

Planeamento integrado da capacidade produtiva e do abastecimento no setor vitivinícola

Inês Andrade Trovisco

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Manuel Augusto de Pina Marques



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2021-06-28

Resumo

A indústria dos *Fast-moving consumer goods* (FMCG), nomeadamente o setor vitivinícola, é um mercado altamente sazonal onde se verifica a crescente importância da inovação, o aumento da diversidade de canais de distribuição, a proliferação dos nichos e onde o aumento da concorrência amplifica a necessidade de alargar o portfólio e reduzir os custos. Nestas condições, torna-se crucial que as empresas apresentem uma postura proativa e integrada no planeamento. Para além disso, o processo produtivo na indústria em estudo apresenta características únicas que enfatizam esta necessidade de integrar as decisões ao longo da cadeia de abastecimento e a clara definição do papel de cada interveniente.

O caso de estudo apresentado foi realizado em colaboração com uma empresa do setor vitivinícola no âmbito do planeamento da capacidade produtiva. Antes do projeto, o processo de planeamento na empresa era complexo, envolvendo decisões *ad hoc* por falta de ferramentas de apoio à decisão.

A abordagem proposta para resolver o problema apresenta três etapas principais. A primeira corresponde ao desenvolvimento de um modelo de otimização que permite tomar decisões relacionadas com as quantidades mensais a produzir de cada família de produtos, capacidade (turnos, mão de obra, subcontratação), quantidades em inventário, entre outras. Obtidas as quantidades a produzir, o segundo passo consiste na desagregação destas quantidades nos respetivos SKUs de modo a elevar o nível de detalhe dos resultados, importante para o processo de planeamento. Finalmente, foram desenvolvidas duas ferramentas de visualização a fim de permitir a rápida observação dos resultados e a monitorização dos processos.

Uma análise de sensibilidade foi realizada com o objetivo de perceber qual o impacto que as principais restrições do modelo têm nos resultados obtidos. Concluiu-se que o aumento da capacidade de 2º turno nas linhas de enchimento possibilita uma diminuição do incumprimento do plano de vendas face ao cenário base e ao cenário onde apenas a capacidade de mão de obra extra é maximizada. No entanto, a redução do incumprimento traduz-se no aumento dos custos, o que evidência o *trade-off* entre as duas componentes.

As ferramentas desenvolvidas já estão a ser atualmente utilizadas pela empresa. Estas permitem de forma automática, otimizada e integrada planear as operações nos diversos polos produtivos, incorporando um rigor que anteriormente não existia.

Como trabalho futuro destaca-se o desenvolvimento de uma ferramenta analítica de suporte às decisões relacionadas com o planeamento de produção de curto prazo, que apresente um detalhe semanal. Desta forma, ficará concluída a introdução de uma nova componente de planeamento mestre que permitirá a empresa integrar e otimizar decisões relacionadas com lotes, capacidades, manutenção e inventário.

Abstract

Integrated capacity and supply planning in the wine industry

The Fast-moving consumer goods (FMCG) industry, namely the wine sector, is a highly seasonal market where the importance of innovation, the diversity of distribution channels and the proliferation of niches is increasing. Furthermore, the high competition amplifies the need to expand the product portfolio and reduce costs.

Under these conditions, companies must present a proactive and integrated approach to the planning process. Moreover, the production process in the industry has unique characteristics that emphasize this need to integrate decisions along the supply chain and clearly define the role of each actor involved.

The case study described was undertaken in a company that competes in the wine industry within the scope of productive capacity planning. Before the project, the company's planning process was complex, involving *ad hoc* decisions due to the lack of decision support tools.

The proposed approach to solve the problem is divided into three main stages. The first corresponds to the development of an optimization model that allows taking decisions related to monthly quantities to be produced for each family of products, capacity (filling lines, labor, outsourcing) and stock. In order to provide results in greater detail, the second step concerns the disaggregation of these quantities into the respective SKUs. Finally, two visualization tools were created to enable the quick observation of the results and process monitoring.

A sensitivity analysis was performed to study the impact that the main constraints of the optimization model have on the results. It has shown that increasing the second shift capacity in the filling lines allows to obtain a lower number of lost sales comparing with the baseline scenario and the scenario where only the extra workforce capacity was maximized. However, this results in higher costs, which stresses the trade-off between costs and lost sales.

The company is already using the tools developed to plan operations in both production plants in an automatic, optimized and integrated way. As a result, it is possible to incorporate a precision that did not previously exist.

As future work, it can be highlighted the development of an analytical tool to support decisions related to the short-term production planning. Thereby, the introduction of a master planning component will be completed, allowing the company to integrate and optimize decisions concerning lots, capacity, maintenance and stocks.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Manuel Pina Marques por todo o esforço colocado na revisão do trabalho desenvolvido. Pela contínua disponibilidade, interesse e conhecimento transmitido ao longo do desenvolvimento da dissertação.

Um especial agradecimento ao Paulo por todo o apoio, dedicação e *feedback*. Por me fazer sair da minha zona de conforto e pela confiança transmitida nos momentos certos. Sem dúvida um verdadeiro líder com quem espero poder continuar a aprender e pôr à prova as minhas capacidades.

Ao Francisco e ao Álvaro que me acompanharam ao longo deste projeto, mostrando-se sempre disponíveis para ajudar. A vossa paciência e conselhos foram fundamentais para o alcance do resultado final.

A todos os LTPeers por proporcionarem um ambiente de trabalho único, desafiante e acolhedor. É um prazer poder fazer parte desta equipa de pessoas extraordinárias em que a mais simples conversa resulta sempre numa aprendizagem.

Aos meus pais por todos os valores que me transmitem diariamente e que sempre fizeram tudo o que podiam para me ver alcançar os meus objetivos, para me ver feliz. Espero poder deixar-vos sempre orgulhosos, como tão bem merecem. À Rita por estar presente 24/7 e ser sempre o meu maior suporte e exemplo de persistência e sucesso. Por tudo o que conquistámos juntas e todos os sonhos que ainda estão por vir.

Por último, não poderia deixar de agradecer a todos aqueles que me acompanharam ao longo dos últimos anos. Que sempre acreditaram mais em mim do que muitas vezes eu própria, e que me proporcionam momentos memoráveis que guardarei sempre com carinho.

Hoje sou quem sou graças a todos os que se cruzaram comigo, e só tenho a agradecer por isso. Muito obrigada.

Inês Trovisco

"Don't be in the business of playing it safe. Be in the business of creating possibilities for greatness."

Robert Iger

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Descrição da empresa	2
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Estrutura da dissertação	4
2	Revisão de literatura	5
2.1	Cadeia de abastecimento	5
2.2	Planeamento de capacidades	6
2.2.1	Análise qualitativa	6
2.2.2	Análise quantitativa	8
2.3	Indústria das bebidas	10
3	Descrição do Problema	14
3.1	Diagnóstico	14
3.2	Processo produtivo	15
3.3	Processo de planeamento	17
3.3.1	Marketing e Mercados	18
3.3.2	Enologia	18
3.3.3	Planeamento	18
3.3.4	Produção e Logística	20
3.4	Abordagem ao problema	20
4	Metodologia	22
4.1	Visão global do projeto	22
4.1.1	Primeira frente: Previsão da procura	23
4.1.2	Segunda frente: Planeamento de capacidades	24
4.1.3	Terceira frente: Planeamento da produção	25
4.2	Planeamento de capacidades	26
4.2.1	Modelo de otimização	26
4.2.2	Desagregação ao SKU	34
4.2.3	Visualização de resultados	36
5	Resultados	41
5.1	Análise de sensibilidade	41
5.2	Visualização	46
5.2.1	Ficheiro <i>output</i>	46
5.2.2	Ficheiro <i>output</i> da desagregação	47
5.2.3	<i>Dashboard</i>	47

5.3 Interface de utilizador	48
6 Conclusão	49
A Cronograma do projeto	54
B Inputs	55
C Primeira frente - Desagregação ao SKU	57
D Análise de sensibilidade	61
E Visualização	64

Abreviaturas e símbolos

ETO	Engineer-to-Order
FTE	Full-time-employees
FMCG	Fast-moving consumer goods
KPI	Key Performance Indicator
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
MPS	Matérias-primas secas
MTS	Make-to-Stock
MTO	Make-to-Order
OEE	Overall equipment effectiveness
SKU	Stock Keeping Unit
VNS	Variable neighborhood search
WACC	Weighted Average Cost of Capital

Lista de Figuras

1.1	Frentes que integram o macro projeto em desenvolvimento com a empresa	3
1.2	Cronograma da frente do projeto dedicada ao planeamento de capacidades	3
2.1	Rohde et al. (2000) - Matriz de planeamento da cadeia de abastecimento	7
3.1	Fluxo representativo do processo produtivo	15
3.2	Processo de planeamento atual da empresa, excluindo plano de <i>stocks</i> e preparação de vinhos	17
3.3	Visão futura do processo de planeamento, excluindo plano de <i>stocks</i> e preparação de vinhos	21
4.1	Visão global do projeto	22
5.1	Comparação das quantidades totais mensais de incumprimento do plano, produção, produção subcontratada, horas de abertura de 2º turno, mão-de-obra extra, inventário e movimentações para os cenários C1, C2, C3, C4 e C5	44
5.2	Ficheiro <i>Output</i> - Página inicial	46
5.3	Ficheiro <i>Output</i> - Visão integrada de quantidades, por produto (Cx9L)	47
5.4	<i>Dashboard</i> desenvolvido no âmbito do planeamento de capacidades	48
5.5	Plataforma dedicada ao projeto do planeamento integrado da procura e abastecimento	48
A.1	Cronograma do projeto completo, incluindo as três frentes a desenvolver	54
D.1	Comparação dos custos e quantidades mensais produzidas através de enchimento, acabamento, produção direta e pós-processamento para os cenários C1, C2, C3, C4 e C5	61
D.2	Comparação das quantidades totais mensais de incumprimento do plano, produção, produção subcontratada, horas de abertura de 2º turno, mão de obra extra, inventário e movimentações para os cenários C1, C6 e C7	62
D.3	Comparação dos custos e quantidades mensais produzidas através de enchimento, acabamento, produção direta e pós-processamento para os cenários C1, C6 e C7 .	63
E.1	Ficheiro <i>Output</i> - Quantidades para produção	64
E.2	Ficheiro <i>Output</i> - Tempos de produção	65
E.3	Ficheiro <i>Output</i> -Quantidades e espaço em <i>stock</i>	65
E.4	Ficheiro <i>Output</i> -Incumprimento do plano de vendas	66
E.5	Ficheiro <i>Output</i> -Ocupação das linhas de enchimento	66
E.6	Ficheiro <i>Output</i> -Utilização de mão de obra	67
E.7	Ficheiro <i>Output</i> -Plano de manutenção	67

E.8	Ficheiro <i>Output</i> -Ocupação de armazém	68
E.9	Ficheiro <i>Output</i> -Cadências médias das linhas	68
E.10	Ficheiro <i>Output</i> -Utilização de mão de obra por linha	69
E.11	Ficheiro <i>Output</i> -Movimentações entre centros	69
E.12	Ficheiro <i>Output</i> -Visão global dos custos	69
E.13	Ficheiro <i>Output</i> -Ajuste das quantidades sugeridas	70
E.14	Ficheiro <i>Output</i> -Simulação do impacto das alterações	70
E.15	<i>Dashboard</i> - Vista mão de obra	70
E.16	<i>Dashboard</i> - Vista linhas de enchimento	71
E.17	<i>Dashboard</i> - Vista quantidades	71
E.18	<i>Dashboard</i> - Vista <i>stocks e transportes</i>	71

Lista de Tabelas

2.1	Tabela de notações, Guimarães et al. (2012)	11
4.1	Tabela de Notações	27
4.2	Tópicos representados no ficheiro <i>Output</i>	37
4.3	Indicadores incorporados nas diferentes vistas do <i>dashboard</i>	40
5.1	Comparação dos resultados obtidos para os cenários C1, C2, C3, C4 e C5	42
5.2	Comparação dos resultados obtidos para os cenários C1, C6 e C7	45
B.1	<i>Inputs</i> do modelo de otimização	55
B.2	Tópicos e funcionalidades do ficheiro de <i>Inputs</i> desenvolvido	56

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Nos últimos anos as empresas têm testemunhado constantes alterações na indústria devido, sobretudo, aos avanços tecnológicos e alterações no comportamento do consumidor. De modo a sobreviverem e serem bem sucedidas neste ambiente dinâmico, agilidade e flexibilidade tornaram-se características chave para assegurar o crescimento e as vantagens competitivas. As empresas devem ser capazes de se adaptar, modernizar e inovar os seus processos e produtos, seguindo assim a evolução do mercado.

As organizações devem, por isso, planejar cuidadosamente as vendas, capacidade e produção, determinar o que produzir, quando e em que recurso produtivo. Assim, um planeamento bem estruturado é fundamental para assegurar a concretização dos objetivos, a satisfação da procura e a minimização dos custos.

Ao proporcionar uma visão clara de como deve ser utilizada a capacidade produtiva disponível para satisfazer a procura estimada, o planeamento tático de capacidades torna-se responsável pela gestão de inventário, horas de abertura das linhas de produção, mão de obra, subcontratação e aquisição de novos recursos (Chen et al., 2009). Aumentando a visibilidade dos recursos necessários e limitações existentes, é possível antecipar decisões que, caso contrário, apenas seriam equacionadas no curto prazo, o que, por sua vez, levaria a um potencial aumento dos custos ou comprometeria o nível de serviço.

As empresas industriais enfrentam vários desafios que enfatizam a necessidade de definir um processo de planeamento bem estruturado e integrado. Como exemplos destes desafios, destaca-se a variabilidade tanto a montante como a jusante da cadeia de abastecimento, a existência de linhas de produção com múltiplos e variados gargalos e ainda os diferentes requisitos e perfis de cada cliente. Para além disso, o número de *setups* necessários é determinado pela sequência de produção e cada produto a fabricar apresenta as suas próprias características. Todos estes aspetos dificultam a gestão e o planeamento, podendo comprometer o desempenho das empresas.

A indústria vitivinícola é um negócio altamente sazonal, onde picos de procura criam restrições no que diz respeito à capacidade e disponibilidade dos fornecedores. Adicionalmente, o ele-

vado número de *stakeholders* envolvidos e a flexibilidade dos processos produtivos amplificam a complexidade do problema. Esta flexibilidade encontra-se relacionada com a possibilidade de alocação de um produto a múltiplas linhas de enchimento e com a produtividade variável em função dos recursos utilizados. Em conclusão, o processo de planeamento, nomeadamente o planeamento de capacidades, torna-se crucial para minimizar riscos, otimizar a utilização dos recursos e deste modo permitir que as empresas atinjam os seus objetivos de forma eficiente e eficaz.

1.2 Descrição da empresa

O projeto apresentado nesta dissertação foi desenvolvido numa empresa de referência do setor vitivinícola, no âmbito de projetos de consultoria. Com um vasto portfolio de produtos, incluindo vinhos de mesa, Porto e Xerês, bem como aguardentes, licores e whiskies, a empresa produz e distribui os seus produtos a nível nacional e internacional, sendo os seus maiores mercados Portugal, Espanha, Reino Unido e os Estados Unidos da América. Guiada pelos seus três eixos estratégicos: (1) crescimento sustentável, (2) focalização e (3) eficiência, a empresa tem conseguido crescer, inovar e melhorar os seus processos de modo a produzir produtos de elevada qualidade e criando um grande impacto na indústria.

Atualmente a empresa tem dois centros produtores em Portugal. Em cada um dos centros apenas certas operações podem ser executadas de acordo com os recursos disponíveis, nomeadamente mão de obra, equipamentos e espaço de armazenagem. O processo de planeamento atual é complexo, envolvendo decisões *ad hoc*, uma vez que a empresa não tem implementado nenhum modelo estruturado de planeamento de produção.

Em função do anteriormente referido, o caso de estudo apresentado neste relatório tem como objetivo explorar e compreender as restrições de capacidade, desenvolvendo para tal um plano tático de capacidades que permita aumentar a eficiência, reduzir os riscos e os custos da empresa.

1.3 Objetivos do projeto

O caso de estudo desenvolvido na presente dissertação corresponde à segunda frente de um macro projeto relacionado com os processos de planeamento da cadeia de abastecimento e cujo objetivo consiste na elevação das operações da empresa para um nível de excelência em termos de orientação ao cliente, eficiência e capacidade de entrega. A Figura 1.1 identifica as fases que compõem o projeto, encontrando-se destacada a frente dedicada ao planeamento de capacidades.

Embora o foco do relatório seja no desenvolvimento do plano de capacidades, as restantes frentes do projeto dedicadas ao planeamento das vendas e à produção de curto prazo serão também abordadas. Deste modo, pretende-se demonstrar a importância da realização de um planeamento integrado onde métodos analíticos assumem um papel fundamental no apoio à decisão. A Figura 1.2 descreve as diferentes etapas que integram a frente desenvolvida no âmbito da dissertação. O cronograma completo do projeto pode ser consultado na Figura A.1 do Anexo A.

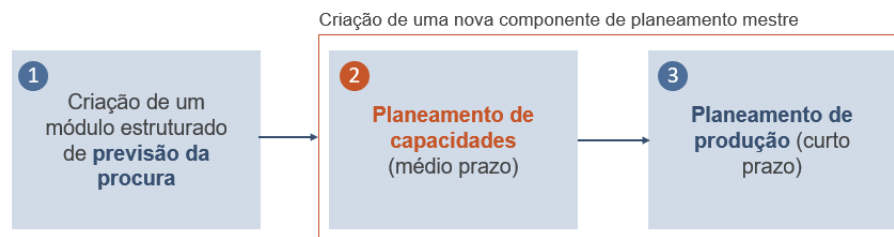


Figura 1.1: Frentes que integram o macro projeto em desenvolvimento com a empresa

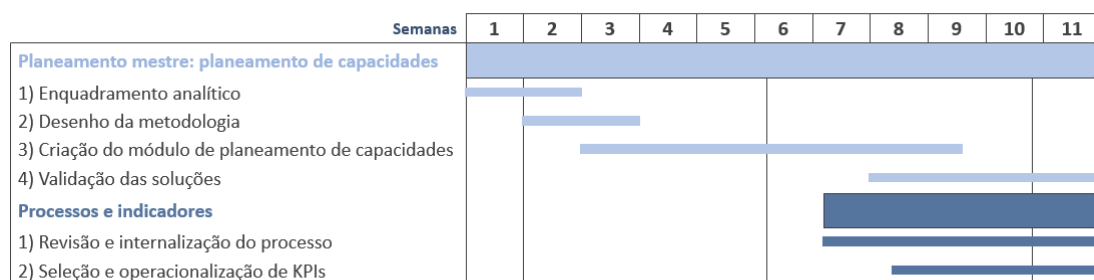


Figura 1.2: Cronograma da frente do projeto dedicada ao planeamento de capacidades

Através do desenvolvimento de um modelo de otimização, o caso de estudo pretende atingir a simplificação dos processos de planeamento da empresa, contribuindo para a melhoria e otimização das decisões táticas relacionadas com lotes, capacidade, manutenção e *stocks*. Assim, a segunda frente do projeto surge da necessidade de planear, no médio prazo, a capacidade requerida na produção de cada família de produtos, de uma forma estruturada e eficiente. Com o propósito de garantir que uma cultura de monitorização é implementada na empresa, foi também desenvolvido um *dashboard* que incorpora importantes indicadores relacionados com a implementação do plano.

A elaboração do planeamento de capacidades divide-se em seis etapas principais. Antes do início desta dissertação, as primeiras três etapas já se encontravam em execução. Primeiramente foi desenvolvida uma estrutura analítica, seguida do desenho da metodologia a seguir. O terceiro passo consistiu no desenvolvimento do modelo analítico de planeamento de capacidades. Partindo do plano de vendas, matéria-prima disponível e outros *inputs* que permitem incorporar a sensibilidade dos agentes de decisão, o modelo de otimização determina, para cada período, quais as quantidades a produzir de cada família de produto em cada linha de enchimento num horizonte temporal de doze meses. O modelo indica ainda a necessidade de abertura de turnos adicionais, contratação de mão de obra extra e recurso a subcontratação. São ainda sugeridos os momentos ideais para efetuar ações de manutenção e determinadas as movimentações necessárias entre centros fabris.

As últimas três etapas do projeto foram conduzidas em simultâneo e contaram com um grande

envolvimento dos membros da empresa. A quarta e quinta etapa dizem respeito à validação das soluções, revisão e internalização do processo. Estas fases são cruciais para a identificação e implementação das melhorias necessárias para que o modelo aborde o problema da forma mais realística possível. Por fim, seguiu-se a escolha de um conjunto de indicadores e a construção de um *dashboard* a fim de encorajar a empresa a monitorizar os seus processos. Os indicadores seleccionados estão relacionados com a capacidade utilizada no que toca a linhas de enchimento, mão de obra, quantidades produzidas, *stocks* e transportes entre centros.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em seis capítulos. De forma a proporcionar uma contextualização aprofundada do problema, é apresentada no Capítulo 2 a revisão da literatura relacionada com os temas relevantes para este trabalho: cadeia de abastecimento, planeamento de capacidades, incluindo uma análise qualitativa e outra quantitativa, e ainda a indústria das bebidas, com destaque para o setor vitivinícola. O Capítulo 3 é dedicado à descrição detalhada do caso de estudo, seguindo-se o Capítulo 4, em que é apresentada a metodologia a implementar para resolver o desafio. No Capítulo 5 é feita a análise e a discussão dos resultados. Uma vez que os resultados obtidos pelo modelo não são comparáveis com os dados reais, dado o diferente grau de rigor incorporado, é apresentada uma análise de sensibilidade que permite comparar diversos cenários e perceber qual o impacto das principais limitações na definição do plano de capacidades. O último capítulo contém as conclusões retiradas da realização do projeto, as melhorias expectáveis da introdução deste processo de planeamento na empresa e a delineação dos passos seguintes a realizar.

