máquinas CNC é estabelecida pelo departamento técnico, mediante avaliação das características específicas de cada medida de janela. A maioria das peças submetidas a processamento requer efetivamente a colocação de reforços estruturais, contudo, verifica-se que peças de dimensões reduzidas, nas quais a probabilidade de ocorrência de distorção do material é consideravelmente menor, podem dispensar esta etapa complementar.

No que concerne ao procedimento operacional de aplicação dos reforços, observa-se uniformidade entre as duas máquinas analisadas. O processo é realizado numa "zona de espera" localizada numa zona intermédia da máquina Schtec 360 e na zona de saída da máquina Schtec 320, conforme ilustrado na Figura 36 (A) e Figura 36 (B).

(A) - Posto de colocação de reforço Schtec 320

(B)- Posto de colocação de reforço Schtec 360

Figura 36 - Módulo de saída das peças de perfil e zona de colocação de reforço

A execução desta operação está condicionada pela disponibilidade dos reforços, os quais são fornecidos ao posto de trabalho através de carros de transporte especialmente concebidos para este fim, representados na Figura 37.

Figura 37 - Carros de fornecimento de reforço para as CNC Schtec 320 e Schtec 360

Os tempos recolhidos para a colocação de reforço, em cada peça, apresentados nas Tabela 10 e Tabela 11, foram considerados de forma a garantir uma análise pormenorizada de todos os fatores que possam potencialmente contribuir para ineficiências no processo produtivo. Neste processo foi pedido aos colaboradores que apenas colocassem reforço quando todas as peças da barra tinham sido cortadas na totalidade, nesta situação, foram selecionadas barras de obras aleatórias e os tempos foram contabilizados a partir do momento em que o colaborador começa a colocar reforço na primeira peça da barra até ao momento em que coloca reforço na última peça da barra. Nesta função, para além de colocar, o reforço o colaborador também procede à etiquetagem de cada peça. Os tempos foram registados por observação direta, tendo como base sempre os mesmos colaboradores habituais deste posto, em dias e obras diferentes.

Tabela 10 - Tempos, em segundos, de colocação de reforço por peça relativa a cada perfil na máquina CNC 320

Schtec 320												
N14xx20			N14xx07			15xx03			15xx20			
Peças	Tempo/peça	Colocação de reforço	Peças	Tempo/peça	Colocação de reforço	Peças	Tempo/peça	Colocação de reforço	Peças	Tempo/peça	Colocação de reforço
6	00:09,2	00:55,0	4	00:16,2	01:05,0	4	00:23,7	01:35,0	9	00:13,0	01:57,0
6	00:09,5	00:57,0	4	00:18,5	01:14,0	8	00:16,0	02:08,0	8	00:15,9	02:07,0
7	00:12,3	01:26,0	4	00:19,3	01:17,0	8	00:15,9	02:07,0	8	00:12,2	01:38,0
7	00:10,0	01:10,0	4	00:17,7	01:11,0	8	00:16,0	02:08,0	4	00:22,5	01:30,0
7	00:11,9	01:23,0	4	00:15,2	01:01,0	8	00:15,5	02:04,0	8	00:16,7	02:14,0
5	00:11,0	00:55,0	4	00:16,0	01:04,0	8	00:17,6	02:21,0	8	00:18,5	02:28,0
3	00:16,3	00:49,0	3	00:17,7	00:53,0	8	00:15,6	02:05,0	4	00:23,0	01:32,0
3	00:16,7	00:50,0	3	00:24,7	01:14,0	8	00:16,0	02:08,0	8	00:19,0	02:32,0
3	00:18,0	00:54,0	4	00:16,7	01:07,0	8	00:20,1	02:41,0	8	00:17,1	02:17,0
3	00:16,0	00:48,0	3	00:17,3	00:52,0	8	00:15,7	02:06,0	4	00:26,0	01:44,0
Média	00:13,1	01:00,7	Média	00:17,9	01:05,8	Média	00:17,2	02:08,3	Média	00:18,4	01:59,9
Desvio-padrão	00:03,2	00:13,3	Desvio-padrão	00:02,5	00:08,2	Desvio-padrão	00:02,6	00:15,4	Desvio-padrão	00:04,2	00:21,9
Máximo	00:18,0	01:26,0	Máximo	00:24,7	01:17,0	Máximo	00:23,7	02:41,0	Máximo	00:26,0	02:32,0
Mínimo	00:09,2	00:48,0	Mínimo	00:15,2	00:52,0	Mínimo	00:15,5	01:35,0	Mínimo	00:12,2	01:30,0

Em relação ao processo de colocação de reforço nos perfis, a análise dos dados apresentados na Tabela 10, demonstra que os valores são relativamente próximos quando comparados os tempos entre os diferentes tipos de perfis. Este processo é realizado de forma inteiramente manual em ambas as máquinas, Schtec 320 e Schtec 360.

Quando se analisa a Tabela 10, observa-se ainda que a variabilidade entre os tempos recolhidos é reduzida devido aos valores apresentados pelo desvio padrão.

Os valores considerados para desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, são os valores médios: 13,1 referente ao perfil N14xx20; 17,9 para o perfil N14xx07; 17,2 para a referência 15xx03; 18,4 para o perfil 15xx20.

Estes tempos correspondem à recolha da peça, etiquetagem da mesma, procura do reforço correspondente e colocação do reforço no interior da peça em uPVC.

Tabela 11 - Tempos, em segundos, de colocação de reforço por peça relativa a cada perfil na máquina CNC 360

Schtec 360												
N14xx20			N14xx07			15xx03			15xx20		
Peças	Tempo/peça	Colocação de reforço	Peças	Tempo/peça	Colocação de reforço	Peças	Tempo/peça	Colocação de reforço	Peças	Tempo/peça	Colocação de reforço
6	00:15,0	01:30,0	4	00:29,0	01:58,0	5	00:24,4	02:02,0	4	00:24,8	01:39,0
6	00:15,0	01:33,0	7	00:30,0	03:36,0	5	00:23,6	01:58,0	6	00:20,0	02:00,0
6	00:13,0	01:22,0	5	00:17,0	01:26,0	5	00:22,2	01:51,0	5	00:23,4	01:57,0
6	00:18,0	01:50,0	4	00:33,0	02:12,0	5	00:27,2	02:16,0	6	00:14,7	01:28,0
6	00:15,0	01:33,0	5	00:21,0	01:45,0	4	00:24,5	01:38,0	6	00:15,0	01:30,0
6	00:14,0	01:26,0	4	00:28,0	01:54,0	3	00:20,7	01:02,0	3	00:18,3	00:55,0
7	00:13,0	01:32,0	4	00:27,0	01:50,0	3	00:18,3	00:55,0	4	00:26,7	01:47,0
6	00:13,0	01:21,0	5	00:20,0	01:42,0	4	00:21,2	01:25,0	6	00:16,2	01:37,0
6	00:13,0	01:20,0	5	00:19,0	01:35,0	4	00:19,7	01:19,0	5	00:21,8	01:49,0
7	00:12,0	01:26,0	4	00:21,0	01:27,0	5	00:20,8	01:44,0	3	00:19,3	00:58,0
Média	00:14,1	01:29,3	Média	00:24,5	01:56,5	Média	00:22,3	01:37,0	Média	00:20,0	01:34,0
Desvio-padrão	00:01,6	00:08,3	Desvio-padrão	00:05,2	00:35,8	Desvio-padrão	00:02,5	00:25,1	Desvio-padrão	00:03,9	00:21,2
Máximo	00:18,0	01:50,0	Máximo	00:33,0	03:36,0	Máximo	00:27,2	02:16,0	Máximo	00:26,7	02:00,0
Mínimo	00:12,0	01:20,0	Mínimo	00:17,0	01:26,0	Mínimo	00:18,3	00:55,0	Mínimo	00:14,7	00:55,0

Os dados apresentados na Tabela 11 referentes à máquina Schtec 360, revelam tempos de colocação de reforço sistematicamente superiores aos registados na máquina Schtec 320 (Tabela 10), embora não se identifique uma causa técnica evidente para essa discrepância. Uma hipótese levantada associa a variação à capacidade operacional do colaborador, mas ressalta-se que o operador envolvido nos testes é considerado padrão para o posto em análise. Face à ausência de justificativas conclusivas, optou-se por incorporar os tempos médios observados na Schtec 360 no desenvolvimento da ferramenta proposta, garantindo assim a representatividade das condições reais. Os valores adotados foram: N14xx20 –14,5 segundos; N14xx07 –24,5 segundos; 15xx03 – 22,3 segundos; 15xx20 – 20,0 segundo.

Esta decisão fundamenta-se na necessidade de capturar a variabilidade processual inerente aos diferentes equipamentos, mesmo quando as suas causas não são totalmente claras.

4.4.4. Aparafusamento

A etapa de aparafusamento do reforço está condicionada pela fase anterior de colocação do mesmo, sendo que a sua execução depende diretamente da necessidade de aplicação de reforços em cada peça específica. Quando se verifica a colocação de reforços, procede-se ao respetivo aparafusamento, enquanto nos casos em que tal aplicação não se justifica, esta operação é naturalmente descaracterizada do fluxo produtivo.

No caso específico da máquina Schtec 320, o processo de aparafusamento é realizado manualmente por um operador posicionado na zona de saída do equipamento. Este colaborador tem a função de recolher as peças em que foi colocado o reforço e proceder ao seu aparafusamento, utilizando para o efeito uma máquina de aparafusamento dedicada, conforme se pode observar na Figura 38.

Esta operação manual implica necessariamente uma intervenção humana direta no processo produtivo.

Figura 38 - Máquina manual de aparafusamento de reforço que complementa a Schtec 320

Em contrapartida, a Schtec 360 incorpora um sistema totalmente automatizado para a execução desta operação. O módulo automático de aparafusamento/furação, ilustrado na Figura 39, realiza uma leitura prévia das características do lote em processamento, identificando as dimensões específicas de cada peça e ajustando o processo de aparafusamento em conformidade com esses parâmetros. Esta solução tecnologicamente mais avançada elimina a necessidade de intervenção manual, garantindo maior precisão e consistência no resultado.

Figura 39 - Módulo de aparafusamento automático CNC Schtec 360

À semelhança do processo de colocação de reforços, a operação de aparafusamento foi incluída na análise temporal do fluxo produtivo, como se pode observar nas Tabela 12 e Tabela 13. Esta opção metodológica justifica-se pela necessidade de identificar e quantificar eventuais ineficiências associadas a esta fase específica da produção.

Tabela 12 - Tempos, em segundos, de aparafusamento de reforço por peça relativa a cada perfil na máquina CNC Schtec 320

Schtec 320									
N14x20		N14xx07		15xx03		15xx20			
Peças	Aparafusamento do reforço	Peças	Aparafusamento do reforço	Peças	Aparafusamento do reforço	Peças	Aparafusamento do reforço		
1	00:06,0	1	00:12,0	1	00:11,0	1	00:06,0		
1	00:07,0	1	00:13,0	1	00:16,0	1	00:04,0		
1	00:06,0	1	00:07,0	1	00:12,0	1	00:05,0		
1	00:06,0	1	00:13,0	1	00:07,0	1	00:07,0		
1	00:07,0	1	00:11,0	1	00:08,0	1	00:06,0		
1	00:06,0	1	00:08,0	1	00:06,0	1	00:07,0		
1	00:09,0	1	00:09,0	1	00:09,0	1	00:07,0		
1	00:06,0	1	00:06,0	1	00:08,0	1	00:05,0		
1	00.07,64	1	00:13,0	1	00:08,0	1	00:06,0		
1	00:07,0	1	00:12,0	1	00:08,0	1	00:05,0		
Média	00:06,7	Média	00:10,4	Média	00:09,3	Média	00:05,8		
Desvio-padrão	00:00,9	Desvio-padrão	00:02,5	Desvio-padrão	00:02,8	Desvio-padrão	00:01,0		
Máximo	00:09,0	Máximo	00:13,0	Máximo	00:16,0	Máximo	00:07,0		
Mínimo	00:06,0	Mínimo	00:06,0	Mínimo	00:06,0	Mínimo	00:04,0		

Conforme mencionado previamente, o processo de aparafusamento de reforço na máquina CNC Schtec 320 é realizado manualmente. Os tempos apresentados na Tabela 12 foram recolhidos por peça, refletindo a metodologia de trabalho dos operadores, que executam o aparafusamento individualmente. Para garantir a precisão e representatividade dos dados, foram adotados os seguintes tempos médios de aparafusamento por perfil: N14xx20 – 6,7 segundos; N14xx07 – 10,4 segundos; 15xx03 – 9,3 segundos; 15xx20 – 5,8 segundos.

Observa-se que os maiores valores máximos e mínimos são dos perfis de aro, N14xx07 e 15xx03, isto deve-se ao fato de estes perfis serem sempre maiores que os perfis de folha, necessitando sempre de mais parafusos de fixação de reforço.

A Tabela 13, apresenta os tempos de processamento do módulo automático da CNC Schtec 360.

Tabela 13 - Tempos, em segundos, de aparafusamento de reforço por peça relativa a cada perfil na máquina CNC Schtec 360

Schtec 320													
N14xx20			N14xx07			15xx03			15xx20				
Peças	Tempo/peça	Aparafusamento do reforço	Peças	Tempo/peça	Aparafusamento do reforço	Peças	Tempo/peça	Aparafusamento do reforço	Peças	Tempo/peça	Aparafusamento do reforço
6	00:12,0	01:13,0	4	00:22,0	01:31,0	5	00:20,2	01:41,0	4	00:15,0	01:00,0
6	00:14,0	01:25,0	4	00:27,0	01:51,0	5	00:22,4	01:52,0	6	00:11,5	01:09,0
7	00:12,0	01:30,0	5	00:22,0	01:51,0	5	00:18,6	01:33,0	6	00:11,5	01:09,0
5	00:12,0	01:03,0	4	00:22,0	01:30,0	6	00:22,0	02:12,0	6	00:12,0	01:12,0
4	00:15,0	01:03,0	5	00:21,0	01:49,0	2	00:30,5	01:01,0	6	00:11,3	01:08,0
7	00:11,0	01:19,0	5	00:22,0	01:51,0	2	00:21,5	00:43,0	4	00:13,2	00:53,0
6	00:11,0	01:07,0	5	00:20,0	01:40,0	4	00:37,0	02:28,0	4	00:14,5	00:58,0
6	00:11,0	01:09,0	4	00:22,0	01:30,0	3	00:38,3	01:55,0	5	00:12,4	01:02,0
6	00:11,0	01:10,0	5	00:19,0	01:38,0	6	00:20,8	02:05,0	4	00:13,5	00:54,0
6	00:11,0	01:07,0	4	00:26,0	01:44,0	5	00:21,4	01:47,0	6	00:12,2	01:13,0
Média	00:12,0	01:12,6	Média	00:22,3	01:41,5	Média	00:25,3	01:43,7	Média	00:12,7	01:03,8
Desvio-padrão	00:01,3	00:08,7	Desvio-padrão	00:02,3	00:08,5	Desvio-padrão	00:06,9	00:30,1	Desvio-padrão	00:01,2	00:07,0
Máximo	00:15,0	01:30,0	Máximo	00:27,0	01:51,0	Máximo	00:38,3	02:28,0	Máximo	00:15,0	01:13,0
Mínimo	00:11,0	01:03,0	Mínimo	00:19,0	01:30,0	Mínimo	00:18,6	00:43,0	Mínimo	00:11,3	00:53,0

Estes valores foram determinados com base em medições diretas, assegurando a fiabilidade dos resultados para aplicação no contexto do estudo.

