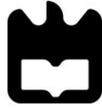




SARA PATRÍCIA **ESCALONAMENTO DO SERVIÇO LABORATORIAL**
SOUSA DIAS MARTINS **DO INSTITUTO DOS VINHOS DO DOURO E DO**
PORTO, I.P.: UMA HEURÍSTICA DE APOIO À
DECISÃO



**SARA PATRÍCIA
SOUSA DIAS MARTINS** **ESCALONAMENTO DO SERVIÇO LABORATORIAL
DO INSTITUTO DOS VINHOS DO DOURO E DO
PORTO, I.P.: UMA HEURÍSTICA DE APOIO À
DECISÃO**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Professora Doutora Marlene Paula Castro Amorim, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro e coorientação da Professora Doutora Carina Maria Oliveira Pimentel, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho ao meu Irmão.

o júri

presidente

Prof. Doutor Pedro Manuel Moreira da Rocha Vilarinho
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Filipe Pereira Pinto Cunha Alvelos
professor associado da Universidade do Minho

Prof. Doutora Carina Maria Oliveira Pimentel
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer às Professoras Marlene Amorim e Carina Pimentel pela disponibilidade, orientação e exigência fundamentais para todo este projeto.

Agradeço ao IVDP, I.P. pela oportunidade proporcionada, em particular à Dra. Isabel Valle pela disponibilidade prestada. Um especial agradecimento ao Júlio Faria, Eng. António Taveira e Conceição Mota por me terem acompanhado no laboratório e esclarecido todas as minhas questões durante o período em que este projeto decorreu.

Aos meus amigos, obrigada. Marta, agradeço-te pelo teu companheirismo e por toda a partilha de opiniões que sempre me ajudaram.

À minha família por me terem proporcionado esta oportunidade e pelo apoio, particularmente à minha mãe pela constante preocupação e suporte.

Por fim, não podia deixar de agradecer ao Hernâni, por todo o apoio, paciência e espírito crítico com que me acompanhou neste percurso e que, de certo, me ajudaram a evoluir.

palavras-chave

Serviços, Escalonamento, Heurística, Teoria das Restrições, Flexible Job-Shop Scheduling Problem, Tempos de resposta

resumo

O presente projeto insere-se num serviço laboratorial onde são executados diversos tipos de análises de vinhos com o propósito de certificar e controlar os produtos da região do Douro. O projeto em estudo retrata um caso particular dos problemas de escalonamento, *Flexible Job-Shop Scheduling Problem* (FJSSP), com uma complexidade acrescida devido à diversidade de análises, equipamentos e rotas que coexistem no *shopfloor*.

A metodologia utilizada para a resolução do problema em estudo compreende o desenvolvimento, e programação, de uma heurística construtiva, baseada na Teoria das Restrições, capaz de efetuar o escalonamento das análises tendo em conta as características específicas do laboratório. Pretende-se, através deste algoritmo, adequar o escalonamento à capacidade de resposta do laboratório, minimizando o *makespan* e, em última instância, permitir um aumento do nível de serviço a toda a fileira vitivinícola da Região Demarcada do Douro.

Através da aplicação deste algoritmo, a empresa consegue uniformizar o processo de seleção de encomendas e executar um escalonamento da produção dimensionado para a capacidade do laboratório e ajustado às características intrínsecas de cada rota de produção, permitindo um aumento do *throughput* do sistema.

keywords

Services, Scheduling, Heuristic, Theory of Constraints, Flexible Job-Shop Scheduling Problem, Response Times

abstract

This project is part of a laboratory service where several types of wine analysis are performed with the purpose of certifying and controlling *Douro* products. The problem portrays a case of scheduling problems, Flexible Job-Shop Scheduling Problem (FJSSP), with increased complexity due to the diversity of analyzes, equipment and routes that coexist in shop floor.

The methodology used to solve the problem under study comprises the development and programming of a constructive heuristic based on Theory of Constraints, that is capable of scheduling production considering the specific characteristics of the laboratory. Through this algorithm, it is intended to adapt the scheduling to the labs' capacity, minimizing the makespan and, in the end analysis, to allow an increase on the service level to the entire wine industry of *Região Demarcada do Douro*.

Through the application of this algorithm, the company can standardize the order selection process and execute a production scheduling that is scaled to the laboratory capacity and adjusted to the intrinsic characteristics of each production route, allowing an increase of the system throughput.

O autor é inteiramente responsável pela informação constante deste texto, incluindo a recolhida junto do Instituto dos Vinhos do Douro e do Porto, IP.

O Instituto dos Vinhos do Douro e do Porto, IP não é responsável pela informação constante deste texto

Índice de Conteúdos

1. Introdução	1
1.1. <i>Enquadramento e Objetivos</i>	1
1.2. <i>Metodologia</i>	2
1.3. <i>Estrutura do documento</i>	3
2. Revisão da literatura	5
2.1. <i>Teoria das Restrições</i>	5
2.1.1. <i>Abordagem 5FS</i>	6
2.1.2. <i>Drum-Buffer-Rope (DBR)</i>	7
2.2. <i>Problemas de Escalonamento</i>	8
2.2.1. <i>Contextualização</i>	8
2.2.2. <i>Tipos de Sistemas</i>	9
2.2.3. <i>Notação dos problemas de Escalonamento</i>	13
2.3. <i>Job-shop Scheduling Problem (JSSP)</i>	15
2.3.1. <i>Flexible Job-shop Scheduling Problem (FJSSP)</i>	16
2.4. <i>Workload Control</i>	17
2.5. <i>Modelação de problemas de escalonamento</i>	19
2.5.1. <i>Natureza do problema: determinística vs. estocástica</i>	19
2.5.2. <i>Incerteza</i>	19
2.5.3. <i>Programação estática e dinâmica</i>	20
2.5.4. <i>Metodologias para a resolução de problemas</i>	20
2.6. <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	21
3. IVDP I.P.	25
3.1. <i>Da Região Demarcada do Douro ao Instituto dos Vinhos do Douro e Porto</i>	25
3.2. <i>Direção de Serviços Técnicos e de Certificação (DSTC)</i>	26
3.2.1. <i>Contextualização</i>	26
3.2.2. <i>Competências, Produtos e Clientes</i>	27
3.2.3. <i>Processos internos</i>	29
4. Estudo de caso	33
4.1. <i>Caracterização do estado atual do sistema</i>	33
4.1.1. <i>Caracterização da procura de serviços</i>	34
4.1.2. <i>Tempo Médio de Resposta por finalidade</i>	36
4.1.3. <i>Caracterização da produção</i>	38
4.2. <i>Planeamento do serviço laboratorial da DSTC</i>	39
4.2.1. <i>Identificação da restrição</i>	40
4.2.2. <i>Jobs e sequência de operações</i>	42
4.3. <i>Desenvolvimento da Heurística Construtiva</i>	42
4.3.1. <i>Princípios base</i>	43
4.3.2. <i>Variáveis consideradas no desenvolvimento</i>	44
4.3.3. <i>Algoritmo</i>	53
4.4. <i>Resultados</i>	61
5. Conclusão	65
5.1. <i>Considerações Finais</i>	65
5.2. <i>Desenvolvimentos Futuros</i>	66
6. Bibliografia	69
Anexos	75

Índice de Figuras

Figura 1. Abordagem POOGI (Rahman, 1998).....	6
Figura 2. Sistematização dos problemas de escalonamento	9
Figura 3. Problemas de etapa única: a) máquina única e b) máquinas paralelas	10
Figura 4. Cenários de produção	11
Figura 5. Interação entre operações gargalo e não-gargalo (Yan et al., 2007)	16
Figura 6. Esquematização do conceito WLC (Oosterman et al., 2000)	18
Figura 7. Classificação dos métodos para JSS.....	20
Figura 8. Estrutura hierárquica da decisão Adaptado de (Saaty, 2008)	21
Figura 9. Matriz de comparação, adaptado de Wind e Saaty (1980).....	23
Figura 10. Organigrama IVDP, I.P.	26
Figura 11. Estrutura organizacional DSTC	27
Figura 12. Procedimento para certificação	29
Figura 13. Processo de entrada e preparação das amostras	31
Figura 14. Número dos processos anuais na DSTC	34
Figura 15. Análise ABC: Número de processos e finalidades na DSTC	35
Figura 16. Analogia entre produção por encomenda e serviço DSTC	36
Figura 17. Serviço de prova como bottleneck do sistema	37
Figura 18. Tempo de resposta por finalidade requisitada	37
Figura 19. Escalonamento e fluxo de produção entre setores	41
Figura 20: Análise ABC - Classificação de produtos.....	43
Figura 21. Rota de processamento de J_{22} , J_{Cvol} e J_{61}	44
Figura 22. Número de máquinas gargalo a agendar (interface entre o operador e o sistema).....	45
Figura 23. Dimensão do lote – Estimado vs Real	49
Figura 24: Tempo de processamento em função – Estimado vs Real.....	49
Figura 25: Tempo associado ao setup e ao processamento da operação j do produto i (p_{ij})	50
Figura 26. Tempo de Operação e tempo ativo operador.....	52
Figura 27. Módulos integrantes da heurística	54
Figura 28. Definição do período laboral.....	55
Figura 29. Procedimento Heurístico	55
Figura 30. Agendar novo lote	57
Figura 31. Agendamento backward para operação a montante	58
Figura 32. Escalonamento forward para operação a jusante	58
Figura 33. Escalonamento $O_{61,1}$	58
Figura 34. Output do sistema - Encomendas agendadas	60
Figura 35. Output do sistema - Escalonamento da produção	60
Figura 36. Comparação entre estado atual e heurística proposta.....	62
Figura 37. Variação entre representatividade das operações no tempo de processamento do job	63
Figura 38. Comparação entre estado atual e heurística proposta	63

Índice de Tabelas

Tabela 1. Características associadas a cada nível de planeamento	8
Tabela 2. Classificação possível - parâmetro α	13
Tabela 3. Características das tarefas e restrições do sistema – parâmetro β	14
Tabela 4. Critérios de otimização – parâmetro γ	14
Tabela 5. Escala de Saaty	22
Tabela 6. Vinhos e bebidas suscetíveis a certificação DO ou IG	28
Tabela 7. Características da produção na DSTC Adaptado de (Stevenson, 2009).....	39
Tabela 8. Matriz de comparação entre critérios para priorização de encomendas.....	47
Tabela 9. Variáveis utilizadas no cálculo do IP	48
Tabela 10. Matriz de comparação de critérios para priorização de jobs	52

Lista de Acrónimos

AMin – Setor Análise Mineral
Avol – Acidez Volátil
DBR – *Drum-Buffer-Rope*
BPM – *Batching Processing Machines*
DO – Denominação de Origem
CP – Câmara de Provadores
CrG – Setor Cromatografia Gasosa
CrL – Setor Cromatografia Líquida
DBR – Metodologia *Drum-Buffer-Role*
DSTC- Direção dos Serviços Técnicos de Certificação
FJS – *Flexible Job-Shop*
FJSSP – *Flexible Job-Shop Scheduling Problem*
FQ – Setor Físico-química
FQ I – Setor integrante do setor Físico-química
FQ II – Setor integrante do setor Físico-química
IA – Investigação-Ação
IG – Indicação Geográfica
IVDP – Instituto dos Vinhos do Douro e do Porto I. P.
JS- *Job-Shop*
JSS – *Job-Shop Scheduling*
KPI – *Key Performance Indicator*
Micro – Setor Microbiologia
MTO – *Make-to-order*
PME – Pequenas e Médias Empresas
PPC – Planeamento e Controlo da Produção
PRA – Posto de receção de amostras
RDD - Região Demarcada do Douro
SL – Serviço de Laboratório
SP- Serviço de Prova
TAV - Título Alcoométrico Adquirido
TIR – Talão Individual de Registo
TOC – *Theory of Constraints*
WC – *Workcenter*
WIP – *Work in progress*
WLC – *Workload control*
WS – Equipamento tecnológico WineScan

1. Introdução

A crescente evolução do contexto industrial e a evolução dos mercados globais tem incitado o poder que o consumidor exerce sobre estes sistemas. Neste sentido, as organizações são obrigadas a adaptarem-se às mudanças voláteis ocorridas na conjuntura económica atual, implicando a adoção de estratégias que permitam aumentar a sua competitividade e destacarem-se da restante concorrência. A título exemplificativo, a oferta de produtos customizados e a capacidade de resposta ao cliente são algumas das estratégias utilizadas para aumentar a competitividade.

Posto isto, a indústria vitivinícola não é exceção no contexto socioeconómico atual. Nos dias de hoje, Portugal é o 11º país do mundo em termos de produção de vinho e um dos 10 principais exportadores mundiais de vinho. A RDD é a principal região no que concerne à exportação uma vez que 50% do vinho português exportado é da RDD. Na categoria de vinhos com denominação de origem protegida (DOP) 75% das exportações são desta região (IVDP, 2016). Neste sentido, a qualidade do produto, o nível de serviço ao cliente e respetiva capacidade de resposta constituem fatores preponderantes para impulsionar este setor económico.

1.1. Enquadramento e Objetivos

O presente projeto incide sobre a atividade do Instituto dos Vinhos do Douro e Porto, IVDP. I.P., mais especificamente sobre a Direção de Serviços Técnicos de Certificação (DSTC), cuja missão é certificar e controlar a qualidade dos produtos da Região Demarcada do Douro (RDD).

Atualmente, esta é a principal região vitivinícola e representa mais de metade da área total de vinha disponível em Portugal para produção de produtos com DOP, contribuindo com 50% do valor das exportações totais de vinho (IVDP, 2016).

O domínio de ação desta organização é muito mais abrangente do que apenas a certificação destes produtos, uma vez que intervém através de fiscalizações e controlo durante todo o processo produtivo, ou seja, desde a vinha até à sua comercialização.

Como objetivo central deste projeto, pretende-se elaborar um modelo capaz de controlar a carga de trabalho a ser produzida de acordo com a capacidade do sistema e que faça o escalonamento da produção laboratorial da DSTC de forma a minimizar os tempos de resposta do serviço. No entanto, consideram-se como objetivos específicos deste trabalho os seguintes tópicos:

- Caracterizar detalhadamente o ambiente produtivo em estudo;

- Identificar potenciais restrições do sistema;
- Definir um plano de ação capaz de representar as especificidades do laboratório;
- Programar uma heurística que se adequa às necessidades identificadas;
- Reduzir potenciais tempos ociosos;
- Aumentar a capacidade de resposta do laboratório;
- Identificar potenciais melhorias que favoreçam o funcionamento interno do laboratório.

Um dos principais desafios deste trabalho prende-se com a diferença existente entre o funcionamento da DSTC e a tradicional indústria, no sentido em que existe uma dificuldade acrescida em transpor a realidade industrial e respetivos conceitos para o problema em questão. Contudo, a importância económica atribuída à fileira vitivinícola e a condição imperativa da certificação dos produtos para a sua comercialização tornam este projeto desafiante, na medida em que a diminuição dos tempos de resposta da DSTC terá um impacto positivo na atividade dos agentes económicos e consequentemente em toda a economia da RDD.

O trabalho a ser realizado envolve um problema de escalonamento em ambiente *job-shop*, tipicamente caracterizado por uma enorme volatilidade, inúmeros produtos e diversas rotas de processamento. Adicionalmente, constata-se que este sistema possui, em determinadas estações de produção, máquinas em paralelo e processadores BPM. Posto isto, foi desenvolvida uma heurística que, em função do tempo disponível dos equipamentos gargalo, permite apoiar a decisão face à entrada de encomendas. Adicionalmente, este modelo executa o escalonamento das atividades do laboratório tendo em conta a informação e requisitos específicos associados a cada rota de processamento.

1.2. Metodologia

O desenvolvimento deste projeto foi sustentado segundo a metodologia investigação-ação (IA) que pressupõe um conjunto de ações práticas e respetiva investigação (Coutinho et al., 2009). Estas técnicas caracterizam-se pela interatividade do processo e pelo foco atribuído a um problema em concreto (Fernandes, sem data). A IA permite, através da observação e recolha de dados, resolver problemas práticos e, posteriormente, extrapolar o conhecimento adquirido para outros contextos idênticos (Coughlan e Coughlan, 2002; Kuhne e Quigley, 1997).

Tipicamente a metodologia IA consiste em quatro fases distintas planear, agir, observar e refletir (Gravett, 2002). Contudo, esta metodologia diferencia-se por se tratar de um processo cíclico que visa melhorar o conhecimento que advém de processos anteriores (Coutinho et al., 2009).

Tendo por base as etapas anteriormente referidas, o projeto foi iniciado com a recolha e análise de dados para definir o plano de ação adequado ao problema em estudo. Num segundo momento, com base no conhecimento adquirido, foi desenvolvida a heurística de escalonamento que permitiu resolver o problema em estudo. Por fim, fez-se uma reflexão sobre o trabalho realizado, contudo, numa perspetiva de melhoria, este processo poder-se-ia repetir continuamente de forma a incorporar a informação que surgiu após reflexão.

1.3. Estrutura do documento

O presente documento encontra-se estruturado em cinco capítulos, neste primeiro capítulo é feita uma introdução de forma a enquadrar o tema abordado, assim como os objetivos inerentes ao desenvolvimento do projeto.

No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica considerada pertinente para a execução do projeto. Desta forma, são abordados conceitos relevantes na área do escalonamento e da gestão de operações.

O Capítulo 3 destina-se à caracterização da organização em estudo e, em particular, do setor sobre o qual este projeto incide. Destaca-se a apresentação das competências e processos-chave desta organização.

No quarto capítulo é elaborado o estudo de caso, apresentando-se informações relevantes para a caracterização do projeto, assim como os princípios e características do sistema que estão na origem do trabalho desenvolvido. Ainda nesta secção é apresentado o algoritmo proposto e respetivos resultados.

Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões do autor sobre o desenvolvimento deste projeto e ainda algumas considerações e propostas de forma a dar continuidade ao trabalho realizado.

2. Revisão da literatura

2.1. Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições (TOC) foi desenvolvida por Goldratt em 1979 ao introduzir um *software* capaz de otimizar os horários de produção, onde conseguiu triplicar o output do sistema num curto período de tempo. Contudo, Goldratt possui uma vasta obra no que se refere à evolução destes conceitos e princípios, onde podem ser diferenciadas 5 eras distintas (Watson et al., 2007).

Este mesmo autor defende que qualquer sistema que não tenha uma única restrição irá sempre ser um sistema com uma performance infinita. Posto isto, e segundo esta teoria, todos os sistemas têm no mínimo uma restrição que impede a obtenção de uma melhor performance face a um ou mais objetivos específicos da instituição (Watson et al., 2007). Ainda na definição desta teoria, há autores que simplificam, e conceptualizam-na como se o sistema se tratasse de uma correia de elos, onde a preocupação deve recair sobre o elo mais fraco de forma a melhorá-la como um todo (Pegels e Watrous, 2005; Tu et al., 2014). Assim, defende-se que o pilar em que a TOC se sustenta pressupõe que, para o sistema atingir um output máximo é necessário melhorar as restrições que o condicionam, uma vez que à máxima utilização das restrições está associada a performance máxima do sistema (Watson et al., 2007).

Ao longo do tempo, esta teoria foi sofrendo algumas evoluções passando de uma versão restrita utilizada para escalonamento da produção para uma abrangente teoria expansível a várias vertentes de um negócio (Rahman, 1998). A TOC é encarada, segundo Gupta et al. (2002), como uma filosofia geral, que após a sua expansão, tornou possível ter uma visão mais alargada do impacto resultante da sua aplicação, sendo que, Tu et al. (2014) afirmam que o seu principal objetivo é a melhoria global de um sistema.

Na definição da Teoria das Restrições é habitual esta ser referida como uma melhoria de um sistema, não especificando em momento algum qual o tipo de melhoria a que se refere. Na verdade, esta é uma das valências desta teoria, uma vez que pode ser aplicável a qualquer tipo de sistema não se restringindo apenas a ambientes industriais. Moss (2007) refere a sua aplicação no âmbito do setor terciário e realça algumas das finalidades para as quais tem sido utilizada, nomeadamente para a melhoria nos tempos de resposta. Contudo, o autor realça que a teoria deva ser testada para serviços com características e dimensões distintas por forma a validar a sua aplicabilidade, tais como serviços hospitalares onde é essencial um escalonamento intensivo para a boa performance do sistema. Outro dos benefícios resultante da aplicação da TOC, enunciado por Pegels e Watrous (2005), prende-se com o facto desta

teoria permitir detetar potenciais problemas no *throughput* do sistema e proceder às suas correções, culminando com a melhoria da produtividade e eficiência.

2.1.1. Abordagem 5FS

Após a definição da TOC, Goldratt e Cox (1989), escrevem “*The Goal*” com o intuito de explicar o funcionamento desta teoria e desmistificar alguns factos. Assim, este livro é um manual de ensino sobre como aplicar os princípios que se encontram na base da teoria das restrições e evidenciar a sua utilidade em qualquer sistema.

Goldratt & Cox (1989) estabelecem a abordagem *Five Focusing Steps* (5FS) onde são sistematizados os passos que devem ser executados para a aplicação da TOC, sendo eles:

- E1: identificar a restrição do sistema;
- E2: identificar uma forma eficaz para explorar a restrição previamente identificada;
- E3: subordinar o sistema à restrição;
- E4: adicionar capacidade ao sistema no local da restrição;
- E5: voltar ao passo inicial caso tenha sido quebrada alguma das etapas anteriores.

Neste sentido, a metodologia referida anteriormente deu lugar a uma nova abordagem designada por POOGI (*Process Of Ongoing Improvement*), que além destes passos impõe dois pré-requisitos para a sua aplicação, (1) definir o sistema e o objetivo em estudo e (2) definir um conjunto de indicadores que alinhem o sistema e o objetivo identificado. De certa forma, esta perspetiva, também referida por Rahman (1998), pretendia demonstrar que uma implementação da TOC não é estática. Assim, pressupõe-se um processo cíclico que deve ser executado de forma a estar continuamente alinhado com os objetivos definidos pela organização para um determinado período temporal (figura 1).

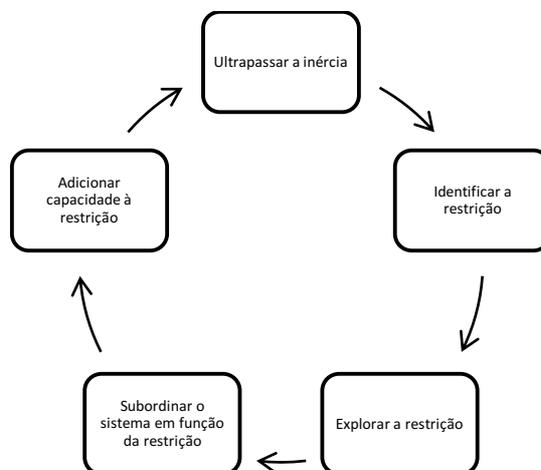


Figura 1. Abordagem POOGI (Rahman, 1998)

2.1.2. *Drum-Buffer-Rope (DBR)*

Esta metodologia de agendamento surgiu no seguimento da TOC e pressupõe que o ritmo (*drum*) das atividades produtivas seja definido pela restrição do sistema, ou seja, a taxa de entrada dos materiais deve ser igual à taxa a que estes são processados na restrição (Gardiner et al., 1993). De acordo com Watson et al. (2007) as restrições podem ser classificadas segundo três grupos principais (i) restrições físicas, (ii) restrições de mercado e (iii) restrições políticas. Os dois primeiros segmentos estão de certa forma relacionados, ainda que em extremos opostos, pois ambos abordam a capacidade dos recursos face à procura existente como principal característica. No primeiro caso, a procura excede a capacidade de resposta do recurso, sendo este um fator limitante para determinar o *drum* da produção. Ao invés, quando a procura é inferior à capacidade do recurso, estamos perante uma restrição de mercado que impede uma taxa de utilização dos recursos próxima da sua capacidade. O terceiro cluster, restrições políticas, corresponde a práticas formais ou informais que acabam por condicionar a performance do sistema. Segundo Spencer e Cox (1995) este ritmo é determinado, na grande maioria das vezes, por uma restrição de capacidade do recurso (CCR).

Dado que o ritmo de produção é determinado pela restrição do sistema é necessário garantir que existe inventário acumulado a montante do gargalo, ou seja um *buffer*, que protege a produção em situações de potenciais falhas (Carvalho, 2004). Segundo Ye e Han (2008), este *buffer* pode ser classificado como *buffer* de capacidade, de tempo ou de stock. Existem duas questões principais no que diz respeito à gestão do *buffer* para que este tenha um impacto positivo na determinação da produção, isto é definir a localização e a dimensão do *buffer* para o sistema produtivo em análise (Ye e Han, 2008).

Ao aplicar esta metodologia em sistemas complexos, por exemplo em ambientes do tipo *job-shop*, o problema fica simplificado uma vez que já se sabe, *à priori*, sobre onde deve recair a atenção, ou seja, sobre os recursos críticos do sistema (Gardiner et al., 1993).

Uma das principais vantagens desta metodologia é o facto da libertação de material para o chão de fábrica (*rope*) ocorrer num local específico. Esta componente funciona como a ligação entre todos os recursos e permite que o sistema esteja sincronizado de forma a que a taxa de processamento seja adequada à capacidade de resposta das restrições do sistema (Ye e Han, 2008). Contudo, considerando que o sistema pode ficar comprometido, caso o escalonamento desta atividade seja realizado de forma inadequada, esta é uma das etapas cruciais para que haja uma correta determinação do ritmo de produção.

2.2. Problemas de Escalonamento

2.2.1. Contextualização

Com o fenómeno da globalização dos mercados, as organizações sentem a necessidade de se adaptar e evoluir de forma a criar vantagens competitivas sobre a concorrência. Para tal, existe um conjunto de questões às quais as organizações têm de responder e cujas respostas surgem no decorrer de atividades de planeamento.

Considerando o âmbito e os impactos na organização resultantes das decisões de planeamento, estas podem ser divididas em três níveis distintos: (1) planeamento estratégico, (2) planeamento tático e (3) planeamento operacional. As decisões estratégicas implicam um compromisso elevado por parte da organização e referem-se a um período temporal longo. No extremo oposto, mas não menos importante para o decorrer das atividades da organização, tem-se o planeamento operacional, orientado para o curto prazo. Por fim, o planeamento tático tem como objetivo tomar decisões relativas ao médio-prazo e com um propósito mais restrito que o planeamento estratégico (Buzacott e Shanthikumar, 1993). A tabela 1 resume as características de cada tipo de planeamento.

Tabela 1. Características associadas a cada nível de planeamento
(Buzacott e Shanthikumar, 1993)

Tipo de Planeamento	Horizonte temporal	Exemplo
Estratégico	Longo prazo (superior a 1 ou 2 anos)	Definir portfólio de produtos
Tático	Médio prazo (3 a 18 meses)	Definir força de trabalho
Operacional	Curto prazo (diariamente/semanalmente)	Alocação de tarefas

Após esta diferenciação, o problema de escalonamento (*scheduling problem*) referido na literatura, integra-se no nível de planeamento operacional uma vez que o seu foco abrange decisões operacionais do chão de fábrica. Segundo Mathirajan e Sivakumar (2006), o objetivo do escalonamento centra-se no cumprimento das restrições de produção e na minimização de custos através da alocação temporal dos recursos disponíveis para a realização de tarefas.

Desde meados de 1950 que este tipo de problema tem suscitado interesse em diversos autores devido à sua aplicabilidade e aos resultados que dele podem advir, nomeadamente, diminuição de *Work-in-*

Progress (WIP), aumento da taxa de utilização das máquinas, ganhos de eficiência e rapidez e a diminuição dos custos operacionais (Chen, 1997; Lawler et al., 1993; Potts e Kovalyov, 2000).