Capítulo 2

Revisão de literatura

O presente capítulo apresenta a revisão da literatura relativa às áreas relevantes para o desenvolvimento da dissertação. Primeiramente, é feita uma análise global da cadeia de abastecimento e do processo de planeamento, com principal destaque nos diferentes níveis hierárquicos de planeamento dentro de uma organização.

O estado de arte relativo ao planeamento de capacidades é posteriormente elaborado, sendo exploradas as fontes de incerteza, essenciais à compreensão da importância deste planeamento nos dias de hoje. São também exploradas diferentes formulações para este problema, com especial foco no planeamento de capacidades de médio prazo.

Por fim, tendo o projeto sido desenvolvido numa empresa da indústria das bebidas, nomeadamente do setor vitivinícola, serão exploradas as características e desafios que as empresas deste setor enfrentam e que enfatizam a necessidade de planear os processos produtivos de forma eficaz e eficiente.

2.1 Cadeia de abastecimento

A cadeia de abastecimento de uma empresa é uma rede de organizações envolvidas em diversas atividades e processos com o objetivo de criar valor para o consumidor através da produção de um produto ou fornecimento de um serviço (Christopher, 1998). Os intervenientes desempenham diversas funções, desde o fornecimento de matéria-prima, à distribuição dos produtos até ao consumidor, em prol de um objetivo comum: atingir um elevado nível de satisfação do cliente, minimizando os custos (Maravelias and Sung, 2009). Assim, a cadeia de abastecimento deve ser desenhada e planeada de forma a permitir aumentar a competitividade e responder às necessidades dos consumidores (Stadtler, 2005).

O planeamento é uma tarefa que suporta a tomada de decisão através da identificação de diferentes alternativas e seleção das melhores linhas de ação a implementar no futuro (Fleischmann et al., 2008). O planeamento da cadeia de abastecimento consiste na coordenação e integração das várias atividades ao longo da cadeia (Gupta and Maranas, 2003). Nos últimos anos, o planeamento

da cadeia de abastecimento tem ganho destaque devido à globalização dos mercados que, consequentemente, resulta no aumento do número de concorrentes (Thomas and Griffin, 1996). Este aumento obriga as empresas a desenvolverem as suas vantagens competitivas de forma a manterem elevados níveis de apoio ao cliente, aumentando o portfólio e reduzindo os custos (MirHassani et al., 2000).

Anthony (1965) classificou as decisões organizacionais em três níveis diferentes, de acordo com o horizonte temporal e o perfil da decisão:

- Planeamento de longo prazo ou estratégico: estão implícitas decisões que têm efeitos a longo prazo e estão relacionadas com a estrutura e desenvolvimento da cadeia de abastecimento (e.g. localização das instalações). Deve permitir criar as condições para o crescimento da empresa;
- Planeamento de médio prazo ou tático: É considerado um horizonte temporal entre 6 a 24 meses, permitindo incorporar efeitos de sazonalidade na tomada de decisão. São consideradas as decisões que possibilitam a definição das operações regulares da empresa (e.g. manutenção dos níveis de inventário e limitações de recursos);
- Planeamento de curto prazo ou operacional: As atividades são especificadas de forma detalhada e precisa. O planeamento de curto prazo é realizado diariamente ou semanalmente (e.g. sequência de tarefas a realizar em cada unidade).

Desta forma, numa organização, as três categorias de decisão apresentadas permitem formar um processo de planeamento e controlo hierárquico.

Combinando o horizonte de planeamento com as diversas funções ao longo da cadeia de abastecimento, as tarefas de planeamento podem ser classificadas de acordo com a matriz de planeamento da cadeia de abastecimento (Rohde et al., 2000). A matriz representada na Figura 2.1, conceitualiza o planeamento integrado e multifuncional de longo, médio e curto prazo no que diz respeito à aquisição de matérias-primas, produção, distribuição e vendas (Willms and Brandenburg, 2019).

Os vários níveis da cadeia de abastecimento encontram-se interconectados. De forma a atingir soluções ótimas para a cadeia como um todo, devem ser consideradas as interdependências entre as várias funções de planeamento. As decisões devem ser realizadas em simultâneo, de forma a garantir a integração das questões de planeamento (Maravelias and Sung, 2009).

2.2 Planeamento de capacidades

2.2.1 Análise qualitativa

Em termos de capacidade, todas as operações apresentam os seus limites. É por isso essencial que as organizações atinjam os seus objetivos controlando e planeando a capacidade dos diferentes processos (Slack et al., 2014).

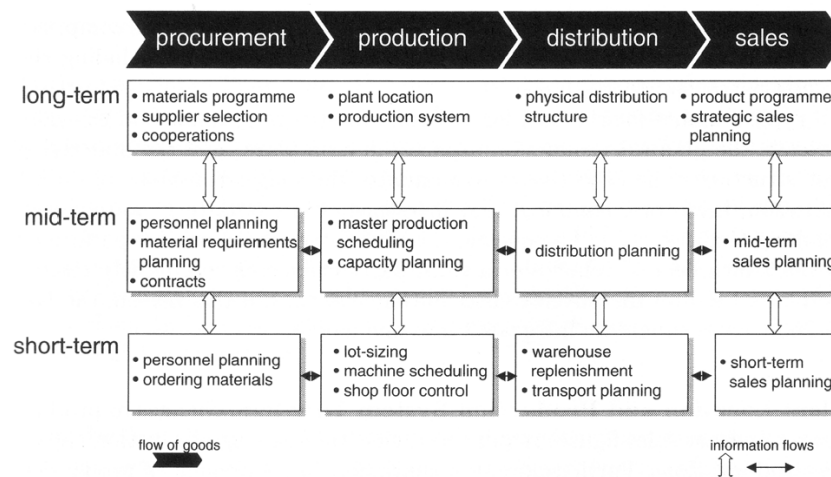


Figura 2.1: Rohde et al. (2000) - Matriz de planeamento da cadeia de abastecimento

No que diz respeito a questões de carácter tático, procura-se que os recursos da empresa sejam usados de forma ótima. Na matriz de planeamento, Rohde et al. (2000) salientam o planeamento mestre da produção e o planeamento de capacidades no que concerne a produção de médio prazo. A este nível, pretende-se definir, de forma eficiente, como deve ser utilizada a capacidade da empresa para produzir os diferentes produtos, fazendo um balanceamento entre o custo de capacidade e o custo de inventário.

Por vezes, é comum as organizações aceitarem projetos sem avaliarem corretamente o impacto que estes terão na capacidade dos recursos, o que resulta na sobrecarga dos mesmos e afeta o desempenho e lucratividade do sistema de produção (Hans et al., 2007). Esta situação enfatiza a necessidade de resolver o problema da alocação de recursos.

O planeamento de capacidades consiste na determinação dos recursos que a empresa necessita garantir para satisfazer a procura num dado horizonte temporal (Chen et al., 2009; Aarabi and Hasanian, 2014). Ao nível estratégico, pretende-se determinar as instalações a abrir, a integração de novos fornecedores e o lançamento de novos produtos (Chen et al., 2009). No médio prazo, os recursos necessários são determinados mensalmente ou trimestralmente, considerando um horizonte de planeamento normalmente de um ano. Os requisitos de capacidade de uma empresa variam de período para período. Assim, tendo por base a previsão de vendas, são gerados planos de capacidade produtiva atendendo à (1) mão de obra disponível (*layoff*, contratações, férias, horas extra e trabalhadores em tempo parcial), (2) políticas de inventário, (3) modificações nas instalações, (4) subcontratação e (5) contratos com os fornecedores de materiais (Chen et al., 2009). Por último, no curto prazo, pretende-se garantir um balanceamento adequado entre os recursos disponíveis e os recursos verdadeiramente necessários para um plano de produção semanal. (Chen et al., 2009)

Chen et al. (2009) apresentam duas abordagens convencionais para o planeamento agregado de médio prazo em empresas que produzem segundo a estratégia *Make-to-Stock* (MTS): (1) correspondência à procura, onde a capacidade produtiva varia em cada período para satisfazer a procura prevista através de contratação de mão de obra extra ou *lay-off* dos trabalhadores; e (2) nível de

capacidade, a capacidade de produção é mantida constante ao longo do horizonte temporal. Neste caso, a diferença entre a capacidade produtiva constante e a procura variável é refletida em inventário, horas extra, trabalhadores temporários ou em tempo parcial, ou ainda em subcontratação.

Já quando a empresa segue uma estratégia *Make-to-Order* (MTO), normalmente é adotada uma abordagem híbrida (Chen et al., 2009). Por um lado, nestas empresas é necessário garantir um certo nível de capacidade que permita assegurar as vantagens competitivas, ao mesmo tempo que as características das encomendas não permitem manter elevados níveis de inventário. A prática comum passa por garantir um nível de capacidade produtiva mínimo, sendo os ajustes de capacidade, necessários para combater a flutuação da procura, conseguidos através de subcontratação e horas extra.

Qualquer cadeia de abastecimento fica comprometida na presença de incerteza. Em mercados altamente competitivos, a procura no médio/curto prazo varia frequentemente e é uma das causas mais relevantes de incerteza (Gupta et al., 2000). A variação da procura pode ser classificada em três tipos: (1) tendencial, (2) sazonal e (3) estocástica (bi xi et al., 2012). A não incorporação da flutuação da procura no médio prazo em modelos determinísticos de planeamento pode resultar em duas situações distintas, ambas prejudiciais para a organização: (1) excesso de produção, que resulta no aumento dos custos de produção e inventário, e (2) produção e *stock* insuficientes para satisfazer a procura total, levando por sua vez à perda da lealdade do cliente e quota de mercado (Gupta et al., 2000).

2.2.2 Análise quantitativa

Na literatura é possível encontrar diferentes abordagens para o problema do planeamento de capacidades no curto, médio e longo prazo. Como resposta a este problema, foram desenvolvidos modelos de otimização, simulação ou até mesmo abordagens mistas (Peidro et al., 2008). Alguns dos modelos incorporam fatores de incerteza, nomeadamente flutuações da procura, outros apresentam um carácter determinístico.

McDonald and Karimi (1997) apresentaram um modelo de planeamento determinístico, cujo objetivo passa pela determinação da alocação ótima dos recursos de uma empresa. Sendo estes recursos limitados, é necessário satisfazer a procura da forma mais económica possível. No modelo, é considerado um horizonte temporal entre 1 a 2 anos sendo a rede da cadeia de abastecimento constituída por múltiplos centros produtores responsáveis pela produção de vários produtos. Estes produtos, são agrupados em famílias que disputam a capacidade limitada dos polos produtores para satisfazer a procura agregada. A função objetivo do modelo de programação linear inteira mista de McDonald and Karimi (1997) consiste na minimização dos custos, nomeadamente custos fixos e variáveis de produção, aquisição de matérias-primas, transporte, inventário, penalização pela violação da restrição de *stock* de segurança e ainda pelo incumprimento do plano de vendas. Esta abordagem determinística é considerada otimista, uma vez que as cadeias de abastecimento são altamente dinâmicas e caracterizadas por vários fatores de incerteza, nomeadamente a flutuação da procura, variação dos preços, variação das taxas de produção e a relação entre os diferentes produtos/componentes, expressa nas listas técnicas (Gupta and Maranas, 2003).

Lucas et al. (2001) abordaram o problema do planeamento de capacidades da cadeia de abastecimento através de programação estocástica com recurso a diferentes cenários a fim de abordar a incerteza da procura. A formulação apresentada resulta num complexo problema de programação inteira mista. De modo a obter uma solução admissível, os autores aplicaram a relaxação Lagrangeana, obtendo assim uma solução aproximada para o problema inicial.

Gupta and Maranas (2003) desenvolveram uma extensão do modelo proposto por McDonald and Karimi (1997) de forma a incorporar a incerteza. Para tal, a procura foi modelada por uma distribuição normal. Considerando um planeamento tático, incluindo vários centros de produção, produtos e períodos, o problema de otimização tem como finalidade determinar as políticas de abastecimento e perfis de inventário ótimos dados os níveis de produção e procura para os vários produtos. Para tal, as decisões foram classificadas como decisões de produção, antes de introduzir a incerteza da procura, e logísticas, após a consideração da incerteza.

Alp and Tan (2008) consideram um ambiente de produção MTS, onde a capacidade é flexível e sujeita a revisão periódica. No que à procura diz respeito, esta é estocástica e não estacionária. Considerando o planeamento de capacidades a nível tático, é apresentado um modelo de programação dinâmica com um horizonte finito. Os resultados computacionais permitiram concluir que o nível ótimo de capacidade permanente não aumenta com o aumento da variabilidade da procura, como seria esperado. De facto, estes apresentam comportamentos distintos para diferentes parâmetros definidos.

Para abordar o planeamento de capacidades estratégico onde é incorporada a incerteza da procura, Bihlmaier et al. (2008) propuseram uma formulação matemática, constituída por duas fases. Dada a necessidade de antecipar possíveis consequências noutros níveis hierárquicos no processo de planeamento, os autores incluíram na sua formulação aspetos táticos. Assim, são apresentados dois modelos. O primeiro consiste num modelo de otimização determinístico, posteriormente desenvolvido de modo a incluir o planeamento tático de mão de obra. Com o objetivo de estender a abordagem para um modelo estocástico, assume-se que a procura é incerta e segue uma distribuição de probabilidade conhecida. Aplicado a casos reais, a resolução do problema através da programação inteira mista não é computacionalmente viável. De modo a obter uma solução, é por fim aplicada a decomposição de Benders.

Chen et al. (2009) definiram um modelo de programação inteira mista para responder ao problema do planeamento de capacidades no curto prazo num ambiente operacional MTO. De forma a permitir o ajuste de capacidade é considerada a utilização de tempo de produção regular, horas extra e subcontratação, sendo que a função objetivo diz respeito à maximização do lucro líquido. Com este modelo, Chen et al. (2009) pretende responder a três questões: (1) há capacidade de produção para aceitar a encomenda? (2) é possível completar a encomenda no prazo definido? (3) qual o lucro gerado pela encomenda? Para tal, é escolhida a melhor combinação de pedidos a satisfazer, cumprindo as datas de entrega e tendo em conta a capacidade disponível.

Esmailikia et al. (2016) focam-se no planeamento de capacidades tático através da resolução de um modelo de programação não-linear inteira mista que lida com várias opções de flexibilidade. Dada a complexidade do problema, é introduzida uma abordagem ajustada ao método de entropia

cruzada, um método de otimização baseado em simulação, para resolver o modelo em questão. Aplicado a um caso de estudo real, a abordagem demonstrou ser bastante promissora.

Carvalho et al. (2017) definiram um modelo de programação linear inteira mista para dar resposta ao problema de planeamento de capacidade no médio prazo em empresas que seguem a estratégia *engineer-to-order* (ETO). O modelo matemático tem como objetivo encontrar o equilíbrio ótimo entre a procura e capacidade disponível através da minimização dos custos. As restrições principais são classificadas como restrições de fluxo de produção e restrições de capacidade.

2.3 Indústria das bebidas

No setor das bebidas, as empresas têm vindo a alargar os seus portfólios de produtos devido ao elevado aumento da competitividade. Por sua vez, esta situação resulta no aparecimento de novos desafios e na necessidade de utilizar ferramentas de apoio à decisão. Esta tendência, aliada ao facto de estarem vários processos envolvidos, torna o processo de planeamento por si só complexo (Guimarães et al., 2012).

Para além disso, neste setor existe uma elevada variabilidade e sazonalidade da procura. Já a capacidade produtiva, avaliada pelo número de horas de produção disponíveis, permanece aproximadamente constante ao longo de todo o ano. Normalmente, cada linha de enchimento é ajustada para encher um certo líquido, tipo e tamanho de recipiente. À mudança de produto a engarrafar encontram-se muitas vezes associadas mudanças na linha de enchimento, que resulta num custo adicional de *setup*. O aumento da gama de produtos, bem como a pressão para reduzir o inventário e fazer entregas com maior frequência têm levado à produção de lotes de menores dimensões e, consequentemente, ao aumento do número de *setups* necessários (Guimarães et al., 2012).

Para a construção de um orçamento anual de produção no setor das bebidas, Guimarães et al. (2012) desenvolveram um modelo de programação inteira mista, cuja função objetivo consiste na minimização dos custos de inventário, transportes, produção, *setup* e horas extraordinárias (ver expressão 2.1).

Através da formulação matemática, foi criado um plano de produção de longo prazo em que os produtos são agregados em famílias e são alocados a linhas de enchimento pertencentes a um determinado polo produtivo. Cada centro apresenta a própria procura e espaço de armazenamento. Entre centros são autorizadas movimentações de produto acabado de modo a permitir que a produção de um centro possa satisfazer a procura de outro polo produtor. Adicionalmente, os autores incorporaram os custos de *setup*, definidos por família, e equacionaram o recurso a horas extraordinárias para contornar os limites de capacidade. Relativamente a este último ponto, Guimarães et al. (2012) distinguem dois períodos onde o recurso a horas extraordinárias pode ser utilizado, distinção que se deve à diferença nos custos associados. De seguida é apresentado o modelo formulado por Guimarães et al. (2012) para definição do plano de produção para a indústria das bebidas.

Tabela 2.1: Tabela de notações, Guimarães et al. (2012)

Índices

i	produto: $i \in N = \{1, \dots, N\}$
f	família: $f \in F = \{1, \dots, F\}$
j, k	centro produtivo: $j, k \in P = \{1, \dots, P\}$
m	linha de enchimento: $m \in M = \{1, \dots, M\}$
t	período: $ft \in T = \{1, \dots, T\}$

Conjuntos

M_j	conjunto das linhas de enchimento pertencentes ao centro j
F_m	conjunto das famílias que podem ser produzidas linha de enchimento m
N_m^{line}	conjunto de produtos que podem ser produzidos na linha m
N_f^{fam}	conjunto de produtos que pertencem à família f

Parâmetros

cap_{mt}	capacidade disponível na linha de enchimento m no período t
j_m	centro produtivo a que pertence a linha de enchimento m
f_i	família do produto i
d_{ijt}	procura do produto i no centro produtivo j no final do período t
h_{ijt}	custo de manter em <i>stock</i> uma unidade do produto i no centro produtivo j no final do período t
r_{ijkt}	custo de transportar uma unidade do produto i do centro j para o centro k no período t
v_{imt}	custo de produção de uma unidade do produto i na linha de enchimento m no período t
c_{fmt}	custo de <i>setup</i> da linha de enchimento m para a produção da família f no período t
p_{fmt}	taxa de enchimento da família f na linha de enchimento m no período t
b_{imt}	limite da quantidade a produzir do produto i na linha de enchimento M no período t
$co_{mt}^I (co_{mt}^{II})$	custo unitário de horas extraordinárias do tipo I (tipo II) na linha de enchimento m no período t
$mo_{mt}^I (mo_{mt}^{II})$	limite máximo de horas extraordinárias do tipo I (tipo II) na linha de enchimento m no período t

Variáveis de decisão

X_{imt}	quantidade a produzir do produto i na linha de enchimento m no período t
I_{ijt}	quantidade em inventário do produto i no centro j no final do período t

W_{ijkt}	quantidade a transferir do produto i do centro j para o centro k no período t
Y_{fmt}	(=1) se o <i>setup</i> da linha m para a produção da família f ocorre no período t , (=0) caso contrário
$O_{mt}^I (O_{mt}^{II})$	consumo de capacidade extra do tipo I (tipo II) na linha de enchimento m no período t

$$\begin{aligned} \min \text{ Obj} = & \sum_{i \in N_j} \sum_{j \in P} \sum_{t \in T} (h_{ijt} \cdot I_{ijt} + \sum_{k \in P} r_{ijkt} \cdot W_{ijkt}) + \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} (\sum_{i \in N} v_{imt} \cdot X_{imt} \\ & + \sum_{f \in F_j} c_{fmt} \cdot Y_{fmt} + co_{mt}^I \cdot O_{mt}^I + co_{mt}^{II} \cdot O_{mt}^{II}) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Sujeito a:

$$I_{ij,t-1} + \sum_{m \in M_j} X_{imt} + \sum_{k \in P \setminus \{j\}} W_{ikjt} = I_{ijt} + d_{ijt} + \sum_{k \in P \setminus \{j\}} W_{ikjt} \quad \forall i \in N, j \in P, t \in T \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in N_m^{line}} \frac{X_{imt}}{P_{fimt}} \leq cap_{mt} + O_{mt}^I + O_{mt}^{II} \quad \forall m \in M, t \in T \quad (2.3)$$

$$X_{imt} - b_{imt} \cdot Y_{fmt} \leq 0 \quad \forall i \in N_m^{line}, m \in M, t \in T \quad (2.4)$$

$$O_{mt}^I \leq mo_{mt}^I, \quad O_{mt}^{II} \leq mo_{mt}^{II}, \quad \forall m \in M, t \in T \quad (2.5)$$

$$(I_{ijt}, W_{ijkt}, X_{imt}, O_{mt}^I, O_{mt}^{II}) \geq 0, \quad Y_{fmt} \in \{0, 1\} \quad (2.6)$$

O fluxo de produtos em cada polo produtivo é assegurado pela restrição 2.2. A procura de cada produto i no centro j no período t pode ser satisfeita pelo inventário existente no início do período, produção realizada no centro ou através das movimentações de produto acabado provenientes de outros centros produtivos.

Em 2.3 é garantida que a produção em cada período corresponde no máximo à capacidade total disponível (base e horas extraordinárias). Por sua vez, 2.4 impõe que um produto apenas possa ser produzido na linha de enchimento j caso nessa linha seja realizado o *setup* exigido para a família do produto. A quantidade máxima a produzir é limitada a $b_{imt} = \min \{ cap_{mt} \cdot p_{fimt}, \sum_{j \in P} \sum_{u=t}^T d_{iju} \}$, ou seja, o mínimo entre a quantidade que seria possível produzir caso apenas se fabricasse o produto i na linha de enchimento e a procura total do produto, em todos os centros e períodos, ainda por satisfazer.