A Tabela 13, apresenta os tempos de processamento do módulo automático da CNC Schtec 360 para operações sequenciais de aparafusamento e furação por peça. Os dados recolhidos inicialmente por barra e convertidos para valores unitários revelam variações nos tempos de processamento entre os diferentes perfis. Observa-se que os perfis de aro N14xx07 (22,3 segundos) e 15xx03 (25,3 segundos) apresentam tempos médios superiores aos perfis de folha N14xx20 (12,0 segundos) e 15xx20 (12,7 segundos). Esta diferença deve-se à natureza combinada das operações de aparafusamento e furação necessárias nos perfis de aro (N14xx07 e 15xx03), enquanto para os perfis de folha (N14xx20 e 15xx20) o fator determinante é essencialmente a capacidade de cadência da máquina.

O protocolo operacional define a fixação de parafusos em incrementos de 10 cm, com início num ponto zero situado numa extremidade da peça. Na CNC Schtec 320, a cronometragem engloba todo o processo desde a recolha da peça pelo operador após a aplicação do reforço até à finalização completa do aparafusamento. Já no sistema automatizado da Schtec 360, que executa o processo conjunto de aparafusamento e furação das peças, a medição temporal compreende todo o ciclo de processamento, desde a primeira até à última peça de cada barra.

A análise comparativa dos tempos de processamento entre os perfis de aro e folha na CNC Schtec 360 evidencia que a complexidade operacional, especialmente a combinação de aparafusamento e furação nos perfis de aro, impacta expressivamente a eficiência do processo automatizado. Enquanto os perfis de folha apresentam tempos mais reduzidos, limitados principalmente pela cadência da máquina. A superioridade do processo manual em algumas operações sugere que a automação, na sua configuração atual, pode não otimizar plenamente todas as etapas produtivas. Para esta função. os tempos foram registados por observação direta, tendo como base sempre os mesmos colaboradores habituais de cada posto, em dias e obras diferentes.

4.4.5. Furação das peças

O processo de furação das peças é realizado após o processo de aparafusamento de reforço, apenas em perfis de aro, neste caso em análise N14xx07 e 15xx03. Para esta operação, estão contempladas quatro variantes distintas: furação 6, furação 8, furação 11/8 e sem furação.

A seleção da tipologia de furação depende essencialmente do sistema de fixação da caixilharia escolhido pelo cliente.

Na CNC Schtec 320, a execução da furação é manual em todas as configurações, com exceção dos casos em que é solicitada a não realização de furos de fixação. Neste posto de trabalho, procede-se à recolha das barras após fixação do reforço previamente inserido no interior da peça, seguindo-se a respetiva furação com auxílio da máquina de furação, conforme ilustrado na Figura 40. Todos os tipos e furação requerem uma preparação de *setup*.

Figura 40 - Módulo de furação manual Schtec 320

Na CNC Schtec 360, a operação de furação é realizada com recurso ao módulo de furação automática integrado no equipamento, conforme ilustrado na Figura 41. Contudo, este módulo está limitado à execução de furos com diâmetro de 8 mm ou de 6 mm.

Figura 41 - Módulo de furação automático CNC Schtec 360

Quando são solicitadas furações de 11/8 mm (termo utilizado na empresa), torna-se necessário recorrer a um processo manual, com auxílio à máquina representada na Figura 43 e a utilização de uma broca desenvolvida especialmente para este este efeito cuja cabeça possui um diâmetro de 8 mm até ao primeiro centímetro, com um rebaixe 11 mm que se prolonga no restante da broca, como representado na Figura 42.

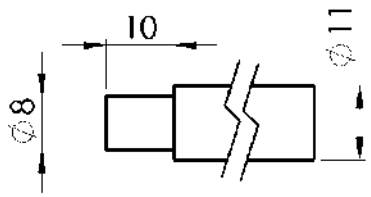


Figura 42 - Representação exemplificativa da broca

Nesta operação, exige-se a preparação prévia do *setup* e a substituição das brocas de furação conforme o diâmetro requerido.

Figura 43 - Máquina de furação manual de apoio à máquina CNC Schtec 360

Para esta análise, os tempos de processamento registados na CNC Schtec 320 (Tabela 14) foram medidos considerando todo o ciclo operacional, desde a recolha da peça da máquina de aparafusamento até à conclusão do processo de furação pelo operador.

Tabela 14 – Tempos, em segundos, de furação por peça relativa a cada perfil na máquina CNC Schtec 320

	Schtec 320	
	N14xx07	15xx03
	Furação do reforço	Furação do reforço
	00:11,0	00:15,0
	00:19,0	00:17,0
	00:15,0	00:07,0
	00:16,0	00:10,0
	00:08,0	00:12,0
	00:09,0	00:12,0
	00:09,0	00:09,0
	00:17,0	00:12,0
	00:16,0	00:08,0
	00:15,0	00:10,0
Média	00:13,5	00:11,2
Desvio-padrão	00:03,7	00:02,9
Máximo	00:19,0	00:17,0
Mínimo	00:08,0	00:07,0

A análise dos tempos de furação apresentados na Tabela 14 revela que existem variações reduzidas entre os processos para os diferentes perfis. Com base nestes dados, foram estabelecidos os seguintes tempos de referência para o desenvolvimento da ferramenta: N14xx07 – 13,5 segundos; 15xx03 – 11,2 segundos.

Para situações que requeiram tipos de furação distintos dos padrões analisados, foi definido um tempo adicional padrão de 23,15 segundos, no entanto, não será aplicado visto que este processo pode ser efetuado enquanto a máquina processa o corte de uma barra.

Os tempos recolhidos na Schtec 360, representados na Tabela 15, não representam os tempos de furação relativos a todos os tipos de furação, mas apenas dos tempos de furação 11/8 mm. Sendo que, as furações 8 mm, 6 mm e situações sem furação estão consideradas na Tabela 13.

A Tabela 15, revela uma disparidade nos tempos de processamento entre os perfis 15xx03 (26,0 segundos) e N14xx07 (14,66 segundos).

Tabela 15 – Tempos, em segundos, de furação por peça relativa a cada perfil na máquina CNC Schtec 360

	Schtec 360	
	15xx03	N14xx07
	Furação do reforço	Furação do reforço 11/8
	00:23,0	00:12,0
	00:33,0	00:13,0
	00:33,0	00:14,0
	00:35,0	00:14,0
	00:22,0	00:14,0
	00:22,0	00:16,0
	00:21,0	00:16,0
	00:19,0	00:16,0
	00:25,0	00:16,0
	00:27,0	00:15,0
Média	00:26,0	00:14,6
Desvio-padrão	00:05,4	00:01,4
Máximo	00:35,0	00:16,0
Mínimo	00:19,0	00:12,0

Esta diferença decorre das capacidades distintas de furação em cada perfil: enquanto o sistema automatizado consegue executar furações de 6 mm e 8 mm no perfil N14xx07, a mesma operação não é viável no perfil 15xx03 devido à presença da junta central, que limita as possibilidades de processamento mecânico.

A restrição imposta pela junta central no perfil 15xx03 exige operações manuais adicionais ou adaptações no processo, resultando em tempos médios de furação são superiores aos observados no perfil N14xx07. Esta variação evidência como características específicas de cada perfil podem impactar a eficiência operacional em processos automatizados.

Os tempos operacionais desta função foram registados através de observação direta dos colaboradores habituais em cada posto de trabalho, realizando medições em diversos dias e contextos de obra para garantir a representatividade dos dados.

4.4.6. Distribuição pelos carros de transporte

A distribuição dos perfis cortados pelos carros de transporte é uma função contemplada em todas as CNC presentes no parque produtivo. Esta função consiste na recolha dos perfis após os processos de corte/mecanização, colocação de reforço, aparafusamento e furação, e na sua posterior distribuição pelos carros de transporte. Estes

carros de transporte, representados na Figura 44, contêm vinte divisórias e possuem capacidade para armazenar vinte quadros diferentes, com um máximo de quatro peças por compartimento. À semelhança dos tempos recolhidos para as funções de colocação do reforço, aparafusamento e furação das peças, a recolha dos tempos apresentados na Tabela 16 e Tabela 17 consideram-se pertinentes de modo a proceder a uma análise integral do processo.

Figura 44 - Carro de transporte

Referente à distribuição dos perfis pelos carros de transporte, a recolha dos tempos foi desde a finalização do aparafusamento ou furação até à finalização da colocação dos perfis, os tempos desta operação foram obtidos mediante observação direta dos operadores regulares de cada estação de trabalho, com medições realizadas em múltiplos dias e diferentes contextos produtivos para assegurar a fiabilidade dos resultados. Não existiu uma separação entre a distância da furação, no caso dos perfis de aro com furação 11/8 mm, 8 mm e 6 mm (N14xx07 e 15xx03) e da distância do aparafusamento principalmente nos perfis de folha (N14xx20 e 15xx20) ou nos aros sem furação porque os carros estão alocados muito próximos de ambas as máquinas.

Os tempos médios apresentados na Tabela 16, serão os valores de referência adotados para o desenvolvimento da dissertação de mestrado

Tabela 16 – Tempos, em segundos, de distribuição por peça relativa a cada perfil na máquina CNC Schtec 320

	Schtec 320			
	N14xx20	N14xx07	15xx03	15xx20
	Distribuição pelos carrinhos	Distribuição pelos carrinhos	Distribuição pelos carrinhos	Distribuição pelos carrinhos
	00:05,0	00:04,0	00:06,0	00:06,0
	00:06,0	00:05,0	00:05,0	00:05,0
	00:05,0	00:10,0	00:05,0	00:05,0
	00:06,0	00:05,0	00:05,0	00:05,0
	00:08,0	00:04,0	00:04,0	00:05,0
	00:06,0	00:03,0	00:07,0	00:05,0
	00:06,0	00:03,0	00:05,0	00:05,0
	00:07,0	00:03,0	00:04,0	00:06,0
	00:10,0	00:05,0	00:04,0	00:06,0
	00:08,0	00:05,0	00:04,0	00:07,0
Média	00:06,7	00:04,7	00:04,9	00:05,5
Desvio-padrão	00:01,5	00:02,0	00:00,9	00:00,7
Máximo	00:10,0	00:10,0	00:07,0	00:07,0
Mínimo	00:05,0	00:03,0	00:04,0	00:05,0

Como previamente referido, as diferenças observadas nos tempos de distribuição entre os vários perfis, incluindo aqueles que não envolvem o processo de furação, são muito semelhantes, o que valida a utilização destes dados como parâmetros consistentes para a modelação do sistema.

Na Tabela 17, estão representados os dados recolhidos relativos à máquina CNC Schtec 360.

Tabela 17 - Tempos de distribuição por peça relativos a cada perfil na máquina CNC Schtec 360

	Schtec 360			
	15xx03	15xx20	N14xx20	N14xx07
	Distribuição pelos carrinhos	Distribuição pelos carrinhos	Distribuição pelos carrinhos	Distribuição pelos carrinhos
	00:04,6	00:05,3	00:04,8	00:07,4
	00:06,7	00:06,3	00:05,7	00:06,7
	00:06,8	00:04,7	00:06,9	00:06,3
	00:06,4	00:06,9	00:11,8	00:07,1
	00:05,5	00:05,8	00:05,7	00:05,1
	00:06,7	00:06,6	00:07,5	00:06,2
	00:05,9	00:07,0	00:08,9	00:04,8
	00:05,9	00:05,1	00:08,6	00:04,9
	00:04,9	00:06,3	00:04,8	00:05,6
	00:07,1	00:04,2	00:06,5	00:07,3
Média	00:06,0	00:05,8	00:07,1	00:06,1
Desvio-padrão	00:00,8	00:00,9	00:02,1	00:00,9
Máximo	00:07,1	00:07,0	00:11,8	00:07,4
Mínimo	00:04,6	00:04,2	00:04,8	00:04,8

Os tempos médios cronometrados, apresentados na Tabela 17, revelam variações mínimas nos tempos médios de distribuição entre os diferentes perfis. Embora se observe uma ligeira discrepância, particularmente no perfil N14xx20 que apresenta o tempo médio mais elevado (7,1 segundos), estas diferenças não são consideradas expressivas do ponto de vista operacional. Todos os tempos médios registados, são integralmente incorporados no desenvolvimento da ferramenta de simulação, garantindo assim uma representação fiel das condições reais de trabalho e das pequenas variações naturais do processo de distribuição. Esta abordagem permite à ferramenta simular com precisão tanto os cenários padrão quanto as eventuais flutuações nos tempos de operação.

4.5. Problemas identificados no processo de corte CNC

Com o propósito de reunir e representar de forma estruturada os principais problemas identificados durante a análise do processo operacional de corte CNC, recorreu-se à utilização do diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de espinha de peixe. A Figura 45 apresenta uma visão geral dos fatores que contribuem para a ineficiência observada neste processo.