2.2.2. Tipos de Sistemas

Um problema de escalonamento é definido segundo um conjunto de fatores que caracterizam o ambiente em estudo e a sua resolução. Assim, é necessária uma descrição exhaustiva de variáveis como número de máquinas, etapas e operações do processo e rotas dos produtos (Hart et al., 2005; Mathirajan e Sivakumar, 2006). Adicionalmente, o tipo de máquina e, caso exista, o tipo de processamento em lote são outras variáveis que devem ser estudadas no problema (Mathirajan e Sivakumar, 2006; Sahraeian et al., 2012).

A figura 2 pretende sistematizar os tipos de problemas de escalonamento abordados na literatura. Posto isto, segue-se uma descrição dos diversos tipos de problemas tendo em conta os fatores que os distinguem.

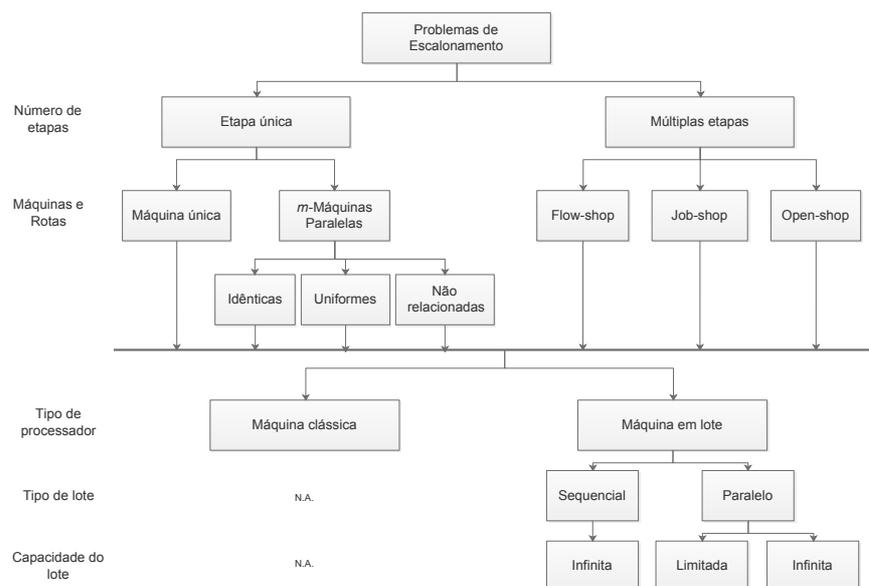


Figura 2. Sistematização dos problemas de escalonamento

Ambiente fabril e número de máquinas

Neste tópico os problemas de escalonamento são definidos segundo o número de máquinas e a forma como elas se organizam e são utilizadas na produção. Desta forma, na literatura são abordados os problemas de etapa única, do qual fazem parte os problemas de máquina única e *m*-máquinas paralelas; quanto aos problemas de múltiplas etapas são retratados como problemas *shop*, ou seja, *m*-máquinas

que seguem um arranjo específico, podendo ser do tipo *flow-shop*, *job-shop* ou *open-shop* (Liu e Ong, 2004; Potts e Kovalyov, 2000). No caso dos problemas do tipo *shop*, esta classificação é definida de acordo com a relação entre as operações e as rotas dos produtos.

Abordando os cenários de etapa única, os produtos passam por uma única operação, contudo, para a sua realização podem existir, no chão de fábrica, uma ou m -máquinas em paralelo, direcionadas para a sua execução. No contexto de máquinas paralelas, aplica-se também a diferenciação em (1) máquinas idênticas, (2) máquinas uniformes e (3) máquinas não-relacionadas. A figura 3 ilustra a diferença entre problemas de máquina única e máquinas paralelas.

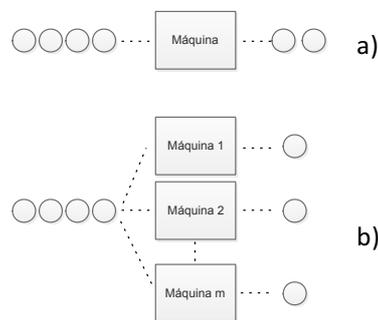


Figura 3. Problemas de etapa única: a) máquina única e b) máquinas paralelas

Evidenciando agora os problemas que integram múltiplas etapas, o *flow-shop* é, segundo Graves (1981), o problema pertencente a esta categoria de mais simples resolução. Caracteriza-se por se tratar de um conjunto de tarefas que pressupõe m operações a serem realizadas em M máquinas, contudo, existe uma rota linear igual para todos os produtos. Este contexto denota um padrão repetitivo para o sistema, traduzindo-se num problema de baixa complexidade uma vez que o controle de fluxos é facilmente realizado, permitindo produzir grandes volumes, mas de uma diversidade limitada de produtos (Buzacott e Shanthikumar, 1993).

A regra de Johnson, uma das mais reconhecidas neste tipo de sistemas, foi proposta com o intuito de obter um escalonamento para um problema com n -etapas em 2 máquinas distintas de forma a minimizar o *makespan*. Supondo que existem duas $workstations$ ($W1$ e $W2$), o algoritmo proposto engloba os seguintes passos: (1) analisar e selecionar o menor tempo de processamento (*shortest Processing Time* - SPT) das tarefas não planejadas; (2) se o menor SPT pertence à $W1$ calendarizar o mais cedo possível, caso contrário, agendar o mais tarde possível e (3) eliminar a tarefa agendada e repetir o algoritmo até que todas as tarefas tenham sido agendadas. Nesta regra pressupõe-se que a prioridade

atribuída aos trabalhos seja a mesma para *workstations* distintas resultando em sequências de trabalho semelhantes.

Num cenário oposto, o *job-shop* é caracterizado pela sua complexidade uma vez que, para além das múltiplas máquinas existentes, a cada tipo de produto é associada uma rota específica não implicando a passagem obrigatória por todas as máquinas (Allahverdi et al., 1999). Adicionalmente, este tipo de ambiente produtivo é associado a um layout orientado por processos caracterizado por um volume reduzido e uma grande variedade de produtos.

Por sua vez, o terceiro ambiente fabril, *open-shop*, é referido por Anand e Panneerselvam (2015) como sendo um problema intermédio entre os dois problemas anteriores. Este problema retrata um ambiente em que, à semelhança do *flow-shop*, todos os trabalhos passam por todas as máquinas, contudo a sequência pelas quais as operações são realizadas pode variar. A figura 4 retrata as três conjunturas, associadas a múltiplas etapas, referidas anteriormente.

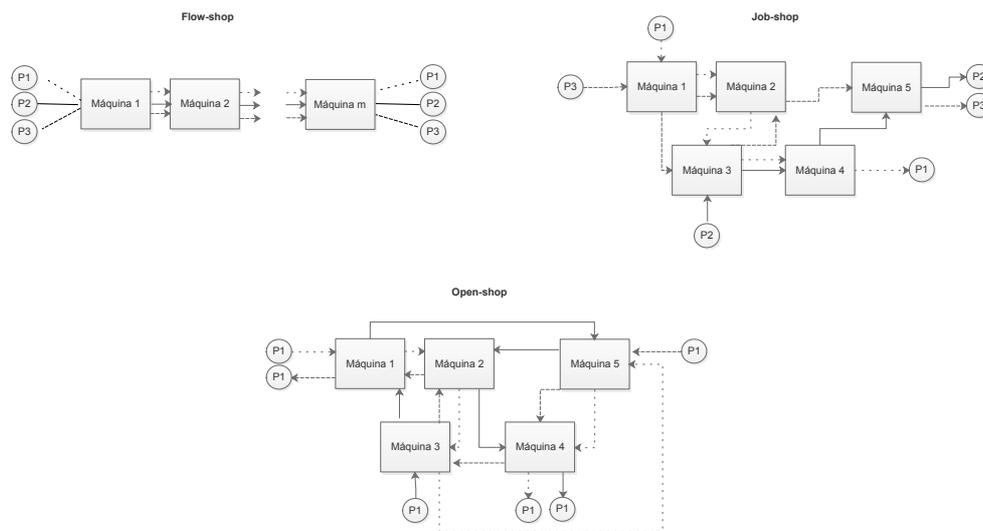


Figura 4. Cenários de produção

Tipo de máquinas e processamento

O tipo de máquinas que constitui o chão de fábrica é outra variável utilizada na caracterização do problema, nomeadamente no que respeita à capacidade de execução das tarefas. Para além das máquinas clássicas, existe outra categoria capaz de executar mais do que um trabalho em simultâneo, denominadas por máquinas em lote (*batching machines*).

A capacidade de processamento em lotes tem um particular interesse na indústria transformativa uma vez que permite a diminuição de *setups* e facilita a gestão de material (Mathirajan e Sivakumar, 2006). No entanto, no caso de processamento em lote é possível distinguir dois modelos distintos, lote sequencial (*serial batch*) em que um conjunto de tarefas pode ser agrupada por partilhar um *setup* comum, mas cujo processamento é feito individualmente. Considerando que:

n	Número total de trabalhos
J_i	Trabalho $J_i, i = 1, 2 \dots n$
p_j :	Tempo de processamento do trabalho j
$\mathcal{B} = \{1 \dots n\}$	Lote composto por n trabalhos

Então, a equação 1 define o tempo de processamento de um lote em série (Kovalyov et al., 2015):

$$p(\mathcal{B}) = \sum_{1}^n p_j \quad (1)$$

Por sua vez, o lote em paralelo (*parallel batching*) implica um processamento em simultâneo dos trabalhos que o constituem. Ozturk et al. (2016) afirmam que determinadas indústrias tais como, fundição, metalúrgica e serviços hospitalares recorrem a este tipo de processamento em lote, assim como alguns processos na indústria química destacados por Kovalyov et al. (2015).

Na literatura, os problemas de escalonamento associados a lotes em paralelo são, segundo Sahraeian et al. (2012), reconhecidos como *Batching Processing Machines* (BPM) e abordados por Mathirajan e Sivakumar (2006) como *Scheduling Batching Processor* (SBP), possuem uma complexidade *NP-Hard* pelo que pressupõe a aplicação de heurísticas para a obtenção de soluções razoáveis no que concerne à qualidade da solução e ao esforço computacional necessário à sua resolução. No caso de processamento paralelo, o tempo de processamento do lote, equação 2, corresponde ao máximo dos tempos de cada trabalho que o constitui (Li et al., 2011).

$$p(\mathcal{B}) = \max\{p_j: J_j \in \mathcal{B}\} \quad (2)$$

Lu e Yuan (2008) referem no seu artigo que o escalonamento de lotes em paralelo em máquinas de capacidade limitada foi introduzido por Lee et al. (1992) motivados pelas operações *burn-in* utilizadas num procedimento de controlo de qualidade dos circuitos durante a produção de semicondutores. Brucker et al (1998) acrescentam que um modelo é ilimitado quando existe capacidade em processar b trabalhos em simultâneo e $b \geq n$, sendo n o número de trabalhos pelo qual o lote é composto. Porém, refere que se for considerado o caso particular em que $b = 1$, então o problema pode ser resolvido como um problema de máquina clássica em que apenas é processada uma tarefa de cada vez.

2.2.3. Notação dos problemas de Escalonamento

Tendo em conta a diversidade de ambientes de produção e as características que lhes são intrínsecas, Graham et al. (1979) propuseram uma notação *standard* capaz de representar um sistema. Esta metodologia considera três campos distintos $\alpha|\beta|\gamma$ que associam a classificação de diferentes variáveis.

No primeiro campo, $\alpha = \alpha_1\alpha_2$, é referido o ambiente de escalonamento do problema, onde α_1 pode ser um dos ambientes fabris referidos anteriormente e, α_2 determina um número constante de máquinas existentes. Contudo, se $\alpha_1 = \circ \rightarrow \alpha_2 = 1$, e no caso de $\alpha_2 = \circ$, assume-se que o problema implica um número de máquinas variável (Graham et al., 1979).

A Tabela 2 representa a notação atribuída a α_1 e α_2 para cada um dos cenários. Potts e Kovalyov (2000) acrescentam a esta notação o caso particular do processamento em lote, assim, neste cenário, identifica-se a variável do problema com uma simbologia diferente em que $\alpha_1 \in \{\tilde{P}, \tilde{Q}, \tilde{R}, \tilde{O}, \tilde{F}, \tilde{J}\}$. Neste caso, pode-se ainda identificar a capacidade máxima (b_i) de cada processador em lote.

Tabela 2. Classificação possível - parâmetro α

$\alpha_1 = \circ$	Máquina única
$\alpha_1 = P$	Máquinas paralelas idênticas
$\alpha_1 = Q$	Máquinas paralelas uniformes
$\alpha_1 = R$	Máquinas paralelas não-relacionadas
$\alpha_1 = O$	<i>Open-shop</i>
$\alpha_1 = F$	<i>Flow-shop</i>
$\alpha_1 = J$	<i>Job-shop</i>
$\alpha_2 = m$	(constante)
$\alpha_2 = \circ$	Máquinas variáveis

No segundo campo desta nomenclatura, β , são retratadas as características associadas às tarefas e a outras restrições do sistema, e $\beta \subset \{\beta_1, \dots, \beta_6\}$. Apesar da tabela 3 enunciar as características apresentadas na classificação de Graham et al. (1979), quaisquer restrições específicas do sistema podem ser descritas neste tópico.

Tabela 3. Características das tarefas e restrições do sistema – parâmetro β

$\beta_1 = \begin{cases} pmtn \\ \circ \end{cases}$	<ul style="list-style-type: none"> • Preempção permitida, ou seja, interromper uma operação e terminá-la depois é permitido • Não permitida
$\beta_2 = \begin{cases} res \\ res1 \\ \circ \end{cases}$	<ul style="list-style-type: none"> • Existem s recursos limitados R_h ($h = 1, \dots, s$) em que cada etapa J_j exige r_{hj} unidades de R_h • Um único recurso necessário • Não há restrições associadas a recursos
$\beta_3 = \begin{cases} prec \\ tree \\ \circ \end{cases}$	<ul style="list-style-type: none"> • Representação de precedências através de um grafo orientado G. Se existe um arco que ligue j e k então: $J_j < J_k$ e para iniciar J_k, J_j tem de estar concluído • Por cada vértice de G, existe no máximo uma precedência à entrada e/ou saída • Não existem precedências
$\beta_4 = \begin{cases} r_j \\ \circ \end{cases}$	<ul style="list-style-type: none"> • Datas de entrega diferentes para cada trabalho • Quando $r_j = 0$
$\beta_5 = \begin{cases} m_j \leq \bar{m} \\ \circ \end{cases}$	<ul style="list-style-type: none"> • Existe um limite superior para m_j quando $\alpha_1 = J$ • Não existe limite superior
$\beta_6 = \begin{cases} p_{ij} = 1 \\ \underline{p} \leq p_{ij} \leq \bar{p} \\ \circ \end{cases}$	<ul style="list-style-type: none"> • Cada operação tem um tempo de processamento unitário • p_{ij} está limitado por um intervalo definido • Não está estipulado um intervalo para p_{ij}

O terceiro e último parâmetro enuncia a função objetivo sobre a qual o problema pretende incidir, ou seja, a medida de desempenho que se pretende otimizar no sistema. Alguns dos critérios possíveis para otimização estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Critérios de otimização – parâmetro γ

C_j	Tempo de conclusão da última tarefa (<i>makespan</i>)
$L_j = C_j - d_j$	<i>Lateness</i>
$T_j = \max\{0, C_j - d_j\}$	<i>Tardiness</i>
$U_j = \begin{cases} C_j \leq d_j, 0 \\ \text{contrário}, 1 \end{cases}$	<i>Unit penalty</i>

Apesar dos tópicos apresentados serem os fundamentos deste sistema de classificação, existem novas variantes que têm sido introduzidas por outros autores, nomeadamente no que concerne às restrições

de cada sistema e às funções objetivo. Posto isto, a título exemplificativo, são apresentadas algumas notações de problemas de escalonamento:

- $J4|p_{ij} = 1|C_{max}$: minimização do tempo máximo de conclusão num ambiente *job-shop* com 4 máquinas e tempo de processamento unitário;
- $F2|b_1 = 1, b_2 = 2|C_{max}$: minimização do tempo de conclusão num ambiente *flow-shop* com duas máquinas. A máquina 1 é uma máquina clássica e a máquina 2 é um processador em lote com capacidade para executar duas tarefas em simultâneo.

2.3. Job-shop Scheduling Problem (JSSP)

O JSSP é um problema bastante estudado na área de escalonamento, tendo sido introduzido em 1963 por Fisher e Thompson com um problema onde eram retratados 10 *jobs* e 10 máquinas (Błażewicz et al., 1996). Ao longo do tempo muitas têm sido as variáveis introduzidas na caracterização de JSSP tais como a formação de lotes ou tempos de setup.

Sharma e Jain (2016) apresentam uma *review* sobre o JSSP e tempos de setup onde referem as pesquisas que têm sido realizadas, assim como fazem a caracterização dos diversos ambientes produtivos retratados. Da análise realizada os autores afirmam que 42 artigos abordam tempos de setup dependentes da sequência e *jobs* individuais face aos 2 artigos com tempos independentes da sequência. No que diz respeito a *jobs* em lote apenas foram registados 4 artigos para cada uma das categorias de tempos de setup. Posto isto, os autores defendem que ainda existe bastante a explorar sobre este tema, destacando-se o facto de, apesar da importância da flexibilidade dos sistemas, ainda existir pouca literatura neste âmbito (apenas 8 artigos para flexibilidade de rotas em JSSP com tempos de setup).

A complexidade associada ao escalonamento neste tipo de ambiente produtivo incitou o desenvolvimento de heurísticas baseadas na decomposição do problema de forma a serem capazes de resolver diversos cenários. *Shifting Bottleneck (SB)* é um algoritmo bastante eficiente na resolução de problemas *job-shop* inicialmente desenvolvido para um cenário típico $J_m||C_{max}$ onde o problema é desagregado e representado através de um grafo, a cada iteração é selecionada uma máquina gargalo das que ainda não foram escalonadas e é resolvido como um problema de máquina única e a sua otimização é executada, repetindo-se este procedimento até que todas as máquinas tenham sido agendadas (Uzsoy e Wang, 2000). Contudo, alguns autores defendem que em cenários pouco balanceados onde é evidente a existência de uma única máquina gargalo, este procedimento pode ser adaptado ao sistema analisando-se apenas esta máquina. Utilizando os princípios da TOC, todo o sistema é comprometido pelo gargalo, pelo que o autor propõe a resolução do problema tendo em

conta o gargalo. Assim o problema é dividido em operações *bottleneck* e não *bottleneck* e a abordagem adotada assemelha-se a um problema de máquina única com data de início e data de entrega e as restantes operações são agendadas de acordo com o agendamento do gargalo (Yan et al., 2007). A figura 5 representa as interações entre as operações gargalo e não-gargalo, sendo que a data de início das operações do gargalo corresponde à data de conclusão das operações que a precedem (r_i) e a data de início das operações a jusante do gargalo são determinadas pela data de conclusão no gargalo (q_i).

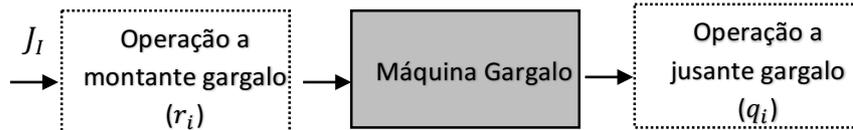


Figura 5. Interação entre operações gargalo e não-gargalo (Yan et al., 2007)

De forma análoga, também Zhai et al. (2010) baseiam-se na TOC para decompor o problema em operações gargalo e não-gargalo. Partindo do agendamento das operações gargalo definem datas de entrega que correspondem à data de início da operação gargalo e uma data de entrega que passa a ser definida como data de início das operações pós-gargalo.

Jeong et al. (1999) abordam a utilização de métodos de divisão de lotes como potenciais formas de melhorar um escalonamento, nomeadamente no *makespan* em ambientes JSSP. No entanto, os autores realçam a importância de dividir um lote de forma proveitosa, tendo em conta por exemplo o aumento de setup necessário. Neste sentido, é proposto um algoritmo que permite obter uma solução inicial e, através da divisão ótima dos lotes, melhorar o escalonamento em JSSP. O algoritmo apresentado permite, com um reduzido esforço computacional, obter melhorias significativas na produtividade e na redução do *makespan*.

2.3.1. Flexible Job-shop Scheduling Problem (FJSSP)

Tipicamente o chão de fábrica apresenta repetições de máquinas críticas com o intuito de diminuir o efeito gargalo (Ho et al., 2007) implicando, por norma, a necessidade de afetação da operação a uma das máquinas disponíveis. Posto isto, em 1993 Brandimarte introduz o conceito de FJSSP, caracterizando-o como sendo uma extensão do problema clássico de JSSP (Behnke e Geiger, 2012). Apesar de, na sua essência, o problema manter uma rota fixa para determinado *job*, cada operação pode ter mais do que uma máquina onde pode ser executada (Ziaee, 2014). Esta característica adiciona uma maior complexidade que pode ser diminuída através da utilização de estruturas hierárquicas para a sua resolução que passam pela decomposição do problema num problema de rotas (Fattahi et al., 2009; Ziaee, 2014) e, posteriormente, no clássico JSSP (Behnke e Geiger, 2012). Assim pode-se considerar uma

metodologia a dois tempos onde primeiro se faz a afetação da operação à máquina e só depois o respetivo escalonamento.

Uma nova classificação para o FJSSP foi introduzida por Kacem et al. (2002), onde os autores distinguem o FJSSP parcial e total, P-FJSSP e T-FJSSP respetivamente, com base no conjunto de máquinas aptas para processar uma operação (Behnke e Geiger, 2012). Assim, num contexto onde existem N jobs e M máquinas e S é o conjunto das máquinas, cada job i é composto por n operações j , representadas por O_{ij} , que são executadas por um recurso do conjunto de máquinas disponíveis para a operação (S_{ij}), sendo que $S_{ij} \subseteq S$. O problema define-se como T-FJSSP quando, para cada operação O_{ij} , o conjunto de máquinas onde podem ser executadas (S_{ij}) corresponde ao conjunto de máquinas S , ou seja, $S_{ij} = S$. Para P-FJSSP existe pelo menos uma operação $O_{io,jo}$ que pode ser executada num conjunto parcial de máquinas ($S_{io,jo}$) contido no conjunto de máquinas S , $S_{io,jo} \subset S$ (Kacem et al., 2002). Os autores propõem a conversão do problema P-FJSSP em T-FJSSP através da atribuição de tempos de processamento infinito nas máquinas em que as operações não podem ser executadas, sendo que através deste método reduz-se a complexidade do problema. Behnke e Geiger (2012) acrescentam que o nível de flexibilidade corresponde a $|S_{ij}|$, definido pelo número máximo de máquinas por operação e aborda o conceito de FJSSP com *workcenter* (WC) que agrupam máquinas similares, ou seja, se uma operação passa por determinado WC pode ser executada em qualquer um dos equipamentos que o constituem.

2.4. Workload Control

As organizações tipicamente MTO são vulgarmente confrontadas com os impactos inerentes à volatilidade da procura exigindo um rigoroso planeamento e controlo da produção (PPC). Segundo Stevenson et al. (2005), a indústria de customização é na sua maioria composta por Pequenas e Médias Empresas (PME), sendo que organizações desta dimensão constituem cerca de 99,8% das empresas ativas na União Europeia (UE) (Vervenner et al., 2014). Contudo, estudos revelam que estas empresas ou não valorizam a aplicação de PPC ou apresentam erros cruciais nestes sistemas.

O conceito *Workload Control* (WLC) está associado a uma ferramenta integrada no PPC desenvolvida em particular para PME's que atuam de forma customizada (Land e Gaalman, 2009) de forma a controlar os inputs e outputs do sistema de produção. A principal característica desta metodologia prende-se com a tomada de decisão quanto à entrada dos jobs no *shopfloor* tendo em conta a carga de trabalho no sistema (Fernandes e Carmo-Silva, 2013) e a capacidade produtiva do WC. Neste contexto, a carga de trabalho pode ser subdividida em real ou agregada consoante se avalie apenas a carga instantânea de

um posto de trabalho, ou então sejam considerados todos os *jobs* a montante no sistema, mas cuja rota de processamento passe nesse posto (Haskose et al., 2002). Desta forma, existe uma área designada por *pool* onde é feita esta ponderação e os *jobs* apenas entram caso seja assegurada que a carga imputada ao sistema é inferior ao limite estabelecido (figura 6).

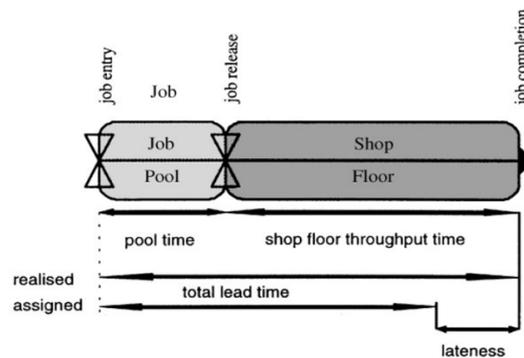


Figura 6. Esquematização do conceito WLC (Oosterman et al., 2000)

Simultaneamente, consegue-se diminuir a perturbação que chega ao *shopfloor* provocada pela variabilidade externa existente. Assim, em ambientes produtivos dinâmicos como o *job-shop*, a utilização de uma carga de trabalho adequada potencia a obtenção de uma fila de espera estacionária (Land e Gaalman, sem data).

O mecanismo que controla a afetação das encomendas ao sistema pode ser classificado de acordo com a sua frequência num período temporal, ou seja, mecanismos periódicos são executados segundo um padrão ao longo do tempo (e.g. semanalmente), contrariamente, os mecanismos contínuos estão ativos, mas são acionados através de *triggers* quando um WC diminui a sua carga abaixo de um valor pré-determinado (Thürer et al., 2012), evitando a ocorrência de WC ociosos. Este princípio de controlo da produção pode ser aplicado tendo em conta a TOC na medida em que podem ser definidos *triggers* responsáveis apenas pelo controlo do *workload* no gargalo. Assim, quando houver capacidade neste WC é acionada a entrada de novos *jobs* cuja rota de processamento implique a passagem no gargalo. Posto isto, estudos revelam que o sistema de libertação de encomendas para o *shopfloor* através da monitorização da carga do sistema, permite alcançar melhorias significativas tais como a redução de *WIP* e *lead time* (Thürer et al., 2012).

Fernandes e Carmo-Silva (2013) referem que a divisão de lotes é uma estratégia que pode potenciar um aumento da performance do sistema, assim como da taxa de utilização das máquinas, uma vez que se torna possível sobrepor operações. No entanto, os autores realçam que, apesar da maioria dos estudos no âmbito do WLC abordarem este problema como lotes de dimensão fixa, deva ser realizada uma

análise de forma a avaliar o benefício proporcionado por esta prática, nomeadamente no que diz respeito ao aumento de tempos de setup necessários para executar *batch splitting*.

2.5. Modelação de problemas de escalonamento

2.5.1. Natureza do problema: determinística vs. estocástica

Aquando da modelação de um problema de escalonamento é possível classificá-lo quanto à sua natureza, ou seja, tendo em conta os dados obtidos do problema. Posto isto, quando todos os dados estão isentos de incerteza o problema diz-se determinístico. Contudo, num ambiente real existem, por vezes, variáveis que estão sujeitas a flutuações ou a aleatoriedade. Neste cenário, em que pelo menos uma das variáveis é probabilística, classifica-se o problema como estocástico (Lawler et al., 1993).