Por fim, dada a grande dimensão das instâncias reais em análise, os autores introduziram uma heurística baseada nos princípios da *Variable neighborhood search* (VNS) com o objetivo de acelerar a procura da solução ótima.

As empresas produtoras de vinho têm vindo a reconhecer cada vez mais a importância da cadeia de abastecimento e o impacto do seu desempenho para o negócio. O desenvolvimento

económico é refletido no aparecimento de novos mercados, tornando evidente o aumento das operações logísticas na indústria vitivinícola. Adicionalmente, cada segmento de vinho apresenta as suas características próprias e requer operações específicas. Sendo o vinho um produto natural, a produção de cada gama encontra-se condicionada pela disponibilidade de matéria-prima compatível com a qualidade e posicionamento da mesma. A estes fatores de complexidade, junta-se o facto desta indústria ser caracterizada pela customização, especialmente no segmento de vinhos *premium*, o que indica que cada cliente tem o seu perfil e requisitos (Garcia et al., 2012).

As empresas que competem no mercado global, têm de ser capazes de proporcionar produtos de elevada qualidade a preços mais baixos. Aumenta assim a necessidade de terem uma maior rotação de inventário e um melhor nível de serviço que resulte no aumento da satisfação e lealdade dos clientes.

A natureza do produto, o número de intervenientes e as relações entre eles, a complexidade e questões legais do sistema de distribuição em alguns países, bem como as exigências do consumidor final e a pressão por parte de outros concorrentes, são algumas características do setor vitivinícola que tornam a cadeia de abastecimento destas empresas um sistema extremamente complexo (Garcia et al., 2012).

Do exposto resulta a clara necessidade de um melhor planeamento e de uma maior eficácia e eficiência das cadeias de abastecimento, de forma a que estas empresas possam permanecer altamente competitivas.

Capítulo 3

Descrição do Problema

Este capítulo descreve a situação vivida na empresa antes do início do projeto, identificando-se as oportunidades de melhoria na cadeia de abastecimento. A Secção 3.1 apresenta a fase de diagnóstico que permitiu o levantamento dos desafios e tendências de mercado. De seguida, são descritas as características principais do processo produtivo e é detalhado o processo de planeamento aquando do início do projeto, onde são identificadas as várias etapas e áreas da empresa envolvidas. Por fim, na Secção 3.4, é apresentada a abordagem proposta para resolver o problema.

3.1 Diagnóstico

Numa primeira fase, foram identificadas as grandes tendências do mercado para a próxima década. Sendo a empresa em estudo uma empresa produtora de vinhos, começaram por ser exploradas as tendências na indústria dos *Fast-moving consumer goods* (FMCG), uma vez que estas se refletem diretamente no setor vitivinícola e, por conseguinte, na empresa.

Assim, verifica-se uma importância crescente na inovação, quer ao nível dos processos produtivos, quer ao nível dos produtos promocionais. É também esperado um aumento da diversidade dos canais de distribuição, dado o aumento da desintermediação, a relevância da distribuição direta e o surgimento de canais de distribuição inovadores. Por fim, a proliferação dos nichos, relacionada com o aumento da procura de produtos *premium*, exclusivos e personalizados, implica maiores exigências na produção devido, por exemplo, ao aumento da necessidade de produzir lotes de menores dimensões. Estas alterações na tendência dos produtos procurados, fazem com que seja necessário um planeamento minucioso, prevenindo tanto a escassez como o excesso de *stock*.

Tendo em conta as expectativas descritas, são vários os desafios que a empresa enfrenta a nível operacional. O aumento da incerteza da procura requer uma postura proativa e integrada no planeamento. É crucial considerar as relações entre as várias áreas e decisões na cadeia de abastecimento, analisar diversos cenários e prevenir possíveis riscos. Adicionalmente, a proliferação de nichos e os produtos inovadores exigem uma cadeia orientada à gama que consiga trabalhar a diversas velocidades, de modo a demonstrar uma elevada eficiência em grandes volumes, ao mesmo tempo que é caracterizada pela agilidade para responder a pequenos lotes. Por seu turno, num

contexto de diversificação de canais, a capacidade para integrar verticalmente é uma importante vantagem competitiva. Para superar os três desafios anteriormente descritos, a modernização dos vários processos torna-se um alicerce fundamental.

Para além destas dificuldades, a empresa enfrenta ainda desafios característicos da indústria vitivinícola. Tanto a montante como a jusante da cadeia de abastecimento, a variabilidade relacionada com a sazonalidade da procura e as disponibilidades de vinho dificultam o planeamento. Antes e após o engarrafamento, as diferentes famílias de vinho requerem exigências e tempos de preparação distintos, relevantes no processo produtivo. Relativamente a este processo, verifica-se que a capacidade disponível pode ser ajustada com a força de trabalho, nomeadamente através da abertura de novos turnos e contratação de mão de obra extra. Já as linhas de enchimento apresentam múltiplos e variados gargalos, sendo o número de *setups* necessários determinado pela sequência de produção. Torna-se assim crucial encontrar a sequência que minimize os custos e que permita ir ao encontro dos prazos de entrega. Por fim, os clientes têm diferentes perfis e requisitos, por exemplo, um cliente pode exigir um rótulo ou selo específico num determinado vinho, criando, desta forma, um novo SKU e elevando o nível de complexidade do processo de planeamento.

Face ao desafio enfrentado e ao número de *stakeholders* envolvidos, é fundamental ter um processo de planeamento bem estruturado e as responsabilidades dos vários intervenientes claramente definidas.

3.2 Processo produtivo

No setor vitivinícola, os produtos apresentam propriedades e tempos de preparação distintos. A Figura 3.1 demonstra as várias fases e fluxos envolvidos no processo produtivo característico da indústria em análise.

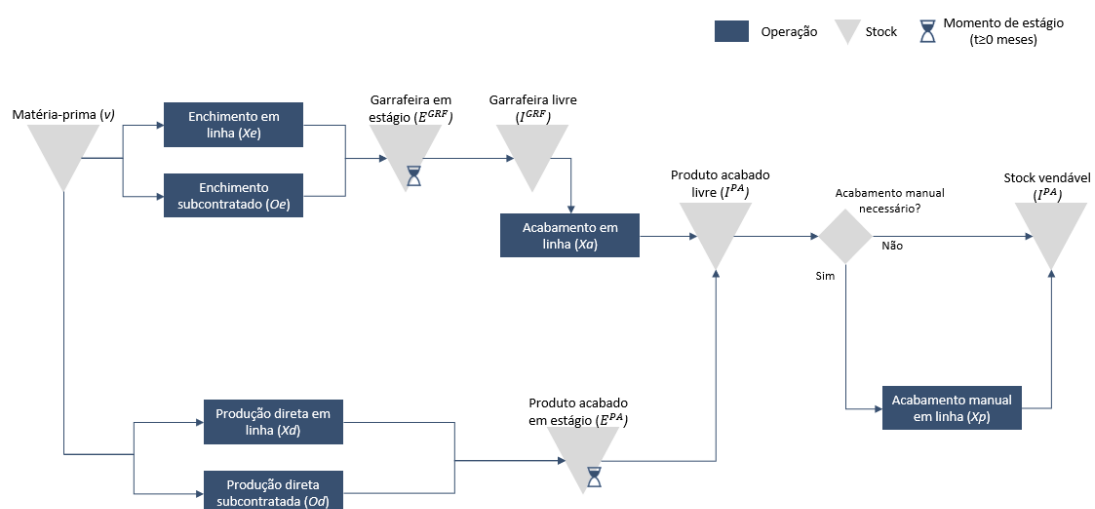


Figura 3.1: Fluxo representativo do processo produtivo

A produção tem início com a disponibilidade de matéria-prima (vinho a granel). Consoante o produto acabado a produzir, a matéria-prima pode seguir dois caminhos distintos: (1) enchimento e (2) produção direta.

A etapa de enchimento ocorre quando o produto necessita de estagiar antes de ser acabado. Nesta fase, o vinho a granel é engarrafado e transformado em produto de garrafeira, que pode ou não ficar sujeito a um período variável de estágio de acordo com o produto final a obter. Terminado este período, o produto de garrafeira fica livre para seguir para a fase seguinte, o acabamento. Nesta etapa, o SKU de garrafeira é convertido em produto acabado através da adição dos restantes componentes secos que permitem completar o produto.

Por seu turno, a produção direta consiste na realização dos processos de enchimento e acabamento de forma sequencial. Esta etapa, apenas ocorre caso o produto não necessite de estagiar entre as duas fases supramencionadas e culmina com a obtenção de produto acabado que pode ou não ser sujeito a um período de estágio quando terminada a produção.

Concluído o acabamento ou completado o período de estágio após a produção direta, alguns produtos podem ser diretamente vendidos, enquanto outros serão sujeitos a uma última etapa de pós-processamento. Nesta etapa, ao produto acabado são adicionadas manualmente algumas especificidades do cliente. Assim, efetuando esta operação após o acabamento ou produção direta, é possível assegurar uma maior flexibilidade já que o SKU final, específico de um cliente, é obtido numa fase onde as suas encomendas já se encontram confirmadas.

Tendo em conta o processo anteriormente descrito, torna-se claro que cada SKU de produto acabado é obtido a partir de um conjunto de componentes: SKU de garrafeira e matérias-primas secas (MPS). Assim, atendendo aos componentes de garrafeira necessários para a produção de cada produto final é possível definir diferentes famílias de produtos. Já que os elementos de garrafeira têm origem no engarrafamento do vinho a granel, os SKUs que integram a mesma família irão partilhar esta matéria-prima.

Para além da família e dos processos a que cada SKU pode ser submetido, o *status* (ativo ou inativo), classificação do vinho (colheita ou regular), a capacidade e fecho da garrafa são também características chave a considerar na definição e produção do SKU. Quanto à classificação do vinho, existem vinhos regulares e vinhos de colheita. A estes últimos encontra-se associado o ano da colheita de vinho utilizada na produção. Assim sendo, quando a disponibilidade da colheita de vinho termina, deixa de ser possível produzir os respetivos SKUs e passam a ser produzidos os SKUs correspondentes à colheita seguinte.

Relativamente às linhas de enchimento, nem todas as operações podem ser efetuadas em todas as máquinas. Existem linhas onde apenas uma das quatro operações pode ser executada, enquanto outras apresentam uma maior flexibilidade, podendo ser realizada qualquer uma das três operações principais (enchimento, acabamento e produção direta). Adicionalmente, os diversos SKUs apresentam roteiros específicos, ou seja, apenas podem ser sujeitos a determinados processos em certas linhas.

Tanto ao nível dos tempos de abertura das linhas como da mão de obra, a capacidade é limitada e varia de acordo com a linha de enchimento e o período em análise. De modo a contornar

esta restrição, é possível recorrer, dentro de um certo limite, à abertura de horas de 2º turno e à contratação de horas-homem extra. Como alternativa, as operações de enchimento e produção direta podem também ser executadas através de subcontratação, permitindo o alívio das limitações de capacidade.

No planeamento da produção, e sobretudo na fase de sequenciamento, é importante ter em conta a existência de golpes de linha. Os golpes de linha ocorrem quando é necessário realizar um *setup* após o engarrafamento de uma família de vinho e antes de iniciar o enchimento da família seguinte. Assim, de acordo com a linha de enchimento, uma determinada quantidade de vinho será sujeita a uma desvalorização para que se possa iniciar o engarrafamento de uma nova família.

No que toca ao espaço dedicado à armazenagem, cada centro produtor detém o seu próprio espaço limitado de acordo com os diferentes tipos de produto em inventário: produto acabado, produto em garrafeira e MPS. Quando a capacidade de armazenagem num centro fabril se encontra totalmente utilizada, há possibilidade de recorrer a subcontratação de espaço para combater esta limitação.

3.3 Processo de planeamento

Antes do início do projeto, o processo de planeamento da empresa era complexo, envolvendo decisões *ad hoc* por falta de um processo de planeamento integrado e estruturado. Na Figura 3.2 encontram-se representadas as várias etapas desse processo, bem como as diversas áreas da empresa envolvidas. São ainda identificadas as principais oportunidades de melhoria encontradas.

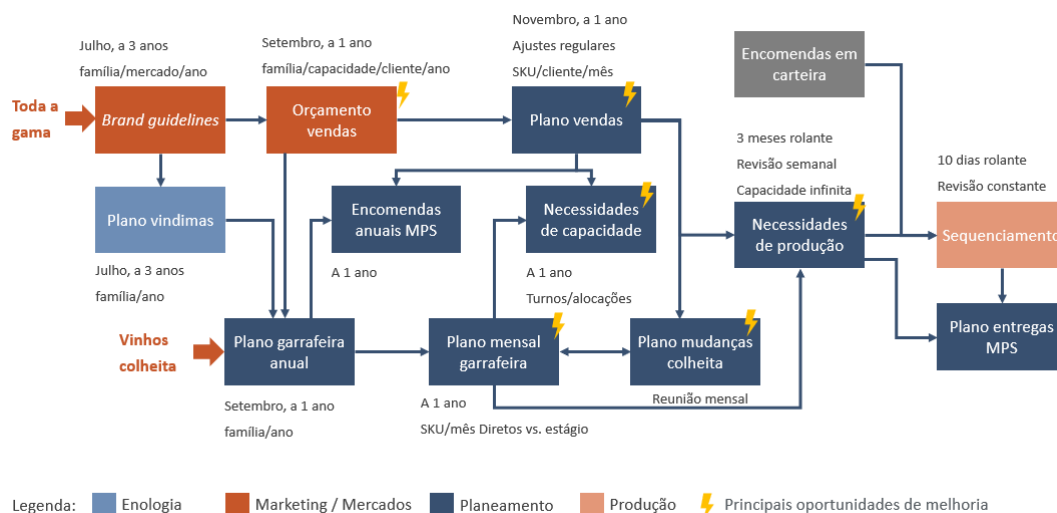


Figura 3.2: Processo de planeamento atual da empresa, excluindo plano de *stocks* e preparação de vinhos

São várias as divisões da empresa ativas no processo de planeamento: (1) Marketing e Mercados, (2) Enologia, (3) Planeamento e (4) Produção e Logística.

3.3.1 Marketing e Mercados

A empresa encontra-se atualmente presente em mais de 120 países, com distribuição própria em 6 dos seus mercados chave, e é responsável por um portefólio de 15 marcas de vinhos distintas. Cada marca apresenta uma vasta família de produtos distinguidas pelo tipo de vinho. Por exemplo, uma marca pode ter uma gama dedicada a vinho Tinto, Branco, Verde ou Rosé. No que toca a clientes, a empresa tem em conta os requisitos dos seus clientes diretos e clientes recebedores, obtendo estes últimos os produtos através dos clientes diretos da empresa, nomeadamente através de empresas de distribuição.

A função das equipas de Marketing e Mercados passa pela identificação das tendências de mercado e definição das estratégias de marketing e de vendas para toda a gama de produtos e mercados. De 3 em 3 anos, são definidas as estratégias de comunicação das várias famílias em cada mercado e em cada ano, etapa denominada por *Brand Guidelines*. O orçamento de vendas é, por sua vez, efetuado considerando um horizonte temporal de 1 ano, para as diferentes combinações de família/capacidade/cliente, e tendo por base o trabalho desenvolvido pelas equipas na fase anterior.

3.3.2 Enologia

No que diz respeito à enologia, a empresa conta com 19 adegas com capacidade de produção de cerca de 50,000,000L. No processo de planeamento, a equipa de Enologia é responsável por definir o plano de vindimas a 3 anos para cada família de vinho. Esta é uma etapa essencial para definir o plano de garrafeira e, consequentemente, para a produção, já que terá um impacto direto nas quantidades de vinho a granel disponíveis.

Associadas à enologia, encontram-se três limitações, que devem ser consideradas no processo produtivo:

- Por mês, o número total de lotes a produzir é limitado e apenas pode ser engarrafada uma determinada quantidade de litros em cada centro fabril, de acordo com a capacidade disponível;
- A quantidade de vinho de uma colheita é limitada e deve ser consumida até um certo momento;
- Sempre que há engarrafamento de uma família, é necessário garantir o enchimento de uma quantidade mínima de vinho.

3.3.3 Planeamento

Esta equipa é responsável pelas várias etapas do planeamento, sobretudo de médio prazo, que irão impactar a fase de produção. O plano de garrafeira anual é desenvolvido, por família de vinho, partindo do plano de vindimas e do orçamento de vendas definidos, respetivamente, pela Enologia e pelas equipas de Marketing e Mercados. Atendendo às disponibilidades de vinho e respetiva

data de consumo, são estimadas neste plano as quantidades anuais a engarrafar de cada família de vinho.

Considerando um horizonte temporal de 1 ano, e partindo exclusivamente do orçamento, a equipa elabora o plano de vendas onde, para cada mês, é prevista a procura de cada SKU para cada cliente. A diferença de granularidade entre o orçamento (anual) e o plano de vendas (mensal) mostra a clara necessidade de criar uma base de previsão comum, suportada por métodos analíticos, que vá ao encontro das necessidades das equipas de Planeamento, Marketing e Mercados, e que permita uma maior colaboração entre elas.

A produção de cada SKU requer certos componentes específicos. Assim, aos dois planos anteriormente descritos, seguem-se o planeamento das encomendas anuais de MPS, o planeamento mensal de garrafeira e o plano de mudança de colheita.

Com base nas previsões de vendas e produção para garrafeira anual são determinadas as encomendas anuais de MPS necessárias para assegurar a obtenção dos produtos previstos. Às MPS encontram-se associadas três limitações:

- Em cada centro fabril, o espaço de armazenamento reservado a este tipo de matérias-primas é limitado;
- Existem diferentes tipos de MPS, sendo que cada um é armazenado numa estrutura específica: paletes, boxes ou tabuleiros;
- É necessário garantir uma cobertura alvo de cada tipo de MPS, de modo a permitir uma maior flexibilidade e minimizar riscos.

No plano mensal de garrafeira, realizado a 1 ano por SKU, as previsões de produção para garrafeira anuais são elaboradas de modo a prever a quantidade de cada SKU de garrafeira a produzir em cada mês através de produção direta ou enchimento. Para os vinhos de colheita é importante determinar o momento esperado para a mudança da mesma. Assim, partindo do plano de vendas e considerando o plano mensal de garrafeira, é possível prever as quantidades de vinho utilizadas para satisfazer a procura em cada período. A alteração de colheita irá ocorrer no momento em que deixa de haver *stock* da colheita que se encontrava em utilização, ou é atingida a sua data limite de consumo.

As necessidades de capacidade, nomeadamente no que diz respeito aos turnos e alocações, são planeadas partindo das previsões de vendas, do plano mensal de garrafeira e tendo em conta as quantidades em inventário. As operações a realizar e as quantidades a produzir de cada produto encontram-se limitadas devido a diversos fatores:

- Horas de abertura disponíveis em cada linha de enchimento;
- Mão de obra base disponível;
- Capacidade de armazenagem disponível em cada centro fabril;
- Ações de manutenção necessárias.

Por seu turno, as necessidades de produção são também determinadas com base no plano de vendas e no plano mensal de garrafeira, sendo considerado um horizonte de 3 meses rolante. Neste tipo de sistema, apenas se pretende tomar decisões que concernem os períodos mais próximos. Tendo sido tomadas as decisões para estes períodos, os períodos seguintes tornam-se os mais imediatos, passando o horizonte temporal a incluir novos períodos não considerados na iteração anterior, ocorrendo, assim, o rolamento do horizonte (Sethi and Sorger, 1991). No que diz respeito à produção, é importante ter em conta os seguintes aspetos relacionados com as limitações associadas a cada linha e SKU:

- Em cada linha, apenas certas operações podem ser realizadas. Estas operações podem ser de produção direta, enchimento, acabamento ou pós-processamento;
- Cada SKU apresenta os próprios roteiros de produção. De acordo com o tempo de estágio exigido, cada SKU apenas pode ser produzido através de certos processos e em determinadas linhas de enchimento.

O facto de as diversas etapas mencionadas serem executadas separadamente leva à necessidade de ajustes frequentes, desalinhamentos ao longo da cadeia e ineficiências. Assim, torna-se clara a necessidade de integrar os vários planos para dar resposta a estas dificuldades.

3.3.4 Produção e Logística

A equipa de Produção é responsável pela definição da sequência de produção tendo por base as encomendas em carteira recebidas, e as necessidades de produção determinadas pelo planeamento. Na etapa de sequenciamento é feito um planeamento em horizonte rolante de 10 dias, sendo a evolução e objetivos da produção revistos diariamente. Nesta fase, é importante ter em conta que cada linha de enchimento apresenta uma determinada cadência e *Overall equipment effectiveness* (OEE), e que a sequência de produção irá determinar o número e custo dos golpes de linha.

Por sua vez, a Logística é responsável pela gestão dos inventários e pelas movimentações entre centros fabris. Para que os SKUS possam ser transportados entre polos necessitam de apresentar roteiros em ambos os centros, ou seja, podem ser produzidos em linhas de enchimento de ambas as fábricas. Esta situação permite que o produto seja engarrafado num polo produtor e acabado noutro local. Desta forma, é possível aliviar as limitações de capacidade de espaço e produção.

3.4 Abordagem ao problema

Após a análise do processo de planeamento foram identificadas quatro grandes oportunidades de melhoria:

- O planeamento de vendas não apresenta uma camada estruturada e suportada por métodos analíticos, estando demasiado dependente das equipas de Marketing e Mercados. É ainda necessário colmatar a discrepância entre o detalhe que os Mercados transmitem e a granularidade que o Planeamento necessita;

- O processo de planeamento e a programação da produção não são integrados, conduzindo a reajustes frequentes;
- O horizonte de planeamento tático não está a ser corretamente explorado, dando origem ao desalinhamento da cadeia e ineficiências, como por exemplo, a planificação de turnos;
- O planeamento assenta em folhas de cálculo separadas, que dificultam a comunicação e passagem de conhecimento entre as várias áreas e etapas.