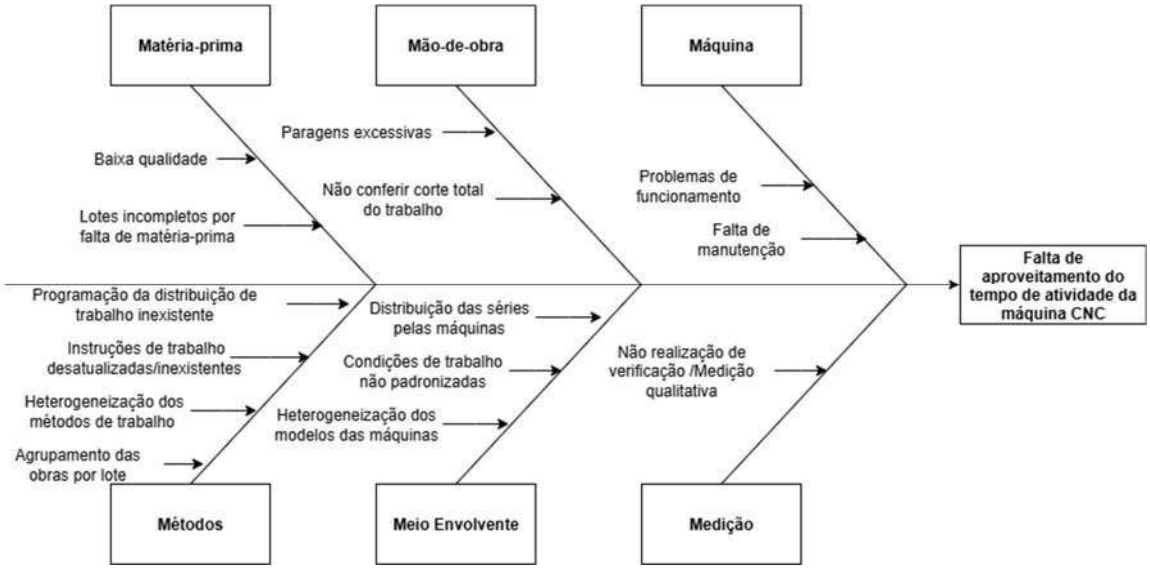


Figura 45 - Problemas identificados para falta de aproveitamento do tempo de atividade da máquina CNC

Através da aplicação desta ferramenta de análise de causa e efeito, tornou-se possível identificar os principais fatores que influenciam de forma negativa a utilização do tempo de atividade da máquina CNC, sendo que esta abordagem tem como objetivo fundamental a identificação e categorização das causas associadas a um problema específico, agrupando-as em domínios temáticos que abrangem as áreas operacionais mais relevantes da organização.

Neste contexto, foram consideradas seis categorias principais, nomeadamente matéria-prima, mão de obra, máquina, métodos, meio envolvente e medição. No que respeita à matéria-prima, destacam-se como causas relevantes a possível baixa qualidade de alguns dos materiais utilizados e a ocorrência de lotes incompletos, resultantes do incumprimento do planeamento por parte dos sectores de película, lacagem ou de fornecedores externos. Estas situações podem provocar interrupções no fluxo produtivo e impactam de forma negativa a eficiência do processo. Relativamente à mão de obra, identificaram-se como fatores contribuintes as paragens excessivas ou suplementares às pausas destinadas às refeições, originando períodos improdutivos que prejudicam a cadência do trabalho. No domínio da máquina, salientam-se os problemas de funcionamento, frequentemente associados à ausência de manutenção preventiva, o que pode conduzir à necessidade de intervenções corretivas não planeadas, comprometendo, assim, a disponibilidade operacional do equipamento e afetando a produtividade global do sistema.

A categoria relativa aos métodos evidencia fragilidades de natureza organizacional e documental, tais como a inexistência de uma programação eficaz e pragmática da distribuição da carga laboral pelas diferentes máquinas, a existência de instruções de trabalho desatualizadas ou mesmo inexistentes, bem como a heterogeneidade dos métodos de trabalho adotados pelos colaboradores. Ainda nesta categoria, referente à falta de um mecanismo que agrupe automaticamente obras com características similares (em termos de perfis e cores), em lotes, resulta em movimentações excessivas no armazém automático e num aumento significativo do desperdício de material.

Estes fatores revelam uma clara carência de padronização e uniformização dos procedimentos operacionais, o que se reflete negativamente na eficiência e na previsibilidade das operações de corte CNC. No que concerne ao meio envolvente, observam-se aspetos como a distribuição das séries de trabalho pelas diferentes máquinas sem que seja realizada previamente uma análise detalhada às capacidades específicas de cada equipamento, particularmente no que se refere ao tempo operativo necessário para o corte dos diversos perfis. Adicionalmente, verifica-se a heterogeneidade dos modelos de máquinas em utilização e a ausência de condições de trabalho devidamente padronizadas, circunstâncias que dificultam a adaptação dos operadores e comprometem a eficiência global do sistema produtivo.

Por fim, no que se refere à medição, destaca-se a possibilidade de omissão ou de execução inadequada das atividades de verificação e de medição qualitativa dos produtos, o que limita a identificação precoce de não conformidades e prejudica tanto a produtividade como a fiabilidade do funcionamento da máquina CNC.

Para identificar, de forma mais pragmática as ineficiências do processo produtivo de corte CNC, foi desenvolvida a Tabela 18.

Tabela 18 - Conjunto de ineficiências identificadas no processo produtivo de corte CNC.

Ineficiências	Descrição
Instruções de trabalho	Existência de instruções desatualizadas ou inexistentes, causando métodos de trabalho heterogéneos e pouca uniformidade operacional.
Planeamento da produção	Planeamento realizado de forma manual, sem ferramentas digitais robustas para simular tempos máquina e distribuir carga produtiva de forma coerente.
Paragens não planeadas	Registo de paragens excessivas ou não planeadas, muitas vezes associadas à falta de manutenção preventiva ou a tempos mortos entre operações.
Abastecimento das máquinas	Ineficiências no abastecimento, aumentando tempos e criando inconsistências entre perfis.
Gestão de matérias-primas	Ocorrência de lotes incompletos, por incumprimento do planeamento dos setores auxiliares ou de fornecedores externos, gerando interrupções no processo produtivo.
Melhoria da comunicação interdepartamental	Reforçar a comunicação entre os diferentes sectores (produção, planeamento, manutenção, qualidade) para garantir maior alinhamento na execução das tarefas e resposta mais rápida a imprevistos.
Agrupamento por lotes de produção	Ao agrupar várias obras com características semelhantes (cor, série e furação), denota-se uma redução relativamente ao consumo de material. Quando processadas individualmente o material é otimizado por obra, quando processadas várias obras no mesmo lote o material é otimizado com base no conjunto de obras.

A análise efetuada à Tabela 18, permite observar que a ineficiência na utilização do tempo de atividade da máquina CNC resulta de um conjunto de causas interdependentes que envolvem fatores de natureza técnica, organizacional e humana. A identificação estruturada dessas causas constitui um passo essencial para a definição de medidas corretivas e para a implementação de práticas de melhoria contínua, contribuindo para o incremento da eficiência operacional e para o reforço da competitividade industrial da organização.

Para o desenvolvimento do presente projeto, será concebida uma ferramenta destinada a simular o tempo de corte e a melhorar a distribuição da carga de trabalho pelas diversas máquinas, contemplando os tempos de inatividade, nomeadamente aqueles dedicados às manutenções preventivas e às pausas para refeições. Após a conclusão do desenvolvimento desta ferramenta, e posterior finalização desta dissertação proceder-se-á à reestruturação das instruções de trabalho, em conformidade com o processo padronizado de recolha dos tempos de produção, com o objetivo de uniformizar os métodos de trabalho e assegurar maior consistência e eficácia nas operações. Assim, ao longo desta dissertação de mestrado, pretende-se desenvolver uma ferramenta de simulação que permita otimizar a distribuição do trabalho pelas máquinas CNC, facilitando a gestão da carga produtiva e servindo de base para a implementação futura de um sistema automatizado de alocação de tarefas. Esta solução visa não apenas reduzir os tempos mortos entre operações e aumentar a eficiência das máquinas, mas também estabelecer as bases para um sistema integrado de gestão da produção, capaz de responder de forma adequada às necessidades específicas da CAIXIAVE. Ao criar um modelo de simulação que consiga reproduzir as condições reais do ambiente produtivo, tornar-se-á possível testar diferentes cenários e estratégias de distribuição de trabalho, identificando aquelas que melhoram a produtividade, os fluxos de trabalho e diminuem os desperdícios. Os resultados obtidos poderão, posteriormente, ser utilizados como referência para o desenvolvimento de um sistema automatizado, capaz de realizar essa distribuição de forma inteligente e adaptativa, integrando critérios como a prioridade das entregas, a tipologia das janelas e a disponibilidade efetiva dos recursos produtivos.

5. Apresentação e análise das propostas de melhoria

Com o objetivo de reformular o processo de corte CNC, foi estabelecida como prioridade a reestruturação do referido processo na sua totalidade, de forma a garantir uma implementação eficiente e sistematizada.

Essa reformulação, consiste na criação de diretivas para desenvolvimento de novas páginas no software interno para auxílio do setor de planeamento na função de agrupamento das obras em lote, e desenvolvimento de uma ferramenta que servirá de modelo para criação de uma página para efetuar um planeamento formal e estruturado para o setor de corte.

5.1. Reestruturação do setor de planeamento

Numa fase inicial, quando definido o processo de agrupar várias obras no mesmo lote, para otimização dos consumos de matéria-prima e melhoria da distribuição do material no armazém automático, procedeu-se ao processo de agrupamento realizado manualmente, exigindo a separação das obras pertencentes à mesma semana de produção com base na semana de produção, cor, no tipo de perfil e no tipo de furação. A cor e o tipo de furação podem ser identificados diretamente na folha de obra, como é possível observar na Figura 23 no capítulo 4.1. Contudo, a identificação do tipo de perfil requer a análise da folha de necessidades de perfil, conforme ilustrado na Figura 46, presente no processo de obra gerado e impresso pelo setor de preparação de obra.

CAIXIAVE

Encomenda Perfis + Reforços

Data : 26/11/2024 **Encomenda nº :** A112387-3 **PO:** Diogo Araujo

Obra: 19055/24P **Prep nº:** 16183/24 **Cliente:** Caixiave - Indústria de Caixilharia, SA

Referência	Descrição	Cor	Comp.(mm)	Qt.
120865.0M000	Bite 120865	Branco Massa	6000	2
120865.0P019	Bite 120865	P019	6000	2
140415.0M000M000	Aro Aba 40 mm 14xx15	Branco MassaBranco Mass	6000	2
543428.	Borracha Sol Alu 543428	INCOLOR 2INCOLOR 2	4000	1
549905.	Sol Alu BKV 70 TB	INCOLOR 2	6000	1
601079.	Pingadeira_Alu_601079	INCOLOR 2	6000	1
N140407.0P019P019	Aro standard N14xx07	P019P019	6000	2
N140430.0M000M000	Folha Recta N14xx30	Branco MassaBranco Mass	6500	2
N140430.0P019P019	Folha Recta N14xx30	P019P019	6500	2
259105F.	Reforço 259105F		6000	1
259105A.	Reforço 259105A		6000	1
229100.	Reforço 229100		6000	2
249031.	Reforço 249031		6000	2
229114A.	Reforço 229114A		6000	3

Figura 46 - Listagem de consumo de perfis, contendo detalhes como descrição, cor, comprimento e quantidade de materiais necessários para a produção

Este trabalho de consulta de todas as listas de consumo de perfis, com a intenção de identificar os perfis presentes em todas as obras, torna-se exaustivo e passível de erro.

Desta forma, com o objetivo de informatizar e otimizar este processo, foram estabelecidas diretrizes, que posteriormente foram transmitidas ao setor informático para a criação de uma página que integra o programa de gestão interno da empresa, como se encontra representado na Figura 47.

As diretrizes visam possibilitar a criação de uma página onde é possível de forma intuitiva dividir as obras por tipologias de janelas, perfil, cor, furação entre outros. Para além desta divisão esta página deverá comunicar diretamente com o setor de preparação de obra de forma a possibilitar a comunicação direta com o servidor para criação de um lote de produção de forma fácil e pragmática.

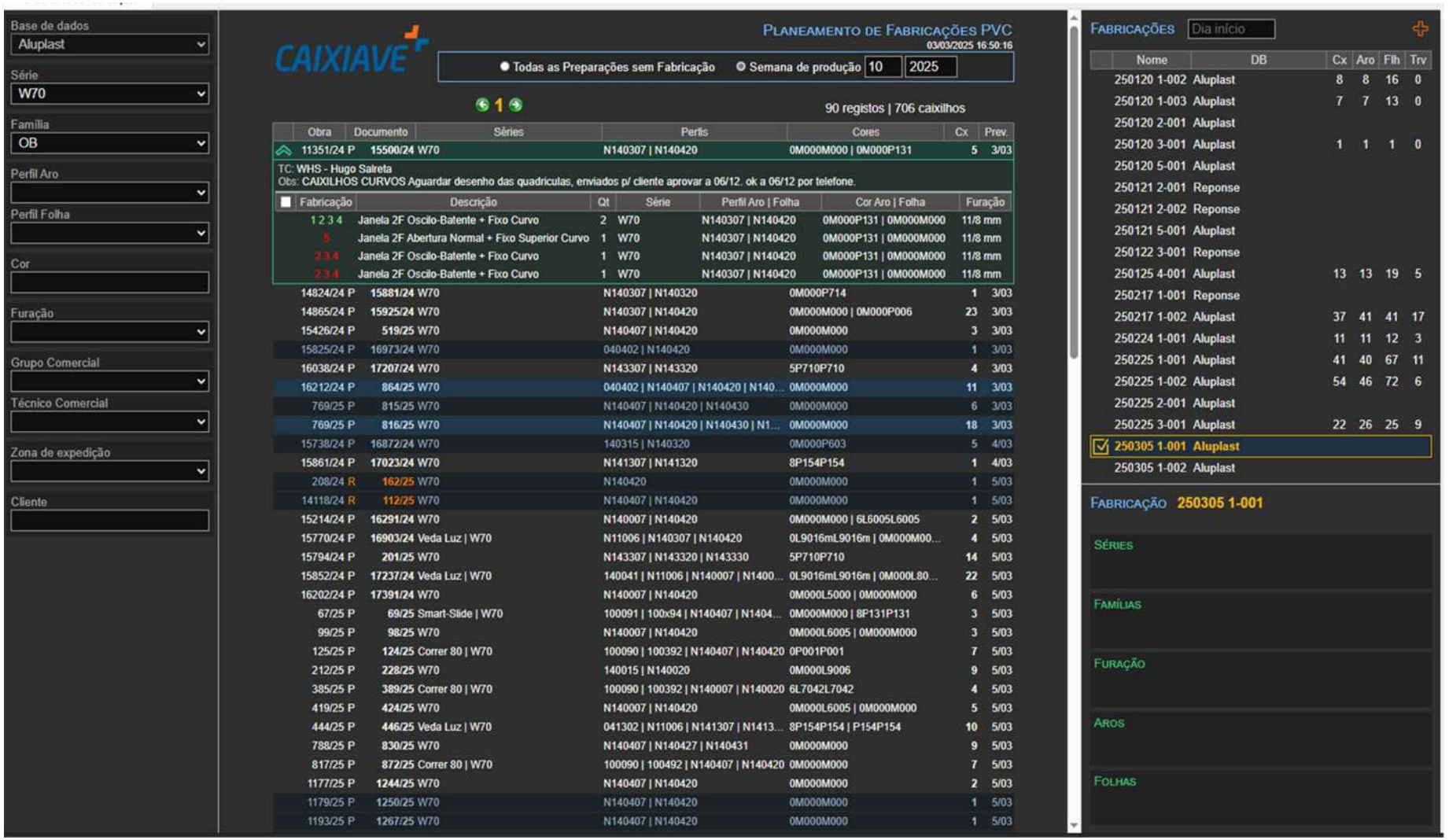


Figura 47 - Software desenvolvido para auxílio do planeamento e divisão dos lotes