A classificação dos problemas segundo a sua natureza, e a deteção de fontes de incerteza, são extremamente importantes uma vez que o modelo final pode ser condicionado por estas variáveis (Heyman e Sobel, 2004).

2.5.2. Incerteza

Como já foi referido anteriormente, aquando da modelação dos problemas de escalonamento é essencial ressaltar a significância que a incerteza possui no cenário apresentado.

As modelações dos sistemas de planeamento são, segundo Graves (2008), frequentemente realizadas como se o problema fosse determinístico ignorando a incerteza associada a diversos fatores existentes nos sistemas. No entanto, para que seja possível obter um bom modelo representativo do ambiente produtivo é essencial conhecer, analisar e gerir fontes de incerteza.

Já em 1994, Ciarallo et al. (1994) referem no seu artigo alguns fatores que se traduzem em incerteza no planeamento de produção, nomeadamente, manutenções imprevistas, variação da procura, disponibilidade de recursos e retrabalho. Adicionalmente, a chegada de tarefas urgentes, o cancelamento de pedidos e variações no tempo de processamento das tarefas são outros exemplos que podem condicionar a exequibilidade de um escalonamento previamente determinado.

Neste sentido, e considerando a natureza dinâmica dos sistemas industriais, tem-se destacado a importância de conhecer a eficiência de um escalonamento perante variáveis incertas (Ghezail et al., 2010). Assim, considera-se que a modelação é robusta quando se mantém aceitável perante possíveis perturbações que sejam introduzidas no sistema (Jensen, 2001).

2.5.3. Programação estática e dinâmica

Numa perspetiva temporal, e à semelhança dos problemas estocásticos, um sistema é suscetível à ocorrência de eventos em tempo real que podem afetar um escalonamento previamente estabelecido. Um dos aspetos relevantes para os problemas de escalonamento prende-se com a chegada de tarefas a calendarizar. Assim segundo este parâmetro existem dois tipos distintos de problemas (1) problemas estáticos e (2) problemas dinâmicos. Na primeira situação, todas as tarefas a calendarizar são conhecidas *à priori*, enquanto que nos problemas dinâmicos o ambiente do sistema é volátil e os trabalhos estão continuamente a chegar ao longo do tempo (Holthaus e Rajendran, 1997).

2.5.4. Metodologias para a resolução de problemas

A abordagem a utilizar na resolução de problemas de escalonamento em ambientes JS é determinada pela dificuldade do problema em questão. A maioria destes problemas é *NP-Hard* e podem ser resolvidos segundo dois grupos distintos de métodos, tendo por base o tipo de solução que se obtém, sendo eles: (i) Métodos Exatos e (ii) Métodos de aproximação. Contudo, existe uma classe de problemas estudados passíveis de serem resolvidos de forma polinomial (Edis et al., 2013).

No caso de métodos exatos é obtido um ótimo global para o problema, contudo, a sua complexidade pode implicar um esforço computacional demasiado elevado inviabilizando a aplicação do método. No caso de métodos aproximados, pretende-se obter uma solução representativa de um ótimo local sem que seja necessário um esforço computacional elevado (Jain e Meeran, 1998). A figura 7 esquematiza a classificação das metodologias utilizadas na obtenção das soluções.

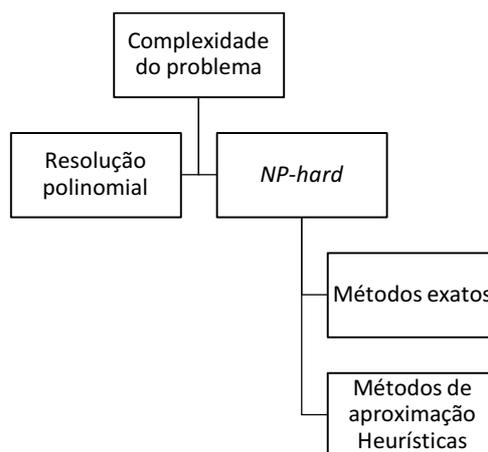


Figura 7. Classificação dos métodos para JSS
Adaptado de (Edis et al., 2013)

Outra classificação possível, associada aos métodos de aproximação, baseia-se na forma como o método obtém a solução, ou seja, se se tratam de métodos construtivos ou iterativos. No primeiro caso, a solução é construída através dos dados originais do problema, nos métodos iterativos, uma solução inicial é iterativamente modificada até que seja obtida uma solução melhor (Jain e Meeran, 1998).

2.6. Analytic Hierarchy Process (AHP)

Analytic Hierarchy Process representa uma ferramenta de gestão, desenvolvida por Thomas Saaty em 1971, que permite estruturar e sustentar o processo de tomada de decisão, nomeadamente em contextos complexos e com recurso a diferentes critérios (Handfield et al., 2002).

Uma das particularidades desta metodologia deve-se à decomposição de problemas complexos em níveis de menor complexidade, permitindo utilizar o conhecimento e opinião dos decisores no processo de decisão, de forma lógica e estruturada (Handfield et al., 2002; Partovi et al., 1990). Adicionalmente, esta ferramenta permite fazer uma avaliação de diferentes fatores associados a contextos diferentes, por exemplo fatores sociais e políticos, permitindo conjugar várias áreas temáticas para a obtenção de um mesmo objetivo (Saaty, 1990b). Vargas (1990) destaca as inúmeras aplicações desta ferramenta que vão para além da gestão. A título de exemplo, o autor destaca os problemas tecnológicos, sociais e políticos como potenciais áreas de interesse para aplicação desta metodologia.

O processo de aplicação deste método pressupõe duas fases distintas, sendo que num primeiro momento é definida uma estrutura hierárquica onde são identificados os critérios e subcritérios que sustentam o objetivo final (figura 8).

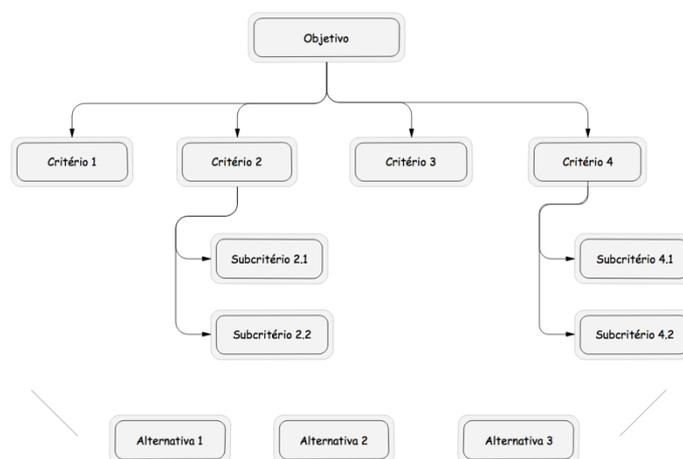


Figura 8. Estrutura hierárquica da decisão
Adaptado de (Saaty, 2008)

Posteriormente é feita uma avaliação dos critérios através de várias comparações entre pares, onde são determinadas as respectivas ponderações e priorizadas as alternativas existentes (Barker e Zabinsky, 2011; Vargas, 1990), nesta última etapa são quantificadas as opiniões e juízos dos decisores evidenciando a importância que atribuem a cada parâmetro (Partovi et al., 1990). Contudo, Saaty (2008) detalha o método AHP em 4 passos : (i) Definir o problema; (ii) estruturar a hierarquia da decisão desde o objetivo central do problema até níveis inferiores que podem ser subcritérios ou alternativas existentes; (iii) construir matrizes de comparação entre pares de critérios e (iv) utilizar as ponderações obtidas para determinar a prioridade do nível imediatamente abaixo até que todas as prioridades estejam definidas.

Tal como já foi referido, a comparação entre critérios serve para avaliar o peso que estes fatores têm no objetivo final. Para tal, utiliza-se a Escala de Saaty que, para cada par, destaca qual o critério mais importante e, em simultâneo, evidencia o grau da relação existente (tabela 5). A avaliação é então retratada numa matriz de comparação, exemplificada na figura 9, para cada nível hierárquico.

Tabela 5. Escala de Saaty
Adaptado de (Saaty, 1994)

Intensidade de importância	Definição	Descrição
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de um sobre o outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; o seu domínio de importância é demonstrado na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermédios	Condição de compromisso entre dois fatores
Valores Recíprocos	Se a atividade A recebe um valor acima de 0 quando comparada com a atividade B, então B tem o valor recíproco quando comparada com A.	n.a.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos para completar a matriz
1,1 – 1,9	Em caso de empate ente atividades	Quando os fatores são quase indistinguíveis; 1,3 moderada e 1,9 extremo

<u>Crítério</u>	<u>Alternativa 1</u>	<u>Alternativa 2</u>	<u>Alternativa 3</u>	<u>Alternativa 4</u>	
Alternativa 1	1				a) Ponderações b) Valores recíprocos
Alternativa 2	a)	1		b)	
Alternativa 3			1		
Alternativa 4				1	

Figura 9. Matriz de comparação, adaptado de Wind e Saaty (1980)

Considerando uma matriz de comparação A , de dimensão $n \times n$, ou seja, com n critérios, e sendo a_{jk} a comparação entre o critério na j linha e o critério na k coluna, $A = (a_{jk})$. Seguidamente obtém-se uma nova matriz normalizada A' onde cada entrada é definida por \bar{a}_{jk} (equação 3).

$$\bar{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{l=1}^n a_{lk}} \quad (3)$$

O peso de cada critério é determinado através da média de ponderações da linha a que pertence (Saaty, 1990a). Todos os pesos obtidos para a matriz A' , são representados num vetor de prioridades. Posto isto, o *eigenvalue* principal ($\lambda_{m\acute{a}x}$) é obtido através da multiplicação do vetor de prioridades por um vetor v onde o elemento na posição k é $\sum_{l=1}^n a_{lk}$ (Mathur, 2015).

Seguidamente, com base na equação 4, calcula-se o Índice de Consistência (CI) que, segundo Saaty (1990a), indica a proximidade da consistência.

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (4)$$

n – Dimensão da matriz;

A qualidade das ponderações realizadas é determinada pelo rácio de consistência (CR), calculado segundo a equação 5. Para tal, utiliza-se o Índice Aleatório (RI), valor tabelado em função da dimensão da matriz que está a ser avaliada e o CI (Saaty, 1987). As ponderações efetuadas, na matriz em análise, apenas são válidas se $CR \leq 0,1$, caso contrário é necessário melhorar a consistência dos dados (Saaty, 1990b). Saaty (1994) afirma que a consistência da avaliação realizada sobre cada par de comparações é determinada por características do grupo que integra o processo de decisão assim como o conhecimento que têm sobre o problema em estudo.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

3. IVDP I.P.

3.1. Da Região Demarcada do Douro ao Instituto dos Vinhos do Douro e Porto

A história do Vinho remonta há inúmeros milénios a.C., existindo provas de que, já na era dos Egípcios, existia produção de vinho (Afonso, 2016). Contudo, no que diz respeito ao Douro, crê-se que o cultivo das vinhas e a produção de vinho tenha sido feito nas margens do Rio Douro durante o período Românico (Douro e Porto, s.d.).

No final do século XVII, a produção duriense é estimulada pela enorme procura Inglesa, contudo o aumento deste negócio deu origem a fraudes e estagnação das exportações, culminando com o pressuposto que os vinhos do Douro eram frequentemente adulterados. A 10 de Setembro de 1756, com o intuito de reverter esta situação, o governo de Sebastião de Carvalho e Melo adotou uma posição e fundou a Companhia Geral da Agricultura das Vinhas do Alto Douro (Real Companhia Velha), cujas funções passavam por fiscalizar e regular a produção e o comércio, bem como, proceder à classificação do vinho do Alto Douro (Sousa, sem data). Simultaneamente, entre 1758 e 1761, foi delimitada a primeira, e mais antiga, região demarcada e legislada do mundo (Demarcação Pombalina da Região Vinhateira do Douro), através de marcos graníticos, onde se defendia ser a região que originava vinho de qualidade. De certa forma, Marquês de Pombal foi um precursor do atual conceito DOC (Denominação de origem controlada) (Taylor's, sem data).

Em 1933, foi então criado pelo Governo Português o Instituto dos Vinhos do Porto, I.P. (IVP) que, com o passar do tempo, foi adquirindo competências até então pertencentes a outras instituições (Peixoto, 2006). No decorrer de reformas institucionais, o IVP é atualmente designado por Instituto dos Vinhos do Douro e Porto, I.P. devido à fusão por incorporação, realizada em 2003, com a Comissão Interprofissional da Região Demarcada do Douro (CIRDD) (Decreto-Lei no 278/2003 de 6 de Novembro, 2003).

Os presentes estatutos do IVDP regem-se pelo Decreto-Lei N^o97/2012 de 23 de Abril, existindo enquanto instituto público com autonomia administrativa e financeira e património próprio, sediado em Peso da Régua e com uma delegação no Porto. Apesar da instituição ser constituída por 4 órgãos distintos, a figura 10 representa o organigrama do IVDP a quem é incumbida a direção do IVDP.

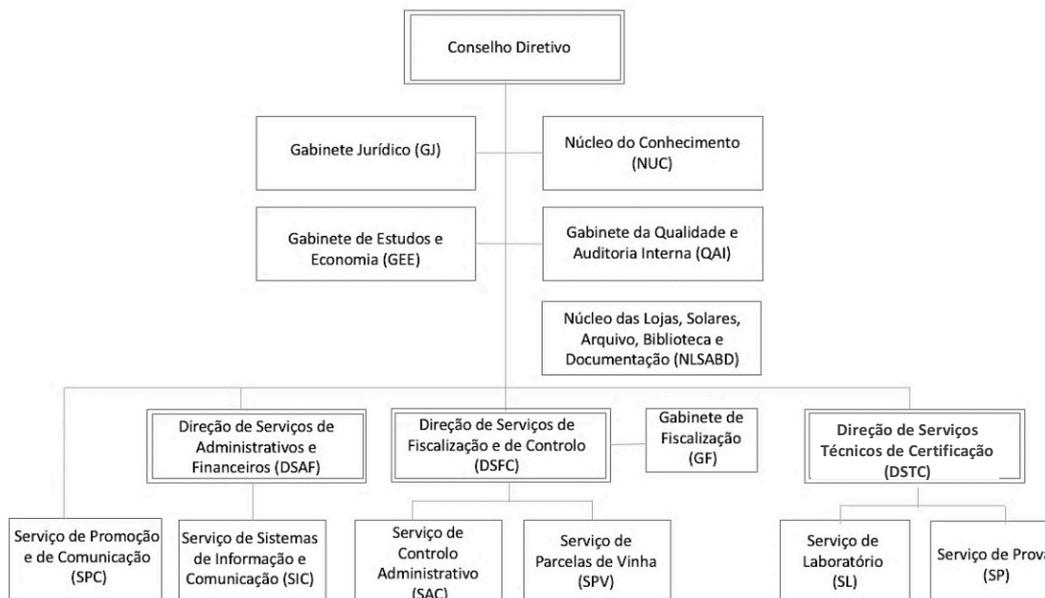


Figura 10. Organograma IVDP, I.P.

O IVDP assume como missão promover o controlo de qualidade e quantidade dos vinhos do Porto e regulamentar o processo produtivo, protegendo as DO da RDD. Numa ótica de proteção da fileira vitivinícola, em particular desta região, cabe ainda ao instituto valorizar o território demarcado através da promoção e da definição de orientações estratégicas (DL N°97/2012 de 23 de Abril). Desde 2010, o IVDP potencia as suas valências ao ser reconhecido pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC), ao abrigo da norma NP EN ISO/IEC 17065:2014 como organismo de certificação de produtos.

3.2. Direção de Serviços Técnicos e de Certificação (DSTC)

3.2.1. Contextualização

A DSTC é o departamento do IVDP onde, de uma forma genérica, se pode afirmar que a qualidade dos produtos com DO é avaliada e garantida. Por ano, milhares de amostras e parâmetros são analisados para garantir e controlar os produtos vînicos da RDD.

A estrutura organizacional deste departamento integrante do IVDP, figura 11, é sustentada por Diretor e Assessor, serviço de prova (Câmara de Provedores), serviço laboratorial, enoteca, posto de receção de amostras (PRA) e secretariado.

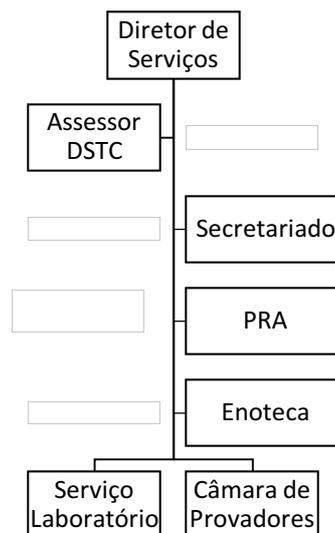


Figura 11. Estrutura organizacional DSTC

Ao PRA é incumbida a receção de amostras, a sua anonimização e a preparação dos processos para posterior entrada no serviço laboratorial e sensorial consoante a encomenda do cliente. No caso da Enoteca, trata-se de um espaço físico destinado a arquivar, durante um período de tempo definido, todas as garrafas que dão entrada aquando da requisição do serviço, no sentido de salvaguardar a existência de amostra intacta e suficiente caso seja necessária a repetição de análises ou recurso interposto pelo cliente. O serviço de laboratório é composto por 5 setores de análise química e microbiológica: (i) físico-química - FQ; (ii) Mineral - AMin; (iii) Cromatografia Líquida - CrL; (iv) Cromatografia Gasosa - CrG e (V) Microbiologia - Micro. Porém, devido a questões logísticas, o setor FQ subdivide-se em duas estruturas distintas (FQ I e FQ II). A Câmara de Provedores assume como função a avaliação organolética dos produtos.

3.2.2. Competências, Produtos e Clientes

A DSTC tem, em última instância, a função de certificar e reconhecer como DO ou IG todos os vinhos da RDD que cumpram as especificações regulamentadas para este efeito. Para tal, estes são sujeitos a análises físico-químicas e sensoriais que atestam o cumprimento dos parâmetros estabelecidos para a atribuição desta denominação. Neste sentido, tanto o laboratório como a câmara de produtores integrados na DSTC possuem, desde 1994 e 1999 respetivamente, a acreditação como laboratório de ensaios pela norma NP EN ISO/IEC 17025.

Tal como foi referido anteriormente, também o controlo e a manutenção da atribuição destas denominações é competência do instituto, pelo que existe um trabalho contínuo, e paralelo, entre a DSFC e a DSTC que, através de fiscalizações e análises, visam garantir a preservação das especificações

após a certificação dos produtos. Apesar destas áreas dominantes na intervenção da DSTC, são também contemplados outros serviços analíticos descritos na lista de finalidades (anexo A).

Todos os vinhos da RDD são forçosamente sujeitos à obtenção de certificação para que possam ser comercializados com a garantia de DO, de forma a que todas as exigências legais sejam devidamente comprovadas. Torna-se importante salientar que, numa perspetiva do controlo da qualidade, também a aguardente vínica introduzida para interromper a fermentação durante o processo produtivo do Vinho do Porto e do Moscatel do Douro, processo denominado por beneficiação, é sujeita a este procedimento. Posto isto, consideram-se aptos para análise conducente a certificação as seguintes categorias: (1) Vinho Tranquilo, (2) Vinho Espumante e (3) Aguardente vínica (Tabela 6).

Tabela 6. Vinhos e bebidas suscetíveis a certificação DO ou IG

Denominação de Origem	Categoria
DO Douro/DO Porto	Vinho Tranquilo (Branco, Tinto, Rosado)
	Vinho Espumante
	Vinho Licoroso (Moscatel do Douro/Vinho do Porto)
	Aguardente Vitícola para beneficiação (DO Porto)
	Aguardente Vínica (DO Douro)
IG Duriense	Vinho Tranquilo (Branco, Tinto, Rosado)
	Vinho Espumante

Ainda que, na grande maioria dos casos, os serviços sejam solicitados para vinhos pertencentes à RDD, existe a possibilidade de vinhos provenientes de outras regiões serem analisados no instituto, ainda que não tenham em vista a certificação, podendo solicitar finalidades como ensaio, assistência e protocolo.

Cada amostra recebida neste departamento pode ter uma proveniência distinta e, por norma, existe uma relação entre a finalidade, o produto e a entidade que requisita o serviço, isto é, nem todas as finalidades podem ser requisitadas pelos mesmos clientes, assim como nem todas as finalidades podem ser aplicadas a todos os produtos. Neste sentido, os principais serviços analíticos são solicitados por diversas entidades, tais como, clientes do IVDP (podendo ser agentes económicos ou outros), DSFC, DSTC e Brigada Fiscal. A título exemplificativo, uma amostra proveniente da DSFC não poderá solicitar a finalidade de Registo, assim como a finalidade de registo não pode ser aplicada a um vinho não pertencente à RDD.

3.2.3. Processos internos

Para um conhecimento mais alargado da DSTC, urge a necessidade de analisar e descrever alguns dos processos internos de forma a compreender o fluxo de matéria e informação. Apesar das amostras serem tratadas em simultâneo, por uma questão de logística interna, a cada amostra que entra na DSTC é associado um circuito que pode ser Douro ou Porto consoante as características do produto em questão, no caso das bebidas espirituosas e da aguardente para beneficiação os processos são sempre introduzidos no circuito interno Porto. Desde a abertura do processo até à sua conclusão esta distinção é sempre mantida, nomeadamente no processo de triagem e nos TIR.

3.2.3.1. Processo de Certificação

O processo de certificação pressupõe, como já foi referido anteriormente, um conjunto de análises químicas e sensoriais. Apesar de neste tópico ser representado o processo geral de certificação, figura 12, salienta-se que para as restantes finalidades disponíveis, o procedimento é na sua generalidade semelhante. No caso de determinadas finalidades, pode ser solicitado apenas um dos circuitos analíticos, isto é, apenas análise sensorial (e.g assistências sensoriais) ou análise laboratorial (e.g assistências laboratoriais).

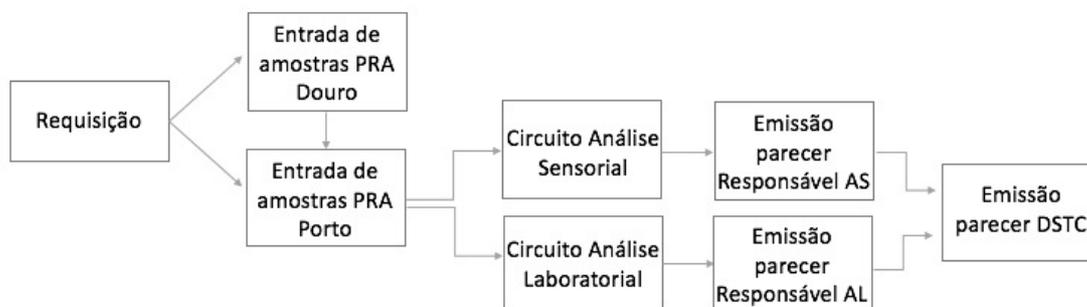


Figura 12. Procedimento para certificação

Como é ilustrado, as amostras podem “circular” paralelamente entre os dois serviços durante o processo de certificação uma vez que o IVDP tem estabelecido, para cada finalidade, o número de garrafas por processo que o cliente deve enviar. A emissão do parecer referente ao reconhecimento dos produtos apenas é emitido após todo o processo estar concluído. De forma análoga, também o parecer de cada circuito analítico implica que todas as atividades a si associadas estejam concluídas.

3.2.3.2. Processo de Entrada e Preparação das amostras

O processo de análise, independentemente da finalidade solicitada, inicia-se com o preenchimento de requisições para os devidos efeitos (no caso de clientes do IVDP este pedido pode ser realizado de forma on-line ou presencial). Posteriormente, é num dos PRA (Douro ou Porto) que as requisições presenciais, os comprovativos no caso de pedidos on-line e as amostras devem ser entregues, uma vez que, mesmo as garrafas provenientes de Peso da Régua têm obrigatoriamente de ser transportadas para o Porto por forma a serem analisadas.

Cada PRA tem de proceder à confirmação dos dados entre as requisições criadas e as amostras entregues, no caso das requisições presenciais o processo é criado e validado no PRA. Ressalva-se que entre finalidades o número de garrafas por processo é variável pelo que a verificação desse requisito deve ser feita pelo PRA.

Posto isto, para cada circuito, Douro ou Porto, é gerado um número sequencial independente que é associado a cada requisição de forma a salvaguardar a integridade do processo, isto é, não é possível aceder a informações sobre o cliente através do número do processo. Com o intuito de garantir que todas as análises sejam realizadas de forma idónea e imparcial, as amostras que se destinam à CP e ao laboratório são descaracterizadas através de um revestimento preto e opaco e da ocultação de qualquer elemento identificativo visível. Seguidamente, são identificadas as amostras com uma etiqueta que contém informação fundamental como: (i) número do processo, (ii) data de entrada, (iii) finalidade requisitada e (iv) número da grade em que a garrafa será armazenada na enoteca. No caso excecional de ser requisitada a finalidade “Complemento de Registo”, associa-se também o número do processo-base, isto é, o número de processo sobre o qual recai este complemento. Nesta situação, na garrafa que se destina ao laboratório são colocadas duas etiquetas distintas, uma por cada requisição de serviço.

O processo de entrada e preparação das amostras, figura 13, termina quando no final do dia todas as amostras que chegaram são redirecionadas até à sala de triagem, onde se mantêm em fila de espera até serem afetadas aos respetivos setores de análise.

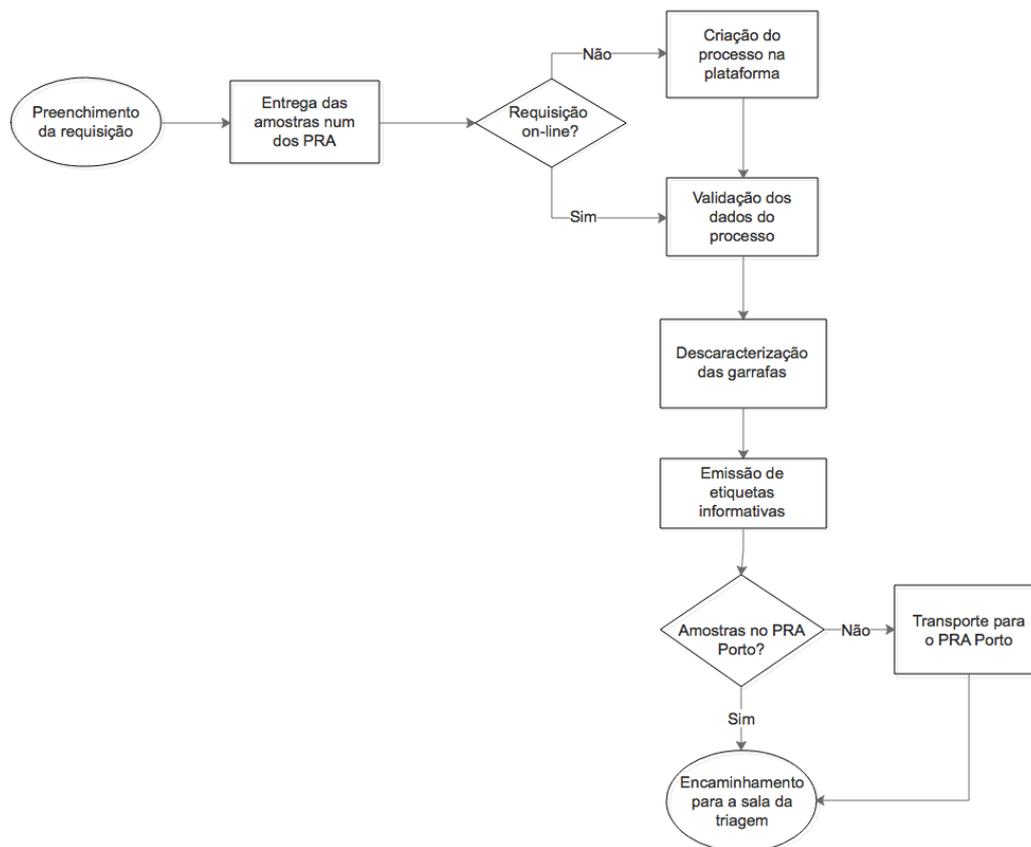


Figura 13. Processo de entrada e preparação das amostras

3.2.3.3. Processo de triagem e distribuição

A distribuição dos processos a analisar no dia seguinte refere-se apenas ao serviço laboratorial e depende da capacidade efetiva dos setores. Atualmente, esta avaliação da capacidade de resposta é apenas realizada para o setor FQ, uma vez que é considerado um *bottleneck* no processo, devido à existência de métodos analíticos clássicos e às restrições que daí advêm. Posto isto, este setor estima diariamente a sua capacidade com base no número de parâmetros de físico-química clássica que consegue suportar, sendo eles: (i) Acidez Volátil, (ii) Acidez Total e (iii) Título Alcoométrico Adquirido.