Considerando as oportunidades de melhoria descritas anteriormente, o macro projeto a desenvolver com a empresa pretende: (1) reestruturar e simplificar o processo de planejamento, sendo as atividades suportadas por sistemas de apoio à decisão para que se tornem mais eficientes e confiáveis; (2) robustecer a previsão da procura para reforço da assertividade, explorando a combinação entre modelos analíticos e a experiência de terreno das equipes comerciais; (3) introduzir um plano mestre (rolante a 12 meses e semanal a 12 semanas), que permita integrar e otimizar decisões táticas de lotes, capacidades, manutenção e *stocks*. Este plano é constituído por duas etapas, o plano de capacidades de médio prazo e o plano de produção de curto prazo; e (4) cultivar uma cultura de monitorização de indicadores de desempenho da cadeia de abastecimento. A figura 3.3 ilustra o processo de planejamento a adotar pela empresa, resultado do desenvolvimento do projeto.

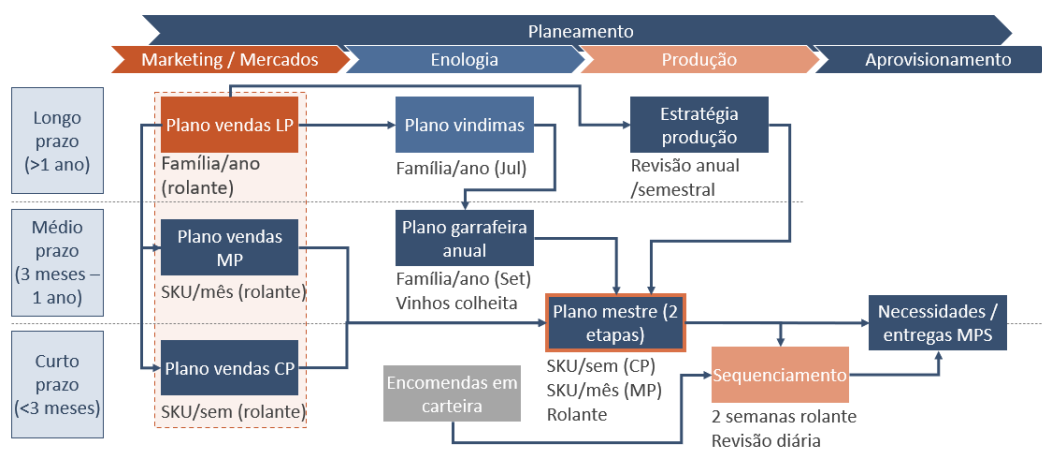


Figura 3.3: Visão futura do processo de planeamento, excluindo plano de *stocks* e preparação de vinhos

Para resolver o problema do planeamento, o projeto encontra-se dividido em três etapas distintas. A primeira foca-se na previsão da procura, onde é introduzido um modelo analítico que permite realizar a previsão de vendas no longo e médio/curto prazo. A segunda frente abarca o planeamento de capacidades de médio prazo, enquanto a última etapa diz respeito ao planeamento de produção de curto prazo. No Capítulo 4 serão apresentadas com maior detalhe as três frentes integrantes do projeto e a metodologia adotada no desenvolvimento do planeamento da capacidade produtiva.

Capítulo 4

Metodologia

O presente capítulo é dedicado à apresentação da metodologia seguida para a realização do caso de estudo. Estando o projeto subdividido em três frentes, a secção 4.1 proporciona uma visão global destas três etapas. De seguida, é detalhada a segunda frente do projeto que diz respeito ao planeamento de capacidades e é o foco principal da dissertação. A secção 4.2 é dedicada à descrição dos três blocos principais que constituem esta etapa: (1) o modelo de otimização, (2) a desagregação ao SKU e (3) as ferramentas que permitem visualizar os resultados obtidos.

4.1 Visão global do projeto

Após a definição do problema foram identificadas três oportunidades imediatas na reformulação do processo de planeamento da empresa: (1) criação de um módulo estruturado de previsão da procura; (2) introdução de um plano mestre, incluindo uma etapa dedicada ao plano de capacidades e outra ao plano de produção; e (3) simplificação dos processos e criação de uma cultura de monitorização de indicadores. Com o objetivo de transformar o planeamento, estruturando processos e introduzindo dois novos blocos analíticos, um dedicado à previsão de vendas e o segundo ao planeamento mestre, o projeto foi dividido em três frentes. A figura 4.1 ilustra as diversas frentes do projeto e identifica as principais etapas que as constituem.

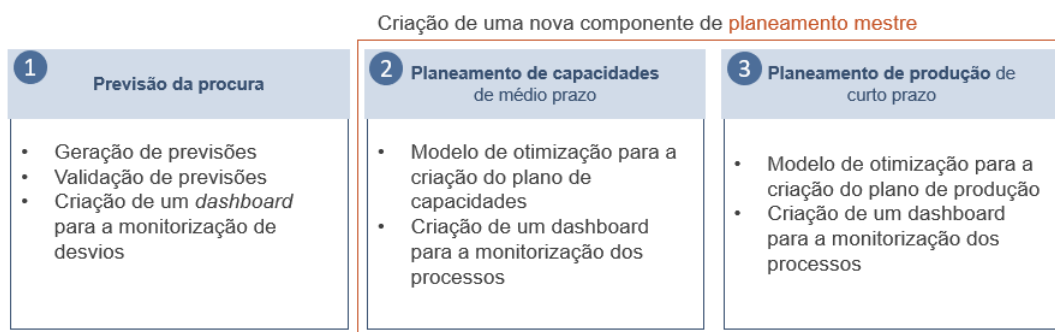


Figura 4.1: Visão global do projeto

4.1.1 Primeira frente: Previsão da procura

A primeira frente, já concluída no início da dissertação, teve como objetivo o desenvolvimento de três módulos complementares que permitissem melhorar a gestão da procura da empresa. O primeiro, diz respeito ao desenvolvimento de dois modelos analíticos de geração de previsões, um de longo prazo e o segundo de curto/médio prazo. A necessidade de formular os dois modelos deve-se às diferenças de granularidade nos processos que beneficiaram desta etapa. Por um lado, para a previsão do Plano de Vindima, definição das *Brand Guidelines* e avaliação do orçamento, a fiabilidade deve ser medida considerando a granularidade requerida pelos Mercados, que é anual. Por sua vez, para a avaliação do plano de vendas, a fiabilidade das previsões deve ser medida considerando a granularidade requerida pelo Planeamento, que é mensal.

Existem dois processos hierárquicos para efetuar a previsão de vendas: (1) *bottom-up* e (2) *top-down* (Muir, 1979). Na abordagem *bottom-up*, a previsão é realizada para cada unidade singular, sendo estas posteriormente combinados de modo a obter a previsão agregada. No que toca ao método *top-down*, a previsão é efetuada tendo por base a procura agregada histórica, gerando previsões agregadas que são, de seguida, desagregadas para cada unidade. Esta última etapa é tipicamente realizada tendo por base as vendas históricas de cada segmento individual (Zotteri et al., 2005). Desta forma, este processo permite obter resultados com uma elevada precisão a um custo mais baixo e num menor espaço de tempo. No entanto, a abordagem *bottom-up* é importante para captar padrões da procura, especialmente quando cada segmento apresenta o seu próprio comportamento. Assim, as organizações devem identificar o nível de agregação mais adequada para efetuar as previsões, já que este irá afetar a precisão da previsão (Mentzer and Cox JR., 1984). Miller et al. (1976) concluíram que a escolha de um dos processos como o mais correto para efetuar a previsão depende do nível de correlação entre os elementos agregados e os padrões de evolução que apresentam.

Dadas as complexidades de negócio mencionadas no Capítulo 3, foi necessário agregar os diversos SKUs à respetiva família, combinando assim produtos que partilham componentes de garrafeira idênticos e que apresentam padrões de vendas similares. Desta forma, é possível obter séries de vendas mais fiáveis e estáveis, sendo posteriormente necessário realizar uma desagregação ao nível do SKU. Relativamente ao modelo de previsão, partindo do histórico de vendas, este combina uma análise de séries temporais com a aplicação de modelos causais. São testadas múltiplas combinações destes modelos, sendo, no final, selecionado o que origina um menor erro. As duas medidas de erro consideradas para avaliar a fiabilidade das previsões de vendas foram o MAPE (Mean Absolute Percentage Error), e a viés.

O segundo módulo diz respeito à criação de uma plataforma que permitisse à empresa validar e ajustar as previsões geradas. Para produtos que apresentam uma elevada variabilidade da procura e com peso considerável de vendas, as previsões manuais têm usualmente uma precisão e viés mais favoráveis do que as previsões automáticas. Assim, à medida que aumenta a volatilidade da procura e o volume de vendas, a incorporação de *inputs* manuais e a validação das previsões tornam-se prioritárias.

A monitorização foi o foco do último módulo. Este consistiu na construção de um *dashboard* que permite obter uma visão geral da qualidade das previsões geradas pelo projeto e das previsões validadas pelas equipas, face às vendas reais. Desta forma, o *dashboard* possibilita a análise da fiabilidade, evolução das previsões, e do impacto da validação efetuada, o que permite às equipas definir ações corretivas em caso de enviesamento e ajustar os critérios de validação para que esta se torne mais eficiente.

Assim, esta fase do projeto permitiu introduzir 4 grandes eixos de mudança face ao processo inicialmente adotado pela empresa:

- Existência de uma base de previsão comum - Foi criado um *forecast* comum de suporte às atividades de planeamento e comercial, ajustado, a cada momento, ao horizonte e grau de granularidade requeridos por cada interveniente;
- Maior colaboração entre Mercados, Distribuidores e Planeamento - Todos os *stakeholders* passaram a estar envolvidos no processo de planeamento da procura. Este processo está assim assente nos princípios de partilha de informação e contribuição, tendo sido claramente definido o papel de cada interveniente no resultado final;
- Geração automática das previsões como suporte a todo o processo - Os modelos desenvolvidos permitiram criar um suporte analítico para a geração automática de dois tipos de previsão: previsão de longo prazo e de médio/curto prazo. Na base da geração das previsões encontra-se a evolução e os padrões detetados nas vendas históricas, e os principais objetivos comerciais.
- Maior apoio na monitorização e validação das previsões - São preparados módulos de validação ajustados à granularidade e informação relevante a cada *stakeholder*. Foram ainda incluídas alarmísticas relevantes e foi possível a centralização da informação e automatização do fluxo.

4.1.2 Segunda frente: Planeamento de capacidades

A segunda frente do projeto refere-se à primeira etapa da criação do planeamento mestre: o plano de capacidades. Tal como anteriormente referido, a complexidade do processo leva à necessidade de agregar os SKUs por família, já que o problema resolvido ao nível do SKU não é computacionalmente tratável num espaço de tempo plausível. Desta forma, o plano de capacidades desenvolvido considera um horizonte rolante de 12 meses, apresentando um detalhe mensal ao nível da família/capacidade/fecho em cada linha de enchimento.

São várias as decisões envolvidas no planeamento de capacidades: (1) quantidades mensais de produção e enologia; (2) necessidade de matérias-primas secas; (3) capacidade necessária, nomeadamente a nível de turnos, mão de obra extra, subcontratação, receção e preparação de vinho; (4) momento de mudança de colheitas; (5) quantidades em *stock* de produtos acabados e garrafeira; e (6) realização de ações de manutenção.

De forma a responder ao problema, foi desenvolvido um modelo de otimização que, através da minimização dos custos e tendo como *inputs* o plano de vendas desenvolvido na primeira frente, as disponibilidades e entradas de vinho e outros dados operacionais, pretende dar resposta aos pontos anteriormente salientados. Para tal, é considerada a minimização da contratação de capacidade extra, a minimização de inventário, a consolidação de lotes e a minimização dos transportes necessários entre centros fabris. Como restrições principais do modelo, salienta-se a necessidade de dar resposta ao mercado, os limites de capacidade e as limitações enológicas e tecnológicas. Estas restrições principais, impostas pela complexidade do problema na indústria em causa, encontram-se descritas na Secção 4.2.1.

Obtidos os resultados do modelo para o plano de capacidade, torna-se necessário desagregar as quantidades sugeridas ao nível do SKU. Esta desagregação tem por base as disponibilidades de vinho a granel, o plano de vendas e os diferentes roteiros de cada SKU, permitindo assim identificar mudanças de colheita e determinar a quantidade produzida de cada SKU, por linha de enchimento e processo. Esta etapa de desagregação, encontra-se descrita na Secção 4.2.2.

Por fim, com o objetivo de mostrar os resultados aos membros da empresa, foi necessário desenvolver um ficheiro *output* e um *dashboard*. Em ambos os entregáveis são apresentadas as quantidades de produção sugeridas pelo modelo, as limitações de capacidade associadas e os custos envolvidos, podendo a visualização ser feita a níveis de granularidade distintos, como por exemplo, por centro/ano ou linha/família/capacidade/fecho/mês. A grande vantagem da concretização das duas ferramentas de visualização prende-se com a possibilidade de analisar, de forma detalhada, os resultados obtidos numa corrida do modelo através do ficheiro *output*, ao mesmo tempo que o *dashboard* permite a comparação entre vários cenários do modelo com dados reais.

A responsabilidade do desenvolvimento do plano de capacidades pertence à equipa de Planeamento da empresa, que acompanhou minuciosamente e validou todo o processo, garantindo que o resultado seria robusto e realista.

4.1.3 Terceira frente: Planeamento da produção

Terminada a fase destinada ao planeamento de capacidades segue-se a terceira frente, dedicada ao planeamento de produção onde será considerado um horizonte rolante de 12 semanas com detalhe semanal e cujo nível de granularidade será SKU/linha de enchimento.

O desenvolvimento deste projeto tem como objetivo a criação de uma ferramenta analítica de suporte às decisões relacionadas com lotes de produção e sequenciamento de famílias, entregas de MPS, planeamento da enologia, refinamento de capacidades e a gestão de *stocks* de produtos de garrafeira e acabados. Com base nos parâmetros de produção, plano de vendas de curto prazo, e restrições de enologia, este módulo de planeamento permite definir os lotes semanais necessários, ao nível do produto, e, assim, dar uma visibilidade antecipada ao planeamento da enologia. Para tal, será desenvolvido um modelo de otimização que, de forma semelhante à formulação definida no plano de capacidades, terá como objetivo a minimização dos custos globais através do balanceamento de capacidades, redução de inventário, identificação de ociosidades e consolidação de

lotes. Para garantir a minimização do impacto dos golpes de linha, será realizado um sequenciamento preliminar à família, e só posteriormente será definido o sequenciamento ao produto.

O projeto ficará concluído com a construção de um *dashboard* que permitirá sistematizar indicadores relevantes para a monitorização do processo. São exemplos destes indicadores o cumprimento de prazos de entrega, coberturas e o cumprimento do sequenciamento.

É de realçar que no final da dissertação esta etapa do projeto ainda não tinha sido iniciada.

4.2 Planeamento de capacidades

A segunda frente do projeto iniciou-se com uma fase dedicada ao tratamento de dados, onde se assegurou que toda a informação necessária para o desenvolvimento do modelo se encontrava disponível e que esta seria continuamente atualizada. Adicionalmente, de modo a incorporar a experiência do Planeamento e a permitir a rápida modificação dos dados do problema foi desenvolvido um ficheiro de *inputs*. Este ficheiro apresenta diversas funcionalidades, como por exemplo a escolha do plano de vendas e a definição dos limites de capacidade de mão de obra e linhas de enchimento a considerar no modelo. Na Tabela B.2 do Anexo B encontram-se sistematizadas os tópicos abordados e funcionalidades disponíveis neste ficheiro, cuja informação definida é posteriormente considerada nos *inputs* do modelo, listados na Tabela B.1.

Previamente à construção do modelo foi necessário revisitar a desagregação realizada na primeira frente do projeto. A metodologia seguida nesta etapa, descrita no Anexo C, permitiu compreender as diversas implicações e parametrizações associadas ao processo de desagregação. Desta forma, garantiu-se que as previsões agregadas à família/capacidade/fecho, obtidas a partir da combinação das previsões de cada SKU individual, abrangiam corretamente as características dos diferentes produtos a considerar na definição do plano de capacidades.

4.2.1 Modelo de otimização

Com o propósito de modelar o planeamento de capacidades na indústria vitivinícola, foi desenvolvido um modelo de programação inteira mista implementado em Python com recurso à biblioteca de modelação PuLP e ao *solver* CPLEX. Nesta secção serão destacadas as variáveis, restrições principais e a função objetivo do modelo.

Como referido anteriormente, foi necessário agregar os diferentes produtos de acordo com a família de vinho, capacidade e fecho da garrafa. Assim, considerou-se a criação de um plano de produção de médio prazo (1 ano dividido em 12 períodos), em que produtos agregados são alocados a linhas de enchimento pertencentes aos centros fabris. Cada centro, detém uma procura e capacidade de armazenagem características. Adicionalmente, é possível movimentar *stock* de garrafeira entre centros, incorrendo-se num custo de transporte. Esta movimentação permite que os processos de enchimento e acabamento sejam realizados em centros distintos, dando uma maior flexibilidade ao processo. Por seu turno, na determinação da capacidade máxima das linhas de enchimento é necessário considerar a capacidade base, a capacidade extra e as ações de manutenção. De forma idêntica, a capacidade de mão de obra dedicada à produção depende do

número de horas-homem base, horas-homem extra e dos FTEs (*Full-time-employees*) necessários para realizar as ações de manutenção.

Tendo em conta estas características, o modelo proposto segue uma abordagem idêntica à sugerida por Guimarães et al. (2012) para a elaboração de um orçamento anual de produção no setor das bebidas que se encontra descrito no Capítulo 2. Contudo, o modelo a desenvolver contabiliza um maior número de parcelas de custos, um maior conjunto de alternativas para combater as limitações de capacidade, inclui ações de manutenção e restrições características do setor em estudo.

Na Tabela 4.1 apresenta-se a nomenclatura utilizada na formulação do problema. Note-se que a produção de pós-processamento em linha é tratada como uma operação de acabamento. As linhas onde a operação ocorre são exclusivas deste processo, sendo desta forma possível a distinção entre acabamento e pós-processamento.

Tabela 4.1: Tabela de Notações

Índices e Conjuntos	
i	família/capacidade/fecho: $i \in I = \{1, \dots, I\}$
f	família: $f \in F = \{1, \dots, F\}$
j, k	centro produtor: $j, k \in C = \{1, \dots, C\}$
l	linha de enchimento: $l \in L = \{1, \dots, L\}$
m	ação de manutenção programada: $m \in M = \{1, \dots, M\}$
v	matéria-prima (vinho a granel): $v \in V = \{1, \dots, V\}$
t	período: $t \in T = \{1, \dots, T\}$
L_j	conjunto das linhas de enchimento l pertencentes ao centro j
F_l	conjunto das famílias f que podem ser produzidas na linha de enchimento l
I_l	conjunto das família/capacidade/fecho i que podem ser produzidos na linha de enchimento l
I_f	conjunto das família/capacidade/fecho i que pertencem à família f
M_l	conjunto de ações de manutenção m a realizar na linha de enchimento l
T_m	conjunto de períodos t em que pode ser realizada a ação de manutenção m
V_f	conjunto de matérias-primas v que podem ser consumidas pela família f
Variáveis de decisão	
Y_{flt}	(=1) se ocorre engarrafamento da família f na linha de enchimento l no período t ; (=0) caso contrário
Z_{ft}	(=1) se ocorre engarrafamento em subcontratação da família f no período t ; (=0) caso contrário
Xd_{ilt}	quantidade de produção direta a produzir da família/capacidade/fecho i na linha de enchimento l no período t
Xe_{ilt}	quantidade de enchimento a produzir da família/capacidade/fecho i na linha de enchimento l no período t

Xa_{ilt}	quantidade de acabamento a produzir da família/capacidade/fecho i na linha de enchimento l no período t
I_{ijt}^{PA}	quantidade em inventário de produto acabado livre da família/capacidade/fecho i no centro fabril j no final do período t
I_{ijt}^{GRF}	quantidade em inventário de produto de garrafeira livre da família/capacidade/fecho i no centro fabril j no final do período t
E_{ijt}^{PA}	quantidade em inventário de produto acabado em estágio da família/capacidade/fecho i no centro fabril j no final do período t
E_{ijt}^{GRF}	quantidade em inventário de produto de garrafeira em estágio da família/capacidade/fecho i no centro fabril j no final do período t
F_{ijt}^{PA}	quantidade em inventário de produto acabado da família/capacidade/fecho i que termina o período de estágio no centro fabril j no período t
F_{ijt}^{GRF}	quantidade em inventário de produto de garrafeira da família/capacidade/fecho i que termina o período de estágio no centro fabril j no período t
R_{vft}	quantidade de matéria-prima v da família f disponível no final do período t
U_{vft}	quantidade de matéria-prima v da família f consumida no período t
Od_{ijt}	quantidade de produção direta a produzir em subcontratação da família/capacidade/fecho i para satisfazer a procura do centro j no período t
Oe_{ijt}	quantidade de enchimento a produzir em subcontratação da família/capacidade/fecho i para satisfazer a procura do centro j no período t
Q_{ijt}	quantidade de <i>stock</i> fictício da família/capacidade/fecho i no centro j no período t
S_{it}	folga de <i>stock</i> da família/capacidade/fecho i no final do período t
T_{ijk}	quantidade da família/capacidade/fecho i a transferir do centro j para o centro k no período t
K_{mlt}	(=1) se a ação de manutenção m na linha l ocorre no período t ; (=0) caso contrário
A_t^{PA}	espaço de armazenagem subcontratado de produto acabado no período t
A_t^{GRF}	espaço de armazenagem subcontratado de garrafeira no período t
H_t	consumo de tempo de abertura de 2º turno na linha l no período t
W_t	consumo de capacidade de mão de obra extra na linha l no período t