As diretrizes estabelecidas para a melhoria do processo foram:

- **Filtrar apenas as obras de cada semana:** Desta forma, é possível otimizar a junção de várias obras, respeitando a semana de produção pré-estabelecida. Este critério garante que as obras sejam agrupadas de acordo com o planeamento inicial, evitando atrasos e sobreposições.
- **Filtrar a série:** Selecionar apenas janelas que pertencem à mesma série de produção. Este critério permite uniformizar o processo de fabrico, uma vez que janelas da mesma série requerem operações semelhantes.
- **Filtrar por tipologia de janela:** Janelas da mesma tipologia ou família requerem o mesmo tipo de operações de mecanização. Este critério simplifica o processo de produção, reduzindo a necessidade de reconfigurações frequentes das máquinas.
- **Filtrar o tipo de perfil:** Este critério permite que o consumo das barras seja mais eficiente, minimizando desperdícios e maximizando a utilização do material.
- **Filtrar o tipo de furação:** Permite a redução dos tempos de preparação de *setup* para furação dos perfis. Este critério é essencial para reduzir erros produtivos.
- **Criar um lote de produção:** Facilita a seleção de janelas de várias obras e a definição do percurso das mesmas ao longo da cadeia produtiva. Este critério permite uma gestão mais eficiente do fluxo de trabalho.
- **Comunicar diretamente com o servidor:** De forma a comunicar diretamente com o software de preparação de obra, para recalcular automaticamente o consumo de material do conjunto de janelas e definir o conjunto de operações a serem desempenhadas pela CNC. Este critério assegura uma maior precisão e eficiência no planeamento e execução das tarefas.
- **Criar uma folha de necessidades de material por lote:** De forma a preparar a distribuição do material no armazém automático, prevenindo perdas de tempo e danos no material. Este critério é crucial para garantir que o material esteja disponível no momento certo, evitando interrupções na produção.

Estes critérios foram estabelecidos com o objetivo de otimizar o processo de corte CNC, garantindo uma maior eficiência, redução de custos e cumprimento dos prazos de entrega. A implementação destas diretrizes no sistema de gestão interno da empresa

permitirá uma maior integração e automatização dos processos, contribuindo para a melhoria contínua do sistema produtivo da CAIXIAVE.

Após esta análise, foi desenvolvido, através da colaboração entre os departamentos de informática, técnico e gestão de produção, um *design* que visa representar e satisfazer todos os requisitos estabelecidos. Esta página, ilustrada na Figura 47, não só permite uma melhor gestão do processo de planeamento e gestão da produção, mas também assegura ao departamento técnico que todos os pressupostos por ele definidos serão rigorosamente respeitados.

5.2. Explicação do processo de utilização da ferramenta de simulação

Numa fase inicial do desenvolvimento desta ferramenta, com o diagrama de funcionamento apresentado na Figura 48, optou-se pela utilização do programa Microsoft Excel para a criação de uma prova de conceito que, futuramente, servirá como modelo para a implementação de uma versão automatizada, a integrar no programa interno da CAIXIAVE.

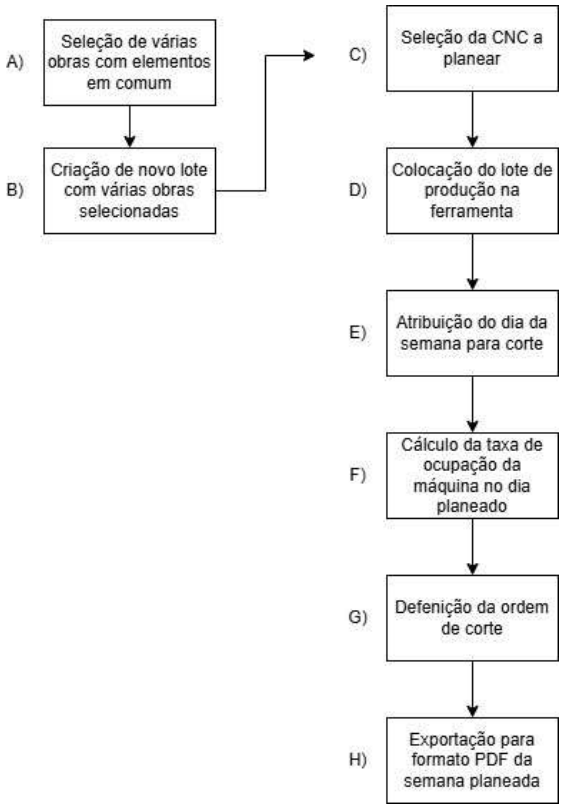


Figura 48 - Explicação da ferramenta desenvolvida

O processo inicia-se com a criação do lote de produção (A). O lote de produção, como relatado no capítulo 5.1 da presente dissertação, o lote de produção é constituído mediante a seleção de diversas obras que apresentam características comuns, nomeadamente: o sistema de perfis, a cor dos perfis, o tipo de furação e a semana de produção, como representado na Figura 49 .

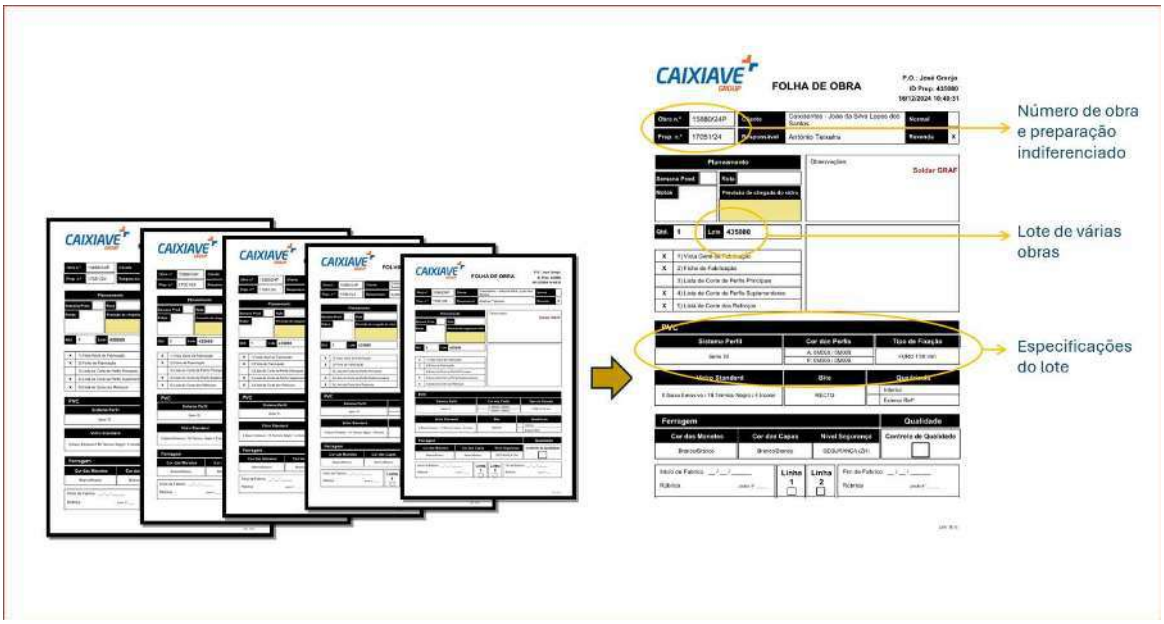


Figura 49 -Agrupamento das encomendas de diferentes obras por lote

Após a seleção das obras, é gerado, através do software interno Ramasoft, um novo lote que, em vez de otimizar as operações de cada obra individualmente, procede à otimização conjunta das mesmas (B). O lote produzido, como exemplo na Figura 50, reúne todas as operações que necessitam a serem executadas pela máquina CNC.

PartIdInPr	BarNo	BarLength	PartIdInBx	PartLength	LeftAngle	RightAngle	ProfileCod	BaseProfil	ProfileDes	WindowWi	WindowHe	Carrier	Box	Orientatio	Reinforcer	Reinforcer	WindowN	Proformat	OfferNo	Customer	Date	Process	Ux	ColourCo	ColourInk	SubCustor	ImagePath	Data1
1	1	60000	1	20654	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20930	0	0	G	2003 259105F		31	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0323120;		0	BLANC	António Simões & Simões		
2	1	60000	2	20654	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20930	0	0	D	2003 259105A		31	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
3	1	60000	3	14047	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	9020	20800	0	0	H	0		20	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
4	2	60000	1	20628	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8900	20900	0	0	G	2000 259105A		11	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0508020;		0	BLANC	António Simões & Simões		
5	2	60000	2	20628	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8900	20900	0	0	D	2000 259105F		11	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
6	2	60000	3	14027	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	9000	20850	0	0	H	0		26	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
7	3	60000	1	20628	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20900	0	0	G	2000 259105A		10	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0508020;		0	BLANC	António Simões & Simões		
8	3	60000	2	20628	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20900	0	0	D	2000 259105F		10	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
9	3	60000	3	14027	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	9000	20850	0	0	H	0		5	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
10	4	60000	1	20578	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8880	20850	0	0	G	1995 259105A		9	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0508020;		0	BLANC	António Simões & Simões		
11	4	60000	2	20578	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8880	20850	0	0	D	1995 259105F		9	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
12	4	60000	3	14007	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8960	20850	0	0	H	0		27	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
13	5	60000	1	20578	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20850	0	0	G	1995 259105A		21	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0508020;		0	BLANC	António Simões & Simões		
14	5	60000	2	20578	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20850	0	0	D	1995 259105F		21	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
15	5	60000	3	13967	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8970	20780	0	0	H	0		12	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
16	6	60000	1	20577	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20850	0	0	G	1995 259105A		33	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0508020;		0	BLANC	António Simões & Simões		
17	6	60000	2	20577	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20850	0	0	D	1995 259105F		33	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
18	6	60000	3	13997	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8970	20800	0	0	H	0		23	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
19	7	60000	1	20577	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8930	20850	0	0	G	1995 259105A		34	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0508020;		0	BLANC	António Simões & Simões		
20	7	60000	2	20577	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8930	20850	0	0	D	1995 259105F		34	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
21	7	60000	3	13989	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20860	0	0	H	0		8	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
22	8	60000	1	20575	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8900	20850	0	0	D	1995 259105A		17	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
23	8	60000	2	20575	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8900	20850	0	0	G	1995 259105F		19	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0323120;		0	BLANC	António Simões & Simões		
24	8	60000	3	13987	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8960	20800	0	0	H	0		13	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
25	9	60000	1	20575	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8900	20850	0	0	G	1995 259105F		15	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0323120;		0	BLANC	António Simões & Simões		
26	9	60000	2	20575	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8900	20850	0	0	G	1995 259105F		17	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0323120;		0	BLANC	António Simões & Simões		
27	9	60000	3	13978	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20930	0	0	H	0		31	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
28	10	60000	1	20575	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8900	20850	0	0	D	1995 259105A		15	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
29	10	60000	2	20575	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8980	20850	0	0	G	1995 259105F		27	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0323120;		0	BLANC	António Simões & Simões		
30	10	60000	3	13977	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20830	0	0	H	0		22	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
31	11	60000	1	20575	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8900	20850	0	0	D	1995 259105A		19	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
32	11	60000	2	20575	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	9000	20850	0	0	G	1995 259105F		26	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0323120;		0	BLANC	António Simões & Simões		
33	11	60000	3	13977	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20860	0	0	H	0		6	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
34	12	60000	1	20575	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	9000	20850	0	0	D	1995 259105A		26	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
35	12	60000	2	20575	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8980	20850	0	0	D	1995 259105A		27	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
36	12	60000	3	13977	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8990	20850	0	0	H	0		21	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		
37	13	60000	1	20558	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20830	0	0	G	1993 259105A		22	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0508020;		0	BLANC	António Simões & Simões		
38	13	60000	2	20558	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8950	20830	0	0	D	1993 259105F		22	410898	A102318	António Si	23.06.25	H0318010;		0	BLANC	António Simões & Simões		
39	13	60000	3	13977	90	90	N14xx07	N14xx07	N14xx07	8990	20850	0	0	H	0		17	410898	A102318	António Si	23.06.25			0	BLANC	António Simões & Simões		

Figura 50 - Lote de produção

Após todo este processo de agrupamento de obras por lote, seleciona-se a máquina CNC que se pretende planear neste caso entre a Schtec 320 ou Schtec 360 (C).

Em seguida, procede-se à cópia do lote cujo tempo de processamento se pretende prever, inserindo-o posteriormente na ferramenta de simulação (D). Após esta inserção, a ferramenta realiza automaticamente os cálculos associados a cada operação, permitindo estimar o tempo total de corte.

De seguida, é selecionado o dia previsto para o corte do lote e, através de uma macro, o sistema distribui automaticamente o lote pela semana de produção (E).

Na folha de planeamento da máquina CNC uma segunda macro que ativa as fórmulas para o cálculo da taxa de ocupação diária da máquina (F), que avalia cada dia da semana, somam os lotes presentes em cada dia e divide pelo tempo total de atividade da máquina, assim possibilita a avaliação da carga de trabalho prevista para cada dia da semana.

Com base nesta distribuição e tendo em conta a taxa de ocupação definida para cada dia, são estabelecidas as ordens de corte correspondentes aos lotes atribuídos (G). A prioridade da distribuição pode seguir exclusivamente a ordem de entrada dos lotes na ferramenta ou, privilegiar determinadas obras incluídas nos lotes selecionados. Com base no dia definido e na ordem de corte, o cronograma semanal é preenchido automaticamente.

Após o preenchimento de todos os dias da semana, o planeamento pode ser exportado em formato PDF (H), através de uma macro, permitindo a sua disponibilização aos setores que antecedem o corte. Este procedimento possibilita uma preparação antecipada da matéria-prima e contribui para uma gestão mais eficiente do processo produtivo.

Esta ferramenta foi concebida com base na metodologia de investigação adotada no presente estudo.

Desta forma, possibilita-se à equipa de gestão, responsável pela distribuição do trabalho nas máquinas de corte CNC, o acesso a dados fiáveis que facilitam a prevenção de situações de sobrecarga laboral e contribuem para a mitigação do risco de incumprimento dos prazos de entrega previamente estabelecidos pelo departamento de produção.