Após *feedback* da FQ face a esta restrição do sistema, a regra de sequenciamento da fila de espera é uma ponderação empírica entre diversos fatores como o protocolo laboratorial, finalidade a que se destina, critério de urgência e tempo no sistema. Ressalve-se que, caso não constem no protocolo parâmetros condicionantes, todos os processos em espera entram no sistema.

Depois da triagem, a distribuição é feita através do *Software GLab* que informa cada setor sobre quais os processos que lhe foram atribuídos. Este sistema implica que seja feita uma simulação da distribuição

por forma a verificar se nenhum dos parâmetros analíticos limitantes excede a capacidade definida pelo operador. Após a distribuição definitiva do serviço, o *GLab* permite ao operador da triagem imprimir para cada parâmetro analítico, um talão interno de registo (TIR), onde constam o número de cada processo que requer aquela análise, bem como campos para preenchimento de resultados e observações.

Por norma, no princípio do dia de trabalho seguinte à data da distribuição, cada setor procede à aceitação dos processos diários, sendo emitida uma listagem dos processos aceites. No caso de algumas exceções em que os processos sejam distribuídos no próprio dia, estes apenas darão entrada no setor quando forem aceites.

3.2.3.4. Disposição e recolha de amostras

Atualmente, todas as garrafas referentes aos processos em circulação são dispostas num único local, com a exceção dos casos em que os parâmetros em análise dependam unicamente de um setor, por exemplo, uma amostra unicamente remetida para AMin é reconduzida para este setor. Desta forma, todas as garrafas são colocadas por uma ordem previamente estabelecida, primeiro Circuito Douro e depois Porto e, em simultâneo, por ordem crescente de número do processo. Esta sequência foi adotada para facilitar a verificação das amostras no setor face ao TIR emitido.

O percurso analítico que a amostra vai realizar depende dos parâmetros solicitados ou implícitos no protocolo, pelo que devem ser respeitadas as restrições referentes à precedência entre análises. No caso de existirem indicadores analíticos realizados noutros departamentos que não a FQ, compete ao operador dirigir-se à FQ e recolher a amostra necessária. Uma das situações que dificulta todo o processo de preparação da produção constatada é provocada pela ausência da amostra na FQ, implicando que o operador tenha de a localizar uma vez que atualmente não existe nenhuma alternativa para rastreamento de garrafas.

4. Estudo de caso

O presente projeto pretende incidir sobre o planeamento e programação do serviço laboratorial da DSTC. Desta forma, tenciona-se criar um sistema de apoio que identifique, de entre os processos em espera, aqueles que devem entrar para o agendamento do trabalho do laboratório no dia seguinte ao da programação e que seja capaz de escalonar o serviço para o dia seguinte.

Um dos objetivos implícitos neste trabalho revê-se no dimensionamento da capacidade do setor de forma a que exista um planeamento equilibrado e sustentado das atividades analíticas, evitando oscilações de carga de trabalho no sistema.

Em última instância, pretende-se com este sistema de escalonamento obter a minimização do tempo médio de resposta face às solicitações existentes. Para tal, é fundamental uma caracterização detalhada do sequenciamento das operações de forma a planear os processos analíticos.

4.1. Caracterização do estado atual do sistema

No contexto atual da organização, uma das condicionantes inerentes ao serviço prestado pela DSTC deve-se à elevada variedade de oferta que, por sua vez, se traduz numa enorme diversidade de combinações analíticas. Esta relação entre o volume da procura e a variedade da oferta dificulta a previsão e o planeamento das atividades do laboratório. Em contrapartida, a oscilação da procura dos serviços e a falta de previsão constituem agravantes à programação das análises laboratoriais.

Adicionalmente, o tempo médio de resposta do serviço, compromisso assumido perante o cliente, constitui mais uma variável condicionante do planeamento do serviço laboratorial. Ressalve-se que a DSTC apenas estabelece o tempo médio de resposta para a finalidade de registo, devendo este estar compreendido entre os 8 e os 10 dias úteis para casos urgentes e não urgentes, respetivamente. Contudo, deve ter-se em consideração que a opção de serviço urgente está também disponível para outras finalidades e uma vez que o cliente paga uma taxa acrescida pelo serviço é necessário ter atenção a este fator no momento de calendarização das operações setoriais.

O processo de triagem resulta de uma ponderação entre critérios previamente definidos e o conhecimento empírico do operador executante. Uma vez que esta função é rotativa entre operadores, pode-se afirmar que, em certa medida, existe uma potencial variabilidade associada ao processo de decisão.

Atualmente, não existe nenhum método para gerar uma solução de escalonamento do serviço laboratorial, apenas é verificado que o trabalho distribuído para o setor respeita a restrição da capacidade definida pelos operadores para parâmetros analíticos críticos, não existindo quaisquer outros critérios para avaliar a qualidade do planeamento das ordens de trabalho do diário. Note-se que a reflexão sobre o planeamento esperado e real apenas é realizada numa reunião diária, não existindo quaisquer *KPI's* registados.

Por todas as razões anteriormente citadas, pode-se inferir que este cenário se enquadra num problema de planeamento e programação de curto prazo das atividades analíticas do laboratório da DSTC. Nos tópicos seguintes, são descritas algumas variáveis que contextualizam o estado atual do sistema.

4.1.1. Caracterização da procura de serviços

No contexto em que o problema se insere, a caracterização da procura de serviços facilita a compreensão do volume e tipo de serviço que chegam ao sistema. Esta sistematização permite identificar tendências e padrões, caso existam, que possam ser úteis no momento de previsão do trabalho futuro.

No ano de 2016, foram contabilizados 9414 processos sendo que 54% diz respeito a processos do circuito Douro. Numa perspetiva temporal, o volume de processos Douro tem vindo a aumentar ao invés do que se observa no Porto (figura 14).

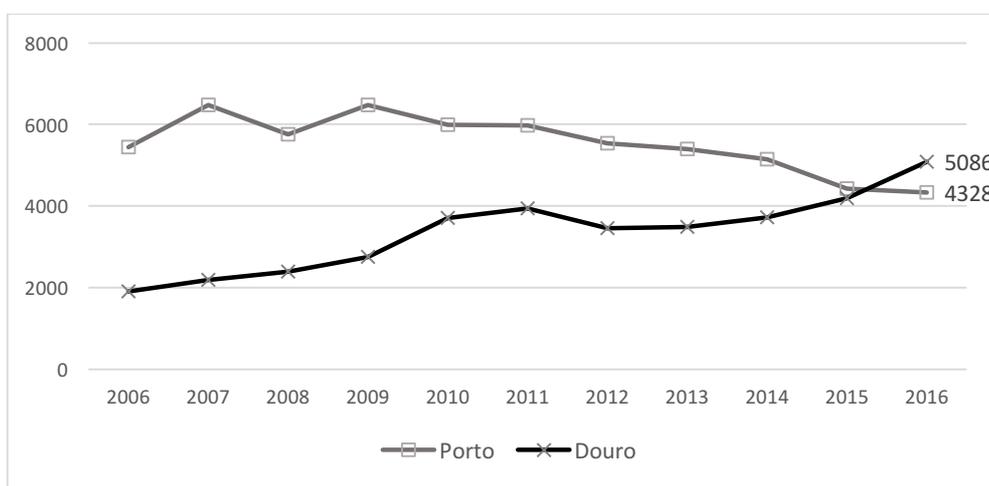


Figura 14. Número dos processos anuais na DSTC

Como já foi referido anteriormente, cada finalidade solicitada assume pressupostos distintos, pelo que é necessário fazer uma análise mais profunda e desdobrar o panorama global do serviço laboratorial, detalhando os pedidos registados para cada finalidade. Através da análise ABC, é possível averiguar

quais as finalidades que têm um maior peso no volume de trabalho da DSTC (figura 15). Através deste gráfico, constata-se que a finalidade “01 –Registo”, correspondente a registo de vinhos Douro, representa o maior número de requisições de serviço (2416 processos) e, curiosamente, a segunda finalidade mais solicitada refere-se a parâmetros de controlo interno. Ressalve-se que, à mesma finalidade podem estar associados códigos distintos, ou vice-versa, uma vez que estão em análise dois circuitos paralelos.

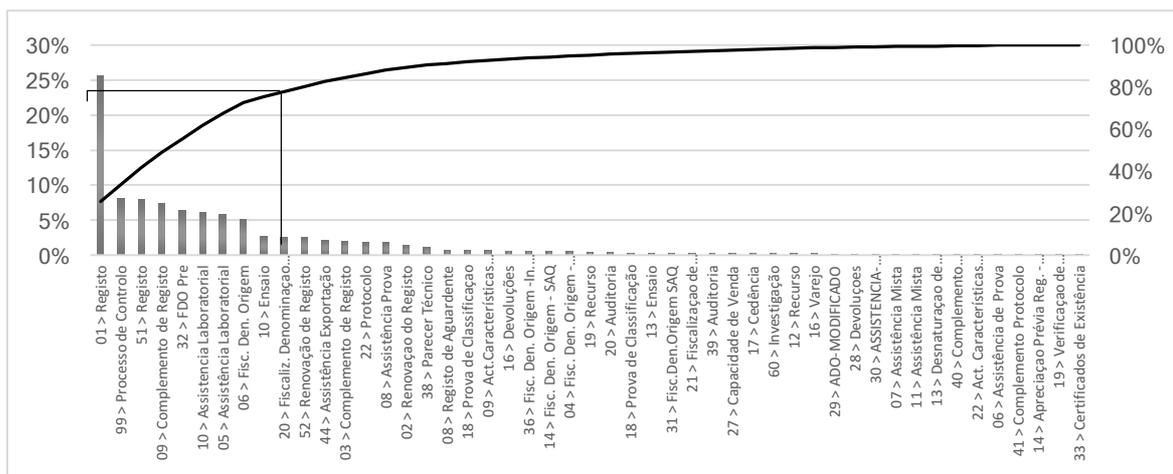


Figura 15. Análise ABC: Número de processos e finalidades na DSTC

Posteriormente, através desta ferramenta agrupam-se as tipologias de serviço solicitadas em três categorias distintas (A, B e C) que representam graus de importância diferenciados para a organização. Esta representação gráfica é fundamental para evidenciar que, apesar do elevado número de finalidades, a maioria do volume de trabalho concentra-se num conjunto circunscrito de opções. Na perspetiva da procura, conclui-se que cerca de 80% do volume de processos analisados na DSTC provém de 10 das 49 finalidades existentes; simultaneamente permite identificar quais as finalidades que assumem esta representatividade na organização. De facto, alguns dos serviços catalogados como classe A, nomeadamente os registos, são atualmente reconhecidos pela organização como finalidades prioritárias no momento da triagem. A tabela de apoio à elaboração deste diagrama encontra-se no anexo B.

No caso da DSTC, as características do trabalho laboratorial, nomeadamente volume e variedade, dependem dos parâmetros analíticos que constam nos protocolos laboratoriais que, por sua vez, são determinados pela combinação de fatores como: (1) circuito interno em que se insere, (2) finalidade requisitada e (3) categoria e tipo de vinho.

Fazendo uma analogia entre um processo de produção por encomenda e os serviços da DSTC, a produção de um artigo implica uma ordem de produção, matéria-prima, recursos, plano de produção e respetivas etapas. No caso apresentado, após solicitação de um serviço (ordem de encomenda) pretende-se obter um resultado analítico que, para ser processado, exige disponibilidade de recursos e a execução de um protocolo (plano de produção) que implica a determinação de diversos parâmetros químicos e sensoriais (produtos) caracterizados pela referência e designação. Por sua vez, a produção de cada referência tem associada uma sequência específica de operações (figura 16).

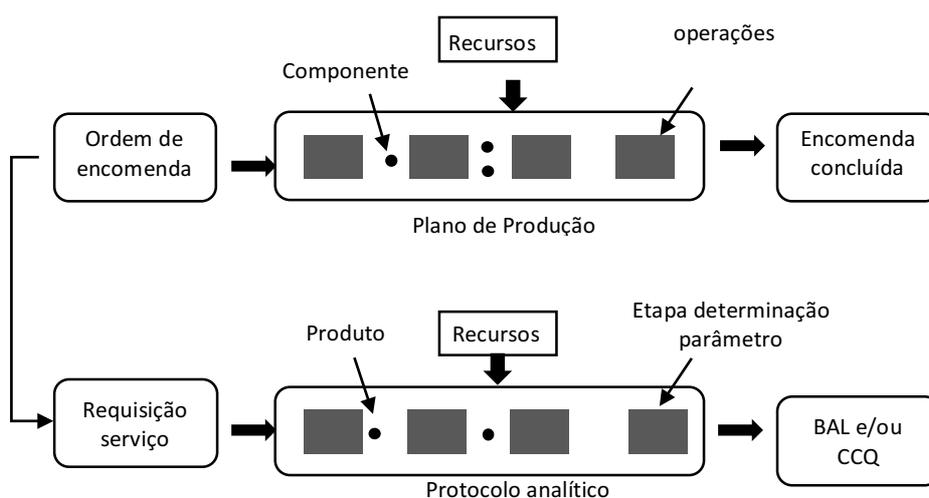


Figura 16. Analogia entre produção por encomenda e serviço DSTC

4.1.2. Tempo Médio de Resposta por finalidade

O tempo de resposta da DSTC é fulcral para o desenvolvimento económico da RDD na medida em que a atividade económica da fileira vitivinícola fica, em parte, condicionada pelos resultados emitidos pelo IVDP. A título exemplificativo, a exportação de vinho desta região está condicionada por políticas governamentais dos países importadores, assim, caso a legislação em vigor exija a verificação de parâmetros analíticos específicos (e.g. Malvidol para o Brasil), a empresa exportadora tem de solicitar ao IVDP que proceda aos supracitados testes. Desta forma, todo o processo de exportação fica pendente até que os resultados sejam emitidos.

Para efeitos de pesquisa considerada neste projeto, o tempo de resposta refere-se ao período de tempo que decorre entre a chegada de amostras ao PRA e a emissão do relatório de resultados analíticos, não considerando a data final, uma vez que se pode incorrer em atrasos devido a fatores externos à DSTC como, por exemplo, a liquidação tardia do serviço requerido.

Considera-se que o tempo de resposta é ditado pelo *lead-time* do laboratório uma vez que, para processos que requisitem SP e SL, a data de emissão de resultados em 2016 apenas foi influenciada pelo serviço de prova em 9% dos processos (figura 17).

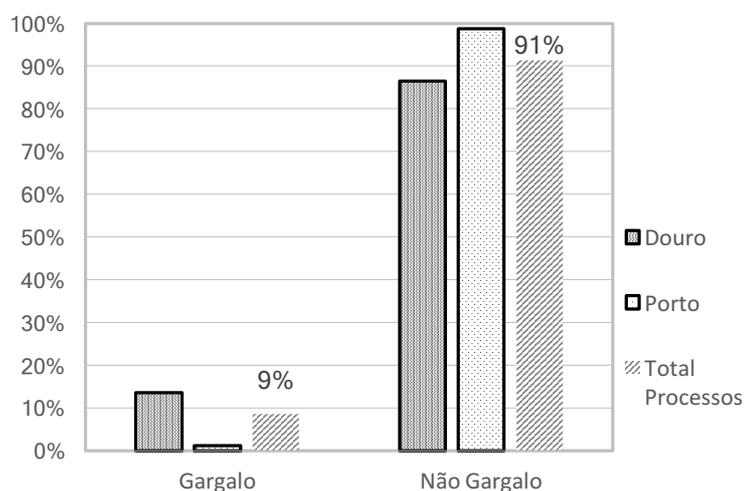


Figura 17. Serviço de prova como bottleneck do sistema

Neste sentido, e para obter uma caracterização detalhada, é fundamental observar este indicador segundo o tipo de serviço laboratorial solicitado (figura 18).

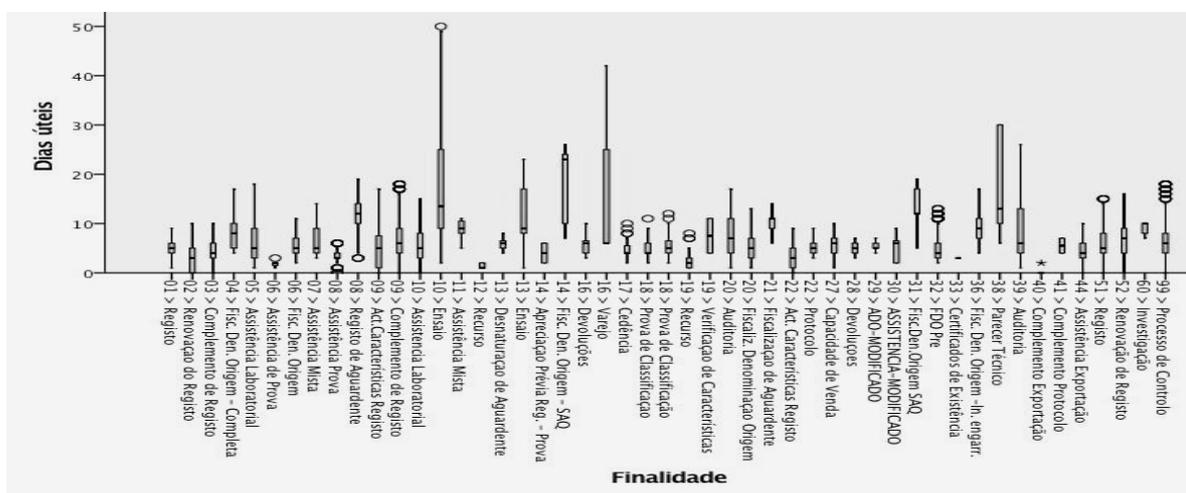


Figura 18. Tempo de resposta por finalidade requisitada

O gráfico apresentado retrata o tempo de resposta para todos os serviços disponibilizados pela DSTC, ou seja, finalidades associadas tanto ao laboratório como à prova. A representação gráfica evidencia a discrepância de tempos de resposta associada a cada uma das finalidades, em parte justificada pelas diferenças do protocolo analítico. Adicionalmente é visível uma elevada amplitude em alguns destes cenários, por exemplo na finalidade 10-Ensaio e 16-Varejo. Dos serviços disponibilizados pela DSTC, a

finalidade Recurso, associada ao serviço de prova, possui um carácter prioritário e apresenta um tempo médio de resposta de aproximadamente 2 e 3 dias para a resposta do Porto e Douro, respetivamente. No que concerne ao registo dos produtos, no circuito Douro a resposta é mais rápida, cerca de 5 dias, face aos 6 dias que se verifica no Porto.

4.1.3. Caracterização da produção

A análise e caracterização do processo analítico é crucial para o enquadramento do estudo de caso nos problemas expostos na literatura.

Atualmente, constam do portfólio de serviços da DSTC 49 finalidades distintas, sendo que para cada uma delas existe um guião analítico associado (internamente designado por protocolo), podendo variar segundo a categoria e o tipo de vinho ou BE examinada e que implicam um conjunto de parâmetros e métodos analíticos.

Posto isto, considera-se que a produção na DSTC é tipicamente MTO uma vez que a sua produção é executada de acordo com as encomendas colocadas pelos clientes. Por sua vez, cada encomenda é constituída por um conjunto de produtos determinados pelo protocolo analítico. A determinação de cada parâmetro implica n etapas com complexidade e tempos de processamento distintos.

Doravante passa a designar-se cada parâmetro analítico por *Job* i , $i \in \{\text{Códigos parâmetros}\}$ e cada *job* é composto por um conjunto de n operações $O_{ij}, j \in \{1, \dots, n\}$.

Outro dos fatores que se destaca na organização interna do serviço é a sua segmentação em cinco setores que compõe o laboratório da DSTC. Esta disposição caracteriza-se pela sua disposição segundo funcionalidade, onde cada setor aplica técnicas específicas para determinação de diferentes parâmetros. Também a organização interna do laboratório implica que, dentro de cada setor, cada operador esteja apto a executar mais do que uma técnica analítica, tornando-se responsável por multitarefas.

A Tabela 7 resume algumas das características da DSTC que permitem identificar o tipo de produção em que se enquadra.

Tabela 7. Características da produção na DSTC
Adaptado de (Stevenson, 2009)

Características Job-Shop	Características DSTC
Elevada variedade de produtos/serviços	✓
Baixo volume de produção	✓
Tempos de processamento distintos	✓
Rotas de processamento distintas	✓
Layout por funcionalidade/processo	✓
Procura pouco estável	✓

Tendo por base a importância atribuída pela literatura ao controlo do input do sistema, pode-se afirmar que, no presente estudo de caso, esse controlo é feito aquando da triagem de processos a analisar para o dia de trabalho seguinte. Surge a necessidade de criar um algoritmo de decisão, baseado em multivariados critérios, de forma a identificar quais os potenciais processos a serem aceites, e que seja capaz de sistematizar a ponderação empírica atualmente praticada.

4.2. Planeamento do serviço laboratorial da DSTC

A complexidade do serviço laboratorial resulta em grande parte da diversidade de produtos que constam no seu portfólio e que podem ser obrigatórios ou opcionais para o cliente. Esta variedade implicou uma pesquisa exaustiva com o intuito de perceber quais os produtos que realmente são produzidos de forma sistemática e que, em última instância, são o cerne do trabalho laboratorial. Contudo, esta etapa viu-se dificultada devido à falta de uma base de dados com informação cruzada, implicando uma análise individual aos registos de cada referência. Finalizado este momento de diagnóstico, era ainda evidente um portfólio alargado de produtos, muitos dos quais acabavam por serem insignificantes no trabalho diário do laboratório devido à sua solicitação pontual, tornando-se um fator impeditivo para um acompanhamento da produção destas referências. Posto isto, foi necessário reestruturar a abordagem a adotar de forma a tornar viável o desenvolvimento de um sistema de escalonamento.

Toda esta redefinição do problema foi sustentada na TOC onde se assume que a máxima utilização das restrições corresponde à performance máxima de um sistema. Adicionalmente, a metodologia DBR incita a que o ritmo de produção seja definido em função dessa mesma restrição. Através desta abordagem foi possível reduzir a complexidade deste sistema específico que é caracterizado por um ambiente fabril do tipo *flexible job-shop* (Gardiner et al., 1993). A aplicação destes conceitos ao

problema específico potenciou a identificação da restrição do sistema de forma a que este seja um ponto de partida para a resolução deste caso de estudo.

4.2.1. Identificação da restrição

Após observação do funcionamento interno do FQ, foi possível detetar quais os aspetos que condicionam a sua capacidade de resposta. Atualmente, existe um conjunto de fatores que incita o setor em questão como *bottleneck* do sistema, sendo eles:

- **Perecibilidade dos produtos** – O facto de a produção de determinados *jobs* ficar comprometida devido à deterioração da amostra implica que se garanta a capacidade de produção do setor após a abertura da garrafa. Este motivo pressupõe que estas tarefas não devam ficar armazenadas como *WIP* existindo a possibilidade de comprometer os resultados analíticos. Os *jobs* J_{22} , J_{61} e J_{91} são alguns exemplos destes *jobs*.
- **Técnicas químicas clássicas** – Neste setor é evidenciada a natureza minuciosa associada a técnicas da físico-química clássica. Muitas das operações executadas exigem uma manipulação cuidada e rigorosa, quer no que diz respeito à manipulação de matérias-primas como dos equipamentos.
- **Tempo de processamento do produto** – Esta condicionante surge na sequência do tópico anterior. O tempo de processamento está, em grande medida, associado à aplicação de técnicas clássicas da química que requerem um tempo superior do que quando comparados com o seu processamento através de outras metodologias ou com recurso a equipamentos tecnológicos específicos.
- **Elevada dependência de recursos humanos** – Essencialmente na FQ I, a produção depende em grande parte dos recursos humanos existentes. Ainda aliado às técnicas utilizadas neste setor, o operador é responsável por um conjunto de operações e equipamentos e, em alguns casos, o colaborador é o recurso executante da operação. Neste sentido, a capacidade do sistema está diariamente sujeita a fatores da natureza humana, como por exemplo a produtividade do operador, e de incerteza tais como o absentismo.

Um caso particular do laboratório, face ao que acontece na maior parte das indústrias, é o facto de este setor ser produtor e fornecedor de matéria prima, tais como soluções-padrão e reagentes, indispensáveis à produção, pelo que o operador assume outras atividades de suporte à produção. Neste contexto, os recursos humanos são cruciais para executar as operações de suporte que sustentam a atividade de todo o laboratório.

- **Produção dependente entre setores** – A criticidade dos *jobs* condiciona a produção realizada nos outros departamentos laboratoriais pois, apesar da existência de capacidade, a produção

encontra-se limitada pela capacidade de resposta da FQ. Aliada a esta restrição, grande parte dos *jobs* executados no CrG (todos os *jobs* que compõe a classe compostos voláteis - j_{Cvol}), têm uma operação precedente executada na FQ I.

- **Controlo de qualidade** – Tal como evidenciado pela análise ABC anteriormente apresentada (figura 15), uma das variáveis com elevado impacto nas atividades operacionais da organização prende-se com o apertado controlo de qualidade implementado no laboratório. Estas atividades pressupõem não só a realização de testes de validação e calibração dos equipamentos, mas também a execução de processos de controlo, a análise comparativa com padrões conhecidos e a produção de duplicados.

As operações associadas à calibração e manutenção dos equipamentos são, muitas das vezes, atividades “consumidoras” de tempo e fatores de precedência entre operações. Adicionalmente, a execução de duplicados é, à semelhança de um produto solicitado pelo cliente, uma atividade que pressupõe o consumo de tempo e recursos.

Por estes motivos, optou-se por manter a subordinação da produção do laboratório ao setor FQ tal como é feito atualmente. Contudo, caso seja viável, posteriormente poder-se-á extrapolar este escalonamento também para os restantes departamentos que integram todo o serviço laboratorial da DSTC. A figura 19 pretende ilustrar o fluxo produtivo entre setores, evidenciando que o escalonamento da produção é feito em função da FQ, e que os restantes setores têm como input para produção o planeamento efetuado para a FQ. Em encomendas específicas que não solicitem *jobs* executados na FQ, cada departamento pode ter inputs independentes entre si.