Parâmetros

d_{ijt}	procura prevista da família/capacidade/fecho i no centro j no final do período t
st_{ij}^{PA}	<i>stock</i> inicial de produto acabado livre da família/capacidade/fecho i no centro j
st_{ij}^{GRF}	<i>stock</i> inicial de garrafeira livre da família/capacidade/fecho i no centro j
ei_{ijt}^{PA}	<i>stock</i> inicial de produto acabado da família/capacidade/fecho i no centro j que termina o período de estágio no período t
ei_{ijt}^{GRF}	<i>stock</i> inicial de garrafeira da família/capacidade/fecho i no centro j que termina o período de estágio no período t

rmi_{vf}	quantidade de matéria-prima v da família f disponível no início do período abrangido pelo plano
rm_{vft}	entrada de matéria-prima v da família f no período t
ce_{ilt}	cadência de enchimento da família/capacidade/fecho i na linha l no período t
ca_{ilt}	cadência de acabamento da família/capacidade/fecho i na linha l no período t
cd_{ilt}	cadência de produção direta da família/capacidade/fecho i na linha l no período t
ne_{ilt}	número de FTEs (<i>Full-time-employees</i>) envolvidos no enchimento da família/capacidade/fecho i na linha l no período t
na_{ilt}	número de FTEs envolvidos no acabamento da família/capacidade/fecho i na linha l no período t
nd_{ilt}	número de FTEs envolvidos na produção direta da família/capacidade/fecho i na linha l no período t
lf_{lt}	tempo máximo de abertura de 1º turno na linha l no período t
ls_{lt}	tempo máximo de abertura de 2º turno na linha l no período t
wb_{lt}	capacidade de mão de obra base na linha l no período t
we_{lt}	capacidade de mão de obra extra na linha l no período t
lm_{flt}	lote mínimo de enchimento da família f na linha l no período t
ss_{it}	<i>stock</i> de segurança da família/capacidade/fecho i a assegurar no final de cada período t
θ_f	custo de reclassificação da família de vinho f
oe	custo de subcontratação de engarrafamento
τ_{lt}	sobrecusto de abertura por hora extra na linha l no período t
ω_{lt}	custo por hora de mão de obra extra na linha l no período t
r_{ml}	duração da ação de manutenção m na linha l
n_{ml}	número de FTEs necessários para efetuar a ação de manutenção m na linha l
op	custo de subcontratação de espaço de armazenagem
$wacc$	custo médio anual da posse de <i>stock</i>
h_i^{PA}	custo de manter em <i>stock</i> uma unidade de produto acabado da família/capacidade/fecho i
h_i^{GRF}	custo de manter em <i>stock</i> uma unidade de produto de garrafeira da família/capacidade/fecho i
ρ_{vt}	(=1) se a matéria-prima v pode ser consumida no período t ; (=0) caso contrário
γ_i	tempo de estágio da família/capacidade/fecho i
α_{jt}^{PA}	capacidade de armazenagem de produto acabado no centro j no período t
α_{jt}^{GRF}	capacidade de armazenagem de produto de garrafeira no centro j no período t
g_l	quantidade de litros necessários para ocorrer o golpe de linha na linha de enchimento l
go	quantidade de litros necessários para ocorrer o golpe de linha em subcontratação
λ	custo de transportar uma unidade de produto entre centros

- β_1 penalização pelo incumprimento do plano de vendas
- β_2 penalização a aplicar em situações onde o *stock* de segurança não é assegurado no final do mês

Função Objetivo

A função objetivo do modelo minimiza a soma de um conjunto de custos a considerar na definição do plano de capacidades.

O custo de posse de *stock*, representado na expressão 4.1, corresponde à quantidade total em *stock* de produto de garrafeira e acabado, multiplicada pelo custo de manter o respetivo produto em inventário.

$$PosseStock = \sum_{i \in I} \sum_{j \in C} \sum_{t \in T} [(I_{ijt}^{PA} + E_{ijt}^{PA}) \cdot h_i^{PA} + (I_{ijt}^{GRF} + E_{ijt}^{GRF}) \cdot h_i^{GRF}] \cdot \frac{wacc}{12} \quad (4.1)$$

O engarrafamento (produção direta ou enchimento) no período t , de uma família f na linha l é refletido na ativação do lote Y_{flt} . Caso este ocorra em subcontratação, é ativado o lote Z_{ft} . Associada à ativação do lote de enchimento encontra-se a estimativa do custo de golpes de linha. Este custo ocorre quando há alteração da família f a produzir na linha l , implicando a realização de um *setup* que leva à perda de uma determinada quantidade de litros de vinho que varia consoante a linha. Desta forma, a estimativa do impacto de golpes de linha é obtida através da soma da quantidade total de litros perdidos multiplicada pelo respetivo valor de desvalorização do vinho, como mostra 4.2. O pressuposto de que a ativação do lote Y_{flt} resulta sempre na ocorrência de um golpe de linha perde adesão à realidade quando os produtos pertencentes à família f são continuamente produzidos entre meses consecutivos na linha l . Este caso verifica-se para famílias de produtos que apresentam menores valores de desvalorização do vinho e que, independentemente da simplificação realizada, a decisão será a sua produção em todos os períodos. O pressuposto é válido para as famílias de produtos que não são produzidas todos os meses e cujo custo associado ao golpe de linha tem realmente um maior impacto.

$$GolpesLinha = \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} (Z_{ft} \theta_{fgo} + \sum_{l \in L} Y_{flt} \theta_{fgl}) \quad (4.2)$$

Quando a capacidade de produção e armazenagem não permite atender às necessidades é possível subcontratar estes serviços, incorrendo-se um custo adicional calculado através da expressão 4.3.

$$Outsourcing = \sum_{t \in T} [(A_t^{PA} + A_t^{GRF}) op + \sum_{i \in I} \sum_{j \in C} (Oe_{ijt} + Od_{ijt}) oe] \quad (4.3)$$

Por seu turno, 4.4 incorpora o custo implícito na abertura de horas de 2º turno nas linhas de enchimento e na contratação de mão de obra extra (horas-homem), necessários para contornar as limitações de capacidade base.

$$CapacidadeExtra = \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} H_{lt} \tau_{lt} + W_{lt} \omega_{lt} \quad (4.4)$$

Já o custo associado às movimentações entre centros fabris é obtido através da quantidade de produto de garrafeira transportada entre centros multiplicada pelo custo de transporte, como representado na expressão 4.5.

$$Transporte = \sum_{i \in I} \sum_{j \in C} \sum_{k \in C} \sum_{t \in T} T_{ijkt} \lambda \quad (4.5)$$

Foi acrescentada à função objetivo uma parcela relativa à penalização pelo incumprimento do plano de vendas, verificado quando a quantidade produzida e o *stock* livre não permitem satisfazer o consumo previsto. Para tal, foi introduzido um peso, β_1 .

$$IncumprimentoPlano = \sum_{i \in I} \sum_{j \in C} \sum_{t \in T} \beta_1 Q_{ijt} \quad (4.6)$$

Finalmente, a expressão 4.7 permite penalizar situações onde o *stock* de segurança não é assegurado no final do mês. O peso atribuído a esta parcela é menor, visto que este fator tem uma menor relevância fase ao incumprimento das vendas.

$$Cobertura = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \beta_2 S_{it} \quad (4.7)$$

Restrições

As 4 restrições que de seguida se apresentam permitem assegurar o fluxo de inventário nas diferentes etapas do processo, identificadas na Figura 3.1. A quantidade de produto de garrafeira da família/capacidade/fecho i em estágio no centro j no final do período t é igual à quantidade que se encontrava em estágio a $t - 1$, adicionada da quantidade de enchimento produzida, deduzida da quantidade de *stock* de produto de garrafeira cujo estágio termina em t (4.8).

$$E_{ijt}^{GRF} = E_{ijt-1}^{GRF} + \sum_{l \in L_j} X e_{ilt} + O e_{ijt} - F_{ijt}^{GRF} \quad \forall i \in I, j \in C, t \in T = \{2, \dots, T\} \quad (4.8)$$

De forma idêntica é equacionada a quantidade de produto acabado da família/capacidade/fecho i em estágio no centro j no período t , mas desta vez são adicionadas as quantidades obtidas através de produção direta, como mostra 4.9.

$$E_{ijt}^{PA} = E_{ijt-1}^{PA} + \sum_{l \in L_j} X d_{ilt} + O d_{ijt} - F_{ijt}^{PA} \quad \forall i \in I, j \in C, t \in T = \{2, \dots, T\} \quad (4.9)$$

Por seu turno, o *stock* livre de garrafeira corresponde ao inventário no período anterior, mais o *stock* de garrafeira de i que terminou o estágio no período t e a quantidade de *stock* movimentada do centro k para o centro j . São ainda subtraídas as quantidades de *stock* que saem do centro j e as que seguem para acabamento (4.10).

$$I_{ijt}^{GRF} = I_{ijt-1}^{GRF} - \sum_{l \in L_j} Xa_{ilt} + F_{ijt}^{GRF} - \sum_{k \in C \setminus \{j\}} T_{ikjt} + \sum_{k \in C \setminus \{j\}} T_{ikjt} \quad \forall i \in I, j \in C, t \in T = \{2, \dots, T\} \quad (4.10)$$

Por fim, em cada polo produtivo j , o inventário de produto acabado i livre em cada período, corresponde ao *stock* em $t - 1$, adicionado da produção de acabamento, mais a quantidade de *stock* que terminou o estágio em t , subtraída dos consumos reais esperados nesse período (4.11).

$$I_{ijt}^{PA} = I_{ijt-1}^{PA} + \sum_{l \in L_j} Xa_{ilt} + F_{ijt}^{PA} + Q_{ijt} - d_{ijt} \quad \forall i \in I, j \in C, t \in T = \{2, \dots, T\} \quad (4.11)$$

Para $t = 1$ os valores de E_{ijt-1}^{GRF} , E_{ijt-1}^{PA} , I_{ijt-1}^{GRF} e I_{ijt-1}^{PA} , são substituídos pelo respetivo valor de *stock* inicial: $\sum_{t \in T} ei_{ijt}^{GRF}$, $\sum_{t \in T} ei_{ijt}^{PA}$, si_{ij}^{GRF} e si_{ij}^{PA} .

A quantidade em inventário de produto de garrafeira da família/capacidade/fecho i que termina o período de estágio no centro fabril j no período t equivale à produção de enchimento no período $t - \gamma_i$, ou seja, à produção que termina o período de estágio em t , adicionada da quantidade de *stock* inicial de produto de garrafeira de i no centro j que termina o período de estágio no período t (4.12). O mesmo se verifica para a quantidade em inventário de produto acabado da família/capacidade/fecho i que termina o período de estágio no centro fabril j no período t , sendo neste caso considerada a produção direta (4.13)

$$F_{ijt}^{GRF} = \sum_{l \in L_j} Xe_{ilt-\gamma_i} + Oe_{ijt-\gamma_i} + ei_{ijt}^{GRF} \quad \forall i \in I, j \in C, t \in T \quad (4.12)$$

$$F_{ijt}^{PA} = \sum_{l \in L_j} Xd_{ilt-\gamma_i} + Od_{ijt-\gamma_i} + ei_{ijt}^{PA} \quad \forall i \in I, j \in C, t \in T \quad (4.13)$$

A restrição 4.14 garante que a produção em cada período de cada centro, não excede a capacidade base disponível mais a abertura de horas de 2º turno subtraídas das horas dedicadas à manutenção, caso esta ocorra. Em 4.15 é imposto o limite máximo de horas de abertura de 2º turno.

$$\sum_{i \in I_l} \frac{Xe_{ilt}}{ce_{ilt}} + \frac{Xd_{ilt}}{cd_{ilt}} + \frac{Xa_{ilt}}{ca_{ilt}} \leq lf_{lt} + H_{lt} - \sum_{m \in M_l} K_{mlt} r_{ml} \quad \forall l \in L, t \in T \quad (4.14)$$

$$H_{lt} \leq ls_{lt} \quad \forall l \in L, t \in T \quad (4.15)$$

De forma semelhante, a equação 4.16 assegura que a mão de obra utilizada na produção não excede a capacidade base de horas-homem disponíveis adicionadas da contratação de horas-homem extra menos as horas-homem dispensadas na manutenção. Por sua vez, 4.17 demonstra que a mão de obra extra utilizada não pode exceder o limite estabelecido.

$$\sum_{i \in I_l} \frac{Xe_{ilt} ne_{ilt}}{ce_{ilt}} + \frac{Xd_{ilt} nd_{ilt}}{cd_{ilt}} + \frac{Xa_{ilt} na_{ilt}}{ca_{ilt}} \leq wb_{lt} + W_{lt} - \sum_{m \in M_l} K_{mlt} r_{ml} n_{ml} \quad \forall l \in L, t \in T \quad (4.16)$$

$$W_{lt} \leq w_{elt} \quad \forall l \in L, t \in T \quad (4.17)$$

As restrições 4.18 e 4.19 garantem, respetivamente, que o número de unidades a armazenar de produto acabado e garrafeira em cada centro não excede a totalidade do espaço disponível adicionado da quantidade a armazenar em subcontratação.

$$A_t^{PA} + \sum_{j \in C} a_{jt}^{PA} = \sum_{i \in I_j} \sum_{j \in C} (I_{ijt}^{PA} + E_{ijt}^{PA}) \quad \forall t \in T \quad (4.18)$$

$$A_t^{GRF} + \sum_{j \in C} a_{jt}^{GRF} = \sum_{i \in I_j} \sum_{j \in C} (I_{ijt}^{GRF} + E_{ijt}^{GRF}) \quad \forall t \in T \quad (4.19)$$

Relativamente à manutenção, 4.20 assegura que cada ação m na linha de enchimento l é realizada pelo menos uma vez, num período onde tal ação possa ocorrer. Já 4.21 descreve como o *stock* de segurança no final de cada período é equacionado.

$$\sum_{t \in T_m} K_{mlt} \geq 1 \quad \forall m \in M_l, l \in L \quad (4.20)$$

$$\left(\sum_{j \in C} I_{ijt}^{PA} \right) + S_{it} \geq ss_{it} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (4.21)$$

As restrições 4.22 e 4.23 permitem assegurar que, caso haja engarrafamento da família f na linha l no período t , a quantidade de engarrafamento é superior ou igual ao lote mínimo. Em 4.23, D representa uma constante com um valor elevado.

$$Y_{flt} l m_{flt} \leq \sum_{i \in I_f} (X_{e_{ilt}} + X_{d_{ilt}}) \quad \forall f \in F, l \in L, t \in T \quad (4.22)$$

$$Y_{flt} D \geq \sum_{i \in I_f} (X_{e_{ilt}} + X_{d_{ilt}}) \quad \forall f \in F, l \in L, t \in T \quad (4.23)$$

As equações 4.24, 4.25 e 4.26 concernem as janelas de engarrafamento. Assim, a quantidade de matéria-prima v existente no final de cada período t , corresponde à quantidade de matéria-prima no início do período mais as entradas de vinho subtraídas da quantidade consumida nesse período (4.24). No caso de $t = 1$, a parcela R_{vft-1} é substituída por rm_{v_f} . Na segunda equação, verifica-se que o consumo das matérias-primas $v \in V_f$ ocorre quando há engarrafamento das família/capacidade/fecho $i \in I_f$. Por fim, 4.26 garante que o vinho a granel disponível é consumido até à sua data limite de consumo.

$$R_{vft} = R_{vft-1} + rm_{vft} - U_{vft} \quad \forall v \in V, f \in F, t \in T = \{2, \dots, T\} \quad (4.24)$$

$$\sum_{v \in V_f} U_{vft} = \sum_{i \in I_f} \left[\left(\sum_{l \in L} X_{e_{ilt}} + X_{d_{ilt}} \right) + \left(\sum_{j \in C} O_{e_{ijt}} + O_{d_{ijt}} \right) \right] \quad \forall f \in F, t \in T \quad (4.25)$$

$$U_{vft} \leq D \rho_{vft} \quad \forall v \in V, f \in F, t \in T \quad (4.26)$$

4.2.2 Desagregação ao SKU

De modo a obter resultados de maior interesse para a empresa, é necessário desagregar as quantidades de produção sugeridas pelo modelo de otimização nos respetivos SKUs. Desta forma, é possível determinar quais os SKUs a produzir em cada mês, em cada linha de enchimento e por processo produtivo. Para realizar esta desagregação, foram consideradas diferentes abordagens de acordo com o tipo de processo: (1) enchimento, (2) acabamento, (3) produção direta e (4) pós-processamento.

No que diz respeito ao enchimento, é necessário determinar quais os SKUs de garrafeira produzidos através deste processo em cada linha de enchimento. Para tal, devem ser considerados os roteiros de enchimento de cada SKU e a matéria-prima (vinho a granel) disponível de cada família. Sendo a matéria-prima finita, é necessário determinar o momento em que ocorre a mudança de colheita. Como as colheitas são definidas ao nível da família, quando uma colheita de uma determinada família se esgota, todos os SKUs dessa família são substituídos pelos SKUs da nova colheita. Adicionalmente, ao nível da família/capacidade/fecho, os produtos acabados partilham os mesmos SKUs de garrafeira.

Tendo em conta o anteriormente mencionado, o processo de enchimento para cada família/capacidade/fecho segue as seguintes fases:

1. Identificar as disponibilidades e entradas de vinho para cada família, sendo que em alguns casos existe uma data de disponibilidade e uma data limite de consumo da colheita.
2. Percorrer a produção em cada período e:
 - Deduzir ao *stock* disponível da colheita mais antiga em utilização a produção de enchimento e produção direta, já que em ambos os processos há consumo de matéria-prima.
 - O momento de mudança de colheita ocorre quando o *stock* termina ou quando a data limite de consumo é atingida. Assim, até esse momento, à produção de enchimento é atribuído um SKU de garrafeira ativo da colheita em análise que apresente roteiro de enchimento na linha onde ocorreu a produção. A partir desse momento, a nova colheita começa a ser utilizada.
 - Repetir os dois passos anteriores até terem sido percorridos todos os períodos de produção e a este ter sido associado um SKU.

Já no que aos restantes tipos de produção diz respeito, a desagregação tem por base o plano de vendas e o período de cobertura garantido pela quantidade produzida. Considera-se que a quantidade a produzir de cada SKU é proporcional à procura prevista durante o período de cobertura. Este período representa o momento exato onde ocorrem as vendas dos produtos obtidos e a sua determinação varia de acordo com o processo. Assim, são percorridas várias etapas de modo a obter os resultados finais:

1. Ao plano de vendas, deduzir a quantidade em inventário de cada SKU para garantir que a produção não é desagregada em SKUs para os quais existe *stock* suficiente para satisfazer a procura.
2. Para cada família/capacidade/fecho, para cada mês de produção, identificar o *stock* existente da combinação no início do período. O *stock* a considerar varia consoante o processo:
 - Acabamento: Sendo uma fase final, é considerado o *stock* livre de produto acabado no final do mês anterior.
 - Produção direta: É considerado tanto o *stock* de produto acabado livre como em estágio. Como inclui as etapas de enchimento e acabamento, este processo é mais demorado, sendo que, caso haja possibilidade de produzir os SKUs através de acabamento, é dada prioridade a este último processo.
 - Pós-processamento: Não há armazenagem de produtos após este processo. A produção é consumida no próprio mês, correspondendo este ao início e fim do período de cobertura.
3. Percorrer os períodos seguintes e determinar até que momento o *stock* inicial consegue satisfazer a procura, deduzindo as vendas previstas às quantidades em inventário. A partir desse momento, a procura é satisfeita pela produção do período em análise.
 - No caso de produção direta, para além da previsão de vendas, a produção por acabamento em cada período é também deduzida às quantidades em inventário uma vez que a procura será em primeiro lugar satisfeita pela produção de acabamento.
4. Subtrair à produção a procura prevista para os períodos seguintes até que a quantidade a produzir termine, sendo desta forma identificado o final do período de cobertura associado à produção.
 - Uma vez que é necessário assegurar determinados níveis de *stock* de segurança, é expectável terminar o período abrangido pelo plano de capacidades com inventário. Nestes casos, para determinar o período de cobertura, o plano de vendas é prolongado assumindo que a procura nos meses futuros corresponde à procura nos meses homólogos incluídos no plano de capacidades.
5. Determinado o período de cobertura, seleccionar as previsões de vendas dos SKUs que integram a combinação família/capacidade/fecho para esse período.
6. De acordo com a linha de produção, seleccionar, do conjunto obtido na etapa anterior, os SKUs com roteiro do processo na linha em questão.
7. Calcular o peso das vendas de cada SKU dentro do conjunto obtido e determinar a quantidade a produzir de cada SKU, considerando que a produção é proporcional às vendas previstas.

- Caso o período de cobertura inclua meses futuros (não considerados no plano de capacidades), verificar ao nível da família/capacidade/fecho se já ocorreu desagregação da produção num SKU mais recente que aquele previsto nos meses homólogos. Se sim, considerar o SKU mais recente nesse período de produção.

Por fim, sabendo as quantidades produzidas de cada SKU em cada centro, é necessário determinar a quantidade de MPS necessárias. Para isso, é essencial ter em conta as listas técnicas de cada SKU, onde são identificados os componentes requeridos para a sua produção e ainda a unidade de armazenagem de cada tipo de MPS. Desta forma, a última fase da desagregação ao SKU segue as seguintes etapas:

1. Para cada SKU a produzir, identificar através das listas técnicas, os componentes secos e as quantidades necessárias para a sua produção.
2. Determinar as quantidades necessárias de cada componente em cada mês, tendo em conta a quantidade a produzir de cada SKU e a cobertura a garantir. Esta cobertura varia de acordo com o tipo de MPS.
3. Determinar o número de caixas necessárias de cada componente, sendo que o número de unidades a incluir em cada caixa varia de acordo com o componente.
4. Determinar o número de unidades de armazenagem (paletes, boxes ou tabuleiros) necessárias para armazenar as caixas de cada componente. O número de caixas a armazenar em cada unidade varia de acordo com o centro e o tipo de unidade de armazenagem.