5.2.1. Interface

A interface desenvolvida inicia-se com um menu de navegação de estrutura simples e intuitiva, que permite o acesso direto aos principais módulos da aplicação, organizados de acordo com cada máquina e respetivo planeamento.

A Figura 51, apresenta o menu principal da ferramenta desenvolvida em Microsoft Excel.

Figura 51 - Menu da ferramenta desenvolvida

O botão designado "Schtec 320" conduz o utilizador ao módulo de cálculo de previsão correspondente à máquina de corte CNC Schtec 320, no qual é possível proceder à análise do material incluído no lote de produção, bem como à interpretação do tempo estimado de corte associado.

De igual modo, o botão "Schtec 360" direciona o utilizador para o módulo específico da máquina de corte CNC Schtec 360, oferecendo funcionalidades idênticas, nomeadamente a leitura dos dados relativos ao lote de produção e à respetiva duração do processo de corte.

A opção "Planeamento Schtec 320" permite aceder ao separador dedicado ao planeamento das tarefas atribuídas à Schtec 320, possibilitando a organização das ordens de produção e a sua distribuição ao longo dia laboral, de acordo com a capacidade e disponibilidade operacional. Paralelamente, o botão "Planeamento Schtec 360" proporciona o acesso ao plano de produção da Schtec 360, facultando ferramentas de calendarização e de gestão da carga de trabalho associada a essa unidade de produção.

Por fim, o botão “Base de dados” conduz o utilizador ao núcleo informacional da ferramenta, onde se encontram reunidas todas as informações que alimentam os módulos operacionais anteriormente mencionados, nomeadamente tempos operacionais, tipos de perfis e demais dados relevantes para o funcionamento do sistema.

Este menu foi concebido com o propósito de, para além de tornar a navegação mais intuitiva, permitir a organização estruturada do fluxo de informação por máquina e por função, promovendo assim a melhoria da gestão das operações de corte CNC e contribuindo para a eficiência global do processo produtivo.

5.2.2. Planeamento Schtec 320 e Shtec 360

A imagem apresentada corresponde a uma página de planeamento elaborada em Microsoft Excel, esta folha de cálculo, representada na Figura 52 e Figura 53, tem como finalidade principal a organização das atividades de corte de lotes ao longo de uma semana de trabalho, permitindo um controlo rigoroso sobre a alocação temporal de cada um.

Figura 52 - Folha de planeamento semanal da máquina CNC Schtec 320/ Schtec 360, tabela de cálculo da taxa de ocupação

Na Figura 53, as colunas representam os dias da semana, de segunda-feira a domingo, enquanto as linhas correspondem aos intervalos de tempo diários, para planeamento dos lotes. Cada célula da matriz refere-se a um período de corte do lote, permitindo o registo exato do número do lote que será cortado nesse intervalo específico. Nesta imagem, as horas ao longo do dia estão repetidas porque ainda não estão atribuídas prioridades de corte de lotes nem tempos associados ao processamento de cada um.

HORA	SEGUNDA-FEIRA	HORA	TERÇA-FEIRA	HORA	QUARTA-FEIRA	HORA	QUINTA-FEIRA	HORA	SEXTA-FEIRA	HORA	SÁBADO	HORA	DOMINGO
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0

Figura 53 - Folha de planeamento semanal da máquina CNC Schtec 320/ Schtec 360, tabela de distribuição de lotes por dias da semana

A atribuição de um intervalo deve-se à variabilidade da duração do corte dos lotes. Em determinados casos, em lotes mais pequenos, o processo de corte pode estar concluído num curto espaço de tempo. Assim, este modelo de planeamento permite aumentar a utilização dos recursos disponíveis e diminuir os tempos mortos entre operações, contribuindo para uma maior eficiência global da produção.

Importa destacar que o planeamento reflete a organização dos turnos de trabalho da unidade produtiva. Estão definidos dois turnos principais: o primeiro turno decorre entre as 6:00 e as 14:00 horas, enquanto o segundo turno se estende das 14:00 às 22:00 horas. Desta forma, foram contemplados intervalos de 30 minutos no turno da manhã para e no turno da tarde para pausa de almoço e jantar, assim como 30 minutos para limpeza da máquina no último turno, tempo teórico comunicado pelo encarregado do setor para executar essa função. A folha de cálculo apresentada, na Figura 52 e Figura 53, pode abranger todo o período até às 24:00 horas, para assegurar flexibilidade na programação, abrangendo eventuais necessidade de extensão de turno, situações excecionais ou operações complementares fora do horário regular.

Sempre que é adicionado um lote a um determinado dia da semana, para a Figura 52, são transpostos o número do lote e o tempo de duração do corte derivado da página “Schtec 320” ou “Schtec 360”. Após o carregamento no botão “Cálculo”, procede-se automaticamente, através de uma macro (Script VBA produzido automaticamente pelo

Excel mediante o recurso ao gravador de macros) baseada na Equação (1), ao cálculo da taxa de ocupação diária.

Após definição da ordem de corte, os lotes são adicionados à tabela da Figura 53, sendo indicado nessa tabela a hora de início e de fim para processamento do lote.

A tabela representada na Figura 53 destina-se à distribuição dos lotes pelos dias da semana e de acordo com a respetiva prioridade consequente da ordem de corte definida pelo utilizador. Após o preenchimento e ao carregar no botão "Imprimir", é automaticamente gerado um ficheiro em formato PDF, através de uma macro (Script VBA produzido automaticamente pelo Excel mediante o recurso ao gravador de macros), o qual pode ser enviado ao setor de corte e ao setor de perfis suplementares, com vista à organização prévia da sequência de fornecimento dos materiais.

O botão "Menu" permite o retorno ao menu principal da aplicação. O botão "Apagar" da tabela da esquerda elimina todos os lotes distribuídos pelos dias da semana. O botão "Apagar" da segunda tabela apaga todos os dados nela constantes.

Em suma, esta folha de planeamento apresentada constitui uma ferramenta operacional de elevada relevância no contexto da gestão da produção industrial, permitindo uma alocação mais precisa dos recursos, o cumprimento rigoroso dos prazos e uma resposta mais ágil às exigências do processo produtivo.

5.2.3. Schtec 320 e Schtec 360

A página apresentada constitui uma ferramenta de simulação concebida em Excel com o intuito de simular, calcular e organizar o tempo de processamento de lotes de produção. A estrutura da mesma, representada na Figura 54, encontra-se dividida em três zonas principais: a zona de colocação de lote, as tabelas individuais de cálculo por perfil (nomeadamente "N14xx20", "N14xx07", "15xx03" e "15xx20") e a barra de comandos que permite interações operacionais como o planeamento, a navegação no menu ou a eliminação de dados inseridos.

Figura 54 - Página de simulação de tempo de corte por lote na máquina Schtec 320

O processo inicia-se com a seleção de um lote de produção, que é posteriormente copiado e colado na zona inferior designada como “Zona de colocação do lote”. Esta zona contém várias colunas que identificam parâmetros específicos de cada lote, tais como o código do projeto, número da barra, comprimento da barra, posição da peça na barra, comprimento da peça, ângulos de corte (esquerdo e direito), código e descrição do perfil, largura e altura da janela, carrinho, entre outros elementos relevantes para o processamento fabril.

Após a colocar a informação do lote nesta zona (colar informação na folha de cálculo), o sistema procede automaticamente, através de fórmulas pré-programadas à leitura e interpretação da informação. As tabelas superiores, referentes a diferentes perfis (“N14xx20”, “N14xx07”, “15xx03” e “15xx20”), analisam os dados presentes no lote e identificam quais os perfis que integram esse mesmo conjunto. Para cada perfil identificado, a ferramenta calcula o número total de peças e de barras envolvidas, e com base nesse número, procede ao cálculo do tempo total de processamento. Este tempo é obtido através da multiplicação do número de peças pelas médias de tempo por peça previamente estabelecidas para cada uma das operações associadas ao perfil, nomeadamente o tempo de corte médio, o abastecimento da máquina por barra, a colocação de reforço por peça, o aparafusamento do reforço por peça, a furação por peça nomeadamente nos perfis de aro (N14xx07 e 15xx03), a colocação de cada peça nos carrinhos e o tempo global de processamento do perfil.

Assim que os tempos totais de cada perfil são calculados, essa informação é consolidada numa célula superior que identifica o número do lote em análise e apresenta o tempo total estimado de processamento desse mesmo lote. Com base neste valor, o utilizador deve então indicar o dia da semana em que pretende distribuir o lote para processamento. Após essa seleção, o lote é automaticamente adicionado à página de planeamento da máquina CNC, através de uma macro (Script VBA produzido automaticamente pelo Excel mediante o recurso ao gravador de macros), permitindo uma visualização organizada da distribuição semanal da produção.

Posteriormente, o utilizador pode selecionar o botão “Planeamento” para aceder à referida página e dar continuidade ao processo de cálculo das taxas de ocupação diárias. Caso pretenda regressar à interface principal da aplicação, poderá fazê-lo através do botão “Menu”. Existe ainda a possibilidade de remover o lote inserido na zona de colocação através do botão “Apagar Lote”, permitindo assim a substituição ou correção dos dados inseridos.

Em conclusão, esta página de planeamento e simulação de tempos de processamento de lotes constitui uma ferramenta de elevada utilidade para o controlo e estruturação do planeamento industrial. A sua capacidade de cálculo automático e de integração com o sistema de planeamento semanal confere um valor acrescentado, ao permitir uma gestão mais precisa dos tempos de fabrico, uma melhor afetação de recursos e uma redução potencial de desperdícios e tempos mortos na linha de produção.

5.2.4. Base de dados

O conteúdo representado na Figura 55, refere-se à estrutura de apoio técnico-operacional à ferramenta desenvolvida, que regista de forma organizada e sistematizada todas as médias dos parâmetros utilizadas nos cálculos das páginas de simulação e planeamento da produção anteriormente apresentadas, nomeadamente as associadas às máquinas Schtec 320 e Schtec 360.

Descrição	Séries
Folha série 4000	N14xx20
Aro série 4000	N14xx07
Aro série 5000	15xx03
Folha série 5000	15xx20

Schtec 320

N14xx20	
Tempos (seg)	Descrição
00:17,6	Tempo de abastecimento de máquina por peça
00:00,0	Tempo de furação por peça
00:27,9	Tempo de corte por peça
00:10,0	Tempo de colocação de reforço por peça
00:07,2	Tempo de aparafusamento por peça
00:07,2	Tempo de distribuição pelos carrinhos por peça

15xx03	
Tempos (seg)	Descrição
00:24,5	Tempo de abastecimento de máquina por peça
00:11,5	Tempo de furação por peça
00:56,9	Tempo de corte por peça
00:17,3	Tempo de colocação de reforço por peça
00:09,9	Tempo de aparafusamento por peça
00:05,5	Tempo de distribuição pelos carrinhos por peça

N14xx07	
Tempos (seg)	Descrição
00:18,4	Tempo de abastecimento de máquina por peça
00:14,0	Tempo de furação por peça
00:51,3	Tempo de corte por peça
00:18,1	Tempo de colocação de reforço por peça
00:10,9	Tempo de aparafusamento por peça
00:05,3	Tempo de distribuição pelos carrinhos por peça

15xx20	
Tempos (seg)	Descrição
00:18,3	Tempo de abastecimento de máquina por peça
00:00,0	Tempo de furação por peça
00:27,9	Tempo de corte por peça
00:18,5	Tempo de colocação de reforço por peça
00:06,2	Tempo de aparafusamento por peça
00:06,0	Tempo de distribuição pelos carrinhos por peça

Descrição	Séries
Folha série 4000	N14xx20
Aro série 4000	N14xx07
Aro série 5000	15xx03
Folha série 5000	15xx20

Schtec 360

N14xx20	
Tempos (seg)	Descrição
00:13,1	Tempo de abastecimento de máquina por peça
00:00,0	Tempo de furação por peça
00:22,7	Tempo de corte por peça
00:14,5	Tempo de colocação de reforço por peça
00:12,5	Tempo de aparafusamento por peça
00:07,1	Tempo de distribuição pelos carrinhos por peça

15xx03	
Tempos (seg)	Descrição
00:12,9	Tempo de abastecimento de máquina por peça
00:26,6	Tempo de furação por peça
00:36,9	Tempo de corte por peça
00:22,4	Tempo de colocação de reforço por peça
00:25,4	Tempo de aparafusamento por peça
00:06,0	Tempo de distribuição pelos carrinhos por peça

N14xx07	
Tempos (seg)	Descrição
00:14,6	Tempo de abastecimento de máquina por peça
00:14,9	Tempo de furação por peça
00:24,2	Tempo de corte por peça
00:25,0	Tempo de colocação de reforço por peça
00:22,8	Tempo de aparafusamento por peça
00:06,1	Tempo de distribuição pelos carrinhos por peça

15xx20	
Tempos (seg)	Descrição
00:15,7	Tempo de abastecimento de máquina por peça
00:00,0	Tempo de furação por peça
00:26,8	Tempo de corte por peça
00:20,1	Tempo de colocação de reforço por peça
00:12,8	Tempo de aparafusamento por peça
00:05,8	Tempo de distribuição pelos carrinhos por peça

Figura 55 - Tabelas de representação das médias por peça/barra de cada operação

Este ficheiro assume uma função fundamental no suporte da ferramenta, na medida em que serve de base de dados para a estimativa dos tempos de processamento por tipo de operação e por perfil, constituindo uma referência para os cálculos automáticos desenvolvidos nas folhas de simulação dos tópicos anteriores.

As médias de tempo apresentadas na página em análise derivam dos dados reais recolhidos ao longo do processo produtivo, conforme detalhado no tópico 5.2 desta dissertação, onde se descreve o processo de cronometragem e análise estatística das operações realizadas nas diferentes séries de perfis. A recolha de dados foi orientada para obter tempos médios, assegurando a fiabilidade das estimativas temporais por peça para cada tipo de perfil, o que permite uma aplicação prática coerente nas ferramentas de planeamento.

A página está organizada por máquina (Schtec 320 e Schtec 360) e, dentro de cada uma, os dados estão dispostos por tipo de perfil (como “N14xx20”, “N14xx07”, “15xx03” e “15xx20”). Para cada perfil, são indicados os tempos médios por operação, em segundos, associados às diferentes fases do processo de fabrico: abastecimento da máquina, furação, corte por barra, colocação e aparafusamento de reforço e, por fim, distribuição dos perfis pelos carrinhos. Estes tempos, devidamente registados, são utilizados como coeficientes multiplicadores nas simulações automáticas das folhas previamente descritas, em função do número de peças de cada lote.