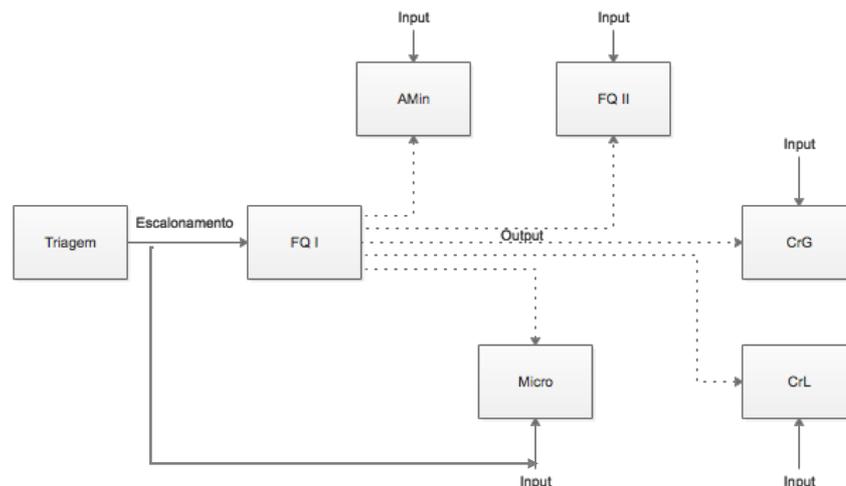


Figura 19. Escalonamento e fluxo de produção entre setores

4.2.2. *Jobs e sequência de operações*

Após definição do setor sobre o qual recairá o sistema de escalonamento, torna-se fundamental identificar quais os *jobs* que são desenvolvidos neste setor e, numa etapa posterior, detalhar as operações associadas a cada referência do produto. Primeiramente, foi necessário filtrar os *jobs* que são realmente produzidos no setor, pois existem *jobs* que apesar de atribuídos ao setor podem ser desprezados no momento de escalonar o serviço uma vez que a sua determinação é feita através de cálculos realizados pelo *software* GLab.

Depois desta triagem realizada, procedeu-se ao levantamento de informação sobre cada *job*, implicando um grande acompanhamento das atividades no “chão de laboratório” devido à elevada complexidade das variáveis envolvidas no processo produtivo de cada produto. O enquadramento deste sistema num cenário tipicamente *job-shop* aliado ao portfólio de *jobs* executados neste setor, traduziu-se num elevado número de rotas de processamento distintas.

Uma das características do funcionamento do laboratório prende-se com a produção em lotes, isto é, apesar da entrada de encomendas para o *shopfloor* a organização do trabalho de cada setor baseia-se em lotes formados para um *job*. Diariamente, os operadores consultam o plano de trabalho e sabem, para cada *job*, a quantidade de análises que vão ser executadas. A FQ apresenta uma outra particularidade que deve ser evidenciada devido ao impacto que tem na produção diária. Alguns dos produtos executados na FQ podem ser processados num equipamento específico designado *WineScan*, associado à FQ II, que através de uma só amostra determina mais do que um produto em simultâneo. Esta particularidade do equipamento permite que, independentemente do número de *jobs* a executar nesta máquina para uma determinada encomenda, esta operação será realizada uma única vez. A indicação desta técnica é realizada através da diferenciação do código de produto (e.g. Produto TAV com a designação J_{22} para processamento clássico e J_{23} para processamento no *WineScan* - WS).

A informação relativa aos produtos retratados neste caso de estudo encontra-se no anexo C.

4.3. *Desenvolvimento da Heurística Construtiva*

Este projeto teve como principal objetivo desenvolver uma heurística construtiva capaz de executar uma proposta de escalonamento que colmatasse as necessidades do IVDP no que diz respeito ao planeamento a curto prazo. Contudo, era de extrema importância que esta proposta refletisse as variáveis inerentes ao trabalho laboratorial. Tendo em conta as propriedades distintas e os requisitos

do sistema foi necessário desenvolver uma heurística de raiz totalmente direcionada para a produção do laboratório FQ, tendo como ponto de partida algumas abordagens divulgadas na literatura.

4.3.1. Princípios base

O processo de estruturação da proposta apresentada teve como princípio base a TOC, focando-se essencialmente na FQ. Posto isto, tornava-se essencial identificar corretamente a restrição que condicionava a execução das atividades deste setor, tornando-se uma etapa crucial para a adequação da heurística à realidade do sistema.

Esta etapa inicia-se com o acompanhamento das atividades de planeamento e triagem, sendo que todo este processo era baseado na capacidade de execução de alguns *jobs* e respetivas operações, mais concretamente, operações de destilação associadas a j_{22} , j_{61} e j_{Cvol} , seguidamente, procedia-se à seleção de encomendas a processar com base nos *jobs* solicitados.

Esta metodologia de planeamento indiciava quais poderiam ser as atividades gargalo, contudo, de forma a garantir uma caracterização correta do *shopfloor*, variáveis como a frequência de execução, o tempo de processamento e a automatização do processo associado a cada job estiveram na base desta análise. Devido à variabilidade de produtos que podem constituir as encomendas que entram no serviço, foi aplicado um Diagrama de Pareto com o propósito de verificar quais os produtos de classe A no que concerne à frequência de análise no laboratório. Na aplicação desta ferramenta não foram contemplados os *jobs* analisados no WS uma vez que existe correlação dos dados relativamente à frequência de execução dos *jobs*. Assim, a figura 20 evidencia os produtos chave para o laboratório (no anexo D encontra-se representada a tabela que permitiu construir o diagrama).

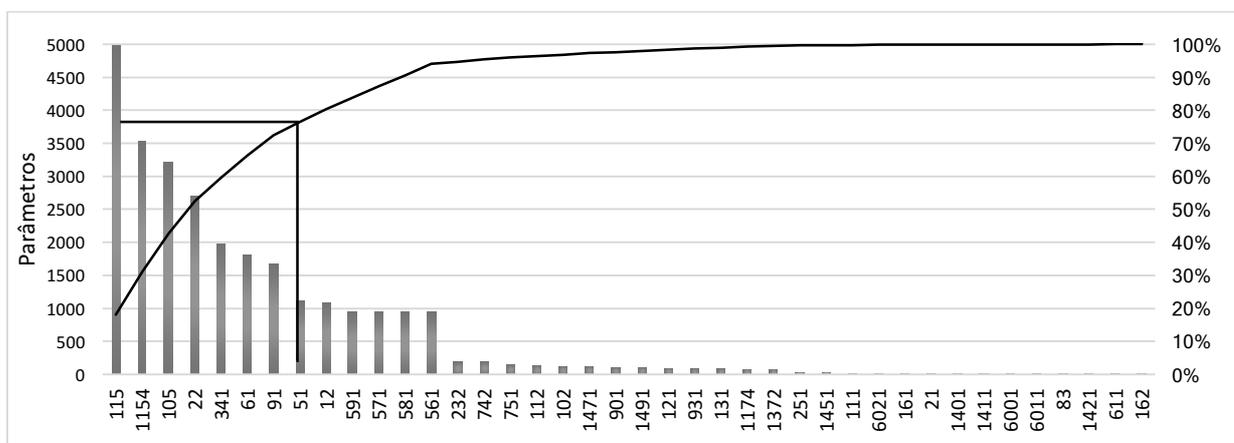


Figura 20: Análise ABC - Classificação de produtos

4.3.2.1. Características do workcenter gargalo

O *workcenter* em análise é composto por um conjunto de 3 destiladores em paralelo e com características semelhantes, e velocidades de processamento idênticas. Desta forma, uma operação que pressuponha este equipamento pode ser executada em qualquer uma das máquinas que o constituem. Os *jobs* processados neste centro de trabalho são considerados críticos e, portanto, implicam que o seu processo produtivo seja iniciado o mais cedo possível de forma a não constituírem *WIP*. Após análise da área onde são executados conclui-se que existe apenas um operador responsável por todas as operações e restantes equipamentos associados à produção destes *jobs*. Para além do WC gargalo, esta área de trabalho é constituída por um densímetro digital e outro automático, um equipamento de banho, um destilador de bebidas espirituosas e uma bureta automática (anexo E). Neste sentido, torna-se fundamental garantir que todas as operações de cada um dos *jobs* são executadas mesmo que o operador assuma mais do que uma função.

Uma vez que todo o escalonamento foi desenvolvido com base nos destiladores e respetivas operações é importante referir algumas características que condicionam a heurística proposta. Posto isto, constatou-se que a calibração das máquinas tem uma validade de 6 meses, findo este período estas devem ser submetidas a nova calibração e validação. Contudo, diariamente os equipamentos são testados de forma a garantir a calibração apenas para a execução da operação $O_{22,2}$. Tendo em conta o impacto que este controlo de qualidade pode provocar no escalonamento realizado, condicionando o número de máquinas diárias aptas para executar a operação, considerou-se fundamental que o sistema desenvolvido fosse definido tendo em conta o número de equipamentos gargalo que o operador pretende agendar. Desta forma o operador consegue reagendar caso exista alguma variação entre o número de máquinas definidas antes e depois da validação do equipamento. A figura 22 mostra a interface existente entre o sistema e o utilizador na definição do número de máquinas gargalo que pretende agendar.

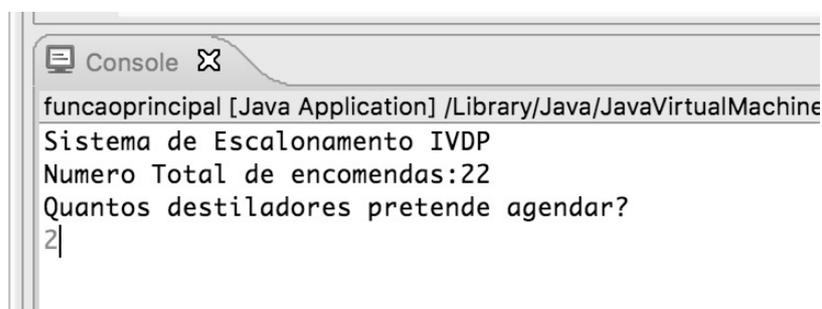


Figura 22. Número de máquinas gargalo a agendar (interface entre o operador e o sistema)

Estes equipamentos são processadores clássicos cujo tempo total de processamento da operação dos k jobs que constituem o lote é dado pela equação 6.

$$p(\mathcal{B}(O_{ij})) = \sum_1^k p_{O_{ij}} \quad (6)$$

$p(\mathcal{B}(O_{ij}))$ – Tempo de processamento das n operações O_{ij} que constituem o lote

k – Dimensão do lote de jobs i

$p_{O_{ij}}$ - Tempo de processamento da operação j do job i

4.3.2.2. *Triagem*

No percurso analítico do IVDP uma das etapas fundamentais é o processo de triagem que antecede o momento de libertação da encomenda para o chão de fábrica. Durante este processo as encomendas são selecionadas por parte dos operadores de triagem tendo em conta a capacidade do setor para a sua execução para uma perspetiva temporal de um dia. Posto isto, pode-se afirmar que existem dois grandes segmentos no processo produtivo: (i) da receção até à triagem; (ii) da distribuição da encomenda para os setores de produção até à conclusão da encomenda (emissão dos certificados).

Uma das particularidades da organização em estudo, prende-se com o facto de, apesar de apresentarem características de produção MTO, as encomendas não implicarem uma data de entrega ao cliente definida, dificultando o processo de decisão sobre quais as encomendas que devem ser executadas primeiro. Uma vez que esta ponderação era feita de forma empírica pelo operador, procedeu-se à avaliação dos critérios para criar uma regra de despacho de encomendas que refletisse os objetivos da organização e atribuiu um Índice de Prioridade (IP). Para tal, foi realizado um levantamento dos critérios que são ponderados aquando da seleção de encomendas que posteriormente foram quantificados através da aplicação da metodologia AHP. Após ponderação, os critérios propostos para a definição do IP são:

- **Categoria:** de acordo com a categoria da encomenda em que a mesma se insere a sua importância é variável.
- **Urgência:** a encomenda tem ou não associada a taxa de urgência (taxa acrescida ao montante pago pelo cliente).
- **Tempo no sistema:** período temporal que decorre entre a abertura do processo da encomenda e a data da triagem (o número de dias é contabilizado pelo sistema *Glab* em dias úteis).

- **Solicitação de produtos de outros setores:** considera se a encomenda solicita produtos de outros setores para além da FQ. Desta forma, dá-se prioridade a estas encomendas, favorecendo a produtividade dos restantes setores.
- **Solicitação dos produtos críticos através da tecnologia WineScan:** considera se os produtos críticos solicitados na encomenda são executados neste equipamento.

Com o intuito de sintetizar a importância de cada um destes critérios no processo de tomada de decisão relativo à prioridade de cada encomenda, foi utilizada a metodologia AHP. Recorreu-se ao *software SuperDecisions*, versão 2.8, para obter as prioridades associadas a cada nível hierárquico da decisão, resultados que posteriormente são incorporados no modelo. A comparação entre pares de critérios foi construída tendo em conta as observações realizadas no terreno, o acompanhamento de atividades de triagem e informações recolhidas junto do operador. A matriz de comparação entre critérios obtida (tabela 8) apresenta um $CR \approx 0,053$, sendo considerada válida uma vez que é inferior a 0,1 (no anexo F encontra-se a matriz de comparação entre alternativas para cada critério).

Tabela 8. Matriz de comparação entre critérios para priorização de encomendas

Critérios	Categoria	Urgência	Tempo no Sistema	Outros setores	Protocolo WS
Categoria	1	5	3	9	7
Urgência	1/5	1	1	5	5
Tempo no Sistema	1/3	1	1	5	3
Outros setores	1/9	1/5	1/5	1	1/3
Protocolo WS	1/7	1/5	1/3	3	1

Assim, a Tabela 9 representa as variáveis utilizadas para o cálculo do IP da encomenda utilizadas na equação 7.

$$IP = PCC * PC + PCU * PU + PCTS * Ts + PCOS * POS + PCWs * PWs \quad (7)$$

Tabela 9. Variáveis utilizadas no cálculo do IP

<i>IP</i>	Índice de prioridade	
<i>PCC</i>	Ponderação do critério “Categoria”	Prioridade do critério “Categoria”
<i>PC</i>	Peso associado à categoria	Certificação/Consultoria/Fiscalização/Pré-certificação
<i>PCU</i>	Ponderação do critério “Urgência”	Prioridade do critério “Urgência”
<i>PU</i>	Peso associado à urgência	Urgente / Não urgente
<i>PCTs</i>	Ponderação do critério “Tempo no Sistema”	Prioridade do critério “Tempo no sistema”
<i>Ts</i>	Número de dias no sistema	n.a
<i>PCOS</i>	Ponderação do critério “Outros Setores”	Prioridade do critério “Outros Setores”
<i>POS</i>	Peso associado à solicitação outros setores	Envolve outros setores / não envolve outros setores
<i>PCWs</i>	Ponderação do critério “WS”	Prioridade do critério “WS”
<i>PWs</i>	Peso associado à solicitação WS	Com WS / sem WS

A título de exemplo, uma encomenda com urgência (0,1650) que pressuponha a certificação (0,2443), onde são implicados *jobs* de outros setores (0,0319) e WS (0,0583) e que esteja há um dia no sistema ($1 \times 0,17614$) possui um IP de 0,6757.

Devido aos requisitos existentes relativos à criticidade dos *jobs* e conseqüente formação de *WIP* torna-se fundamental conseguir dimensionar a carga que é imputada ao setor FQ de forma a respeitar as restrições de capacidade, evitando a perturbação interna do sistema.

Aplicando o conceito de *WLC* e controlo de *input-output*, considera-se que o a triagem funciona como uma *pré-pool*, onde as encomendas ficam em espera até que o mecanismo de controlo de input defina o momento de entrada para o *shopfloor*. A decisão sobre o controlo de input trata-se de uma decisão periódica, uma vez que a libertação de encomendas é realizada apenas uma vez por dia.

4.3.2.3. Duplicados analíticos, tempos de setup e tempos de processamento

Tendo em conta a diversidade de produtos e rotas de processamento a decorrer em simultâneo no *shopfloor*, urge a necessidade de garantir que os tempos de setup e o tempo de processamento de cada operação são incluídos no modelo desenvolvido. Em ensaios químicos o controlo de qualidade do processo consiste na execução de duplicados da amostra. Assim, a validação do controlo de qualidade durante a produção do laboratório é realizada através da repetição de produtos executados consoante

o fator de duplicação pré-definido pelos critérios da certificação. A contabilização de quantos produtos são adicionados ao lote de produção durante este processo é fundamental em cenários de processamento de lote em série uma vez que o tempo de produção correspondente depende do número de *jobs* que o constituem. Supondo a existência de um lote para cada job com dimensão 10, a figura 23 representa, para os *jobs* que implicam realização de duplicados, o aumento existente no tamanho do lote. De forma análoga, a figura 24 evidencia a consequência que a variação do tamanho do lote tem no tempo de processamento de cada um dos *jobs*. As situações em que se verifica apenas o aumento da dimensão do lote devem-se ao processamento em BPM.

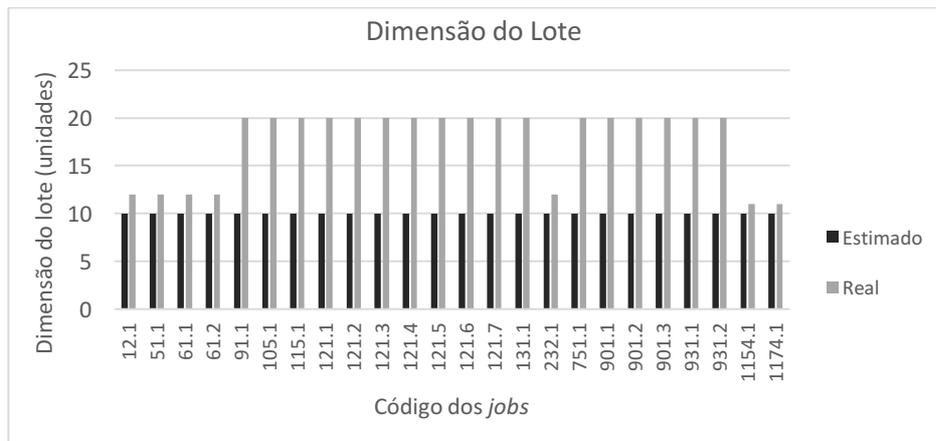


Figura 23. Dimensão do lote – Estimado vs Real

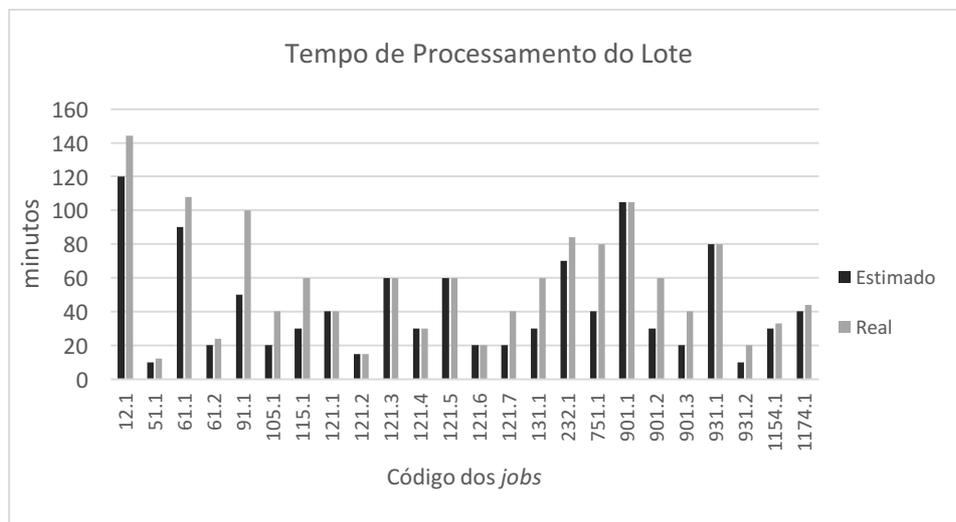


Figura 24: Tempo de processamento em função – Estimado vs Real

No caso específico de produção em laboratórios, o tempo de setup dos equipamentos torna-se, por vezes, bastante significativo face ao tempo da operação. Este acontecimento é também verificado na FQ, onde na maioria dos casos em que as operações implicam uma preparação prévia, estas apresentam

um tempo de processamento bastante inferior ao setup necessário e, consequentemente, uma baixa utilização do equipamento (figura 25).

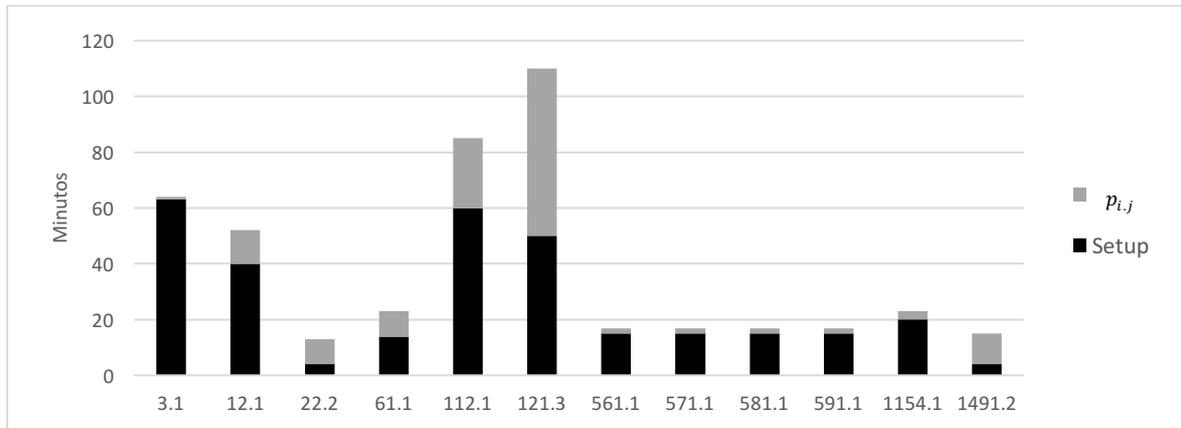


Figura 25: Tempo associado ao setup e ao processamento da operação j do produto i (p_{ij})

Ainda no que concerne à definição da variável setup é importante caracterizar o tipo em análise, sendo que, todas as sequências de produção analisadas possuem tempos independentes da sequência de trabalho, ou seja, não variam com o padrão de produção a executar. Posto isto, uma das constatações realizadas aquando do acompanhamento da produção diária, é a importância que o tempo de setup e de processamento dos duplicados têm no momento do planeamento da produção. Neste sentido, e tendo em conta o desvio que pode existir entre a produção prevista e a executada e o impacto que pode causar na capacidade de resposta do setor, considerou-se fundamental incorporar estas variáveis no modelo de planeamento desenvolvido.

4.3.2.4. **Batching e caracterização de equipamentos**

Uma das potencialidades do processo analítico existente no laboratório prende-se com a disponibilidade da matéria-prima para iniciar o processo produtivo. Contrariamente ao que acontece na maioria dos processos, os setores laboratoriais conseguem através da matéria-prima inicial (garrafa de vinho) desagregá-la em pequenas amostras que posteriormente são utilizadas para o processamento dos *jobs*. Esta valência permite que a matéria-prima esteja imediatamente disponível para produção, permitindo executar em simultâneo os *jobs* de uma mesma encomenda, não constituindo uma restrição de recursos no processo. Posto isto, a produção é segregada, com base no produto a executar, através da formação de lotes constituídos pelas amostras referentes às encomendas que solicitam o produto.

Tendo em conta o ambiente produtivo em estudo, *job-shop*, o departamento apresenta um layout orientado por processo, caracterizado pela existência de diversos *workcenters* que facilitam a gestão

das diferentes rotas de processamento. De forma a fazer um diagnóstico correto foram analisados os equipamentos existentes no laboratório classificando-os segundo a quantidade, tempo de processamento e capacidade de produção.

No que concerne ao número de equipamentos disponíveis foi constatado que existiam rotas de processamento associadas ao problema de máquina única e, noutros casos, a existência de máquinas em paralelo idênticas, ou seja, com a mesma velocidade de processamento. Esta observação conduziu a uma abordagem do caso de estudo como um problema do tipo FJSSP, uma extensão do problema clássico JSSP, onde para além da diversidade de rotas possíveis existe flexibilidade na afetação do *job* às máquinas onde são processados, adicionando complexidade ao problema de escalonamento. Após avaliação do tipo de processamento de cada equipamento foi identificada a presença de máquinas do tipo BPM com capacidade limitada. Estes processadores, típicos na indústria química, têm a particularidade de processar mais do que uma unidade em simultâneo cujo tempo de processamento é determinado pelo tempo de processamento máximo das unidades que estão a ser produzidas. A título exemplificativo, o equipamento *Muf* utilizada como um forno no processo produtivo do *job* j_{121} , apresenta esta característica de processamento. No algoritmo desenvolvido as variáveis atrás evidenciadas, i.e., quantidade, tipo de processador e capacidade foram incorporadas. No caso particular de processadores do tipo BPM, a capacidade de executar um determinado número de tarefas em simultâneo é determinada pela capacidade de processamento de uma única máquina e, caso existam máquinas em paralelo, pela sua quantidade. Assim, nestes casos foi definido que a quantidade de máquinas disponíveis é determinada pela equação 8. Toda a informação relativa aos equipamentos existentes na FQ encontram-se no anexo G.

$$Qt. \text{ de máquinas} = \text{capacidade em paralelo do BPM} \times \text{número de BPM's} \quad (8)$$

4.3.2.5. Prioridades entre jobs

Tal como já foi referido, uma das exigências na produção prende-se com a imposição de que os produtos críticos sejam executados no mesmo dia em que a sua produção é iniciada. Contudo, a heurística desenvolvida define que o escalonamento é realizado em função do gargalo do sistema e toda a restante produção é gerida ao seu ritmo. Por esta razão, foi necessário garantir que, caso hajam produtos críticos para além dos que são produzidos no gargalo, estes devem ter prioridade durante o agendamento dos restantes postos de trabalho. Posto isto, foram utilizados quatro critérios que permitiram priorizar os produtos por ordem de prioridade. Os tópicos seguintes explicam os princípios que estão na base da sua utilização:

- **Criticidade** - Quanto mais crítico for o *job*, maior a necessidade em concluir o processamento no dia da recolha da amostra, logo mais cedo deve ser executado de forma a minimizar a hipótese de ficar sob *WIP*.
- **Retrabalho** – Se o *job* está sujeito a ser reprocessado para que os resultados sejam admitidos
- **Tempo de processamento** – Quanto maior o tempo de processamento do *job* mais cedo ele deve ser iniciado
- **Grau de automatização** – Quanto maior for a automatização do processo produtivo de determinado *job* mais cedo deve ser iniciado

Este tópico implicou a aplicação da metodologia AHP com o intuito de definir a prioridade dos diversos *jobs*. A matriz de comparação dos critérios encontra-se representada na tabela 10 com $CR \approx 0,043$ e, portanto, a matriz é considerada consistente. As tabelas de comparação entre alternativas estão representadas no anexo H.

Tabela 10. Matriz de comparação de critérios para priorização de jobs

Critérios	Criticidade	Retrabalho	Tempo de processamento	Grau de automatização
Criticidade	1	3	5	7
Retrabalho	1/3	1	3	5
Tempo de processamento	1/5	1/3	1	3
Grau de automatização	1/7	1/5	1/3	1

4.3.2.6. Operador

O operador constitui um recurso fundamental para que a produção decorra dentro do planeamento efetuado e no panorama do setor FQ este contributo é ainda mais evidente. Dada a natureza do ambiente produtivo e o seu *layout* orientado por processo, todos os colaboradores têm formação diversificada e são responsáveis por mais do que tarefa. Para uma determinada operação, o colaborador pode intervir durante todo o período em que esta está a ser processada, ou então pode ser responsável apenas por parte do procedimento, como por exemplo pela preparação e colocação das amostras nos equipamentos. Neste sentido o modelo desenvolvido considera que o tempo de operação engloba o tempo em que o operador é ativo no processo e o tempo global da operação (figura 26).