Fica assim concluído o processo de desagregação das quantidades sugeridas para produção ao SKU. Esta etapa permite a obtenção de resultados com maior detalhe no que diz respeito aos produtos que devem ser produzidos e garante assim um maior suporte no processo de planeamento.

4.2.3 Visualização de resultados

Para que os resultados fossem facilmente interpretados pelas equipas, foi essencial desenvolver duas ferramentas que permitissem, de forma organizada e estruturada, compilar o *output* obtido pelo modelo de otimização.

4.2.3.1 Ficheiro *Output*

A primeira ferramenta desenvolvida, diz respeito a um ficheiro Excel onde, após cada corrida do modelo, é possível visualizar os resultados obtidos relativos à produção das diferentes famílias/capacidade/fecho, à utilização de recursos em cada centro fabril e aos custos estimados para todo o processo. Estes tópicos são detalhados para cada mês no período de 12 meses. Adicionalmente, era de grande interesse para a empresa que fosse possível realizar ajustes às quantidades de produção sugeridas pelo modelo e simular o impacto destas alterações ao nível da capacidade de mão de obra e ocupação das linhas. Por essa razão, foi introduzida uma quarta componente no

Tabela 4.2: Tópicos representados no ficheiro *Output*

Produtos	Visão integrada ao produto Quantidades para produção Tempos de produção Quantidades e espaço em <i>stock</i> Incumprimento do plano de vendas
Utilização de recursos	Ocupação das linhas Utilização de mão de obra Plano de manutenção Ocupação de armazém Cadências médias das linhas Utilização de mão de obra por linha Movimentações entre centros
Custos	Visão global
Simulação	Ajuste das quantidades sugeridas Simulação do impacto das alterações

ficheiro Excel que permitisse realizar esta simulação. Na Tabela 4.2 encontram-se detalhadas os vários tópicos abordados no ficheiro *Output*.

De forma a proporcionar uma visão global das quantidades a produzir, tendo em conta a previsão de vendas e *stocks* existentes foi desenvolvida a folha "Visão integrada ao produto". Nesta folha, é possível visualizar o plano de vendas, os *stocks* de vinho a granel, garrafeira e produto acabado, em estágio e livre, as quantidades produzidas dos quatro tipos de processo, quer na empresa quer através de subcontratação, e ainda a quantidade de incumprimento do plano de vendas. Nesta visão, o utilizador consegue seleccionar uma ou várias famílias/capacidade/fecho para analisar.

De seguida, o detalhe das quantidades a produzir por linha de enchimento e processo, para cada família/capacidade/fecho, é apresentado na folha "Quantidades para produção". Por sua vez, a visão "Tempos de produção" discrimina os tempos, em horas, necessários para obter as quantidades sugeridas de cada família/capacidade/fecho por linha de enchimento e processo.

De forma a detalhar para cada grupo de produtos as quantidades existentes em inventário de produto acabado e garrafeira, bem como o espaço ocupado em armazém, foi necessário desenvolver a folha "Quantidades e espaço em *stock*". Já na folha "Incumprimento do plano de vendas" encontram-se as quantidades do plano de vendas, para cada família/capacidade/fecho, que não são satisfeitas pela produção ou *stock* livre.

Para além de ser necessário mostrar os detalhes relativos às quantidades de produção sugeridas, é de especial importância aprofundar as restrições de capacidade envolvidas no plano de capacidades. O modelo permite determinar o número total de horas de abertura das linhas de enchimento necessárias para a produção. Sendo um *input* do modelo a capacidade máxima de horas de abertura de 1º e 2º turno, na folha "Ocupação das linhas" são calculados os tempos de abertura de 1º e 2º turno de cada linha de enchimento, bem como a taxa de ocupação face à capacidade de 1º turno (%).

Relativamente à capacidade de mão de obra, foi necessário apresentar a capacidade base disponível e a capacidade total utilizada. Comparando estas duas medidas, obtém-se o número de horas-homem extra utilizadas e ainda a percentagem de utilização de mão de obra face à capacidade base. Na folha "Utilização de mão de obra", estes valores são apresentados por centro, enquanto a "Utilização de mão de obra por linha" detalha as mesmas medidas por linha de enchimento. Ambas as vistas são necessárias já que, analisando os centros fabris de forma global, a percentagem de utilização de mão de obra pode ser inferior a 100%, caso os recursos não estejam a ser utilizados na sua totalidade. Ao mesmo tempo, pode ser necessário recorrer a horas-extra em determinadas linhas, sendo por isso este valor superior a 100% na folha "Utilização de mão de obra por linha" nas respetivas linhas.

Relativamente à manutenção exigida, é crucial mostrar os períodos selecionados pelo modelo como os ideais para a realização destas ações em cada linha de enchimento. Assim, nestes momentos, a disponibilidade das linhas para produção é inferior à capacidade base.

As restrições associadas ao espaço de armazenagem disponível em cada centro fabril para o armazenamento de produto de garrafeira e produto acabado são apresentadas na vista "Ocupação de armazém". Assim, para cada centro é apresentado o espaço disponível e ocupado por cada tipo de produto, e ainda a taxa de ocupação de espaço em cada armazém (%). Em casos onde esta taxa é superior a 100%, há necessidade de recorrer à subcontratação de espaço de armazenagem. Associadas ainda às restrições de capacidade encontram-se as movimentações entre centros fabris. Assim, a folha "Movimentações entre centros" permite visualizar, para cada família/capacidade/fecho, as movimentações sugeridas pelo modelo de otimização de *stock* de garrafeira, indicando qual o centro de origem e de destino.

De forma a transmitir a informação relativa às cadências das linhas de acordo com o processo produtivo, foi desenvolvida a folha "Cadências médias das linhas". Partindo das quantidades a produzir através de cada processo e dos tempos de produção associados, são obtidas as cadências médias esperadas. Desta forma, obtém-se valores mais realistas, considerados de facto pelo modelo, tendo em conta fatores como as cadências nominais e OEEs de cada linha.

É ainda do interesse da empresa perceber quais os custos associados às várias etapas e restrições do processo produtivo, custos esses considerados na função objetivo do modelo de otimização desenvolvido. Assim, os diferentes custos são destacados na folha "visão global" dos custos: (1) posse de *stock*, (2) golpes de linha na empresa, (3) golpes de linha em subcontratação, (4) produção subcontratada, (5) sobrecurso de abertura de 2º turno, (6) custo de mão de obra extra, (7) subcontratação de armazenagem, e (8) movimentações entre centros fabris.

Tendo em conta que o modelo de otimização desenvolvido constitui uma ferramenta de apoio à decisão, a equipa de Planeamento pode desejar ajustar as quantidades sugeridas com base na sua experiência e fatores subjetivos não incorporados no modelo. De modo a simular o impacto destes ajustes no que toca à capacidade de abertura das linhas de enchimento e mão de obra, foi desenvolvida uma secção no ficheiro *output* destinada a esta simulação. Na folha "Ajuste das quantidades sugeridas" são apresentadas as quantidades propostas para produção por período, linha, processo e família/capacidade/fecho. A equipa pode ajustar as quantidades sugeridas em cada uma das

combinações propostas ou adicionar novas combinações. Posteriormente, identificando para cada combinação a cadência e horas-homem necessárias por unidade produzida, é possível determinar o tempo total de abertura das linhas e a capacidade de mão de obra requerida. A última vista, "Simulação do impacto das alterações", combina assim os dados apresentados nas folhas "Ocupação das linhas" e "Utilização de mão de obra por linha", mas, neste caso, apresentando os resultados esperados caso fossem implementados os ajustes efetuados às quantidades sugeridas pelo modelo de otimização.

4.2.3.2 *Dashboard*

Ao permitir a medição da eficiência e eficácia da cadeia de abastecimento (Reddy. K et al., 2019), a identificação de atividades de baixo desempenho e o seu potencial de melhoria (Lindberg et al., 2015), a monitorização contínua da *performace* torna-se uma chave para o sucesso de qualquer empresa no ambiente volátil atualmente verificado no mercado. No entanto, torna-se difícil para os gestores identificar as relações existentes entre indicadores e definir a quais devem dar prioridade no processo de melhoria (Cai et al., 2009). *Key Performance Indicators* (KPIs) são indicadores mensuráveis que permitem medir o desempenho efetivo e, assim, avaliar o grau de cumprimento da estratégia implementada (Wohlers et al., 2020).

Em resultado do exposto, a segunda ferramenta de visualização desenvolvida tem como objetivo incentivar a empresa a monitorizar os seus processos para melhor compreender a evolução e impacto das suas decisões. Foi assim criado um *dashboard* onde se encontram apresentados vários indicadores relacionados com o plano de capacidades.

Embora o principal objetivo seja mostrar a evolução real dos diferentes indicadores face aos resultados estimados pelo modelo, o *dashboard* possibilita também a comparação de diferentes corridas do modelo. Assim, esta funcionalidade permite à empresa testar e analisar diferentes cenários para o mesmo horizonte temporal, onde variam os *inputs* fornecidos. Desta forma, a empresa consegue facilmente antecipar e compreender quais as consequências que uma decisão poderá ter no futuro no que se refere à utilização da capacidade produtiva.

O *dashboard* contém 5 vistas diferentes. A primeira exhibe os principais indicadores associados ao planeamento de capacidades, enquanto que as restantes 4 apresentam indicadores relacionados com um tópico específico do plano: (1) mão de obra, (2) capacidade das linhas de enchimento, (3) quantidades produzidas e (4) *stocks* e transportes. Para além das diferenças no tópico, as vistas diferem também no nível de granularidade apresentado. Na Tabela 4.3 encontram-se listados os indicadores selecionados e que foram incluídos no *dashboard*.

Tendo em conta as funcionalidades pretendidas, o utilizador tem a possibilidade de selecionar um plano de capacidades gerado pelo modelo para análise, o período desse plano que pretende analisar e ainda um segundo plano para comparação. Consoante o horizonte temporal do plano a analisar selecionado, os dados reais que serão apresentados nos diferentes gráficos dizem respeito aos dados do período específico, caso a empresa já tenha registo desses dados, ou aos dados relativos ao período homólogo do ano anterior, caso esteja a ser analisado um plano para meses futuros.

Tabela 4.3: Indicadores incorporados nas diferentes vistas do *dashboard*

Vista	Indicadores	Granularidade
Geral	Utilização de capacidade de mão de obra (%) Ocupação face à capacidade de 2º turno (%) Peso da subcontratação (%) Quantidades produzidas (Cx9L) Utilização da capacidade de armazenagem (%)	Centro
Mão-de-obra	Capacidade base disponível (horas-homem) Capacidade base utilizada (horas-homem) Capacidade adicional utilizada (horas-homem) Custo de mão de obra extra (€) Utilização de capacidade (%)	Centro, linha
Linhas de enchimento	Horas trabalhadas de 1º turno (horas) Horas trabalhadas de 2º turno (horas) Sobrecusto de 2º turno (€) Ocupação face à capacidade de 2º turno (%) Peso da subcontratação (%) Quantidades produzidas em subcontratação (Cx9L) Custo com subcontratação (€)	Centro, linha, processo
Quantidades	Quantidades produzidas (Cx9L) Incumprimento do plano de vendas (Cx9L) Estimativa do custo de movimentação para garrafeira (€) Estimativa do impacto dos golpes de linha (€) Cumprimento do plano (%)	Centro, linha, processo, família, capacidade, fecho
Stocks e Transportados	Quantidades em <i>stock</i> (Cx9L) Custo de posse de <i>stock</i> (€) Coberturas de <i>stock</i> (meses) Utilização da capacidade de armazenagem (%) Subcontratação de armazenagem (paletes) Estimativa do custo de subcontratação de armazenagem (€) Quantidades movimentadas entre centros (Cx9L) Estimativa do custo de movimentação entre centros (€)	Centro, família, capacidade, fecho, tipo de produto

Capítulo 5

Resultados

Este capítulo visa apresentar os resultados da aplicação da metodologia descrita para a indústria vitivinícola. É de realçar que, ao longo do projeto, o método foi continuamente validado internamente e pela equipa de Planeamento.

As diferentes restrições e custos incorporadas no modelo desenvolvido permitiram a obtenção de um plano de capacidades robusto, integrando diversas áreas, decisões e limitações. Desta forma, foi possível trazer um rigor e complexidade que anteriormente não existiam no processo de planeamento da empresa, uma vez que este era realizado manualmente. Por esse motivo, a comparação direta entre os planos gerados pelo modelo de otimização com os planos definidos na empresa pode não traduzir ganhos diretos pois, muitas vezes, quando os planos são definidos manualmente as restrições impostas não são rigorosamente cumpridas. Para além disso, na tomada de decisão podem ser considerados critérios que não se encontram devidamente traduzidos nos dados do problema, normalmente tendo por base a experiência das equipas.

Tendo presentes as reservas referidas, é importante analisar o impacto que alterações nas principais restrições descritas na secção 4.2.1 têm nas quantidades a produzir, na utilização de capacidade e nos custos associados. Para esse efeito realizou-se uma análise de sensibilidade, apresentada na secção seguinte, onde foram comparados diferentes cenários.

De seguida, é apresentada uma visão geral das ferramentas desenvolvidas no âmbito do projeto, ficheiro *output*, ficheiro *output* da desagregação e *dashboard*. Por fim, a Secção 5.3 aprofunda o último passo necessário para a compilação dos vários elementos numa única plataforma de maneira a garantir a correta e intuitiva utilização dos mesmos.

5.1 Análise de sensibilidade

Com vista a testar as consequências subjacentes às principais restrições do plano de capacidades foram propostos e testados 5 cenários distintos:

- C1: Cenário base, considerando os parâmetros definidos pela empresa.
- C2: Cenário sem limite de horas-homem extra.

Tabela 5.1: Comparação dos resultados obtidos para os cenários C1, C2, C3, C4 e C5

	C1	C2	$\Delta(C2 \text{ vs } C1)$	C3	$\Delta(C3 \text{ vs } C1)$	C4	$\Delta(C4 \text{ vs } C1)$	C5	$\Delta(C5 \text{ vs } C1)$
Custo total	1,154,016	1,184,046	30,031 (3%)	1,162,785	8,769 (1%)	1,219,588	65,572 (6%)	1,234,127	80,111 (7%)
Custo de posse de inventário	573,799	566,810	-6,989 (-1%)	582,335	8,535 (1%)	575,643	1,844 (0%)	542,088	-31,712 (-6%)
Impacto total dos golpes de linha	189,202	224,617	35,415 (19%)	180,908	-8,294 (-4%)	261,181	71,979 (38%)	217,726	-28,523 (15%)
Custo de subcontratação de produção	169,479	168,979	-500 (0%)	130,920	-38,559 (-23%)	132,228	-37,251 (-22%)	424,020	254,541 (150%)
Sobrecusto de 2º turno	56,231	56,296	65 (0%)	77,084	20,853 (37%)	74,756	18,525 (33%)	0	-56,231 (-100%)
Custo de mão-de-obra extra	133,702	136,023	2,321 (2%)	168,767	35,065 (26%)	157,574	23,872 (18%)	15,249	-118,452 (-89%)
Custo de subcontratação de espaço de armazenamento	15,348	16,375	1,027 (7%)	13,868	-1,480 (-10%)	9,900	-5,448 (-35%)	12,085	-3,262 (-21%)
Custo de movimentação de <i>stock</i> entre centros	16,255	14,947	-1,308 (-8%)	8,904	-7,351 (-45%)	8,307	-7,948 (-49%)	22,959	6,704 (41%)
Incumprimento do plano	55,252	52,701	-2,551 (-5%)	45,934	-9,319 (-17%)	45,779	-9,473 (-17%)	228,967	173,714 (314%)

- C3: Cenário sem limite de horas de abertura extra das linhas de enchimento.
- C4: Cenário sem limite de horas adicionais, quer a nível da capacidade das linhas, quer a nível de mão de obra.
- C5: Cenário onde não há possibilidade de ter capacidade extra, exceto na abertura de 2º turno nas linhas onde apenas ocorre acabamento manual.

Os diferentes testes foram gerados nas mesmas condições, tendo sido imposto um limite do tempo de execução de 20 minutos. Caso no decorrer deste período não fosse atingida a solução ótima, é considerada a melhor solução encontrada até ao momento. Para cada cenário, as alterações aos limites de capacidade a considerar são idênticas em todos os períodos e para cada linha de enchimento, mantendo-se os restantes *inputs* inalterados.

O cenário C1 corresponde ao cenário base, onde são consideradas as limitações de horas normais no dia-a-dia da empresa. Verifica-se que algumas das linhas de enchimento permitem a abertura de horas de 2º turno de máquinas enquanto a capacidade máxima de mão de obra extra corresponde a 50% da capacidade base. Por seu turno, o cenário C2 tem como objetivo analisar os resultados caso não existissem quaisquer restrições de capacidade de mão de obra extra, ou seja, caso esta fosse igual à capacidade base de horas-homem. O cenário C3 elimina a restrição associada aos tempos de abertura de máquinas. Foi definida a possibilidade de abertura de 2º turno em todas as linhas de enchimento, sendo o número de horas disponíveis de 2º turno equivalente ao número de horas de 1º turno. Já o cenário C4 foi gerado de modo a combinar os cenários C2 e C3, já que a abertura de 2º turno de máquina requer muitas vezes um aumento da mão de obra disponível. Finalmente, o cenário C5 é o oposto do cenário anterior, onde se definiu a impossibilidade de contratação de mão de obra extra e de abertura de horas de 2º turno nas linhas de enchimento, exceto nas linhas manuais onde ocorre o pós-processamento.

Na Tabela 5.1 encontram-se apresentados os custos (unidades monetárias) e o incumprimento do plano de vendas (unidades de produção-caixas de 9L (Cx9L)) associados aos diferentes cenários gerados. De realçar que para os cenários menos restritivos, o modelo de otimização aproveita o maior número de graus de liberdade para reduzir o incumprimento do plano de vendas, o que se traduz no aumento dos custos.

Assim, face ao cenário C1, verificou-se que as alterações efetuadas às restrições de capacidade das linhas e de mão de obra resultaram num custo total mais elevado, tendo a menor diferença sido registada para o cenário C3 (1%). No que diz respeito ao plano de vendas, os cenários

C2, C3 e C4 registaram menores valores de incumprimento do que o cenário base, enquanto C5 apresentou um aumento significativo deste valor. Estes resultados são expectáveis pois o aumento de capacidade traduz-se no aumento da produção, da mesma forma que a sua redução resulta em menores quantidades produzidas.

Apesar de originar custos mais elevados, o aumento da capacidade disponível, nomeadamente ao nível da capacidade de abertura de 2º turno nas linhas de enchimento, resulta na redução do incumprimento (17%). Esta situação deve-se sobretudo ao aumento do número de horas trabalhadas em 2º turno e da contratação de mão de obra extra. Por outro lado, a maior capacidade de abertura das linhas de enchimento, em C3 e C4, permitiu a redução dos custos de subcontratação da produção. Colocando o foco no impacto dos golpes de linha, C3 sugere ser o cenário mais eficiente a nível operacional já que é aquele que apresentou um menor número de litros de vinho desvalorizados, ao mesmo tempo que detém um dos incumprimentos mais baixos.

Desta forma é clara a necessidade de balancear a importância atribuída aos diferentes custos e ao cumprimento do plano de vendas. Caso seja do interesse da empresa aumentar a lealdade dos clientes, o aumento da capacidade disponível deve ser ponderado visto resultar numa diminuição do incumprimento do plano, com um aumento dos custos relativamente reduzido.

Com o objetivo de perceber com maior clareza as diferenças encontradas entre os 5 cenários gerados, a Figura 5.1 apresenta a evolução mensal do plano de vendas, incumprimento do plano, produção (na empresa e através de subcontratação), produção subcontratada, horas-homem extra, horas-máquina extra, inventário e movimentações entre centros. Na Figura D.1 do Anexo D podem ainda ser consultadas as evoluções mensais relativas às quantidades produzidas através de cada um dos quatro processos e dos custos totais.

No que diz respeito às quantidades totais produzidas, verifica-se que os diversos cenários apresentam perfis de evolução semelhantes. O cenário C4 é aquele que, comparativamente aos restantes, apresenta maiores quantidades produzidas em períodos de pico da procura. Esta situação traduz-se numa maior utilização de mão de obra extra e horas de abertura de 2º turno nas linhas de enchimento nestes períodos, já que a capacidade definida assim permite. Outra consequência é refletida no menor recurso a subcontratação de produção e transportes entre centros nestes períodos, face aos restantes cenários. Assim, em C4, onde se verifica também o menor incumprimento de vendas, a produção acompanha com maior proximidade o plano de vendas em cada período, o que se traduz também em menores variações de inventário.

Os cenários C1 e C2 demonstram ser os mais semelhantes entre si, o que seria esperado tendo em conta os resultados da Tabela 5.1. Desta forma, é possível aferir que a relaxação do limite de horas-homem disponíveis não tem um impacto significativo quando as restantes restrições se mantêm constantes. Todavia, o mesmo não se verifica com a restrição associada à capacidade de abertura de 2º turno. No cenário C3, as quantidades totais produzidas, assim como a produção subcontratada isolada, parecem variar entre os resultados dos cenários C1/C2 e o cenário C4. Quando comparada a abertura de 2º turno entre C3 e C4 para os meses de junho a setembro, verifica-se que em junho o valor é superior no cenário C4, enquanto que nos restantes meses regista-se o contrário. Isto deve-se ao facto de a mão de obra ser limitada em C3, o que faz com



Figura 5.1: Comparação das quantidades totais mensais de incumprimento do plano, produção, produção subcontratada, horas de abertura de 2º turno, mão-de-obra extra, inventário e movimentações para os cenários C1, C2, C3, C4 e C5

que no 1º mês não seja possível abrir o mesmo número de horas de 2º turno, produzir as mesmas quantidades e transportar a mesma quantidade de *stock* para períodos futuros como em C4. Por isso, nos meses seguintes será necessário recorrer a uma maior quantidade de mão de obra extra e horas de 2º turno para assegurar um menor incumprimento.