A existência desta página de variáveis, devidamente parametrizada e atualizada com dados reais, assegura a coerência entre os módulos de simulação e planeamento. Ao centralizar a informação técnica numa base única, facilita-se não só a manutenção dos dados como também a sua eventual atualização, permitindo a adaptação contínua da ferramenta às dinâmicas da linha de produção e às evoluções tecnológicas que possam ocorrer ao nível dos tempos de operação.

5.3. Síntese de melhorias a implementar

Com o intuito de consolidar e facilitar a interpretação do processo de melhoria abordado ao longo desta dissertação, foi elaborada a Tabela 19. Nela apresenta-se uma síntese das principais ineficiências identificadas no processo, acompanhadas da respetiva descrição e das soluções propostas para a sua mitigação. Esta tabela visa não só proporcionar uma visão clara dos problemas diagnosticados, mas também servir de suporte prático ao planeamento e à implementação das melhorias, contribuindo, assim, para o desenvolvimento de ações eficazes e sustentadas no âmbito da melhoria contínua.

Tabela 19 - Síntese das ineficiências detetadas e respetivas propostas de melhoria

Ineficiências	Descrição	Melhoria correspondente
Falta de controlo dos tempos de produção.	Apenas existem estimativas baseadas na experiência empírica.	Desenvolvimento de uma ferramenta que calcule automaticamente os tempos totais de processamento por lote, baseado em dados reais recolhidos e não em estimativas empíricas.
Falta de previsibilidade da ocupação das máquinas	Planeamento é realizado sem conhecimento da real capacidade disponível, não existindo um planeamento formal	Ferramenta permite simular a ocupação das máquinas CNC para períodos futuros, proporcionando previsões reais da capacidade disponível, possibilitando a previsão de picos de carga alertando antecipadamente a necessidade de horas suplementares. Retirando carga das outras máquinas para otimizar a distribuição das séries.
Comunicação insuficiente entre setores	Falta de informação padronização entre planeamento e produção.	Com a distribuição de trabalho ao longo do dia e da semana, permite a indicação prévia ao setor de separação de perfil a preparação prévia da distribuição das matérias-primas no armazém automático e prevenção do incumprimento do planeamento por parte de setores como a Pelicula, Lacagem e fornecedores externos.
Falta de padronização dos processos operacionais	Padronização das instruções de trabalho	Atualização das instruções de trabalho existentes ou criação de instruções de trabalho em caso de não existirem. De acordo com os prossupostos das recolhas de tempos para desenvolvimento da ferramenta de simulação.
Dependência excessiva de conhecimento individual	Distribuição do trabalho depende em demasia da experiência de alguns trabalhadores	Padronização da distribuição do trabalho.

A análise efetuada e sintetizada na Tabela 19 permite evidenciar as principais ineficiências existentes no processo de aproveitamento do tempo de atividade das máquinas CNC, associadas às respetivas causas e soluções propostas. As ineficiências identificadas, provenientes de fatores diversos como matéria-prima, mão-de-obra, máquinas, métodos, meio envolvente e medição, refletem a complexidade dos processos industriais e a interdependência dos diversos elementos que os compõem.

A identificação rigorosa destas ineficiências constitui um passo fundamental para a implementação de um processo de melhoria contínua, pois possibilita não só o reconhecimento das áreas críticas, mas também a definição de ações corretivas e preventivas adequadas. As melhorias correspondentes, apresentadas na Tabela 19, contemplam medidas tanto de carácter técnico, como a reestruturação ou criação das instruções de trabalho, como também organizacional, através da padronização de procedimentos ou implementação de ferramentas de planeamento digital.

De forma a colmatar as ineficiências denotadas, a ferramenta desenvolvida permite o cálculo de tempo de processamento de cada lote, distribuição dos mesmos pelos dias da semana comunicação desse planeamento formal aos setores que abastecem o setor de corte e controlo dos tempos de inatividade.

Destaca-se, ainda, que a elaboração desta tabela facilita a implementação da melhoria da comunicação entre os diversos sectores envolvidos, promovendo uma visão partilhada das problemáticas existentes e das soluções possíveis. Além disso, constitui um instrumento de suporte à decisão, orientando o planeamento estratégico para implementação das melhorias propostas.

Em suma, a Tabela 19 representa não apenas uma compilação das fragilidades do processo, mas sobretudo um guia prático para a transformação dessas fragilidades em oportunidades de melhoria, alinhando-se com os princípios da gestão da qualidade e da excelência operacional.

6. Validação da ferramenta proposta e análise de benefícios

Para validar a fiabilidade da ferramenta desenvolvida, foi realizada uma série de testes. Estes testes tiveram como principal objetivo comprovar que os tempos calculados pelo simulador correspondem, de forma adequada, a tempos próximos daqueles que são observados na realidade. No âmbito deste processo de validação, e atendendo às limitações de tempo disponíveis, foi apenas selecionada a máquina Schtec 320 para a realização dos ensaios.

6.1. Validação de tempos de corte

Neste ponto, foram selecionados três lotes nomeadamente: G131; G176; A113300. Após seleção, foram inseridos na ferramenta desenvolvida de forma a estimar o tempo de processamento dos mesmos. Em seguida foram observados e registados os tempos reais de processamento de cada lote de forma a perceber se as estimativas realizadas pela ferramenta estão enquadradas na realidade operacional da empresa.

6.1.1. 1º Ensaio

Neste primeiro ensaio foi selecionado um lote de produção, "G131", na Tabela 20 estão representadas algumas características do mesmo.

Tabela 20 - Caracterização do lote selecionado para o primeiro ensaio

Id Lote	Obras	Qt. de Caixilhos do lote	Furação do lote	Aro	Folha	Tempo de processamento total (real)
G131	7930/25 7645/25 7640/25 6817/25	25 caixilhos	11/8 manual	15xx03	15xx20	2 horas, 29 minutos e 27 segundos

Este lote, foi recolhido do servidor da empresa, e após cópia da informação contida no ficheiro de leitura da máquina foi "colado" na ferramenta desenvolvida para simulação do tempo de processamento total do mesmo. Ao "colar" esta informação na zona destinada a esse propósito, através da identificação dos perfis, este procedeu ao cálculo dos tempos

produtivos. Na Figura 56, estão apresentados os resultados para cada operação, no perfil de aro 15xx03.

15xx03		
Designação	Tempo	
Numero total de barras	22	barras
Numero total de peças	100	peças
Tempo de corte teórico de peças	01:34:49	horas:minutos:segundos
Tempo de abastecimento da máquina por barra	00:00:37	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação de reforço por peça	00:01:26	horas:minutos:segundos
Tempo de aparafusamento de reforço por peça	00:00:49	horas:minutos:segundos
Tempo para furação por peça	00:00:57	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação dos carrinhos por peça	00:00:28	horas:minutos:segundos
Tempo total de processamento de perfil	01:39:07	horas:minutos:segundos

Figura 56 - Tempos de operação do lote G131 para o perfil 15xx03 (h:min:seg)

Nesta operação de análise foi constatado que relativamente ao perfil 15xx03, foram utilizadas 22 barras. Do corte dessas 22 barras, deram origem 100 peças. Se dividir esse valor por 4 que representa a quantidade de peças que perfazem um aro, obtêm-se os 25 caixilhos que estão presentes no lote. O tempo de corte teórico das peças, é calculado através da multiplicação do número de peças pelo tempo médio calculado através dos tempos recolhidos, o tempo previsto seria de 1 hora, 34 minutos e 49 segundos. O Tempo de abastecimento é de apenas 37 segundos, porque é o tempo que o colaborador demora a abastecer o módulo de alimentação da máquina com duas barras, a restante considera-se que o mesmo colaborador pode efetuá-lo durante o período de corte das barras. Os tempos de colocação de reforço, aparafusamento de reforço, furação e distribuição pelos carrinhos apresentam tempos operacionais bastante reduzidos, isto deve-se a apenas se considerar cinco peças para cada tempo, estas cinco peças são as consideradas para finalização do lote quando a máquina termina de efetuar o corte de todas as peças, acontecimento observado várias vezes enquanto foram recolhidos os tempos operacionais.

Relativamente à operação de corte do perfil 15xx20, os tempos previstos, estão representados na Figura 57.

15xx20		
Designação	Tempo	
Numero total de barras	21	barras
Numero total de peças	136	peças
Tempo de corte teórico de peças	01:03:15	horas:minutos:segundos
Tempo de abastecimento da máquina por barra	00:00:37	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação de reforço por peça	00:01:32	horas:minutos:segundos
Tempo de aparafusamento de reforço por peça	00:00:31	horas:minutos:segundos
Tempo para furação por peça	00:00:00	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação dos carrinhos por peça	00:00:30	horas:minutos:segundos
Tempo total de processamento de perfil	01:06:25	horas:minutos:segundos

Figura 57 - Tempos de operação do lote G131 para o perfil 15xx20 (h:min:seg)

Relativamente ao perfil de folha, 15xx20, pode observar-se que no lote "G131", estão consideradas 21 barras de perfil que originam 136 peças, que se se dividirem por quatro, peças necessárias para construir um quadro de folha, representam 34 folhas. O tempo previsto para corte das peças seria de 1 hora 3 minutos e 15 segundos. À semelhança do perfil 15xx03 para as operações de abastecimento, colocação do reforço, aparafusamento do mesmo e colocação nos carrinhos de transporte os tempos considerados foram cinco peças que multiplicadas pelos valores médios de cada variável apresentam o tempo complementar ao corte das peças. O tempo de furação é desconsiderado porque nos perfis de folha não existem furos de fixação.

Na Tabela 21, estão representados os tempos previstos pelo simulador desenvolvido e tempos reais totais de corte efetivo pela empresa, sendo discriminados por perfil.

Tabela 21 - Tempos reais e previstos do lote G131 (h:min:seg)

Lote - G131					
Tempo previsto 15x03	01:39:07	Tempo previsto 15xx20	01:06:25	Total de tempo previsto	02:45:32
Tempo real 15xx03	01:27:17	Tempo real 15xx20	01:02:10	Total de tempo real	02:29:27
Diferença	00:11:50	Diferença	00:04:15	Diferença Total	00:16:05

Como se pode observar, para a referência 15xx03 o tempo previsto esta 11 min e 50 segundos acima do real. Esta diferença pode derivar da dimensão das peças ou se existem operações de furação de fita de estore, isto porque os valores calculados derivam de médias onde existem peças que contemplam essas operações.

Como nos perfis de folha, as operações são mais comuns, a diferença de 4 minutos e 15 segundos, é mais reduzida.

Em suma denota-se na totalidade um tempo maior de 16 minutos e 5 segundos entre o tempo previsto e o real, cerca de 10% do previsto. Não é considerado um tempo elevado

visto que esta diferença poderá ser diluída ao longo do dia de trabalho com a adição de mais lotes.

6.1.2. 2º Ensaio

No segundo ensaio, foi selecionado ao acaso um lote de menor dimensão com o objetivo de possibilitar a interpretação se o erro, associado ao simulador, é proporcional à dimensão do lote. Na Tabela 22, estão representadas algumas características que caracterizam o lote "G176".

Tabela 22 - Caracterização do lote selecionado para o segundo ensaio

Id Lote	Obras	Qt. de Caixilhos do lote	Furação do lote	Aro	Folha	Tempo de processamento total (real)
G176	7929/25 7871/25	6 Caixilhos	S/furação	15xx03	15xx20	41 minutos e 42 segundos

Para análise do lote utilizando a ferramenta de simulação desenvolvida, o mesmo foi selecionado do servidor da empresa e foi "copiada" toda a informação contida no mesmo para à posteriori "colar" na "Zona de colocação do lote". Após disponibilizar essa informação, a ferramenta calculou os tempos previstos para o corte das referências 15xx03 e 15xx20, referências que compõem o material necessário para processamento do lote. Relativamente ao perfil 15xx03, na Figura 58, estão representadas as previsões efetuadas pela ferramenta desenvolvida.

15xx03		
Designação	Tempo	
Numero total de barras	6	barras
Numero total de peças	24	peças
Tempo de corte teórico de peças	00:22:45	horas:minutos:segundos
Tempo de abastecimento da máquina por barra	00:00:37	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação de reforço por peça	00:01:26	horas:minutos:segundos
Tempo de aparafusamento de reforço por peça	00:00:49	horas:minutos:segundos
Tempo para furação por peça	00:00:00	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação dos carrinhos por peça	00:00:28	horas:minutos:segundos
Tempo total de processamento de perfil	00:26:05	horas:minutos:segundos

Figura 58 - Tempos de operação do lote G176 para o perfil 15xx03 em (h:min:seg)

Com base na simulação efetuada, foi observado que relativamente ao perfil 15xx03, foram utilizadas 6 barras que resultaram em 24 peças, que ao dividir por 4, número de peças utilizadas para construção de um quadro, indica que o número de caixilhos presentes no lote são seis.

O tempo total de processamento de perfil deriva da soma do tempo de corte teórico de peças com: o tempo de abastecimento da máquina por barra, onde foram consideradas apenas duas barras; o tempo de colocação de reforço por peça, onde são consideradas 5 peças, que são as peças que por norma faltam finalizar após a máquina acabar o processamento da totalidade do lote; o tempo de aparafusamento de reforço por peça, que à semelhança do ponto anterior apenas considera 5 peças; tempo de furação, que não foi considerado porque o lote não contemplava furação de fixação; tempo de colocação dos carrinhos por peça, onde também apenas são consideradas 5 peças. As somas de todas estas operações resultam num total de 27 minutos e 3 segundos.

Relativamente ao perfil de folha, 15xx20, na Figura 59 estão apresentados os tempos de processamento desta referência.

15xx20		
Designação	Tempo	
Numero total de barras	6	barras
Numero total de peças	32	peças
Tempo de corte teórico de peças	00:14:53	horas:minutos:segundos
Tempo de abastecimento da máquina por barra	00:00:37	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação de reforço por peça	00:01:32	horas:minutos:segundos
Tempo de aparafusamento de reforço por peça	00:00:31	horas:minutos:segundos
Tempo para furação por peça	00:00:00	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação dos carrinhos por peça	00:00:30	horas:minutos:segundos
Tempo total de processamento de perfil	00:18:03	horas:minutos:segundos

Figura 59 - Tempos de operação do lote G176 para o perfil 15xx20 em (h:min:seg)

Relativamente ao perfil de folha, 15xx20, pode observar-se que no lote "G176", estão consideradas 6 barras de perfil que originam 32 peças, que se dividir por quatro, peças necessárias para construir um quadro de folha, representam 8 folhas. O tempo previsto para corte das peças seria de 18 minutos e 3 segundos. À semelhança do perfil 15xx03 para as operações de abastecimento, colocação do reforço, aparafusamento do mesmo e colocação nos carrinhos de transporte os tempos considerados foram cinco peças que multiplicadas pelos valores médios de cada parâmetro apresentam o tempo complementar ao corte das peças. O tempo de furação é desconsiderado porque nos perfis de folha não existe furos de fixação.