Figura 26. Tempo de Operação e tempo ativo operador

Esta representação permite-nos concluir que, quando o tempo de operação é igual ao tempo ativo do operador, a sua produção é totalmente dependente do operador e, portanto, não se trata de um método automatizado.

Esta diferenciação foi realizada de forma a que o algoritmo desenvolvido consiga agendar em simultâneo, dois *jobs* executados pelo mesmo operador, desde que não sejam executados na mesma máquina. Assim, ainda que uma operação esteja a decorrer, o *job* seguinte pode ser agendado a partir do momento em que o operador conclui a sua interação no processo. Dado o volume de trabalho do operador, foi sugerido pela DSTC que o algoritmo tivesse em consideração esta variável no momento de triar o serviço que entra no laboratório. Assim sendo, foi incorporado no modelo um contador para o volume de trabalho do operador de forma a que não se exceda o respetivo horário laboral.

4.3.3. Algoritmo

Numa segunda etapa, após recolha de todos os requisitos a incorporar na heurística e respetiva informação, foi desenvolvido o algoritmo capaz de fornecer uma solução admissível para o problema de escalonamento do serviço de laboratório FQ.

Com o intuito de diminuir a complexidade do problema adotou-se uma abordagem hierárquica, decompondo-o num de menor complexidade. Assim, o algoritmo desenvolvido foi conceptualizado segundo três módulos distintos (figura 27) com objetivos específicos. O primeiro módulo pressupõe a importação de ficheiros de processamento de texto, em formato *.txt*, com a listagem dos códigos associados aos setores e ao *WS*, assim como a importação das encomendas através de um ficheiro Excel, em formato *.xls*, onde devem constar os seguintes campos “Número do processo”, “Urgência”, “Finalidade”, “Categoria”, “Tempo no sistema”, “IP” e “Protocolo” (o anexo I exemplifica um modelo do ficheiro de input). Do mesmo modo é feita a importação da informação relativa a equipamentos, *jobs* (anexo J) e operações (anexo K), permitindo ao utilizador editar estes dados sempre que necessário. Posteriormente, é efetuado o tratamento da informação de cada encomenda para cálculo do IP e, por fim, a sua priorização. Através desta componente é possível criar uma regra de despacho que reflita as políticas de serviço ao cliente definidas pelo IVDP.

Seguidamente, o módulo triagem funciona como uma *pré-pool* onde os pedidos são armazenados até que possam ser libertados para o chão de fábrica. Este sistema de admissão de encomendas é executado através de um mecanismo que vai controlando a evolução da capacidade no gargalo. Desta forma, o algoritmo calcula a carga de trabalho para o gargalo inerente à encomenda e a sua distribuição apenas acontece em situações onde essa capacidade é validada, caso contrário a encomenda é ignorada e

mantém-se em fila de espera. Destaca-se o facto deste módulo não parar assim que uma encomenda não é aceite, uma vez que as encomendas não possuem todas o mesmo input para o gargalo. Também neste módulo, são constituídos os lotes de *jobs* que vão ser executados.

Por fim, o último módulo implica o agendamento das operações de todos os lotes formados. Este procedimento inicia-se com o agendamento do WC gargalo e posteriormente os restantes *jobs* por ordem decrescente de prioridade.



Figura 27. Módulos integrantes da heurística

O modelo proposto foi desenvolvido segundo os pressupostos existentes à data de início do projeto e aborda o problema como determinístico e estático, na medida em que não são contempladas possíveis fontes de incerteza nem acontecimentos em tempo real que interfiram no modelo. Para o escalonamento é utilizada uma escala temporal contínua.

O algoritmo apresentado teve por base os seguintes pressupostos:

- Número de máquinas gargalo (destiladores): a introduzir pelo operador;
- Conclusão do período de validação dos equipamentos para TAV: 60 minutos
- Horário Laboral =360 (correspondentes a 7 horas de trabalho/dia deduzidas de 1 hora para pausas, não definidas pela organização, ou interrupções não previstas);
- $\Delta T_{manhã}$, período da manhã das 9h30 às 12h;
- ΔT_{tarde} , período da tarde das 14h às 17h30 (figura 28);
- Tempo de transporte entre estações de produção foi desprezado
- Período de Almoço (12h-14h) – 120 minutos, o período de almoço foi definido o período máximo possível uma vez que este pode oscilar dentro deste período consoante o operador;
- $B\{i\}$, dimensão do lote correspondente a job_i ;
- $S_{o_{ij}}$, tempo de setup de O_{ij} (operacao_j do job_i);
- $p_{o_{ij}}$, tempo de processamento de O_{ij} ;
- *Janela temporal livre* - Representa o período de tempo disponível para executar os *jobs* que passam no equipamento gargalo. Esta variável considera os equipamentos gargalo agendados pelo operador assim como os tempos de setup necessários para processar cada um destes *jobs*.

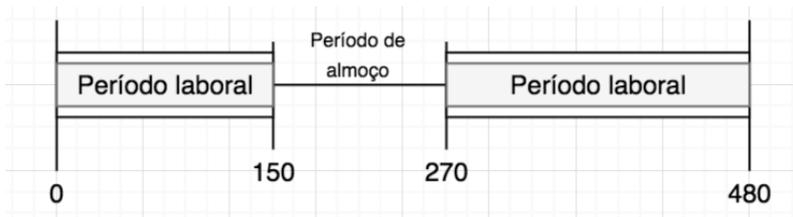


Figura 28. Definição do período laboral

A figura 29 corresponde ao fluxograma representativo do algoritmo desenvolvido, esquematizando os princípios de funcionamento do sistema de escalonamento proposto.

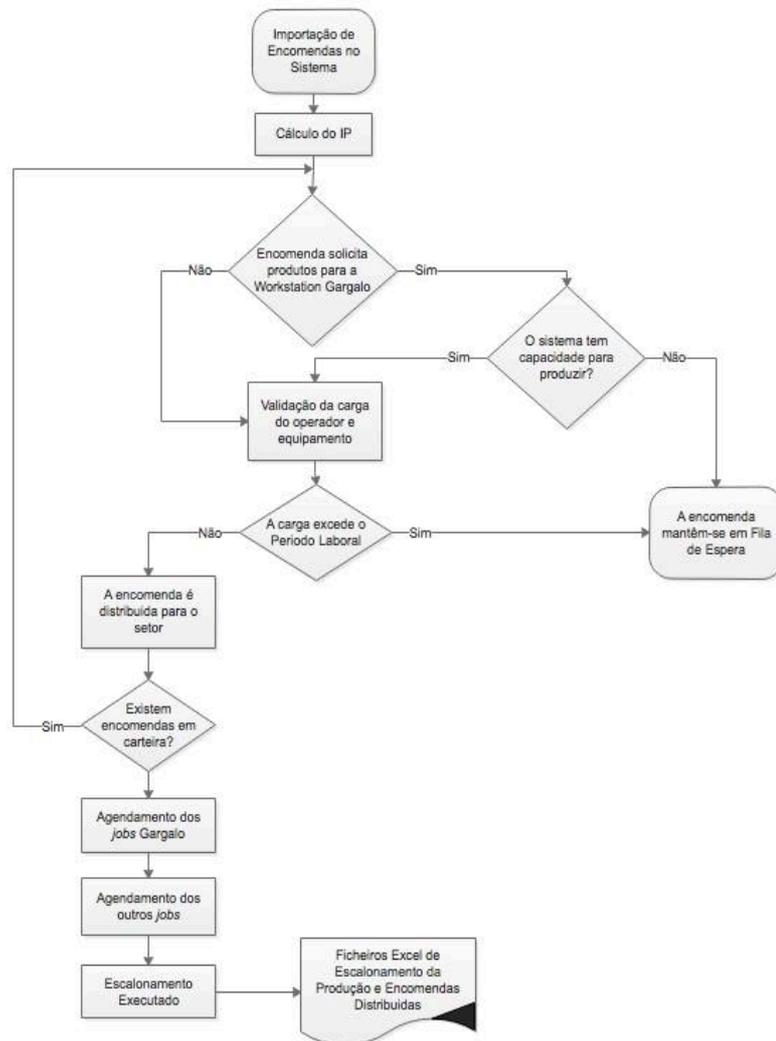


Figura 29. Procedimento Heurístico

A heurística construtiva proposta está estruturada nas seguintes etapas:

Módulo 1 – Análise e processamento de encomendas

Passo 1: importar encomendas em carteira;

Passo 2: para cada encomenda calcular a respetiva prioridade de acordo com a equação 7 apresentada no tópico 4.3.2.2, e ordenar as encomendas existentes por ordem decrescente de prioridade

Módulo 2 – Triagem

Passo 3: para cada encomenda verificar se os *jobs* que passam no gargalo são solicitados:

- Se sim ir para o **passo 3.1**, caso contrário ir para o **passo 4**:
 - **Passo 3.1:** para cada *job* que passa no WC *bottleneck* solicitado na encomenda (j_{22}, j_{61}), calcular o tempo da operação. O tempo da encomenda passado no gargalo é dado por:

$$T_{enc_{gargalo}} = TO_{22,2} + TO_{61,1}$$

- **Passo 3.2:** para cada *job* do passo 3.1 calcular a folga necessária para executar as respetivas operações não-gargalo

$$Folga_i = \sum p_{O_{ij}(\text{não-gargalo})}$$

- **Passo 3.3:** selecionar a maior folga necessária para concluir os *jobs* solicitados

$$Folga_{necessária} = \max \{Folga_{22}, Folga_{61}\};$$

- **Passo 3.4:** atualizar a janela temporal livre

$$Tempo\ Livre = Tempo\ Livre - T_{enc_{gargalo}} - Folga_{necessária}$$

- **Passo 3.5:** validar o input da encomenda tendo em conta o WLC e a capacidade do WC gargalo processar a encomenda
 - Se $Tempo\ Livre < 0$, encomenda é excluída e fica em fila de espera
 - Se $Tempo\ Livre \geq 0$, seguir para o passo 4

Passo 4: executar validação máquina e validação operador;

- Se $operador\ em\ excesso \leq 0$ e $máquina\ em\ excesso \leq 0$:
O sistema tem capacidade para executar a encomenda, sendo esta aceite
- Caso contrário, a encomenda é rejeitada e mantém-se em fila de espera;
- Atualizar a dimensão do lote

Módulo 3 – Agendamento

Passo 5: Depois de definidas as encomendas que vão entrar no *shopfloor*, agendar as operações dos *jobs* gargalo;

- **Passo 5.1:** agendar operação *bottleneck* do *job* com maior prioridade ($O_{22,2}$), de acordo com a condicionante da validação dos equipamentos. Caso não seja concluído a totalidade do lote no período da manhã, continuar o agendamento da operação assim que o período da tarde inicia, criar um novo lote 2 (figura 30).

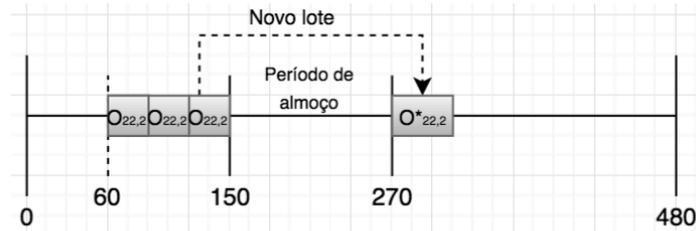


Figura 30. Agendar novo lote

- **Passo 5.2:** utilizar *backward scheduling* para agendar as operações a montante do gargalo (figura 31) e *forward scheduling* para a operação imediatamente a jusante do *bottleneck* (figura 32). Se no passo 5.1 é feito agendamento para um novo lote, a correspondente operação a montante é iniciada antes do período de almoço do operador.

$$\text{Início Setup}(O_{22,2}) = 60;$$

$$\text{Fim Setup}(O_{22,2}) = \text{Início Setup}(O_{22,2}) + S_{O_{22,2}};$$

$$\text{Início}(O_{22,2}) = \text{Fim Setup}(O_{22,2});$$

$$\text{Fim}(O_{22,2}) = \text{Início}(O_{22,2}) + p_{O_{22,2}};$$

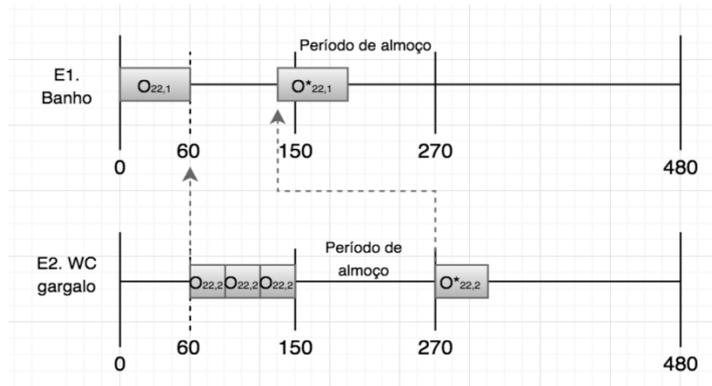


Figura 31. Agendamento backward para operação a montante

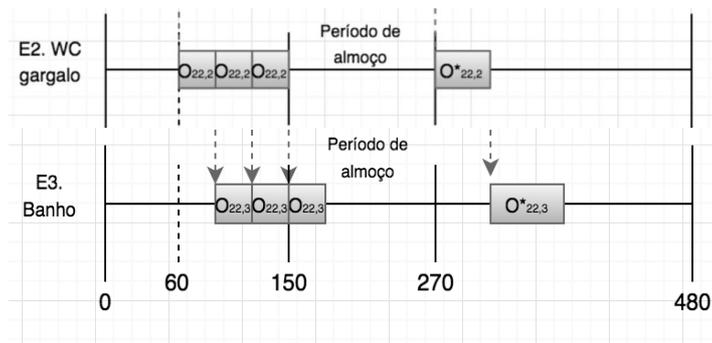


Figura 32. Escalonamento forward para operação a jusante

- **Passo 5.3:** agendar operação $O_{61,1}$ no período disponível das máquinas gargalo (Se o lote não for terminado no período da manhã, continuar para o período da tarde – lote 2 (figura 33)).

$$\text{Início Setup}(O_{61,1}) = 0;$$

$$\text{Fim Setup}(O_{61,1}) = \text{Início Setup}(O_{61,1}) + S_{o_{61,1}};$$

$$\text{Início}(O_{61,1}) = \text{Fim Setup}(O_{61,1});$$

$$\text{Fim}(O_{61,1}) = \text{Início}(O_{61,1}) + p_{o_{61,1}};$$

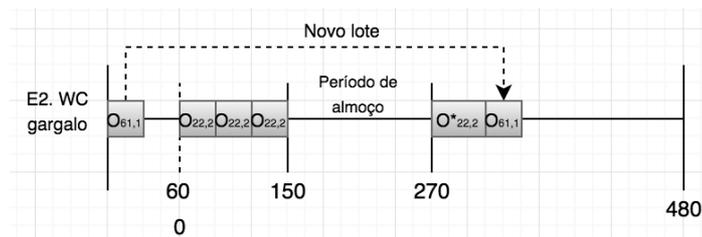


Figura 33. Escalonamento $O_{61,1}$

- **Passo 5.4:** agendar a operação a jusante ($O_{61,2}$)
 - Se $Fim(O_{61,1}) > Fim(O_{22,2}) \rightarrow Início(O_{61,2}) = Fim(O_{61,1})$
 - Se $Fim(O_{61,1}) < Fim(O_{22,2}) \begin{cases} \text{Se } p(O_{61,2}) \times B\{61\} \geq 150: Início(O_{61,2}) = \text{início da tarde} \\ \text{Caso contrário, } Início(O_{61,2}) = Fim(O_{22,2}) \end{cases}$
- **Passo 5.5:** agendar última operação do J_{22} ($O_{22,4}$);
 - Se $Fim(O_{22,3}) > Fim(O_{61,2}) \rightarrow Início(O_{22,4}) = Fim(O_{22,3})$
 - Caso contrário $Início(O_{22,4}) = Fim(O_{61,2})$

Passo 6: agendar jobs não-gargalo:

- **Passo 6.1:** agendar lote de job WS o mais cedo possível

$$Início Setup(O_{3,1}) = 0;$$

$$Fim Setup(O_{3,1}) = Início Setup(O_{3,1}) + S_{o_{31}};$$

$$Início WS = Fim Setup(O_{3,1});$$

$$Fim WS = Início WS + \sum_1^{B\{3\}} p_{o_{3,1}} ;$$
 - **Passo 6.2:** por ordem de prioridade dos restantes jobs não-gargalo, agendar para cada job_i as operações $O_{ij, j \in \{1, \dots, n\}}$
 - **Passo 6.2.1:** aceder ao operador e à máquina onde a operação é executada e verificar qual deles é o último recurso a estar disponível e agendar para esse momento o início da operação;

$$Início O_{ij} = \max \{tempoOperador, tempoMáquina\};$$

$$Fim O_{ij} = Início O_{ij} + p_{ij} \times \left\lceil \frac{B\{i\}}{\text{Número de máquinas disponíveis para a operação}} \right\rceil$$
 - **Passo 6.2.2:** atualizar o horário de cada um dos recursos de acordo com o tempo que intervêm na operação;
- Repetir o passo 6.2 até que todos os jobs estejam agendados;

Passo 7: exportar ficheiro com a informação relativa ao planeamento gerado;

A heurística descrita foi desenvolvida em linguagem *Java* através do *IDE Eclipse versão Neon.3 (4.6.3)*. O escalonamento efetuado pelo sistema é exportado através de dois ficheiros *Excel*, onde constam as encomendas agendadas e em fila de espera (figura 34), e a programação da produção definida pelo algoritmo (figura 35).

	A	B
1	Encomendas selecionadas	Encomendas em Fila de Espera
2	2017/0989/05	
3	2017/0989/08	
4	2017/0989/11	
5	2017/0989/14	
6	2017/0989/17	
7	2017/0989/18	
8	2017/0989/19	
9	2017/0989/20	
10	2017/0989/21	
11	2017/0989/04	
12	2017/0989/10	
13	2017/0989/16	
14	2017/0989/02	
15	2017/0989/07	
16	2017/0989/13	

Figura 34. Output do sistema - Encomendas agendadas

	A	B	C	D	E	F	G
1	Cód. Produto	Id. Operacao	Dimensão do lote	Início	Fim	Operador	Equipamento
2	22	1	14	0	60	A	Banho
3	61	1	11	0	59	A	Destilador TAV_Avol
4	112	1	1	0	25	E	Destilador Paul
5	121	1	2	0	40	C	Banho Maria
6	341	1	2	4	8	C	
7	51	1	15	6	21	C	pHMeter
8	341	2	2	8	68	C	Hotte Malvidol
9	561	1	3	10	16	E	Perkin Elmer
10	571	1	1	16	18	E	Perkin Elmer
11	121	2	2	40	70	C	Placa
12	22	2	14	60	127	A	Destilador TAV_Avol
13	3	1	12	63	75	D	WineScan
14	341	3	2	68	70	C	Lampada UV
15	121	3	2	70	130	C	Mufia
16	22	3	14	127	187	A	Banho
17	121	4	2	130	160	C	Banho Maria
18	121	5	2	160	220	C	Mufia
19	121	6	2	220	240	C	Dessecador
20	121	7	2	240	244	C	Balança
21	61	1	11	284	293	A	Bureta automatica
22	61	2	11	293	315	A	Bureta automatica
23	22	4	14	315	329	A	Dens. Anton Paar

Figura 35. Output do sistema - Escalonamento da produção

4.4. Resultados

Tal como vem sido referido ao longo deste projeto, toda a estrutura da heurística proposta teve por base a TOC. Neste sentido, o *throughput* do laboratório é condicionado pela capacidade existente na restrição gargalo deste sistema. Assim sendo, esta heurística propõe uma reestruturação para o horário de funcionamento das máquinas gargalo, potenciando o aumento de capacidade no gargalo e, conseqüentemente, no setor FQ em geral.

Uma das restrições que condiciona a produção na *workstation* gargalo prende-se com a realização de testes diários para validação das máquinas para produção do job 22 ($O_{22,2}$), sendo que até aos 60 minutos (10h30), as máquinas estão livres enquanto se espera pelos resultados. Contudo, uma das constatações foi o facto de os testes não validarem o equipamento para a $O_{61,1}$, pelo que neste período de tempo as máquinas poderiam ser utilizadas. Neste sentido, uma modificação face às atuais práticas passa pelo agendamento da $O_{61,1}$ assim que a máquina está disponível (instante 0) ainda que a $O_{22,1}$ não possa ser executada neste período. Adicionalmente, o setor opta por executar as destilações dos dois *jobs* no período da manhã e, apenas em situações excepcionais, é executada da parte da tarde a operação $O_{61,1}$. Este paradigma deve-se ao tempo de processamento das operações a jusante da operação gargalo para o job_{22} . No modelo desenvolvido propõe-se uma reestruturação desta rotina de forma a diminuir o tempo de máquina parada e a aumentar a taxa de produção dos destiladores.

A título exemplificativo, foram recolhidos do *software* interno registos correspondentes a dois meses laborais referentes ao número de *jobs* gargalo, anexo L, com o intuito de comparar alguns indicadores face ao estado atual e à proposta desenvolvida. Para este horizonte temporal, o número médio diário de destilações, ou seja, operações gargalo, são 24 correspondendo a uma média de 9 job_{61} , 11 job_{22} e 4 job_{Cvol} .

Partindo do pressuposto de que todas as máquinas estavam funcionais e tendo em conta as atuais rotinas de produção a figura 36 compara o estado do sistema e a proposta apresentada para o volume de trabalho atrás descrito. No entanto, a heurística desenvolvida permite diminuir o *makespan* através da sobreposição de operações, possibilitando a sua conclusão antes do previsto.

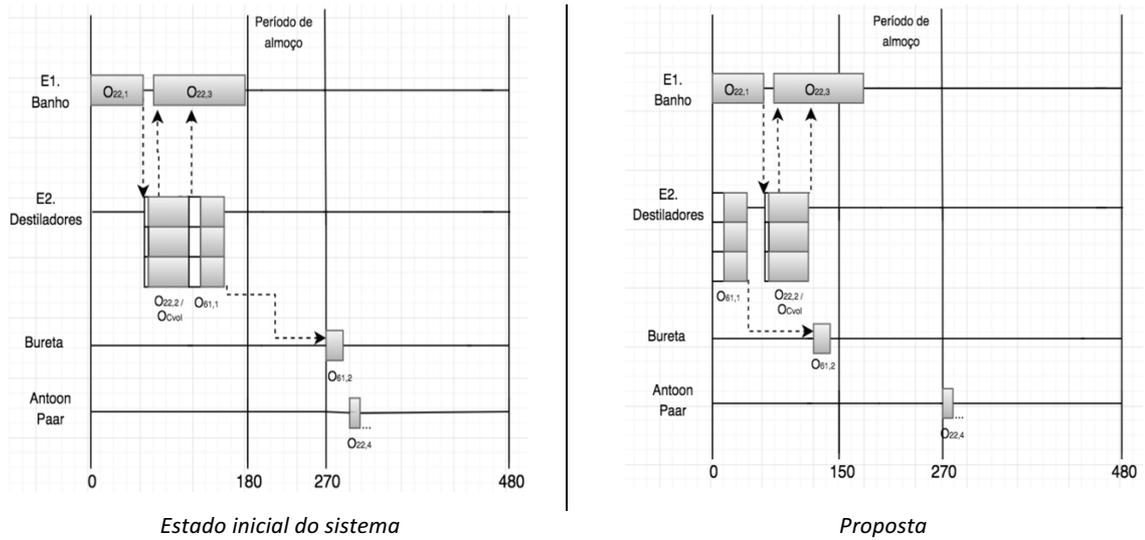


Figura 36. Comparação entre estado atual e heurística proposta

Neste contexto atual, com um horário laboral de 390 minutos conclui-se que durante cerca de 77% deste tempo os destiladores encontram-se parados, evidenciando que a capacidade das máquinas é subaproveitada. Salvaguarda-se ainda que a pausa para almoço contemplada no modelo é superior (120 minutos) e foi generalizada uma vez que este período oscila de acordo com o operador que assume a função. Estes 30 minutos adicionais podem ser aproveitados pelos colaboradores para executarem outras tarefas de suporte à produção. No modelo proposto, com um horário laboral de 360 minutos, o *idle time* das máquinas gargalo representa 83% deste período.

$$\text{Rácio Idle time} = \frac{\text{Tempo idle}}{\text{Tempo laboral}} \times 100 = \frac{60 + 30 + 210}{390} = 77\%$$

Tendo em conta a oportunidade existente para aumentar a produtividade do gargalo, definiu-se que o input dos *jobs* que passam nesta *station* tem de ser dimensionado para o período laboral, contudo, este intervalo implica a realização de todas as operações necessárias. No entanto, um dos grandes entraves à avaliação deste modelo deve-se à variabilidade de produtos inerentes a cada encomenda, assim como à reduzida previsão da procura. Esta dificuldade deve-se ao facto da ponderação da carga de trabalho diária a ser imputada às máquinas gargalo estar dependente da combinação de *jobs* que a constituem. Ainda nesta perspetiva, esta influência é acentuada devido à discrepância entre tempos de processamento das operações não-gargalo. A figura 37 ilustra esta variação assim como a representatividade de cada operação no tempo total de processamento para cada um dos *jobs*.

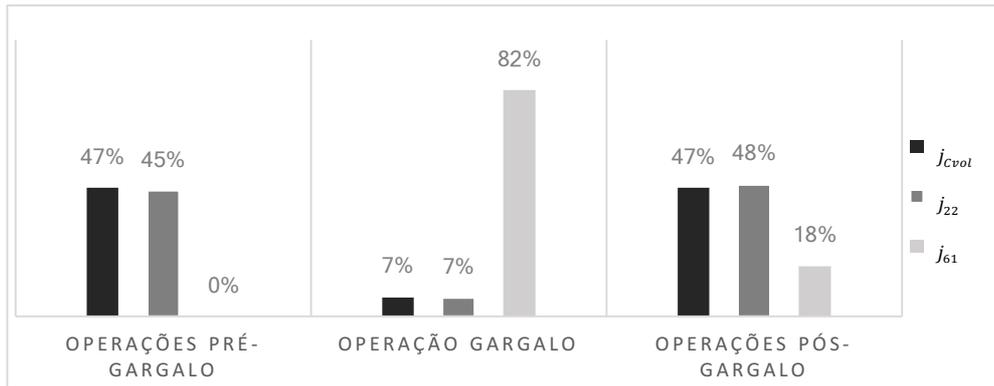


Figura 37. Variação entre representatividade das operações no tempo de processamento do job

Ao atentarmos o tempo necessário para executar este plano de produção, sem considerarmos as operações que se sobrepõem, consegue-se determinar o tempo de produção total através da equação 9.

$$\sum_i p_{O_{ij}(\text{montante})} + S_{O_{ij}} + p_{O_{i,j}(\text{gargalo})} \times \frac{B\{i\}}{m} + p_{O_{i,j}(\text{jusante})} \times B\{i\} \quad (9)$$

com, $i \in \{22, 61, Cvol\}$;

m , número de destiladores disponíveis;

Desta forma conclui-se que o tempo de processamento total destes jobs corresponde, na situação atual, a 179 minutos. Assim, se duplicarmos este padrão produtivo o sistema continua a ter capacidade para executar todas as operações associadas.