No cenário C5, havendo uma menor capacidade disponível, registaram-se os maiores valores de incumprimento do plano e as menores quantidades em armazém face aos restantes cenários. É interessante reparar que, entre setembro e abril, a produção total foi maior neste cenário que nos

Tabela 5.2: Comparação dos resultados obtidos para os cenários C1, C6 e C7

	C1	C6	$\Delta(C6 \text{ vs } C1)$	C7	$\Delta(C7 \text{ vs } C1)$
Custo total (u.m.)	1,154,016	1,125,089	-28,927 (-3%)	1,145,260	-8,756 (-1%)
Custo de posse de inventário	573,799	563,269	-10,530 (-2%)	573,016	-783 (0%)
Impacto total dos golpes de linha	189,202	258,148	68,945 (36%)	191,040	1,837 (1%)
Custo de subcontratação de produção	169,479	84,300	-85,179 (-50%)	169,479	0 (0%)
Sobrecusto de 2º turno	56,231	56,174	-57 (0%)	54,234	-1,997 (-4%)
Custo de mão-de-obra extra	133,702	133,932	231 (0%)	133,327	-375 (0%)
Custo de subcontratação de espaço de armazenamento	15,348	14,465	-883 (-6%)	14,515	-832 (-5%)
Custo de movimentação de <i>stock</i> entre centros	16,255	14,800	-1,455 (-9%)	9,649	-6,606 (-41%)
Incumprimento do plano de necessidades	55,252	55,353	101 (0%)	55,248	-5 (0%)

restantes e foi também neste período em que o recurso a mão de obra extra foi, no geral, menor. A produção neste período permitiu aumentar os níveis de *stock* para ser consumido mais tarde, quando as necessidades voltam a aumentar. No que toca aos transportes entre centros produtivos, C5 foi o cenário que demonstrou maiores irregularidades. Estando o plano de vendas distribuído de acordo com o centro, as limitações de capacidade impostas neste cenário fazem com que haja uma maior quantidade produzida num centro fabril, com maior folga de capacidade, que é posteriormente transportada para outro armazém e usada para satisfazer a procura nesse local.

É de notar que, dada a restrição relacionada com o *stock* de segurança, ao longo dos meses, as alterações nas quantidades em inventário são menos acentuadas. É ainda importante referir que agosto corresponde ao mês que apresenta um maior incumprimento do plano para todos os cenários, sendo a quantidade produzida nesse mês também menor face aos períodos vizinhos. Esta situação deve-se ao facto de este mês corresponder ao período de férias e onde as ações de manutenção são maioritariamente executadas, o que resulta numa menor capacidade produtiva ao nível das linhas e mão de obra.

Adicionalmente, de modo a avaliar o impacto que a redução de alguns custos unitários teria no plano de capacidades, foram testados mais dois cenários:

- C6: Cenário onde o custo de subcontratação da produção é igual a metade do custo base.
- C7: Cenário onde o custo de transporte entre centros é igual a metade do custo base.

Estes cenários pretendem refletir o que aconteceria caso fosse encontrado um parceiro produtor com um custo mais baixo e o transporte se tornasse mais eficiente. Os custos e incumprimento do plano obtidos encontram-se na Tabela 5.2.

Constatou-se que, em cada cenário, os custos associados ao custo unitário alterado reduziram aproximadamente 50% em comparação ao cenário base. Contudo, os custos totais não diferem de forma significativa. De facto, a maior alteração foi registada para o cenário C6, onde foi reduzido o custo de subcontratação da produção (-3%). Esta parcela dos custos é, das duas componentes em análise nos cenários C6 e C7, a que apresenta um maior peso nos custos totais, daí apresentar um maior impacto nos resultados. No que ao incumprimento diz respeito, a diferença entre os valores obtidos e o cenário base são pouco significativas, resultando em variações de 0%.

As análises realizadas para os cenários C2, C3, C4 e C5 face ao cenário base, foram replicadas para os cenários C6 e C7. No que diz respeito à evolução mensal do incumprimento do plano, produção total, horas-homem extra, horas-máquina extra e inventário, constatou-se que esta era muito semelhante para os diversos cenários, não tendo sido identificadas diferenças relevantes. Os gráficos da evolução mensal destes cenários podem ser consultados no Anexo D nas Figuras D.2 e D.3.

5.2 Visualização

5.2.1 Ficheiro *output*

Como descrito no capítulo anterior, o ficheiro *output* encontra-se organizado em 4 secções principais: (1) produtos, (2) utilização de recursos, (3) custos e (4) simulação. Nesta secção são apresentadas duas das páginas deste ficheiro, sendo que as restantes podem ser consultadas no Anexo E.

Na página inicial do ficheiro, apresentada na Figura 5.2, encontram-se destacadas as diversas secções, bem como os temas abordados em cada um deles e que permitem estabelecer a ligação para a respetiva vista. De modo a tornar o ficheiro interativo e reutilizável, esta página apresenta também um *dropdown* que permite ao utilizador seleccionar a corrida a analisar dentro dos testes realizados nos últimos 7 dias. Selecionada a corrida, são obtidos os dados através da ligação direta entre o Excel e a base de dados.

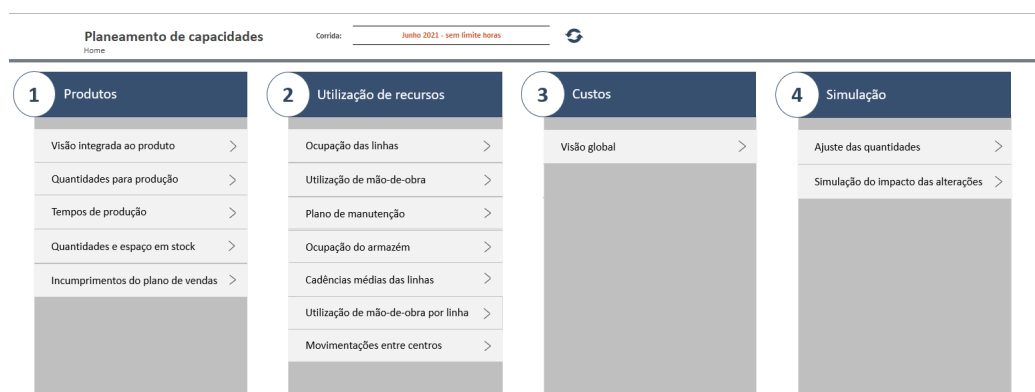


Figura 5.2: Ficheiro *Output* - Página inicial

Já a Figura 5.3 reflete a página dedicada à visão integrada ao produto. Aqui, de uma forma dinâmica, o utilizador consegue visualizar a informação, para cada mês no período de um ano, considerando diferentes granularidades, podendo seleccionar a(s) família(s) que pretende analisar bem como a capacidade e fecho.

Visão integrada de quantidades, por produto (Cx9L)

Por família / capacidade / fecho

Família	All	
Capacidade	All	
Fecho	All	

		Mês														
Valores		202105	202106	202107	202108	202109	202110	202111	202112	202201	202202	202203	202204	202205		
Plano de vendas	0	528 153	554 221	387 235	469 522	481 945	367 337	434 341	243 460	282 887	352 334	409 051	486 969			
Vendas previstas	0	524 329	540 233	369 275	465 466	476 339	363 326	431 133	241 834	281 241	351 461	406 205	485 712			
Incumprimento do plano	0	3 824	13 987	17 961	4 056	5 606	4 011	3 208	1 627	1 646	872	2 847	1 257			
Enchimento p/GRF (em linha)		55 627	23 002	42 530	11 605	23 464	85 383	12 543	56 994	26 877	28 873	23 544	57 767			
Enchimento p/GRF (subcontratação)	0	1 911	771	3 155	4 027	5 214	1 640	2 679	1 263	1 347	668	1 406	1 659			
Produção direta (em linha)		420 291	437 825	316 147	431 851	404 482	358 448	358 756	239 676	277 314	329 089	349 210	360 527			
Produção direta (subcontratação)	0	7 080	1 992	1 351	4 691	7 081	806	2 120	1 836	2 309	7 062	2 498	3 384			
Acabamento		48 523	48 048	39 031	47 669	33 955	45 693	35 246	16 860	29 997	17 043	32 308	43 191			
Pós-processamento		15 375	18 337	11 862	10 977	15 325	7 700	12 472	7 741	8 369	10 984	11 636	15 090			
Vinho a granel (PG) - entradas (à família)	0	1 129 803	10 000	146 444	0	0	0	72 078	87 333	25 578	537 556	211 083	154 194			
Vinho a granel (PG) - stock disponível (à família)	0	988 632	902 162	957 018	872 117	772 485	589 825	575 616	565 971	533 042	1 015 068	1 179 745	1 256 269			
Stock livre GRF	238 035	193 560	155 912	160 114	170 391	170 052	171 454	227 149	229 606	211 961	204 260	192 400	181 069			
Stock em estágio GRF	49 926	103 416	116 790	119 243	76 930	71 992	111 920	36 201	75 140	91 013	111 212	115 714	143 278			
Stock livre PA	397 429	284 774	211 468	219 871	250 758	235 387	238 795	264 597	282 520	320 491	337 059	339 683	282 088			
Stock em estágio PA	15 605	82 720	108 395	92 018	85 481	75 393	117 277	63 089	63 638	54 805	44 562	22 913	5 568			
Cobertura		2,99	0,46	3,26	3,12	3,08	3,36	4,13	5,96	5,27	4,60	3,64	2,82			

Figura 5.3: Ficheiro *Output* - Visão integrada de quantidades, por produto (Cx9L)5.2.2 Ficheiro *output* da desagregação

Por sua vez, com o objetivo de apresentar os resultados da desagregação foi desenvolvido um ficheiro Excel que segue a metodologia aplicada no desenvolvimento do ficheiro *output*. Assim, o utilizador consegue selecionar a desagregação a analisar através de um *dropdown*, sendo estabelecida a ligação com a base de dados para atualizar a informação. No ficheiro são apresentadas três vistas distintas: a primeira dedicada à desagregação das quantidades de enchimento; a segunda aos processos de acabamento, produção direta e pós-processamento; e a última focada nas MPS. Nas duas primeiras vistas são apresentadas as quantidades a produzir de cada SKU para cada processo, período, centro e linha. Na vista dedicada às MPS secas, para cada período, centro e tipo de MPS é indicado o espaço necessário para armazenar este tipo de matéria-prima, previsto a partir das quantidades desagregadas.

5.2.3 *Dashboard*

No que ao *dashboard* diz respeito, este foi desenvolvido em *SAP Analytics Cloud*, uma ferramenta recentemente incluída no portfólio SAP, que permite a elaboração e partilha de relatórios de visualização. Uma vez que a empresa utiliza SAP como o seu *software* interno, a ferramenta encontra-se ao alcance dos vários membros, conseguindo ser facilmente gerida por eles.

De modo a garantir que o o *dashboard* permitia visualizar os dados mais recentes, foi estabelecido um fluxo diário entre a base de dados e SAP. A Figura 5.4 ilustra uma secção da vista "Geral" do *dashboard*. As restantes vistas encontram-se organizadas de forma idêntica, podendo ser consultados no Anexo E. Por questões de confidencialidade, os dados reais não se encontram representados nas figuras apresentadas.



Figura 5.4: *Dashboard* desenvolvido no âmbito do planeamento de capacidades

5.3 Interface de utilizador

De forma a orquestrar os diversos elementos apresentados na secção 4.2 (excluindo o *dashboard*) para que, de forma intuitiva, a empresa conseguisse utilizar os recursos desenvolvidos, foi necessário desenvolver uma plataforma, representada na Figura 5.5, onde se encontram compilados estes elementos.

Desta forma, a empresa consegue carregar na plataforma um ficheiro de *inputs* a utilizar no modelo de otimização. De seguida, partindo deste ficheiro e do fluxo de dados diário, o modelo gera uma solução para o planeamento de capacidades. Esta solução fica disponível no ficheiro *output*, onde a equipa de Planeamento pode efetuar alterações às quantidades sugeridas para produção, se assim achar necessário. Este ficheiro, por sua vez, é então utilizado para correr a desagregação ao SKU, permitindo esta última fase determinar as quantidades a produzir de cada SKU e ainda as necessidades de MPS. Desta forma, o processo fica concluído.

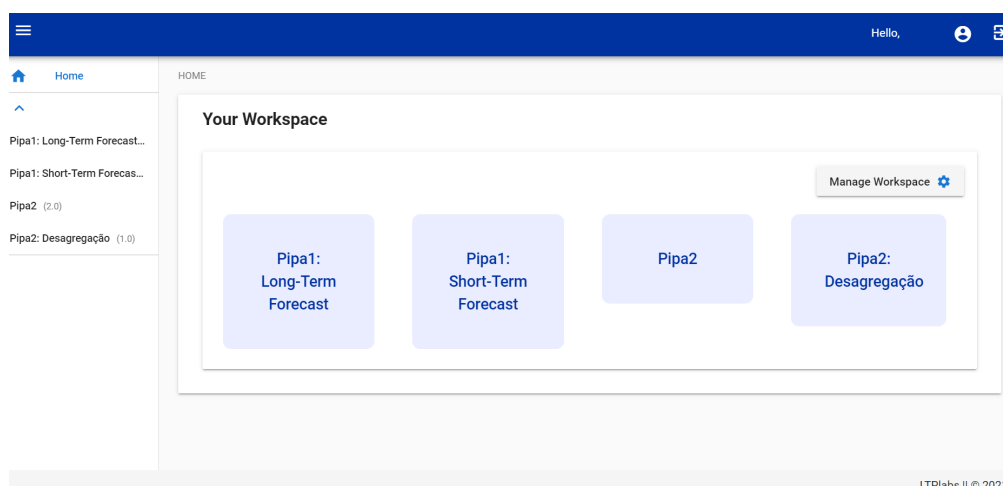


Figura 5.5: Plataforma dedicada ao projeto do planeamento integrado da procura e abastecimento

Capítulo 6

Conclusão

Num ambiente cada vez mais volátil e numa indústria onde a produção apresenta características únicas, torna-se essencial garantir um processo de planeamento estruturado e integrado, envolvendo as diferentes áreas da empresa e conectando as decisões estratégicas, táticas e operacionais.

Este relatório foca-se no planeamento de capacidades produtivas, uma das três fases integrantes de um macro projeto em desenvolvimento com uma empresa do setor vitivinícola no âmbito do planeamento integrado da procura e abastecimento. Para além do planeamento de capacidades, o projeto incluiu uma fase dedicada à previsão da procura no médio/curto prazo e no longo prazo, e terminará com a realização de uma etapa relacionada com o planeamento de produção de curto prazo. As três frentes do macro projeto incluem a criação de ferramentas analíticas de apoio à decisão e o desenvolvimento de *dashboards* que permitam acompanhar a evolução dos processos. Assim, o projeto tem como objetivo a simplificação e reestruturação dos processos de planeamento da cadeia de abastecimento, para que se tornem mais eficientes e confiáveis, e ainda a sistematização e monitorização de indicadores de desempenho da cadeia de abastecimento.

Relativamente ao planeamento de capacidades, a metodologia apresentada para resolver o problema passa pelo desenvolvimento de um modelo de programação inteira mista que permite a geração de um plano de capacidades anual com detalhe mensal. A formulação matemática apresentada consiste numa extensão do modelo proposto por Guimarães et al. (2012) para a elaboração de um orçamento anual de produção na indústria das bebidas. Para além das considerações e restrições apresentadas pelos autores, no modelo desenvolvido no âmbito da presente dissertação, foram adicionadas restrições características da indústria vitivinícola. Através da minimização dos custos, o modelo desenvolvido permite tomar decisões relacionadas com as (1) quantidades mensais a produzir das diferentes famílias/capacidade/fecho e processos, (2) quantidades de MPS, (3) capacidade (turnos, mão-de-obra, subcontratação), (4) momentos de mudança de colheita, (5) quantidades em inventário e (6) realização de ações de manutenção.

No que diz respeito aos custos, constatou-se que, no cenário base, os custos de posse de inventário são os que apresentam maior peso, seguidos do impacto dos golpes de linha, custo de subcontratação de produção e de mão de obra extra. Por seu turno, os custos associados à sub-

contratação de armazenagem são os que apresentam o menor impacto nos custos totais. Através da análise de sensibilidade realizada, concluiu-se que o aumento da capacidade de 2º turno nas linhas de enchimento possibilita uma redução do incumprimento do plano face ao cenário base e ao cenário onde apenas a capacidade de mão de obra extra é maximizada. Contudo, esta diminuição no incumprimento traduz-se no aumento dos custos. É por isso essencial o *trade-off* entre as diferentes parcelas de custos, o custo total e o cumprimento do plano.

Uma vez que foi desenvolvido um planeamento agregado, a fase seguinte diz respeito à desagregação das quantidades sugeridas para produção ao nível da família/capacidade/fecho nos respetivos SKUs. Para isso é necessário ter em conta a matéria-prima disponível, o plano de vendas e os roteiros dos vários SKUs.

Com o objetivo de apresentar os resultados obtidos, o último passo consistiu na criação de duas ferramentas de visualização: um ficheiro Excel e um *dashboard* em SAC. Estas duas ferramentas, não só permitem visualizar rapidamente os resultados obtidos, como também possibilitam a comparação de diversos modelos, a monitorização dos dados reais e ainda a simulação rápida do impacto que ajustes às quantidades sugeridas para produção teriam ao nível da capacidade.

Atualmente, as ferramentas desenvolvidas para o planeamento da procura assim como aquelas apresentadas nesta dissertação relativas ao planeamento de capacidades já estão a ser utilizadas pela empresa. Estas ferramentas de apoio à decisão permitem, através de métodos analíticos e *inputs* fornecidos pelas equipas da empresa planear de forma automática, otimizada e integrada as operações nos diversos polos produtivos. Não obstante, é importante que, numa primeira fase, continue o processo de validação dos resultados obtidos através destas ferramentas.

O caso de estudo descrito nesta dissertação apresenta grandes benefícios para a empresa, sobretudo no que diz respeito ao trabalho da equipa do Planeamento. Antes do projeto, não existia qualquer processo de planeamento estruturado, sendo as decisões tomadas de forma *ad hoc* com base na experiência dos agentes de decisão e sem qualquer suporte analítico. Em minutos, a equipa consegue agora gerar e analisar cenários robustos que refletem o impacto das suas decisões ao nível da produção, necessidades de matérias-primas, capacidade das linhas, mão de obra, subcontratação, inventário e ações de manutenção.

O próximo passo prende-se na concretização da última frente do projeto, dedicada ao planeamento da produção no curto prazo. Desta forma, o desenvolvimento do plano mestre ficará completo, criando todas as condições necessárias para a implementação completa do processo de planeamento integrado idealizado na formulação do projeto.

Bibliografia

- Aarabi, M. and Hasanian, S. (2014). Capacity planning and control: a review.
- Alp, O. and Tan, T. (2008). Tactical capacity management under capacity flexibility. *IIE Transactions*, 40(3):221–237.
- Anthony, R. (1965). *Planning and Control Systems: A Framework for Analysis*. Studies in management control. Harvard University, Division of Research, Graduate School of Business Administration, Boston.
- bi xi, Z., Jing, S., and xiu li, Y. (2012). Research about short- term production capacity decision-making. *Physics Procedia*, 24:1207–1213. International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering 2012.
- Bihlmaier, R., Koberstein, A., and Obst, R. (2008). Modeling and optimizing of strategic and tactical production planning in the automotive industry under uncertainty. *OR Spectrum*, 31(2):311.
- Cai, J., Liu, X., Xiao, Z., and Liu, J. (2009). Improving supply chain performance management: A systematic approach to analyzing iterative kpi accomplishment. *Decision Support Systems*, 46:512–521.
- Carvalho, A., Scavarda, L., and Oliveira, F. (2017). An optimisation approach for capacity planning: Modelling insights and empirical findings from a tactical perspective. *Production*, 27.
- Chen, C.-S., Mestry, S., Damodaran, P., and Wang, C. (2009). The capacity planning problem in make-to-order enterprises. *Mathematical and Computer Modelling*, 50(9):1461–1473.
- Christopher, M. (1998). *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Cost and Improving Service*. second ed. London : Financial times.
- Esmailikia, M., Fahimnia, B., Sarkis, J., Govindan, K., Kumar, A., and Mo, J. (2016). A tactical supply chain planning model with multiple flexibility options: an empirical evaluation. *Annals of Operations Research*, 244(2):429–454.
- Fleischmann, B., Meyr, H., and Wagner, M. (2008). *Supply Chain Management and Advanced Planning*, chapter Advanced Planning, pages 81–82. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Garcia, F. A., Marchetta, M. G., Camargo, M., Morel, L., and Forradellas, R. Q. (2012). A framework for measuring logistics performance in the wine industry. *International Journal of Production Economics*, 135(1):284–298. Advances in Optimization and Design of Supply Chains.
- Guimarães, L., Klabjan, D., and Almada-Lobo, B. (2012). Annual production budget in the beverage industry. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(2):229–241. Special Section: Local Search Algorithms for Real-World Scheduling and Planning.