A comparação entre o tempo previsto e o tempo real está descrita na Tabela 23.

Tabela 23 - Tempos reais e previstos do lote G176 (h:min:seg)

Lote - G176					
Tempo previsto 15x03	00:26:05	Tempo previsto 15xx20	00:18:03	Total de tempo previsto	00:44:08
Tempo real 15xx03	00:24:22	Tempo real 15xx20	00:17:20	Total de tempo real	00:41:42
Diferença	00:01:43	Diferença	00:00:43	Diferença Total	00:02:26

Com base na tabela, denota-se que a diferença entre o tempo previsto e o tempo real relativo à referência 15xx03 foi em excesso cerca de 7% mais precisamente 1 minuto e 43 segundos. Relativamente ao perfil de folha, 15xx20, a previsão foi mais próxima da realidade prevendo em excesso cerca de 4%, mais precisamente 43 segundos.

Analisando as diferenças entre os tempos totais, denota-se que em suma foi previsto 6% de tempo em excesso. Em valores concretos, a diferença entre os valores previstos e os valores reais foram de 2 minutos e 26 segundos.

6.1.3. 3º Ensaio

Para o terceiro ensaio foi selecionado o lote "A113300", que é descrito na Tabela 24. Este lote, foi escolhido de forma aleatória e à semelhança dos lotes dos ensaios anteriores foi cortado na máquina Schtec 320.

Tabela 24 - Caracterização do lote selecionado para o terceiro ensaio

Id Lote	Obras	Qt. de Caixilhos do lote	Furação do lote	Aro	Folha	Tempo de processamento total (real)
A113300	7923/25	19 Caixilhos	11/8	N14xx20	N14xx07	1 hora e 49 minutos

Este lote, é composto por 19 caixilhos, composto pelas referências N14xx07 e N14xx20. O processamento total do lote foi de 1 hora e 49 minutos. Este tempo derivou do tempo calculado na ferramenta de simulação, após cópia das informações contidas no lote e "colar" as mesmas na "Zona de colocação do lote". Desta forma, a referência N14xx07, apresentada na Figura 60, apresenta o tempo previsto para processamento da mesma.

N14xx07		
Designação	Tempo	
Numero total de barras	17	barras
Numero total de peças	76	peças
Tempo de corte teórico de peças	01:04:57	horas:minutos:segundos
Tempo de abastecimento da máquina por barra	00:00:37	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação de reforço por peça	00:01:30	horas:minutos:segundos
Tempo de aparafusamento de reforço por peça	00:00:55	horas:minutos:segundos
Tempo para furação por peça	00:01:10	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação dos carrinhos por peça	00:00:27	horas:minutos:segundos
Tempo total de processamento de perfil	01:09:35	horas:minutos:segundos

Figura 60 - Tempos de operação do lote A113300 para o perfil N14xx07 (h:min:seg)

Relativa à ferramenta N14xx07, para processamento do lote selecionado foram utilizadas 17 barras que originou 76 peças. Para cálculo do tempo do mesmo foi considerado na função tempo de abastecimento da máquina por barra, apenas o carregamento de duas barras, barras suficientes para iniciar o funcionamento da máquina. Relativo às funções de tempo de colocação de reforço por peça, tempo de aparafusamento de reforço por peça, tempo para função por peça e tempo de colocação dos carrinhos por peça foram apenas consideradas 5 peças, número de peças máximo observado aquando da finalização do processamento das barras pela máquina CNC. Desta forma o tempo previsto para corte foi de 1 hora, 9 minutos e 35 segundos.

Referente à referência N14xx20, os tempos previstos estão discriminados na Figura 61.

N14xx20		
Designação	Tempo	
Numero total de barras	18	barras
Numero total de peças	100	peças
Tempo de corte teórico de peças	00:46:31	horas:minutos:segundos
Tempo de abastecimento da máquina por barra	00:00:35	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação de reforço por peça	00:00:50	horas:minutos:segundos
Tempo de aparafusamento de reforço por peça	00:00:36	horas:minutos:segundos
Tempo para furação por peça	00:00:00	horas:minutos:segundos
Tempo de colocação dos carrinhos por peça	00:00:36	horas:minutos:segundos
Tempo total de processamento de perfil	00:49:09	horas:minutos:segundos

Figura 61 - Tempos de operação do lote A113300 para o perfil N14xx20 em (h:min:seg)

Na referência N14xx20 foram consideradas 18 barras que após processamento das mesmas resultam em 100 peças, à semelhança da referência descrita anteriormente, foram consideradas duas barras na função de abastecimento e cinco barras para as restantes. Esta contabilização resultou num tempo de processamento previsto de 49 minutos e 9 segundos.

As diferenças entre os tempos totais previstos e reais, são descritas na Tabela 25.

Tabela 25 - Tempos reais e previstos do lote A113300 (h:min:seg)

Lote - A113300					
Tempo previsto N14xx07	01:09:35	Tempo previsto N14xx20	00:49:09	Total de tempo previsto	01:58:43
Tempo real N14xx07	01:00:40	Tempo real N14xx20	00:48:20	Total de tempo real	01:49:00
Diferença	00:08:55	Diferença	00:00:49	Diferença Total	00:09:43

Após observar a Tabela 25, denota-se que relativo à referência N14xx07 o tempo previsto foi superior ao real em cerca de 13%. À semelhança dos ensaios anterior esta diferença deve-se à quantidade elevada de operações que este perfil pode ser sujeito, onde algumas destas operações podem não ter sido contempladas aquando da recolha dos tempos.

A referência N14xx20, como é um perfil com operações mais regulares, apresenta uma diferença bem mais pequena, cerca de 2%, mais concretamente 49 segundos.

Em suma, o tempo previsto foi superior ao real em cerca de 8%, mais concretamente 9 minutos e 43 segundos.

6.2. Redução do consumo de material

Para avaliar o impacto da decisão de agrupar obras por lotes em vez de processá-las individualmente, foi realizada uma análise comparativa dos consumos antes e depois do agrupamento. Esta análise considerou dois dos três lotes utilizados na validação da ferramenta. O terceiro lote foi excluído, pois corresponde a uma única obra, não sendo adequado para comparar os dois métodos de processamento.

Assim, a Tabela 26 apresenta o consumo calculado de perfis principais no processamento individual por obra para o lote G131, lote utilizado para o primeiro ensaio.

Tabela 26 - Consumo de barras das obras quando processadas individualmente

	Obra	Preparação	Perfil	Qt. Processamento individual
G131	7930/25	8628/25	15xx03	7
			15xx20	5
	7645/25	8305/25	15xx03	5
			15xx20	6
	7640/25	8298/25	15xx03	6
			15xx20	7
	6817/25	7360/25	15xx03	6
			15xx20	7

Em complemento, a Tabela 27 apresenta a contabilização do número de barras dessas referências quando as obras são processadas em conjunto, ou seja, por lote.

Tabela 27 - Comparação entre o consumo das referências 15xx03 e 15xx20 quando processadas por lote ou individualmente

Referência	Processamento obra a obra	Processamento por lote	Redução no consumo de perfis
15xx03	24	22	2
15xx20	25	21	4

Quando se observa a Tabela 27, denota-se que quando as obras foram processadas por lote, relativamente à referência 15xx03, existe uma redução de 2 barras e para a referência 15xx20 uma redução de 4 barras. Considerando uma média de 3,49€ por metro linear, valor fornecido pelo setor das compras da empresa, neste lote existiu uma poupança de 125,64€ (considerando que as barras têm 6 metros lineares).

Referente ao lote selecionado para o ensaio número dois, G176, observa-se na Tabela 28 o consumo das obras quando processadas individualmente.

Tabela 28 - Consumo de barras das obras quando processadas individualmente

	Obra	Preparação	Perfil	Qt. Processamento individual
G176	7929/25	8627/25	15xx03	4
			15xx20	4
	7871/25	8563/25	15xx03	3
			15xx20	3

A comparação entre o processamento individual ou por lote está descrita na Tabela 29.

Tabela 29 - Comparação entre o consumo das referências 15xx03 e 15xx20 quando processadas por lote ou individualmente

Referência	Processamento obra a obra	Processamento por lote	Redução no consumo de perfis
15xx03	7	6	1
15xx20	7	6	1

Num lote de menor dimensão, observou-se que as referências 15xx03 e 15xx20 apresentaram consumos mais reduzidos quando processadas em conjunto (por lote), em comparação ao processamento individual por obra. No entanto, dado que as obras deste lote são de menor dimensão, a diferença no consumo absoluto foi menor. Ainda assim, ao aplicar o valor por metro linear fornecido pelo setor de compras, verificou-se uma poupança total de 41,88 € neste lote.

6.3. Planeamento formal do setor de corte CNC

Para representação da construção do planeamento formal do setor de corte CNC, devido a não ter sido possível o teste a um número avultado de lotes, decidiu-se atribuir apenas os testes selecionados, como representado na Figura 62.

Figura 62 - Distribuição dos lotes analisados por um dia da semana (segunda-feira)

Após a atribuição dos lotes a um dia da semana e a execução do cálculo por meio do botão "Cálculo", verificou-se que, caso os três lotes fossem programados para a segunda-feira, eles ocupariam 38% do tempo de atividade da máquina.

Posteriormente, ao definir a ordem de corte, que pode ser por urgência de corte ou apenas respeitar a ordem de entrada dos lotes na aplicação, os lotes foram automaticamente distribuídos ao longo do dia selecionado, de acordo com essa ordem, como está representada na Figura 63.

HORA	SEGUNDA-FEIRA	HORA	TERÇA-FEIRA	HORA	QUARTA-FEIRA	HORA	QUINTA-FEIRA	HORA	SEXTA-FEIRA	HORA	SÁBADO	HORA	DOMINGO
06:00:00	A113300	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
07:58:43	A113300	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
07:58:43	G131	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
10:44:15	G131	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
10:44:15	G176	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	G176	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0

Figura 63 - Distribuição dos lotes pelo dia de trabalho (segunda-feira), de acordo com a ordem de distribuição

Como apenas três lotes foram selecionados para os testes, não foi possível planear a totalidade do dia de trabalho da máquina Schtec 320. Ainda assim, os lotes distribuídos ocuparam o dia até às 11 horas, 59 minutos e 21 segundos.

Após essa distribuição, foi acionado o botão "Imprimir", que gerou um ficheiro PDF com o plano de corte correspondente, conforme apresentado na Figura 64.

HORA	SEGUNDA-FEIRA	HORA	TERÇA-FEIRA	HORA	QUARTA-FEIRA	HORA	QUINTA-FEIRA	HORA	SEXTA-FEIRA	HORA	SÁBADO	HORA	DOMINGO
06:00:00	A113300	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
07:58:43	A113300	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
07:58:43	G131	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
10:44:15	G131	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
10:44:15	G176	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	G176	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0
11:59:21	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0	06:00:00	0

Figura 64 - Imagem representativa do PDF gerado com o planeamento diário da máquina Schtec 320

Este documento, além de facilitar a comunicação entre o setor de planeamento e o setor de corte CNC, permite também que, ao ser disponibilizado aos setores envolvidos no processo de corte, como separação de perfis, película e lacagem, sejam tomadas as devidas providências operacionais com antecedência, de forma a garantir que o planeamento seja cumprido.

6.4. Análise crítica dos resultados

A análise dos resultados obtidos nos ensaios realizados permite constatar que a ferramenta desenvolvida apresenta, de um modo geral, um desempenho positivo no cálculo dos tempos de processamento no sector de corte CNC da empresa CAIXIAVE, evidenciando o seu potencial enquanto instrumento de apoio à tomada de decisão, sobretudo no planeamento da produção e na gestão dos recursos disponíveis.

Os dados que derivam dos três ensaios realizados, descritos nos pontos 6.1, 6.2 e 6.3, demonstram a aproximação entre os tempos calculados pelo programa e os tempos efetivamente registados durante o processo produtivo.

Todavia, importa salientar que foram identificadas algumas discrepâncias entre os valores estimados e os tempos reais apurados, cujas causas poderão estar associadas a diversos fatores. Uma vez que o processo de cálculo depende das médias derivadas dos tempos recolhidos por perfil, as diferenças observadas poderão decorrer da ausência de determinadas operações nos lotes utilizados para a validação da ferramenta, as quais, estando presentes na base de dados, podem não se verificar durante os ensaios realizados.

Ainda que estas diferenças não comprometam a utilidade prática da ferramenta, a análise detalhada dos resultados evidencia áreas em que poderão ser implementadas melhorias, nomeadamente através da recolha de um volume mais abrangente de dados, de forma a permitir uma adaptação mais sensível às particularidades de determinados perfis, como é o caso dos perfis de aro.

Relativamente às diferenças de consumo relativas entre processamento por lote ou processamento individual, observou-se a existência de uma poupança que parece ser expressiva, no entanto seria necessário efetuar mais ensaios para ter dados suficientes para fazer um teste estatístico para perceber se estas diferenças são estatisticamente significativas.

Em síntese, a ferramenta desenvolvida representa um avanço positivo face ao cenário pré-existente, no qual não existia qualquer sistema formalizado de apoio ao planeamento do sector de corte CNC. Não obstante, a análise crítica dos resultados evidencia oportunidades de aperfeiçoamento, essenciais para assegurar a robustez e a eficácia do sistema em contextos produtivos dinâmicos e sujeitos a frequentes variações operacionais. Assim, recomenda-se a continuidade do processo de desenvolvimento, numa lógica de melhoria contínua, de forma a garantir que a ferramenta se mantém adaptada às necessidades reais do processo produtivo.

7. Conclusões e trabalho futuro

A presente dissertação teve como principal objetivo o estudo detalhado do processo produtivo do setor de corte CNC numa empresa dedicada à produção de caixilharia em uPVC, com o intuito de identificar ineficiências, propor melhorias concretas e desenvolver soluções tecnológicas que contribuam para uma gestão mais eficiente e sustentável.

Num contexto industrial cada vez mais exigente e competitivo, caracterizado pela necessidade de responder com rapidez e flexibilidade às flutuações do mercado, este estudo assume particular relevância, ao focar-se num dos setores mais críticos para o desempenho da empresa em análise: o setor de corte CNC. Este setor, pela sua complexidade técnica e pelo impacto direto que tem no processamento de toda a matéria-prima que abastece a restante cadeia produtiva, revelou ser determinante para garantir a eficiência do processo produtivo e a satisfação das exigências comerciais.

O trabalho desenvolvido iniciou-se com um levantamento do estado da arte, através da análise aprofundada de conceitos como *Lean Manufacturing*, Indústria 4.0, Sistemas de Apoio à Tomada de Decisão, Planeamento e Controlo da Produção, entre outros. Esta fundamentação teórica não só sustentou a compreensão das dinâmicas industriais contemporâneas, como orientou a definição de metodologias apropriadas para a análise do caso em estudo.