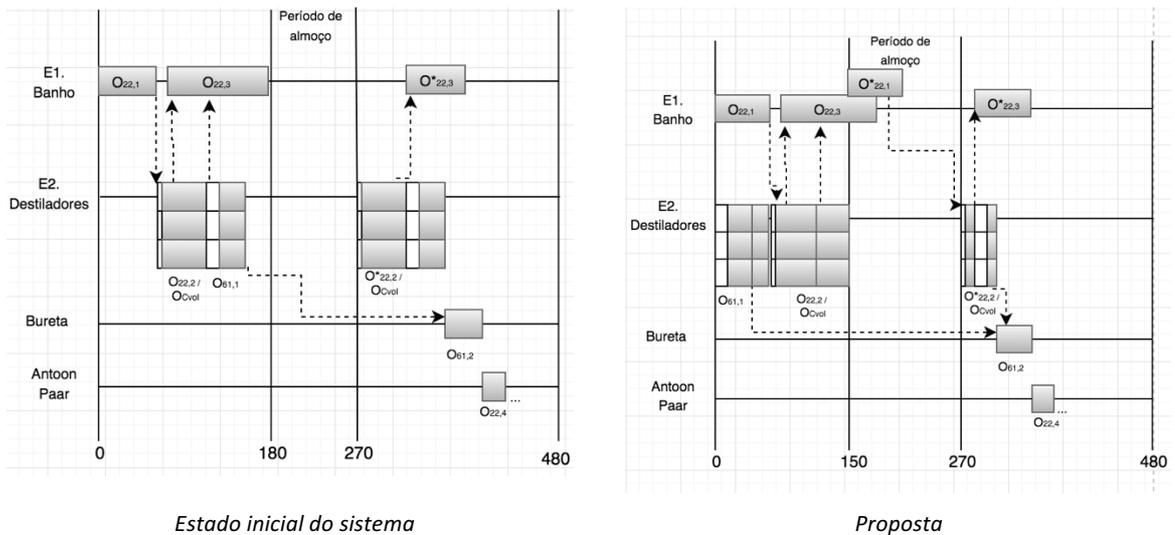


Figura 38. Comparação entre estado atual e heurística proposta

Para um mesmo volume de trabalho imputado ao sistema, quando se compara o escalonamento realizado através do modelo proposto com o que é feito regularmente pelo instituto, a solução obtida através da heurística vai apresentar um *makespan* inferior devido ao *overlapping* de operações.

Devido à dificuldade de previsão dos produtos solicitados em cada encomenda, estima-se de forma empírica o cenário correspondente ao *job* com maior tempo de processamento e com mais restrições internas associadas (j_{22}). Para este efeito considera-se que no período da manhã tenham de ser realizadas as operações a montante do gargalo, a operação gargalo e o respetivo setup (equação 10). Assim, dimensiona-se a seguinte produtividade no gargalo para o período da manhã:

$$\begin{aligned} \Delta T_{manh\tilde{a}} &= p_{o_{22,1}} + S_{o_{22,2}} + p_{o_{22,2}} \times B_1\{22\} \Leftrightarrow & (10) \\ \Leftrightarrow B_1\{22\} &= \frac{150-60-4}{9} = 9 \text{ destila\c{c}oes/m\{a}quina gargalo \end{aligned}$$

Partindo deste pressuposto, caso exista um novo lote para o período da tarde ($B_2\{22\}$), a sua dimensão tem de satisfazer a condição de que o seu processamento termina de forma a que se conclua todas as operações não-gargalo até ao fim do dia de trabalho. Contudo considera-se que o dimensionamento do lote deve ser feito de forma a respeitar o balanceamento das operações devido à existência de máquinas em paralelo e máquinas únicas. O cenário proposto diz respeito ao agendamento de todos os destiladores. Desta forma, o período da tarde implica o processamento da operação gargalo do novo lote criado, assim como as operações a jusante do gargalo (equação 11).

$$\begin{aligned} \Delta T_{tarde} &= S_{o_{22,2}} + p_{o_{22,2}} \times B_2\{22\} + p_{o_{22,3}} + p_{o_{22,4}} (M \times B_1\{22\} + M \times B_2\{22\}) \Leftrightarrow & (11) \\ \Leftrightarrow B_2\{22\} &= \frac{210-4-60-1 \times 3 \times 9}{12} = 9 \text{ destila\c{c}oes/m\{a}quina gargalo; \end{aligned}$$

Posto isto, conclui-se que para j_{22} , e com o máximo número de equipamentos gargalo agendados, podem ser executadas 18 destilações diárias por equipamento. Neste cenário produtivo, reduzir-se-ia o *idle time* destes equipamentos para 53%.

Posto isto, baseado em dados empíricos conclui-se que a metodologia desenvolvida permite aumentar o volume de trabalho no gargalo, garantindo a conclusão dos *jobs* gargalo no final do dia laboral. Desta forma, tendo por base a TOC, o aumento de capacidade no gargalo traduz-se num aumento global da capacidade produtiva do setor laboratorial. Em simultâneo, a sobreposição de tarefas permite uma minimização do *makespan* do sistema.

5. Conclusão

5.1. Considerações Finais

Com o aparecimento dos mercados globais, a indústria viu-se obrigada a reajustar-se às necessidades dos clientes, implicando uma estrutura ágil e eficiente, com o intuito de criar vantagem competitiva. Também o setor terciário tem assumido um papel de destaque crescente para o desenvolvimento da economia. Neste sentido, o IVDP, I.P. enquanto entidade certificadora tem o seu papel bem vincado no que concerte ao desenvolvimento da RDD e, implicitamente, para o desenvolvimento do país dado o contributo desta região para economia global. Desta forma, urge a necessidade de continuamente melhorar a resposta ao cliente potenciando tanto o retorno interno da organização como dos agentes económicos da RDD.

Este projeto teve como principal objetivo desenvolver uma heurística que permitisse facilitar a tomada de decisão no processo de planeamento e, em simultâneo, permitisse obter uma solução de escalonamento adequada às características do laboratório melhorando os tempos de resposta do setor.

O trabalho desenvolvido baseou-se nas características presentes à data de início do projeto, implicando uma pesquisa exaustiva sobre o estado atual do sistema, bem como as especificidades associadas a cada rota de processamento de forma a que a heurística desenvolvida colmatasse as necessidades da DSTC. A incorporação de variáveis até então desvalorizadas no processo de planeamento, tais como, tempos de setup e execução de duplicados para efeitos de quantificação da incerteza, tornam o modelo de planeamento mais aproximado da realidade, integrando fatores que em última instância poderiam provocar enviesamento entre o planeamento e a produção real. Posteriormente, o modelo estruturado foi desenvolvido através do *IDE Eclipse Neon.3*, resultando como output o escalonamento das operações a executar no setor.

Ainda que haja poucos indicadores para monitorização dos resultados proporcionados pela heurística desenvolvida, pode-se inferir que este algoritmo potenciou um aumento de produtividade uma vez que, através da reestruturação do escalonamento, foi adicionada capacidade na restrição gargalo identificada até à data do projeto. Sabe-se que, apenas com a melhoria do *throughput* da restrição é possível alcançar uma maior produção global do laboratório, assim espera-se um aumento do nível de serviço ao cliente. Paralelamente, foi possível uniformizar o processo de planeamento de produção uma vez que o controlo de entrada de encomendas passa a ser efetuado através do algoritmo, diminuindo a variabilidade intrínseca ao processo empírico anteriormente realizado. Posto isto, considera-se que o presente trabalho acrescenta valor à organização na medida em que é feita uma representação

aproximada do sistema em estudo. Ainda nesta perspectiva, este projeto conseguiu definir um modelo de escalonamento que até então não existia e que, dada a complexidade do ambiente produtivo, era totalmente oportuno para obter um correto planeamento e controlo da produção.

O facto do IVDP se tratar de uma organização única e sem concorrência de mercado foi um dos fatores que mais dificultaram a execução deste projeto. Por vezes, condicionados pelo contexto em que o instituto se insere e pelas limitações associadas às entidades públicas, nomeadamente em questão de verbas disponibilizadas pelo Estado, nem sempre é possível colmatar todas as necessidades, contrariamente ao que acontece na indústria, onde o espírito de competitividade e o respetivo desenvolvimento de estratégias são trabalhadas de forma exaustiva. Esta questão pode ser comprovada pela lacuna existente no desenvolvimento e aplicação de *KPI's* que permitam avaliar e monitorizar o sistema de forma contínua. A existência de rotinas de trabalho já interiorizadas no seio da DSTC provocam alguma resistência à mudança e, por vezes, podem condicionar o diagnóstico e a visão interna do departamento. Contudo, espera-se que após a análise deste projeto, seja despertada a vontade de aumentar a eficiência da organização e a promoção da melhoria contínua, ainda que a atividade económica da organização não esteja dependente do contexto concorrencial em que se insere.

Por fim, realça-se que a natureza dinâmica de um sistema implica um acompanhamento contínuo e, portanto, o desafio está na constante monitorização e identificação dos fatores que condicionam a sua performance. Assim, considera-se fundamental que a organização assuma um compromisso interno de forma a estimular todos os setores para continuamente melhorar e superar as metas estabelecidas.

5.2. Desenvolvimentos Futuros

O presente projeto foi desenvolvido tendo em conta uma perspectiva estática, contudo, propõe-se que no futuro este modelo possa ser expandido tendo em conta as características dinâmicas do sistema o que permitirá uma representação ainda mais próxima da realidade. A título exemplificativo, destaca-se a incorporação de um mecanismo de controlo contínuo para a entrada de encomendas para o *shopfloor*. Dada a importância atribuída à entrada de encomendas para o *shopfloor*, condicionada pelas características intrínsecas ao processo analítico e pela capacidade de resposta do laboratório, sugere-se a exploração de outras regras de WLC que promovam o controlo das entradas e, em simultâneo, potenciem o aumento do volume de trabalho do laboratório.

Devido ao ambiente produtivo em estudo, o operador assume um papel fundamental devido às multitarefas que desempenha. Neste sentido, propõe-se que no seguimento deste projeto seja

estudado o seu impacto no processo produtivo, de forma a avaliar a possibilidade de esta variável constituir uma restrição de capacidade do sistema.

Muitas das dificuldades que foram surgindo ao longo da execução deste projeto estavam relacionadas com o acesso e recolha de dados. Na era da informação pode-se afirmar que uma correta gestão da informação apresenta impactos significativos na atividade de uma organização. Assim, propõe-se uma nova abordagem no que concerne à gestão da informação que deve, em primeiro lugar, basear-se na sua atualização e eliminação de conteúdos obsoletos. O sistema de informação *GLab* é, neste momento, uma plataforma subaproveitada devido à sua estrutura pesada e pouco dinâmica, funcionando apenas como uma base de dados estática. Sugere-se o desenvolvimento de um novo sistema de informação integrado, estruturado segundo os requisitos essenciais para a DSTC, mas que consiga funcionar como interface entre o utilizador e o sistema, tornando-se *user-friendly* e, acima de tudo, que permita ao utilizador aceder e cruzar informação facilmente. No contexto atual das organizações é imperativo recolher e processar dados para que sejam transformados em informação válida e, em última instância, possa ser utilizada como fonte de conhecimento no contexto organizacional.

Aliado à gestão da informação propõe-se a desmaterialização de processos de forma a diminuir o tempo dispensado em atividades de suporte que não acrescentam valor. Esta proposta pode ser aplicada gradualmente através de pequenas mudanças na gestão do laboratório, tais como a implementação do conceito *Lean Lab* que, de uma forma generalizada e à semelhança do que acontece na indústria, permite a eliminação de desperdício e a melhoria da eficiência global do sistema. Neste âmbito, propõe-se que a organização possua um conhecimento detalhado das suas atividades e, para tal, uma das sugestões passa pela aplicação da metodologia de mapeamento da cadeia de valor (VSM). Uma das principais valências desta ferramenta é a conceção de um estado ideal para o futuro da organização que pode ser alcançado com a eliminação de atividades que não acrescentam valor à organização. Uma pequena mudança que comprova a oportunidade para tais alterações é a aquisição de um sensor para monitorização e registo da temperatura da operação “banhos”, atividade que atualmente é executada pelo operador através do registo bidírio em papel. Este equipamento exporta o registo da temperatura ao minuto e emite um alarme caso exista uma oscilação face à temperatura definida. Paralelamente, esta nova forma de registo, permitiria ao operador identificar facilmente quais as amostras afetadas em caso de avaria do equipamento. Desta forma, vê-se diminuída a probabilidade de erro humano e liberta-se o operador de uma tarefa que, apesar de suportar a produção, não acrescenta qualquer valor para a organização.

Por fim, a era da Indústria 4.0 pretende introduzir as tecnologias de informação de forma a utilizá-las em prol do aumento da eficiência das organizações, nomeadamente na coordenação dos sistemas de

produção. No âmbito deste tema, ainda que numa pequena escala, foi proposto a aplicação de um sistema de *tracking*, através de RFID, para a localização de amostras e rastreabilidade dos processos em produção, uma vez que uma das dificuldades atuais do setor está relacionada com a localização das garrafas de vinhos implicando que o operador localize as amostras dos processos em falta. Esta nova abordagem, permitiria aumentar o conhecimento que a DSTC tem do estado do sistema através de um controlo em tempo real dos processos em carteira, desde a sua entrada no PRA até que todo o processo fosse concluído. No entanto, sugere-se que esta tecnologia seja pensada em simultâneo com a reestruturação do sistema informático do laboratório de forma a incorporar todas as valências de um sistema RFID. Atualmente, os resultados analíticos são, na grande maioria dos casos, registados em papel e só depois introduzidos no *GLab* constituindo uma atividade intermédia que, num futuro próximo, poderia ser eliminada através da utilização de *tags* ativas de RFID permitindo a edição da informação e inserção dos resultados diretamente no sistema.

6. Bibliografia

- Allahverdi, A., Gupta, J. N. D., & Aldowaisan, T. (1999). A survey of scheduling research involving setup considerations. *OMEGA - International Journal of Management Science*, 27, 219–239.
- Anand, E., & Panneerselvam, R. (2015). Literature Review of Open Shop Scheduling Problems. *Intelligent Information Management*, 7, 33–52. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4236/iim.2015.71004>
- Barker, T., & Zabinsky, Z. (2011). A multicriteria decision making model for reverse logistics using analytical hierarchy process. *Omega*, 39(5), 558–573. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2010.12.002>
- Behnke, D., & Geiger, M. (2012). *Test Instances for the Flexible Job Shop Scheduling Problem with Work Centers*. *Opus.Unibw-Hamburg.De*. Obtido de <http://opus.unibw-hamburg.de/volltexte/2012/2982/>
- Błażewicz, J., Domschke, W., & Pesch, E. (1996). The job shop scheduling problem: Conventional and new solution techniques. *European Journal of Operational Research*, 93(1), 1–33. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00362-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00362-2)
- Brucker, P., Gladky, A., Hoogeveen, H., Kovalyov, M. Y., Potts, C. N., Tautenhahn, T., & van de Velde, S. L. (1998). Scheduling a batching machine. *Journal of Scheduling*, 1(1), 31–54. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1425\(199806\)1:1<31::AID-JOS4>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1425(199806)1:1<31::AID-JOS4>3.0.CO;2-R)
- Buzacott, J., & Shanthikumar, J. (1993). *Stochastic Models of Manufacturing Systems*. Prentice-Hall, Inc.
- Carvalho, D. (2004). TOC – Theory Of Constraints.
- Chen, C. (1997). *Scheduling in a flow line manufacturing cells system considering intercellular parts: the tabu search approach*. University of Texas.
- Ciarallo, F. W., Akella, R., & Morton, T. E. (1994). A Periodic Review , Production Planning Model with Uncertain Capacity and Uncertain Demand — Optimality of Extended Myopic Policies. *Management Science*, 40(3), 320–332. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.40.3.320>
- Coughlan, P., & Coughlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(2), 220–240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/01443570210417515>
- Coutinho, C., Sousa, A., Dias, A., Bessa, F., Ferreira, M. J., & Vieira, S. (2009). Investigação-ação: Metodologia preferencial nas práticas educativas. *Psicologia Educação e Cultura*, XIII(2), 455–479.
- Decreto-Lei no 278/2003 de 6 de Novembro, Pub. L. No. Diário da República: I série-A (2003). Obtido de www.ivv.min-agricultura.pt/np4/204?newsId=496&fileName=DL_278_2003.pdf
- Edis, E. B., Oguz, C., & Ozkarahan, I. (2013). Parallel machine scheduling with additional resources : Notation , classification , models and solution methods. *European Journal of Operational Research*, 230(3), 449–463. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.02.042>
- Fattahi, P., Jolai, F., & Arkat, J. (2009). Flexible job shop scheduling with overlapping in operations. *Applied Mathematical Modelling*, 33(7), 3076–3087. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2008.10.029>
- Fernandes, A. (sem data). 3. *A Investigação-ação como metodologia*.
- Fernandes, & Carmo-Silva, S. (2013). Workload Control and Order Release: The Influence of the Location of

- Protective Capacity. *Proceedings of the World Congress on Engineering, I*, 3–7. Obtido de http://www.iaeng.org/publication/WCE2013/WCE2013_pp465-469.pdf
- Gardiner, S. C. ., Blackstone Jr, J. H., & Gardiner, L. R. (1993). Drum-Buffer-Rope and Buffer Management: Impact on Production Management Study and Practices. *International Journal of Operations & Production Management*, 13(6), 68–78. Obtido de <http://dx.doi.org/10.1108/01443579310039047>
- Ghezail, F., Pierreval, H., & Hajri-gabouj, S. (2010). Computers & Industrial Engineering Analysis of robustness in proactive scheduling : A graphical approach. *Computers & Industrial Engineering*, 58(2), 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.03.004>
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (1989). *The Goal*. Gower Publishing Company Limited.
- Graham, R. L., Lawler, E. L., Lenstra, J. K., & Kan, A. H. G. R. (1979). Optimization and Approximation in Deterministic Sequencing and Scheduling: a Survey. *Annals of Discrete Mathematics*, 5(C), 287–326. [https://doi.org/10.1016/S0167-5060\(08\)70356-X](https://doi.org/10.1016/S0167-5060(08)70356-X)
- Graves, S. C. (1981). A Review of Production Scheduling. *Operations Research*, 29(4), 646–675. <https://doi.org/10.1287/opre.29.4.646>
- Gravett, S. (2002). Transformative Learning through Action Research : A Case Study from South Africa. Em *Adult Education Research Conference*.
- Gupta, M., Ko, H., & Min, H. (2002). TOC-based performance measures and five focusing steps in a job-shop manufacturing environment. *International Journal of Production Research*, 40(4), 907–930. <https://doi.org/10.1080/00207540110097185>
- Handfield, R., Walton, S., Sroufe, R., & Melnyk, S. (2002). Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 141, 70–87. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00261-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00261-2)
- Hart, E., Ross, P., & Corne, D. (2005). Evolutionary Scheduling : A Review, 191–220.
- Haskose, A., Kingsman, B. G., & Worthington, D. (2002). Modelling flow and jobbing shops as a queueing network for workload control. *International Journal of Production Economics*, 78(3), 271–285. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00117-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00117-7)
- Heyman, D. P., & Sobel, M. J. (2004). *Stochastic Models in Operations Research: Stochastic Optimization Volume II*. Mineola, New York: Dover Publications, Inc.
- Ho, N. B., Tay, J. C., & Lai, E. M. K. (2007). An effective architecture for learning and evolving flexible job-shop schedules. *European Journal of Operational Research*, 179(2), 316–333. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.04.007>
- Holthaus, O., & Rajendran, C. (1997). New dispatching Rules for Scheduling in a Job Shop - An Experimental Study. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 13, 148–153.
- IVDP, I. P. (2016). *Porto e Douro*. Porto.
- Jain, A., & Meeran, S. (1998). A state-of-the-art review of job-shop scheduling techniques, (1).
- Jensen, M. T. (2001). Improving robustness and flexibility of tardiness and total flow-time job shops using robustness measures. *Applied Soft Computing*, 1, 35–52.

- Jeong, H.-I., Park, J., & Leachman, R. C. (1999). A batch splitting method for a job shop scheduling problem in an MRP environment. *International Journal of Production Research*, 37(15), 3583–3598.
<https://doi.org/10.1080/002075499190194>
- Kacem, I., Hammadi, S., & Borne, P. (2002). Approach by localization and multiobjective evolutionary optimization for flexible job-shop scheduling problems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 32(1), 1–13.
<https://doi.org/10.1109/TSMCC.2002.1009117>
- Kovalyov, M. Y., Oulamara, A., & Soukhal, A. (2015). Two-agent scheduling with agent specific batches on an unbounded serial batching machine. *Journal of Scheduling*, 18(4), 423–434.
<https://doi.org/10.1007/s10951-014-0410-0>
- Kuhne, G. W., & Quigley, B. A. (1997). Understanding and Using Action Research in Practice Settings. *New Directions for Adult and Continuing Education*, (73), 23–40.
- Land, M. J., & Gaalman, G. J. C. (sem data). *Workload control concepts in job shops - A critical assessment*.
 Obtido de
http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=CitingArticles&qid=13&SID=Q1lGGdpNIHCgAkJaGj2&page=1&doc=18
- Land, M. J., & Gaalman, G. J. C. (2009). Production planning and control in SMEs: time for change. *Production Planning & Control*, 20(7), 548–558. <https://doi.org/10.1080/09537280903034230>
- Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Kan, A. H. G. R., & Shmoys, D. B. (1993). *Sequencing and Scheduling : Algorithms and Complexity* (Vol. 4, pp. 445–522). Elsevier Science Publishers.
- Lee, C.-Y., Uzsoy, R., & Martin-Vega, L. A. (1992). Efficient Algorithms for Scheduling Semiconductor Burn-In Operations. *Operations Research*, 40(4), 764–775. <https://doi.org/10.1287/opre.40.4.764>
- Li, S., Yuan, J., & Fan, B. (2011). Unbounded parallel-batch scheduling with family jobs and delivery coordination. *Information Processing Letters*, 111(12), 575–582.
<https://doi.org/10.1016/j.ipl.2011.03.014>
- Liu, S. Q., & Ong, H. L. (2004). Metaheuristics for the Mixed Shop Scheduling Problem. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 21(4), 97–115. <https://doi.org/10.1142/S0217595904000072>
- Lu, L., & Yuan, J. (2008). Unbounded parallel batch scheduling with job delivery to minimize makespan, 36, 477–480. <https://doi.org/10.1016/j.orl.2008.01.006>
- Mathirajan, M., & Sivakumar, A. I. (2006). A literature review, classification and simple meta-analysis on scheduling of batch processors in semiconductor. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(9–10), 990–1001. <https://doi.org/10.1007/s00170-005-2585-1>
- Mathur, A. (2015). Analytic Hierarchy Process : An Application in. *Skit Research Journal*, 5(1), 60–63.
- Moss, H. K. (2007). Improving Service Quality with the Theory of Constraints. *Journal of Academy of Business and Economics*, 7(3), 45–66. <https://doi.org/10.1108/09604520010341591>
- Oosterman, B., Land, M., & Gaalman, G. (2000). Influence of shop characteristics on workload control. *International Journal of Production Economics*, 68(1), 107–119. <https://doi.org/10.1016/S0925->

5273(99)00141-3

- Ozturk, O., Begen, M. A., & Zaric, G. S. (2016). A branch and bound algorithm for scheduling unit size jobs on parallel batching machines to minimize makespan. *International Journal of Production Research*, 7543(January), 1–17. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1253889>
- Partovi, F., Burton, J., & Banerjee, A. (1990). Application of Analytical Hierarchy Process in Operations Management. *International Journal of Operations & Production Management*, 10(3), 5–19. <https://doi.org/10.1108/01443579010134945>
- Pegels, C. C., & Watrous, C. (2005). Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(3), 302–311. <https://doi.org/10.1108/IJBM-07-2013-0069>
- Peixoto, F. (GEHVID-F. de L. da U. do P. (2006). O Vinho do Porto: do corporativismo à democracia: Singularidades do processo institucional do vinho do Porto. *Universum (Talca)*, 21(2), 168–183. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4067/S0718-23762006000200011>
- Potts, C. N., & Kovalyov, M. Y. (2000). Scheduling with batching: a review. *European Journal of Operational Research*, 120(2), 228–249. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00153-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00153-8)
- Rahman, S. (1998). Theory of constraints A review of the philosophy and its applications. *International Journal of Operations & Production Management*, 18(4), 336–355. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/01443579810199720>
- Saaty. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty. (1990a). *The Analytic Hierarchy Process - Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. RWS Publications.
- Saaty, T. (1990b). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- Saaty, T. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24(6), 19–43.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Sahraeian, R., Samaei, F., & Rastgar, I. (2012). Minimizing the makespan on parallel batch scheduling with stochastic times. Em *6th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management* (pp. 252–259). Vigo.
- Sharma, P., & Jain, A. (2016). A review on job shop scheduling with setup times. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 230(3), 517–533. <https://doi.org/10.1177/0954405414560617>
- Sousa, F. De. (sem data). *A COMPANHIA GERAL DA AGRICULTURA DAS VINHAS DO ALTO DOURO (1756-1978)*.
- Spencer, M. S.; Cox, J. F. (1995). Optimum production technology (OPT) and the theory of constraints (TOC): analysis and genealogy. *Journal of Production Research*, 33(6), 1495–1504.