A caracterização detalhada da empresa permitiu identificar, de forma objetiva, os pontos críticos do processo de corte CNC, destacando aspetos como a variabilidade dos tempos de operação, a ausência de sistemas formais de planeamento, a ocorrência de tempos de inatividade excessivos e as dificuldades na gestão da capacidade produtiva. Estas limitações não apenas comprometem a eficiência operacional, como podem colocar em risco a competitividade da empresa face a um eventual aumento da procura.

Face ao diagnóstico realizado, procedeu-se ao desenvolvimento de uma ferramenta informática, em Excel, capaz de prever tempos de processamento por lote, calcular a taxa de ocupação das máquinas CNC e auxiliar o planeamento semanal da produção. Esta ferramenta foi concebida para se integrar na realidade operacional da empresa, considerando as especificidades dos equipamentos (Schtec 320 e Schtec 360) e as características próprias das séries de produtos fabricados. A ferramenta foi estruturada para ser intuitiva e flexível, permitindo ao utilizador simular diferentes cenários produtivos, testar hipóteses e antecipar necessidades de recursos.

A validação da ferramenta, realizada através de três ensaios experimentais, demonstrou resultados consistentes. Verificou-se coerência entre os tempos previstos e os tempos reais medidos no ambiente produtivo, o que confirma a adequação do modelo de cálculo implementado e dos processos de recolha de tempos operacionais.

Ainda assim, as análises evidenciaram discrepâncias que variam entre 7% e 14% nos perfis de aro. Considera-se expectável a diferença identificada entre os valores previstos e os valores reais nestes perfis, dado que, consoante a especificidade de cada obra, podem surgir operações adicionais que aumentam o tempo de ciclo das barras processadas. Importa salientar que, ao efetuar os testes isoladamente em cada lote, as diferenças tornaram-se mais evidentes, porém, se os testes fossem inseridos num contexto de produção diária, seria expectável que estas diferenças se diluíssem ao longo do processamento de vários lotes.

Relativamente aos perfis de folha, as diferenças entre os valores previstos e os valores reais variaram entre 2% e 7%. Estas discrepâncias revelaram-se menos expressivas quando comparadas com os perfis de aro, uma vez que as operações associadas aos perfis de folha apresentam maior regularidade e previsibilidade.

Denota-se ainda que em dois dos três lotes analisados foi observado redução no número de barras utilizadas para os seus processamentos, demonstrando que o agrupamento das obras por lote é uma decisão positiva para a empresa.

Esta necessidade de melhoria contínua é coerente com os princípios da Indústria 4.0 e da filosofia *Lean*, que defendem sistemas cada vez mais dinâmicos, sustentados em dados reais e ajustados à variabilidade operacional.

Importa ainda destacar a componente de inovação desta investigação, que articula metodologias clássicas de medição de tempos, como a cronometragem direta com o desenvolvimento de ferramentas digitais de apoio à decisão. Esta combinação traduz-se num contributo para a empresa em estudo e para o conhecimento científico, ao demonstrar como é possível integrar dados operacionais concretos em sistemas digitais que potenciam a eficiência e a tomada de decisões fundamentadas.

Globalmente, os objetivos delineados foram atingidos, mesmo não tendo sido implementada a ferramenta. O trabalho realizado permitiu dotar a empresa de um instrumento eficaz para a gestão do seu processo produtivo, contribuindo para a redução de desperdícios através do processamento das obras por lote, ao invés de individualmente, para o equilíbrio da carga de trabalho entre os equipamentos e para um maior rigor no cumprimento dos prazos de entrega. Adicionalmente, a ferramenta desenvolvida representa

uma base sólida sobre a qual poderão ser construídas futuras evoluções, nomeadamente através da integração com sistemas ERP.

Em síntese, considera-se que esta dissertação constitui um passo relevante no sentido da digitalização e modernização do setor produtivo da empresa estudada, enquadrando-se nos princípios da Indústria 4.0 e reforçando a sua capacidade de resposta às exigências do mercado. O trabalho realizado deixa em aberto diversas linhas de investigação e desenvolvimento, que poderão ser exploradas para consolidar os valores de melhoria contínua.

Apesar dos resultados obtidos com o desenvolvimento e validação da ferramenta de apoio ao planeamento do setor de corte CNC, existem diversas áreas em que poderão ser realizados trabalhos futuros, tanto para consolidar as melhorias já alcançadas como para explorar novas oportunidades de inovação no contexto produtivo da empresa.

Em primeiro lugar, perspetiva-se a expansão contínua da recolha de dados que alimentam a ferramenta, de forma a aproximar as previsões da ferramenta à realidade operacional. Será fundamental recolher novos dados operacionais relativos a séries de produtos ainda não contemplados, bem como aumentar o número de observações sobre perfis já analisados. Esta atualização permitirá melhorar a precisão dos cálculos dos tempos de processamento, reduzir as discrepâncias observadas entre os valores previstos e os valores reais, e aumentar a fiabilidade da ferramenta em cenários produtivos mais variáveis. Adicionalmente, possibilitará alargar o impacto da ferramenta, tornando-a aplicável a um leque maior de perfis e permitindo a previsão de tempos de produção para obras que envolvam maior diversidade de componentes.

Após esta consolidação da base de dados, pretende-se alargar a ideologia e a metodologia da ferramenta aos restantes setores produtivos, como a soldadura, linhas de produção, corte de perfis suplementares e o corte de bites, assegurando uma abordagem integrada e abrangente ao planeamento global do processo produtivo.

Em paralelo, será pertinente estudar a integração da ferramenta desenvolvida com o *software* de gestão da empresa. Esta integração permitiria automatizar o fluxo de dados entre a gestão de encomendas, o planeamento da produção e o setor de corte CNC, promovendo uma visão global e em tempo real do estado produtivo e das necessidades de recursos. A interoperabilidade entre sistemas potenciaria um aumento de ganhos em termos de eficiência, eliminação de redundâncias e maior celeridade na tomada de decisões.

No campo organizacional, prevê-se a realização de ações de formação específicas para os utilizadores da ferramenta, assegurando a sua correta utilização e promovendo a

aceitação por parte dos diversos intervenientes no processo produtivo. O envolvimento ativo dos colaboradores será crucial para garantir que a solução tecnológica desenvolvida se integra eficazmente nas práticas operacionais quotidianas.

Surge ainda, em paralelo com a integração da ferramenta, a necessidade de reformular as instruções de trabalho, alinhando-as com os padrões e tempos estabelecidos através do processo de recolha de dados realizado no âmbito deste trabalho. A uniformização e atualização destes documentos constituirão um importante passo para assegurar a consistência dos procedimentos operacionais e a fiabilidade das previsões efetuadas pela ferramenta.

Por fim, pretende-se proceder à realização de estudos de viabilidade económica, com vista a avaliar o retorno do investimento associado à implementação das melhorias propostas. Uma análise custo-benefício mais aprofundada permitirá sustentar futuras decisões estratégicas e demonstrar, de forma objetiva, o impacto positivo da digitalização e melhoria do processo de corte CNC e no futuro, dos restantes setores nos resultados globais da empresa.

Em síntese, os trabalhos futuros delineados visam reforçar a abrangência e a eficiência da solução desenvolvida, constituindo um caminho natural para a evolução contínua do setor de corte CNC, em consonância com as exigências do mercado e com os valores da Indústria 4.0.

Referências bibliográficas

Alabi, O., & Bukola, T. (2023). Introduction to Descriptive statistics. In Recent Advances in Biostatistics. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1002475

Bach, T., Jaeger, B., & Hoff, A. (2018). Production Planning and Control as Routing in Manufacturing Networks. In Mendel-Soft Computing Journal (Vol. 24, Issue 2).

Burstein, F., & Holsapple, C. W. (2008). Handbook on Decision Support Systems 1. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-48713-5

Card, A. J. (2017). The problem with 5 whys'. BMJ Quality and Safety, 26(8), 671–677. https://doi.org/10.1136/bmjqs-2016-005849

Corrado, C., & Mattey, J. (1997). Capacity Utilization. In Journal of Economic Perspectives (Vol. 11).

Corrêa, F. (1997). O ABC e a reorganização com base em processos.

Costa, J. M. L. (2020). Mestrado Gestão e Estratégia Industrial Trabalho Final de Mestrado Melhoria Contínua: O caso de uma empresa.

Coughlan, P., & Coghlan, D. (2002). Action research for operations management. International Journal of Operations and Production Management, 22(2), 220–240. https://doi.org/10.1108/01443570210417515

Gouveia, L. B., & Ramito, J. (2004). Sistemas de Informação de Apoio à Gestão (Sociedade Portuguesa de Inovação, Ed.).

Grosfeld-Nir, A., Ronen, B., & Kozlovsky, N. (2007). The Pareto managerial principle: When does it apply? International Journal of Production Research, 45(10), 2317–2325. https://doi.org/10.1080/00207540600818203

Hekmatpanah, M. (2011). The application of cause and effect diagram in the oil industry in Iran: The case of four liter oil canning process of Sepahan Oil Company. African Journal of Business Management, 5(26). https://doi.org/10.5897/ajbm11.1517

Knechtges, P., & Decker, M. C. (2014). Application of kaizen methodology to foster departmental engagement in quality improvement. Journal of the American College of Radiology, 11(12), 1126–1130. https://doi.org/10.1016/j.jacr.2014.08.027

Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. IFAC-PapersOnLine, 28(3), 1870–1875. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359

Kripka, R. M. L., Scheller, M., & Bonotto, D. L. (2015). Considerações sobre conceitos e características na Pesquisa Qualitativa Documentary Research: consideration of concepts and features on Qualitative Research.

Lindgren, C. G. (2009). Standard Operating Procedures. In Cell Therapy (pp. 109–120). Springer US. https://doi.org/10.1007/b102110_10

Lopes, E. J., Souza, A. B. V., Pierre, J. Í. S., Júnior, R. A. R., & da Ponte, F. A. F. (2022). Application of Methods-Time Measurement as a Tool to Improve Productivity in a Beauty Salon. Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications, 8(35), 20–23. https://doi.org/10.5935/jetia.v8i35.817

Mata, C. (2004). A Visão Estratégica do ABC.

McLaughlin, P. (1990). Computer-Based Education The Best of ERIC, 1989. Distributed by ERIC Clearinghouse.

Miguel, L., & Rodrigues, N. (2019). Sistema de Apoio à Decisão para a Melhoria da Produção numa Empresa Industrial.

Mouli, C., Subbaiah, V., & Acharyulu, S. G. (2006). Optimal production planning under resource constraints. In Journal of Scientific & Industrial Research (Vol. 65).

Nabi, N., & Zohora, F. T. (2022). The 4th Industrial Revolution (4IR) and Sustainable Development. Khulna University Studies, 625–639. https://doi.org/10.53808/kus.2022.icstem4ir.0118-se

Neto, A., & Romero, F. (2023). Industry 4.0 and Technological Evolution in CNC Machines.

Oluyisola, O. E., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2020). Smart production planning and control: Concept, use-cases and sustainability implications. Sustainability (Switzerland), 12(9). https://doi.org/10.3390/su12093791

Parein, M., Voorde, S. V., & Wouters, I. (2024). Technological advancements and commercial strategies.

Pascual, D. G., Daponte, P., & Kumar, U. (2020). Handbook of Industry 4.0 and Smart Systems.

Risan, H. K., Serhan, F. M., & Al-Azzawi, A. A. (2024). Management of a typical experiment in engineering and science. AIP Conference Proceedings, 2864(1). https://doi.org/10.1063/5.0186079

Sadiku, M. N. O., Foreman, J., & Musa, S. M. (2020). Big Data Analytics: A Primer. International Journal of Engineering Technologies and Management Research, 5(9), 44–49. https://doi.org/10.29121/ijetmr.v5.i9.2018.287

Salah, S. (2024). Deductive and Inductive approaches in Research Methods (pp. 1–173). InternationalRelationsNetwork.

Sanchez, L., & Blanco, B. (2014). Three decades of continuous improvement. Total Quality Management and Business Excellence, 25, 986–1001. https://doi.org/10.1080/14783363.2013.856547

Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. Journal of Industrial Engineering and Management, 9(3), 811–833. https://doi.org/10.3926/jiem.1940

Sarkar, A., Das, D., Chakraborty, S., & Biswas, N. (2013). A Simple Case Study of Material Requirement Planning. In IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE (Vol. 9, Issue 5). www.iosrjournals.org

Semathong, S. (2023). Participatory Action Research to Develop the Teachers on Classroom Action Research. Shanlax International Journal of Education, 11(3), 29–36. https://doi.org/10.34293/education.v11i3.6118

Sena, B. (2023). The case study in social research: History, methods and applications. In The Case Study in Social Research: History, Methods and Applications. Taylor and Francis. https://doi.org/10.4324/9781003318255

Shingo, S. (1986). Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System. https://doi.org/10.4324/9780203733639

Singh, J., & Singh, H. (2009). Kaizen Philosophy: A Revie w of Lite rature. http://afr.kaizen.com;

Singh, R., Gohil, A. M., Shah, D. B., & Desai, S. (2013). Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: A case study. Procedia Engineering, 51, 592–599. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.084

Tajini, R., & Elhaq, S. L. (2014). Methodology for work measurement of the human factor in industry. International Journal of Industrial and Systems Engineering, 16(4), 472–492. https://doi.org/10.1504/IJISE.2014.060655

Tang, Z., Jiang, X., Zi, W., Shen, X., & Zhang, D. (2021). Automatic Data Collecting and Application of the Touch Probing System on the CNC Machine Tool. In Mathematical Problems in Engineering (Vol. 2021). Hindawi Limited. https://doi.org/10.1155/2021/6635559

Taufik, D. A. (2020). PDCA Cycle Method implementation in Industries: A Systematic Literature Review. In IJIEM (Indonesian Journal of Industrial Engineering & Management) (Vol. 1). http://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/ijiem

Titow, W. V. (1991). PVC Plastics. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3834-5

Turner, A., & Filella, M. (2021). Polyvinyl chloride in consumer and environmental plastics, with a particular focus on metal-based additives. Environmental Science: Processes & Impacts, 23(9), 1376–1384. https://doi.org/10.1039/D1EM00213A

Wang, C., & Liu, X. B. (2013). Integrated production planning and control: A multi-objective optimization model. Journal of Industrial Engineering and Management, 6(4), 815–830. https://doi.org/10.3926/jiem.771

Ceresana Market Research (2025), Windows and Doors Market Report – Europe, ceresana.com/en/produkt/windows-doors-market-report.