- <https://doi.org/10.1080/00207549508930224>
- Stevenson. (2009). *Operations Management* (10.^a ed.). McGraw Hill.
- Stevenson, M., Hendry, L. C., & Kingsman, B. G. (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International Journal of Production Research*, 43(5), 869–898. <https://doi.org/10.1080/0020754042000298520>
- Taylor's. (sem data). História do Vinho do Porto - O Marquês de Pombal. Obtido 27 de Novembro de 2016, de www.taylor.pt/pt/o-que-e-o-vinho-do-porto/historia/o-marques-de-pombal/
- Thürer, M., Stevenson, M., Silva, C., Land, M. J., & Fredendall, L. D. (2012). Workload control and order release: A lean solution for make-to-order companies. *Production and Operations Management*, 21(5), 939–953. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2011.01307.x>
- Tu, Z., Sebla, N., & Vayvay, Ö. (2014). Theory of Constraints : A Literature Review, 150(231), 930–936. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.104>
- Uzsoy, R., & Wang, C.-S. (2000). Performance of decomposition procedures for job shop scheduling problems with bottleneck machines. *International Journal of Production Research*, 38(6), 1271–1286. <https://doi.org/10.1080/002075400188843>
- Vargas, L. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 2–8. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-H](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H)
- Vervenner, J.-B., Callaert, J., & Looy, B. Van. (2014). *Patent Statistics at Eurostat: Mapping the contribution of SMEs in EU patenting*. <https://doi.org/10.2785/55102>
- Watson, K. J., Blackstone, J. H., & Gardiner, S. C. (2007). The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. *Journal of Operations Management*, 25(2), 387–402. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.004>
- Wind, Y., & Saaty, T. (1980). Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*. <https://doi.org/10.1287/mnsc.26.7.641>
- Yan, Z., Hanyu, G., & Yugeng, X. (2007). Modified bottleneck-based heuristic for large-scale job-shop scheduling problems with a single bottleneck. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 18(3), 556–565. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S1004-4132\(07\)60129-7](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S1004-4132(07)60129-7)
- Ye, T., & Han, W. (2008). Determination of buffer sizes for drum – buffer – rope (DBR) -controlled production systems. *International Journal of Production Research*, 46, 2827–2844. <https://doi.org/10.1080/00207540600922948>
- Zhai, Y., Sun, S., Wang, J., & Guo, S. (2010). A heuristic algorithm for large-scale job shop scheduling based on operation decompositon using bottleneck machine. *2010 International Conference on Management and Service Science, MASS 2010*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICMSS.2010.5576038>
- Ziaee, M. (2014). An efficient heuristic algorithm for flexible job shop scheduling with maintenance constraints. *Applied Mathematics and Sciences: An International Journal (MathSJ)*, 1(1), 19–31. Obtido de <http://airccse.com/mathsj/papers/1114mathsj02.pdf>

Anexos

Anexo A: Lista de finalidades e descrição dos serviços da DSTC

<u>Finalidade</u>	<u>Descrição</u>
Registo	Registo de vinho para comercialização
Renovação de Registo	Renovação de um registo prévio
Registo AD	Registo de Aguardente
Renovação AD	Renovação de um registo prévio de Aguardente
Complemento de Registo	Parâmetros extra protocolo solicitados pelos clientes
Processo de Controlo	Controlo de qualidade
Assistência laboratorial	Pedido voluntário de laboratório
Assistência de prova	Pedido voluntário de prova
Assistência mista	Assistência de prova e laboratório
Assistência exportação	Testes laboratoriais para fins de exportação
Recurso	Pedido de reapreciação após reprovação na Câmara de Provedores
Parecer técnico	
FDO	Fiscalização
FDO – Início engarrafamento	Fiscalização início de engarrafamento
FDO- Completa	Fiscalização completa
Fiscalização AD	Fiscalização de aguardente
Exportação transcrição	
FDO-Exportação	
Certificados de existência	
FDO Pré	Fiscalização preliminar (menos específica do que FDO)
FDO SAQ	Fiscalização a vinhos em comercialização
ADO Modificado	Análise a modificações de vinho
Desnaturação AD	AD imprópria para consumo, mas utilizada para outros fins
Devoluções	Confirmação do estado do vinho antes de devoluções
Capacidade de venda	
Consulta pericial	Consulta sobre determinado vinho pedida pelo IVDP à Junta Consultiva
Verificação de características	Processo de verificação de conformidade das características
Atualização de características de registo	Atualização de um registo prévio após alterações dos parâmetros químicos e ou sensoriais
Ensaio	Finalidade generalizada para ensaios e testes
Prova de Classificação	
Cedência	Após venda o comprador efetua novo registo para comercialização
Varejo	Contagem do vinho em armazém
Apreciação prévia	
Auditoria	

Anexo B: Tabela de apoio à análise ABC referente às finalidades existentes na DSTC

Finalidade	Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Rel. ac.	Tipo
01 > Registo	2416	25,66%	25,66%	A
99 > Processo de Controlo	771	8,19%	33,85%	A
51 > Registo	746	7,92%	41,78%	A
09 > Complemento de Registo	687	7,30%	49,08%	A
32 > FDO Pre	596	6,33%	55,41%	A
10 > Assistencia Laboratorial	582	6,18%	61,59%	A
05 > Assistência Laboratorial	552	5,86%	67,45%	A
06 > Fisc. Den. Origem	479	5,09%	72,54%	A
10 > Ensaio	255	2,71%	75,25%	A
20 > Fiscaliz. Denominação Origem	241	2,56%	77,81%	A
52 > Renovação de Registo	240	2,55%	80,36%	B
44 > Assistência Exportação	205	2,18%	82,54%	B
03 > Complemento de Registo	188	2,00%	84,53%	B
22 > Protocolo	165	1,75%	86,29%	B
08 > Assistência Prova	164	1,74%	88,03%	B
02 > Renovação do Registo	135	1,43%	89,46%	B
38 > Parecer Técnico	106	1,13%	90,59%	B
08 > Registo de Aguardente	68	0,72%	91,31%	B
18 > Prova de Classificação	68	0,72%	92,03%	B
09 > Act.Características Registo	63	0,67%	92,70%	B
16 > Devoluções	58	0,62%	93,32%	B
36 > Fisc. Den. Origem -In. engarr.	53	0,56%	93,88%	B
14 > Fisc. Den. Origem - SAQ	46	0,49%	94,37%	B
04 > Fisc. Den. Origem - Completa	45	0,48%	94,85%	B
19 > Recurso	41	0,44%	95,28%	C
20 > Auditoria	35	0,37%	95,66%	C
18 > Prova de Classificação	33	0,35%	96,01%	C
13 > Ensaio	32	0,34%	96,35%	C
31 > Fisc.Den.Origem SAQ	32	0,34%	96,69%	C
21 > Fiscalização de Aguardente	31	0,33%	97,02%	C
39 > Auditoria	31	0,33%	97,34%	C
27 > Capacidade de Venda	30	0,32%	97,66%	C
17 > Cedência	26	0,28%	97,94%	C
60 > Investigação	26	0,28%	98,22%	C
12 > Recurso	22	0,23%	98,45%	C
16 > Varejo	18	0,19%	98,64%	C
29 > ADO-MODIFICADO	17	0,18%	98,82%	C
28 > Devoluções	15	0,16%	98,98%	C
30 > ASSISTENCIA-MODIFICADO	15	0,16%	99,14%	C
07 > Assistência Mista	14	0,15%	99,29%	C
11 > Assistência Mista	12	0,13%	99,42%	C
13 > Desnaturação de Aguardente	12	0,13%	99,54%	C
40 > Complemento Exportação	12	0,13%	99,67%	C
22 > Act. Características Registo	11	0,12%	99,79%	C
06 > Assistência de Prova	10	0,11%	99,89%	C
41 > Complemento Protocolo	4	0,04%	99,94%	C
14 > Apreciação Prévia Reg. - Prova	2	0,02%	99,96%	C
19 > Verificação de Características	2	0,02%	99,98%	C
33 > Certificados de Existência	2	0,02%	100,00%	C
Total	9414	100,00%		

Anexo C: Lista de produtos considerados no desenvolvimento do projeto: i) Lista geral e ii) Lista WS

i)

Código Produto	Descrição Produto
12	Massa Volúmica
22	TAV adq
51	pH
61	Acidez Volátil
91	Acidez Total
102	SO2 livre
105	SO2 livre
112	SO2 total
115	SO2 Total
121	Cinza
131	Alcalinidade da Cinza
232	Cloretos
341	Malvidol
561	Coordenada Cromática L
571	Coordenada Cromática a
581	Coordenada Cromática b
591	Percurso Óptico
742	TAB
751	Acidez Total-AD
901	Acidez Fixa-AD
931	Resíduo
1154	Açúcares Totais (G+F)
1174	Açúcares Totais (G+F+S)
1471	Massa Volúmica-AD
1371	Sobrepressão
1491	TAV Real

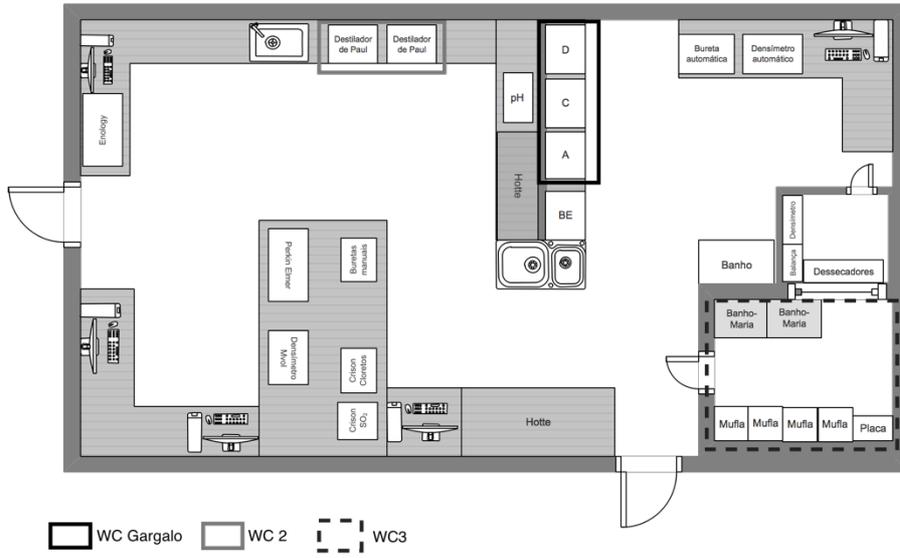
ii)

Código Produto (WS)	Descrição Produto
3 (13 WS)	Massa Volúmica
3 (23 WS)	Título Alcoométr. Vol.adq.
3 (43 WS)	Grau Baumé
3 (53 WS)	pH
3 (63 WS)	Acidez Volátil
3 (83 WS)	Acidez Fixa
3 (93 WS)	Acidez Total
3 (103 WS)	Dióxido de Enxofre Livre
3 (113 WS)	Dióxido de Enxofre Total
3 (123 WS)	Cinza
3 (133 WS)	Alcalinidade da Cinza
3 (153 WS)	Extracto Seco Total
3 (163 WS)	Açúcares Redutores
3 (213 WS)	Hidroximetilfurfural
3 (223 WS)	Sulfatos
3 (233 WS)	Cloretos
3 (243 WS)	Glicerol
3 (253 WS)	Índice de Folin
3 (273 WS)	Ácido Tartárico
3 (283 WS)	Ácido Málico Total
3 (353 WS)	Etanal
3 (363 WS)	Acetato de Etilo
3 (373 WS)	Metanol
3 (383 WS)	2-Butanol
3 (393 WS)	1-Propanol
3 (403 WS)	Isobutanol
3 (413 WS)	Álcool Alílico
3 (423 WS)	1-Butanol
3 (433 WS)	Álcoois Amilícos
3 (443 WS)	Álcoois Superiores Totais
3 (563 WS)	Coordenada Cromática L
3 (573 WS)	Coordenada Cromática a
3 (583 WS)	Coordenada Cromática b
3 (623 WS)	Ácido Cítrico
3 (633 WS)	Ácido Láctico
3 (693 WS)	Rel. 1-Propanol/Isobutanol
3 (703 WS)	Rel.Álc.Amilícos/Isobutanol
3 (1133 WS)	Glucose
3 (1143 WS)	Frutose
3 (1153 WS)	Açúcares Totais (Glu + Frut)
3 (1343 WS)	Ácido Acético
3 (1353 WS)	Ácido Succínico
3 (1363 WS)	Ácido Glucónico
3 (1443 WS)	Índ.Polif.Tot. DO280(10mm)

Anexo D: Tabela de apoio à análise ABC dos produtos

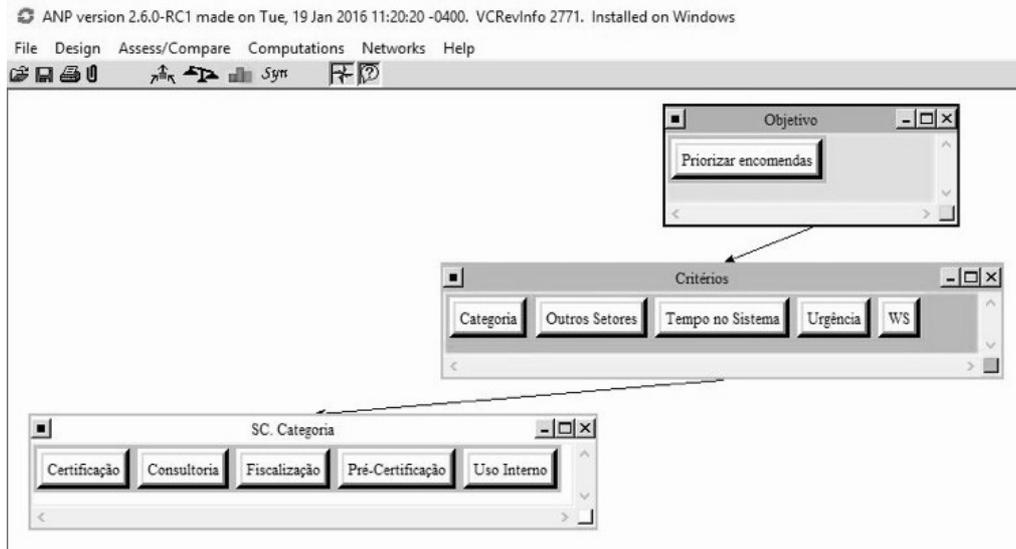
Cód.	Parâmetro	Descrição	Produção	% total	% produção acumulada	Tipo
115		Dióxido de Enxofre Total	4978	0,18113	18,1%	A
1154		Açúcares Totais (Glu + Frut)	3530	0,12844	31,0%	A
105		Dióxido de Enxofre Livre	3216	0,11702	42,7%	A
22		Título Alcoométr. Vol.adq.	2702	0,09832	52,5%	A
341		Malvidol (pesquisa)	1971	0,07172	59,7%	A
61		Acidez Volátil	1811	0,06590	66,3%	A
91		Acidez Total	1676	0,06098	72,4%	A
51		pH	1118	0,04068	76,4%	A
12		Massa Volúmica	1092	0,03973	80,4%	B
591		Percurso Óptico	941	0,03424	83,8%	B
571		Coordenada Cromática a	939	0,03417	87,2%	B
581		Coordenada Cromática b	939	0,03417	90,6%	B
561		Coordenada Cromática L	938	0,03413	94,1%	B
232		Cloretos	192	0,00699	94,8%	B
742		Título Alcoométr. Vol.Bruto	185	0,00673	95,4%	C
751		Acidez Total - AD	137	0,00498	95,9%	C
112		Dióxido de Enxofre Total	134	0,00488	96,4%	C
102		Dióxido de Enxofre Livre	124	0,00451	96,9%	C
1471		Massa Volúmica - AD	116	0,00422	97,3%	C
901		Acidez Fixa - AD	99	0,00360	97,7%	C
1491		Título Alcoométr. vol.Real	99	0,00360	98,0%	C
121		Cinza	94	0,00342	98,4%	C
931		Resíduo (Regº AD's)	83	0,00302	98,7%	C
131		Alcalinidade da Cinza	82	0,00298	99,0%	C
1174		Açúcares Totais (G+F+S)	76	0,00277	99,2%	C
1372		Sobrepresão a 20°C	72	0,00262	99,5%	C
251		Índice de Folin	32	0,00116	99,6%	C
1451		Turbidez	30	0,00109	99,7%	C
111		Dióxido de Enxofre Total	11	0,00040	99,8%	C
6021		Acidez Fixa	11	0,00040	99,8%	C
161		Açúcares Redutores	10	0,00036	99,8%	C
21		Título Alcoométr. Vol.adq.	8	0,00029	99,9%	C
1401		Densidade Óptica 420(10mm)	6	0,00022	99,9%	C
1411		Densidade Óptica 520(10mm)	6	0,00022	99,9%	C
6001		Acidez Total	6	0,00022	99,9%	C
6011		Álcool Residual	6	0,00022	100,0%	C
83		Acidez Fixa	5	0,00018	100,0%	C
1421		Densidade Óptica 620(10mm)	4	0,00015	100,0%	C
611		Ácido Ascórbico	2	0,00007	100,0%	C
162		Açúcares Redutores	1	0,00004	100,0%	C
911		Alcalóides da Quina	1	0,00004	100,0%	C
		Total	27483			

Anexo E: Layout setor FQ e WC's existentes



Anexo F: AHP aplicado à priorização de encomendas

F.i) Estrutura hierárquica da decisão de priorização de encomendas



F.ii) Comparação entre critérios

Comparisons for Super Decisions Main Window: Unnamed file 0

1. Choose 2. Node comparisons with respect to Priorizar encomendas 3. Results

Node Cluster: Choose Node: Priorizar enco~ Cluster: Objetivo

Choose Cluster: Critérios

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct

Comparisons wrt "Priorizar encomendas" node in "Critérios" cluster

Categoria is very strongly more important than WS

1.	Categoria	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Outros Setores
2.	Categoria	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Tempo no Sistem~
3.	Categoria	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Urgência
4.	Categoria	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	WS
5.	Outros Setores	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Tempo no Sistem~
6.	Outros Setores	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Urgência
7.	Outros Setores	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	WS
8.	Tempo no Sistem~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Urgência
9.	Tempo no Sistem~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	WS
10.	Urgência	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	WS

Inconsistency: 0.05346

Categoria	0.53315
Outros Se~	0.03637
Tempo no ~	0.17614
Urgência	0.18792
WS	0.06642

Completed Comparison

Copy to clipboard

F.iii) Comparação entre subcritérios "Categoria"

Comparisons for Super Decisions Main Window: Unnamed file 0

1. Choose 2. Node comparisons with respect to Categoria 3. Results

Node Cluster: Choose Node: Categoria Cluster: Critérios

Choose Cluster: SC. Categoria

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct

Comparisons wrt "Categoria" node in "SC. Categoria" cluster

Pré-Certificação is moderately more important than Uso Interno

1.	Certificação	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Consultoria
2.	Certificação	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Fiscalização
3.	Certificação	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Pré-Certificaçã~
4.	Certificação	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uso Interno
5.	Consultoria	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Fiscalização
6.	Consultoria	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Pré-Certificaçã~
7.	Consultoria	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uso Interno
8.	Fiscalização	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Pré-Certificaçã~
9.	Fiscalização	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uso Interno
10.	Pré-Certificaçã~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uso Interno

Inconsistency: 0.04765

Certifica~	0.45827
Consultor~	0.03862
Fiscaliza~	0.23566
Pré-Certi~	0.19184
Uso Inter~	0.07561

Completed Comparison

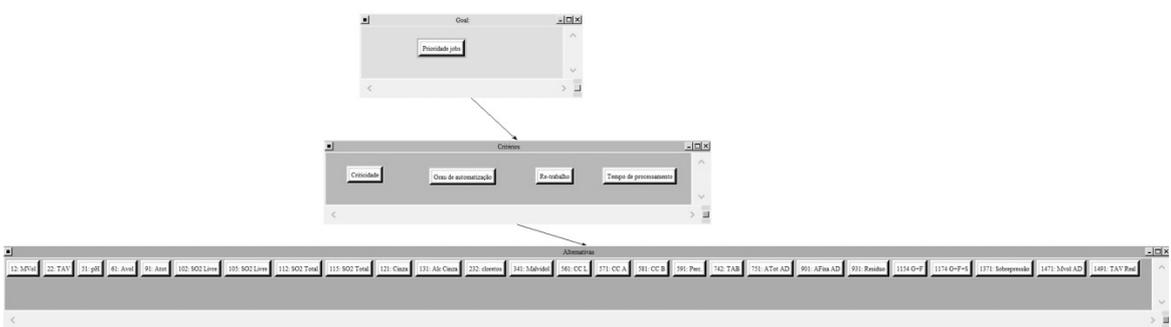
Copy to clipboard

Anexo G: Dados relativos aos equipamentos existentes

	A	B
1	Nome Maquina ▼	Quantidade ▼
2	WineScan	1
3	Densimetro Mvol	1
4	Banho	1
5	Destilador TAV_Avol	3
6	Dens. Anton Paar	1
7	pHMeter	1
8	Bureta automatica	1
9	Bureta Acidez Total	1
10	Destilador Paul	2
11	Crison SO	1
12	Banho Maria	2
13	Placa	1
14	Mufla	4
15	Dessecador	3
16	Balança	1
17	Bureta	1
18	Crison cloretos	1
19	Lampada UV	1
20	Perkin Elmer	1
21	Densimetro	1
22	Enology	1
23	Afrometro	1
24	Destilador BE	1
25	Hotte Malvidol	100
26		

Anexo H: AHP aplicado à priorização de jobs

H.i) Estrutura hierárquica da decisão de priorização de jobs



H.ii) Comparação entre critérios para priorização de jobs

Comparisons for Super Decisions Main Window: Jobs.sdmod

1. Choose 2. Node comparisons with respect to Prioridade jobs 3. Results

Node Cluster: Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct

Choose Node: Comparisons wrt "Prioridade jobs" node in "Critérios" cluster

Prioridade jobs: Criticidade is very strongly more important than Grau de automatização

Cluster: Goal

Choose Cluster

Critérios

Normal Hybrid

Inconsistency: 0.04381

Criticida~	0.56501
Grau de a~	0.05529
Re-trabal~	0.26220
Tempo de ~	0.11750

H.iii) Prioridade entre alternativas e critérios

Super Decisions Main Window: Jobs.sdmod: Prioriti...

Here are the priorities.

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	12: MVol	0.05002	0.025012
No Icon	22: TAV	0.07267	0.036334
No Icon	51: pH	0.01478	0.007392
No Icon	61: Avol	0.06298	0.031489
No Icon	91: Atot	0.03353	0.016765
No Icon	102: SO2 Livre	0.05569	0.027846
No Icon	105: SO2 Livre	0.08369	0.041843
No Icon	112: SO2 Total	0.06034	0.030171
No Icon	115: SO2 Total	0.08358	0.041789
No Icon	121: Cinza	0.02823	0.014117
No Icon	131: Alc Cinza	0.01129	0.005644
No Icon	232: cloretos	0.01677	0.008387
No Icon	341: Malvidol	0.02533	0.012667
No Icon	561: CC L	0.01583	0.007916
No Icon	571: CC A	0.01583	0.007916
No Icon	581: CC B	0.01583	0.007916
No Icon	591: Perc.	0.01580	0.007900
No Icon	742: TAB	0.05992	0.029959
No Icon	751: ATot AD	0.01855	0.009276
No Icon	901: AFixa AD	0.03243	0.016215
No Icon	931: Residuo	0.01930	0.009650
No Icon	1154 G+F	0.04416	0.022078
No Icon	1174 G+F+S	0.04416	0.022078
No Icon	1371: Sobrepressão	0.03205	0.016027
No Icon	1471: Mvol AD	0.01210	0.006049
No Icon	1491: TAV Real	0.07513	0.037567
No Icon	Criticidade	0.56501	0.282505
No Icon	Grau de automatização	0.05529	0.027643
No Icon	Re-trabalho	0.26220	0.131101
No Icon	Tempo de processamento	0.11750	0.058752

Anexo I: Exemplo de ficheiro de importação de encomendas

	A	B	C	D	E	F	G
1	Processo ▼	Urgência ▼	Finalidade ▼	Categoria ▼	TempoSistema ▼	IP ▼	Jobs ▼
2	2017/0989/01	S	Registo	Certificação		2	0 51,22,3,4,61,53,23
3	2017/0989/02	N	Assistencia	Consultoria		3	0 4,51,121,7,9,23,61
4	2017/0989/03	S	Registo	Certificação		2	0 51,22,3,4,23
5	2017/0989/04	N	Assistencia	Consultoria		3	0 4,51,7,361,9
6	2017/0989/05	S	Fiscalização	Fiscalizacao		4	0 53,561,351,23
7	2017/0989/06	S	Registo	Certificação		2	0 51,22,3,4,61,53,23
8	2017/0989/07	N	Assistencia	Consultoria		3	0 4,51,7,9,23,61
9	2017/0989/08	S	Fiscalização	Fiscalizacao		4	0 10,561,351,571,22
10	2017/0989/09	S	Registo	Certificação		2	0 51,22,3,4,23
11	2017/0989/10	N	Assistencia	Consultoria		3	0 4,51,7,361,9

Anexo J: Ficheiro de importação de dados relativos aos jobs

	A	B	C	D	E
1	Codigo	Nome	Numero Operacoes	funcionario	Fator Duplicação
2	3	WS	1	D	0,0
3	12	Massa Volúmica	1	B	0,2
4	22	TAV adq	4	A	0,0
5	51	pH	1	C	0,2
6	61	Acidez Volátil	2	A	0,2
7	91	Acidez Total	1	B	1,0
8	102	SO2 livre	1	E	0,0
9	105	SO2 livre	1	E	1,0
10	112	SO2 total	1	E	0,0
11	115	SO2 Total	1	E	1,0
12	121	Cinza	7	C	1,0
13	131	Alcalinidade da Cinza	1	C	1,0
14	232	Cloretos	1	E	0,2
15	341	Malvidol	3	C	0,0
16	561	Coordenada Cromatica L	1	E	0,0
17	571	Coordenada Cromatica a	1	E	0,0
18	581	Coordenada Cromatica b	1	E	0,0
19	591	Percurso Optico	1	E	0,0
20	742	TAB	1	A	0,0
21	751	Acidez Total-AD	1	C	1,0
22	901	Acidez Fixa-AD	3	C	1,0
23	931	Resíduo	2	C	1,0
24	1154	Açúcares Totais (G+F)	1	B	0,1
25	1174	Açúcares Totais (G+F+S)	1	B	0,1
26	1371	Sobrepresão	1	D	0,0
27	1471	Massa Volúmica-AD	1	A	0,0
28	1491	TAV Real	4	A	0,0

Anexo K: Ficheiro de importação de dados relativos às operações

Job	Indice Operaca	Maquina	TempoOperac	Setup	TempoOperado
3	1	WineScan	1	63	15
12	1	Densimetro Mvol	12	40	2
22	1	Banho	60	0	0
22	2	Destilador TAV_Avol	9	4	2
22	3	Banho	60	0	0
22	4	Dens. Anton Paar	2	0	1
51	1	pHMeter	1	0	1
61	1	Destilador TAV_Avol	9	14	2
61	2	Bureta automatica	2	0	2
91	1	Bureta Acidez Total	5	0	5
102	1	Destilador Paul	3	0	3
105	1	Crison SO	2	0	1
112	1	Destilador Paul	25	60	10
115	1	Crison SO	3	0	1
121	1	Banho Maria	40	0	2
121	2	Placa	15	0	1
121	3	Mufla	60	50	1
121	4	Banho Maria	30	0	1
121	5	Mufla	60	0	1
121	6	Dessecador	20	0	1
121	7	Balança	2	0	2
131	1	Bureta	3	0	3
232	1	Crison cloretos	7	0	3
341	1		2	0	2
341	2	Hotte Malvidol	60	0	0
341	3	Lampada UV	1	0	1
561	1	Perkin Elmer	2	15	1
571	1	Perkin Elmer	2	15	1
581	1	Perkin Elmer	2	15	1
591	1	Perkin Elmer	2	15	1
742	1	Densimetro	2	0	2
751	1	Bureta	4	0	4
901	1	Banho Maria	105	0	2
901	2		3	0	3
901	3	Bureta	2	0	2
931	1	Banho Maria	80	0	2
931	2		1	0	1
1154	1	Enology	3	20	1
1174	1	Enology	4	0	1
1371	1	Afrometro	5	0	5
1471	1	Densimetro	2	0	2
1491	1	Banho	60	0	0
1491	2	Destilador BE	11	4	2
1491	3	Banho	60	0	0
1491	4	Densimetro	2	0	2

Anexo L: Registos da produção de J_{Cvol}, J_{61}, J_{22}

Data do Registo	Cvol	TAV (J_{22})	Avol (J_{61})
31/mar	8	11	0
30/mar	5	10	8
29/mar	4	11	12
27/mar	5	12	11
24/mar	2	13	8
23/mar	6	12	9
22/mar	6	12	11
21/mar	6	11	7
20/mar	0	14	9
17/mar	4	12	7
16/mar	0	10	9
15/mar	3	11	14
14/mar	5	12	7
13/mar	2	19	15
10/mar	4	13	5
09/mar	3	11	7
08/mar	1	13	12
07/mar	10	13	9
06/mar	1	14	6
03/mar	6	11	9
02/mar	5	6	9
01/mar	10	2	8
24/fev	6	0	6
27/fev	9	14	6
23/fev	9	11	12
22/fev	2	10	6
21/fev	10	11	9
17/fev	3	13	22
16/fev	0	10	12
15/fev	0	12	10
14/fev	3	9	7
13/fev	10	13	9
10/fev	10	17	6
08/fev	3	8	7
07/fev	1	7	7
06/fev	0	4	8
03/fev	2	8	1
02/fev	0	6	8
01/fev	2	10	8
Média/dia	4	11	9