- Gupta, A. and Maranas, C. D. (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. *Computers & Chemical Engineering*, 27(8):1219–1227. 2nd Pan American Workshop in Process Systems Engineering.
- Gupta, A., Maranas, C. D., and McDonald, C. M. (2000). Mid-term supply chain planning under demand uncertainty: customer demand satisfaction and inventory management. *Computers & Chemical Engineering*, 24(12):2613–2621.
- Hans, E., Herroelen, W., Leus, R., and Wullink, G. (2007). A hierarchical approach to multi-project planning under uncertainty. *Omega*, 35(5):563–577.
- Lindberg, C.-F., Tan, S., Yan, J., and Starfelt, F. (2015). Key performance indicators improve industrial performance. *Energy Procedia*, 75:1785–1790.
- Lucas, C., Mirhassani, S. A., G, M., C.A, P., and Correspondence (2001). An application of lagrangian relaxation to a capacity planning problem under uncertainty. *Journal of the Operational Research Society*, 52:1256–1266.
- Maravelias, C. and Sung, C. (2009). Integration of production planning and scheduling: Overview, challenges and opportunities. *Comput. Chem. Eng.*, 33:1919–1930.
- McDonald, C. M. and Karimi, I. A. (1997). Planning and scheduling of parallel semicontinuous processes. 1. production planning. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 36(7):2691–2700.
- Mentzer, J. T. and Cox JR., J. E. (1984). Familiarity, application, and performance of sales forecasting techniques. *Journal of Forecasting*, 3(1):27–36.
- Miller, J. G., Berry, W. L., and Lai, C.-Y. F. (1976). A comparison of alternative forecasting strategies for multi-stage production-inventory systems. *Decision Sciences*, 7(4):714–724.
- MirHassani, S., Lucas, C., Mitra, G., Messina, E., and Poojari, C. (2000). Computational solution of capacity planning models under uncertainty. *Parallel Computing*, 26(5):511–538.
- Muir, J. (1979). The pyramid principle. *Proceedings of 22nd Annual Conference American Production and Inventory Control Society*, page 105–107.
- Peidro, D., Mula, J., Poler, R., and Lario, F.-C. (2008). Quantitative models for supply chain planning under uncertainty: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(3-4):400–420.
- Reddy, K. J. M., Rao, A. N., and L, K. (2019). A review on supply chain performance measurement systems. *Procedia Manufacturing*, 30:40–47. Digital Manufacturing Transforming Industry Towards Sustainable Growth.
- Rohde, J., Meyr, H., and Wagner, M. (2000). Die supply chain planning matrix. *PPS Management*, 5(1):10–15.
- Sethi, S. and Sorger, G. (1991). A theory of rolling horizon decision making. *Annals of Operations Research*, 29(1):387–415.
- Slack, N., Chambers, S., and Johnston, R. (2014). *Operations Management*, chapter 11. Person Education, 4th Edition.

- Stadtler, H. (2005). Supply chain management and advanced planning—basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, 163(3):575–588. Supply Chain Management and Advanced Planning.
- Thomas, D. J. and Griffin, P. M. (1996). Coordinated supply chain management. *European Journal of Operational Research*, 94(1):1–15.
- Willms, P. and Brandenburg, M. (2019). Emerging trends from advanced planning to integrated business planning. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13):2620–2625. 9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2019.
- Wohlers, B., Dziwok, S., Pasic, F., Lipsmeier, A., and Becker, M. (2020). Monitoring and control of production processes based on key performance indicators for mechatronic systems. *International Journal of Production Economics*, 220:107452.
- Zotteri, G., Kalchschmidt, M., and Caniato, F. (2005). The impact of aggregation level on forecasting performance. *International Journal of Production Economics*, 93-94:479–491. Proceedings of the Twelfth International Symposium on Inventories.

Anexo A

Cronograma do projeto

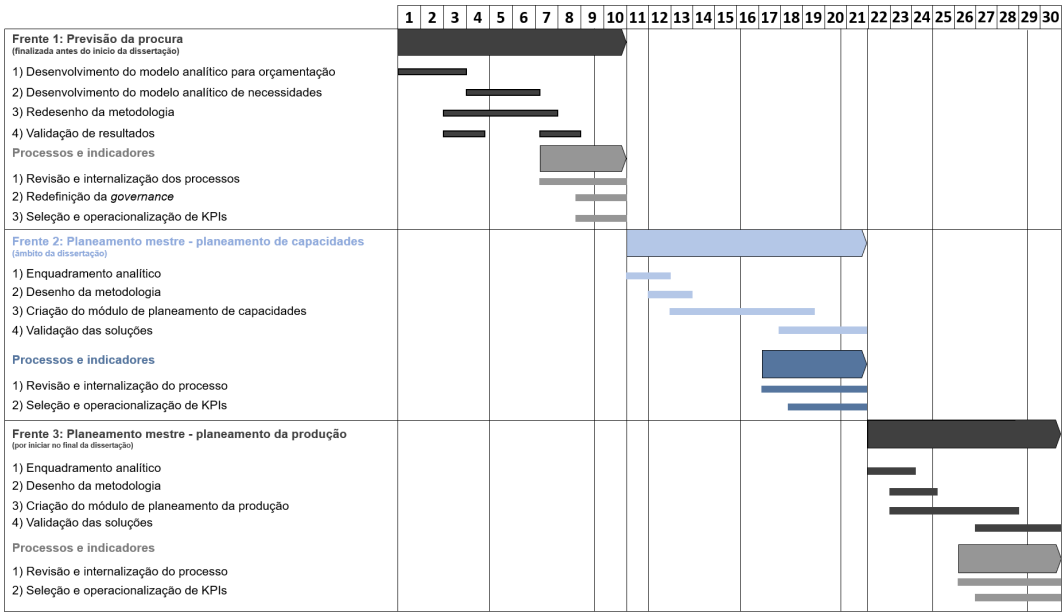


Figura A.1: Cronograma do projeto completo, incluindo as três frentes a desenvolver

Anexo B

Inputs

Tabela B.1: *Inputs* do modelo de otimização

<i>Input</i>	<i>Descrição</i>
Plano de vendas	Plano de vendas ao nível do SKU gerado na primeira frente do projeto.
Inventário	Quantidades em <i>stock</i> dos diversos tipos de produto (produto acabado e garrafeira) livre e em estágio.
Matérias-primas	Disponibilidades e entradas de vinho a granel, especialmente importante para vinhos de colheita (janelas de engarrafamento).
Lotes mínimos	Quantidade mínima a produzir de cada família de vinho.
Enologia	Capacidade máxima de engarrafamento por centro.
Capacidade das linhas	Tempo de abertura máximo de 1º e 2º turno para cada período, considerando apenas dias úteis.
Capacidade de mão de obra	Capacidade de mão de obra base e adicional por linha e para cada período, tendo em conta os dias úteis.
Roteiros	Rotas a seguir por cada SKU (processo a realizar em cada linha).
Manutenção	Número de ações de manutenção a realizar em cada linha e respetivo período de ação.
Cadências e OEEs	Cadências nominais e OEEs definidos para cada linha e processo.
Capacidade de armazenagem	Capacidade máxima a armazenar em cada centro fabril de produto acabado e garrafeira.
Custos	Abertura de 2º turno, mão de obra extra, reclassificação do vinho, subcontratação de armazenagem, subcontratação de produção e movimentação entre centros.
Golpes de linha	Quantidade de vinho, por linha, que irá sofrer a reclassificação do vinho.

Tabela B.2: Tópicos e funcionalidades do ficheiro de *Inputs* desenvolvido

Tópico	Funcionalidade
Plano de vendas	Selecionar um dos planos de vendas gerados na frente dedicada à previsão da procura
Análise de sensibilidade	Indicar a percentagem do plano de vendas a considerar e ajustar quantidades sugeridas no plano de vendas ao nível da família/capacidade/fecho
Novos SKUs	Identificar códigos de SKUs antigos que devem ser substituídos por um novo código
Disponibilidades atuais de vinho	Identificar, ao nível da família, a quantidade (L) e data limite de consumo (opcional) das colheitas disponíveis no momento
Entradas de Vinho	Identificar, ao nível da família, colheitas que estarão disponíveis no futuro, o momento a partir do qual estarão disponíveis, data limite de consumo (opcional) e quantidade (L)
Quantidades mínimas mensais	Ao nível da família, indicar a quantidade mínima a produzir. Esta quantidade pode ser ainda detalhada ao nível da capacidade, fecho e processo.
Reclassificação do vinho	Indicar, ao nível da família, o valor de desvalorização do vinho (golpes de linha)
Enologia	Definição da capacidade máxima de engarrafamento por centro
Centros fabris	Identificar os centros produtivos
Linhas	Identificar as linhas de enchimento de cada centro, a sua cadência nominal (garrafas/hora), OEE (%) e golpes de linha (L)
Mão de obra	Indicar, por linha, o número de full-time-employees (FTE), limite de horas adicionais (% face à capacidade base), o custo por hora adicional (€/horas-homem) e o custo de abertura de 2º turno das linhas (€)
Manutenção	Indicar, para cada linha, o número de ações de manutenção a realizar, o período onde estas podem ocorrer, a duração (dias) e se já ocorreu alguma destas ações
Logística	Identificar, para cada centro, a capacidade de armazenagem disponível para cada tipo de produto (acabado, garrafeira e MPS)
Mapeamento das linhas	Identificar a denominação das linhas de enchimento a considerar pelo modelo e se esta é, ou não, exclusiva de um processo.
Desativação de Roteiros	Permitir desconsiderar roteiros definidos ao nível da família/capacidade/fecho
Inventário, produção e movimentação	Indicar o valor do <i>weighted average cost of capital</i> (WACC), o custo de subcontratação de armazenagem (€/Cx9L/mês) e enchimento (€/garrafa) e o custo de movimentação entre centros (€/Cx9L)
Calendário	Indicar o número de dias úteis e feriados de cada mês do horizonte considerado
Calendário de máquinas	Caso necessário, especificar para as linhas que não sigam o calendário definido, o número de dias úteis a considerar em determinado mês, o número de horas de 1º turno e de 2º turno
Coberturas alvo	Definir a cobertura (dias) a garantir para cada tipo de MPS

Anexo C

Primeira frente - Desagregação ao SKU

O plano de vendas obtido na primeira frente do projeto constitui um dos *inputs* chave para a definição do plano de capacidades. Dada a complexidade do negócio, o problema não é tratável ao nível do SKU, no entanto, é necessário considerar o plano de vendas desagregado, uma vez que é crucial ter em conta os roteiros seguidos por cada SKU e os componentes que o integram. Assim, é importante perceber e garantir que as especificidades e restrições associadas a cada SKU são asseguradas no processo de desagregação que finaliza a primeira etapa do macro projeto.

Para além dos resultados obtidos através do modelo de previsão da procura agregada ao nível família/capacidade/cliente, a desagregação considera ainda parametrizações definidas pela equipa de Planeamento para cada SKU. Parametrizações essas que se encontram registadas num ficheiro Excel, fornecido ao processo de desagregação. Desta forma, a desagregação segue um conjunto de etapas e verificações até ser obtido o resultado final: (1) desagregação com base no histórico; (2) mudança de colheita; (3) mudança de imagem; (4) SKUs promocionais e (5) novos SKUs.

O processo de desagregação ao nível do SKU inicia com uma análise ao histórico de vendas de cada SKU. Esta primeira etapa é caracterizada pelos passos seguintes, realizados sequencialmente:

1. Filtrar SKUs com *status* inativos, de modo a, no final da desagregação, as vendas previstas estarem atribuídas apenas a SKUs ativos
2. No período dos últimos x meses definidos pela equipa de Planeamento, considerar os SKUs vendidos cujo ano de colheita corresponde ao ano que foi vendido mais recentemente dentro de cada família/capacidade/cliente.
3. Considerando o nível família/capacidade/fecho/cliente, escolher o SKU mais recente, através da sequência dos dois últimos dígitos.
4. Caso no final do passo 3. a combinação família/capacidade/cliente não tenha um SKU atribuído (e.g. SKUs vendidos ao cliente encontram-se inativos), aplicar os passos 1 e 2 novamente, considerando um período de verificação de 2 anos e a granularidade família/capacidade/fecho/cliente.
5. Para clientes que, no período de 2 anos, tenham comprado mais do que 1 SKU, escolher o SKU que foi adquirido mais recentemente.
6. Caso não haja SKUs ativos nos últimos 2 anos, e por essa razão não ser possível atribuir um SKU à combinação família/capacidade/cliente:
 - Selecionar o SKU com mais vendas ao nível do país do cliente e que apresenta o mesmo tipo de fecho que o último SKU vendido ao cliente, mesmo que este se encontre

inativo. Desta forma, é possível assegurar que para clientes que sempre compraram produtos de uma família/capacidade com um determinado fecho, por exemplo rolhado, não existe previsão de vendas para produtos com fecho distinto, neste caso roscado.

- Caso não seja possível atribuir um SKU ao conjunto família/capacidade, selecionar o SKU mais vendido a nível global da família/capacidade/fecho. Nestes casos, apenas são considerados SKUs neutros, que não se encontram destinados a um cliente específico.
- Se for possível identificar vários SKUs no final de uma das duas etapas anterior, selecionar o SKU cujo ano de colheita e sequência são mais recentes ao nível da família/capacidade/fecho, dando prioridade ao SKU do país.
- Se no final desta etapa não for possível associar um SKU à família/capacidade/fecho/cliente, o passo anterior é repetido, mas desta vez, sem considerar o fecho. Apesar desta última fase violar a necessidade de atribuir SKUs cujo fecho é idêntico ao fecho dos SKUs que o cliente adquire normalmente, permite assegurar que, para cada combinação de família/capacidade/cliente é possível atribuir um SKU e determinar as respetivas previsões, mesmo que estas sejam nulas. Esta última fase é importante em casos em que não existem SKUs ativos ao nível do país ou a nível global cujo fecho corresponda ao tipo de fecho do último SKU vendido para aquele cliente.

Concluída a primeira etapa, para cada família/capacidade/cliente foi atribuído um SKU. São então verificadas as previsões de vendas de SKUs promocionais. Estas previsões são atribuídas aos SKUs originais uma vez que as campanhas promocionais a realizar poderão não corresponder às anteriores. Posteriormente será realizada uma etapa dedicada ao acerto destes SKUs.

A fase seguinte está relacionada com o curto prazo, onde são corrigidos os SKUs originalmente selecionados, através do histórico de vendas, de acordo com as parametrizações definidas pelos membros do Planeamento. Esta fase inicia com a verificação da mudança de colheita. Esta mudança ocorre para SKUs parametrizados quando o *stock* da colheita ativa termina. Esgotado o *stock*, os vários SKUs presentes na previsão são alterados para os SKUs correspondentes da nova colheita. A identificação da necessidade de mudança de colheita e a sua aplicação são descritas pelas seguintes etapas:

1. Para cada família/capacidade/ano/fecho, selecionar os SKUs parametrizados para mudança de colheita (SKUs específicos de clientes e SKUs neutros).
2. Através das listas técnicas, construir a estrutura de consumos de modo a identificar todos os SKUs que consomem o mesmo componente de garrafeira.
3. Obter do *stock* existente de cada SKU acabado e garrafeira. O *stock* disponível de cada SKU pode estar livre, e por isso, pronto para uso, ou bloqueado, submetido a um período de estágio.
4. Percorrer as previsões mês a mês, de modo a identificar o momento exato onde ocorre a mudança de colheita:
 - São consideradas as previsões de SKUs parametrizados para sofrer mudança de colheita e de SKUs que não estão parametrizados, mas que consomem *stock* dos mesmos componentes.
 - Para cada mês, ordenar as previsões por ordem decrescente ao nível do SKU/cliente.

- Descontar as previsões ao *stock* do SKU. Quando este termina, considerar o *stock* de garrafeira. A mudança para o novo código é individual, ou seja, só acontece quando todo o *stock* do SKU estiver esgotado.
- Se houver falta de *stock* livre, mas ainda existir *stock* bloqueado, o SKU não sofre alterações e as previsões mantêm-se. O mesmo acontece quando é indicada pelo Planeamento uma data de disponibilidade no ficheiro de parametrizações. Neste caso, a mudança de código acontece apenas quando o *stock* termina e a data é superior à data parametrizada.
- No momento em que *stock* (livre e bloqueado) termina, ocorre a mudança de colheita. A partir desse momento, substituir todos os SKUs parametrizados pelo SKU da nova colheita.

Após a etapa dedicada à mudança de colheita, verifica-se a existência de SKUs parametrizados para mudança de imagem, à qual está associada a data a partir da qual se verificará esta alteração. Assim, todas as previsões de vendas de SKUs parametrizados para sofrer esta mudança passam a estar associadas ao novo SKU após esta data.

É de seguida necessário analisar SKUs promocionais. No ficheiro de parametrizações, a equipa define a quantidade a vender destes SKUs e a data de início e fim da campanha promocional. Assim, estes SKUs deixam de ser comercializados quando a quantidade disponível ou a campanha termina. Para converter o SKU original no SKU promocional são realizados 3 passos, sendo que esta alteração apenas ocorre entre a data de início e a data de término da promoção:

1. Ler as vendas reais do SKU promocional desde a data de início parametrizada, com o objetivo de verificar se já foi vendida a quantidade total parametrizada.
2. Caso esta quantidade não tenha sido atingida, determinar a percentagem de vendas de SKU original que é destinada ao SKU promocional através da proporção parametrizada. Caso não haja indicação deste valor no ficheiro de parametrização, assumir que as previsões do SKU original passam na totalidade para o SKU promocional.
3. Substituir o SKU original pelo SKU promocional até ser atingida a quantidade total parametrizada. A restante quantidade é mantida no SKU original.

Por fim, são verificados os SKUs parametrizados como novos SKUs, que não se encontravam no histórico de vendas mas que devem agora entrar na previsão. No ficheiro de parametrizações, a equipa de Planeamento tem a possibilidade de identificar qual o SKU antigo e qual o código do novo SKU a considerar, a quantidade anual a vender e ainda a data de início das vendas do novo SKU. Existem três tipos de parametrizações de novos SKUs:

1. Quando um SKU neutro origina um SKU específico e não é discriminada a quantidade anual a vender, transferir as previsões do SKU antigo para o novo SKU.
2. Se o novo SKU for específico para um cliente recebedor, não estando definida a quantidade anual, calcular o peso do recebedor dentro das vendas do SKU ao cliente distribuidor. Aplicar este peso à previsão de vendas do distribuidor, e atribuir o novo SKU às vendas destinadas ao recebedor após o início do período de comercialização parametrizado.
3. Caso seja definida a quantidade anual e o cliente, mas não seja indicado o SKU antigo que irá sofrer a parametrização, distribuir por mês a quantidade a vender.

- Determinar o peso da previsão, em cada mês, da família ao qual pertence o SKU. A quantidade a vender em cada mês corresponde à quantidade anual multiplicada pelo peso obtido para cada período.
- Se não houver previsão de vendas da família do produto, distribuir a quantidade uniformemente ao longo do ano.

Anexo D

Análise de sensibilidade

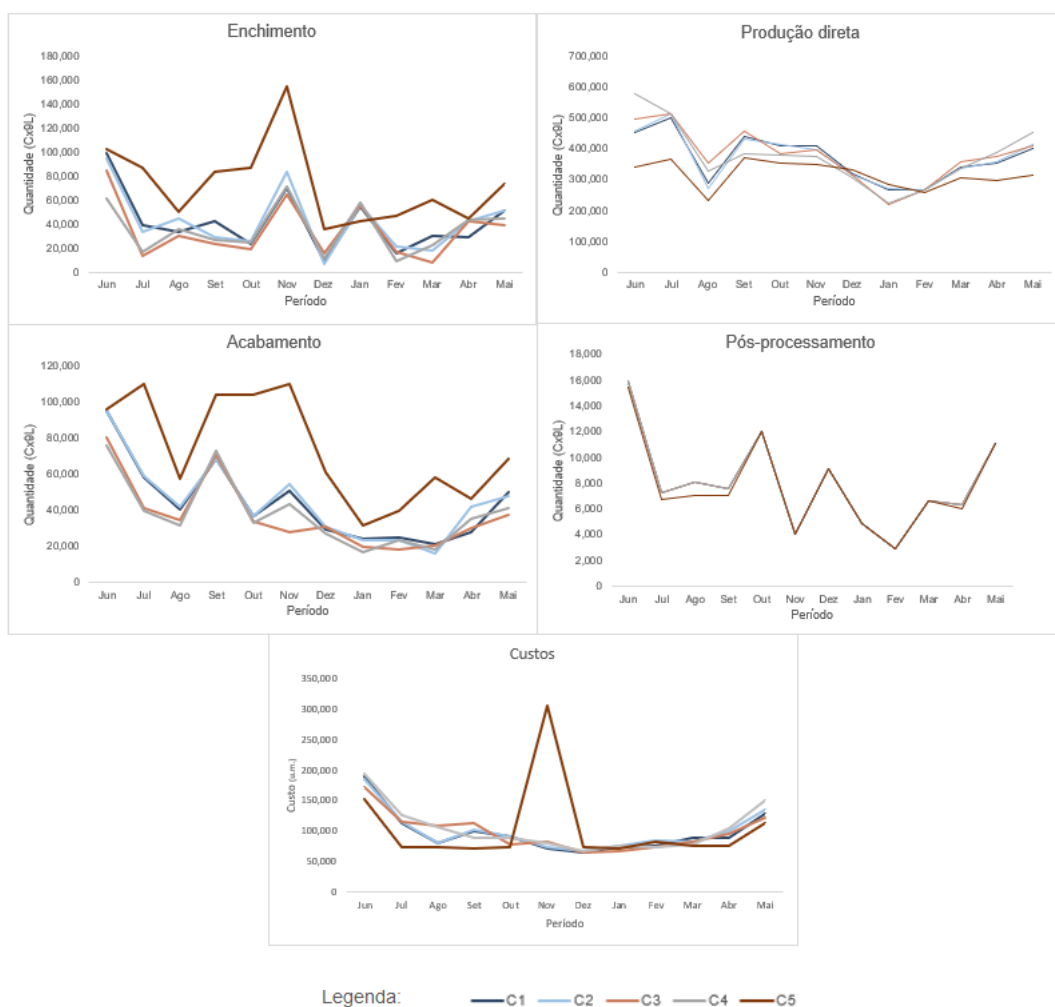


Figura D.1: Comparação dos custos e quantidades mensais produzidas através de enchimento, acabamento, produção direta e pós-processamento para os cenários C1, C2, C3, C4 e C5



Figura D.2: Comparação das quantidades totais mensais de incumprimento do plano, produção, produção subcontratada, horas de abertura de 2º turno, mão de obra extra, inventário e movimentações para os cenários C1, C6 e C7

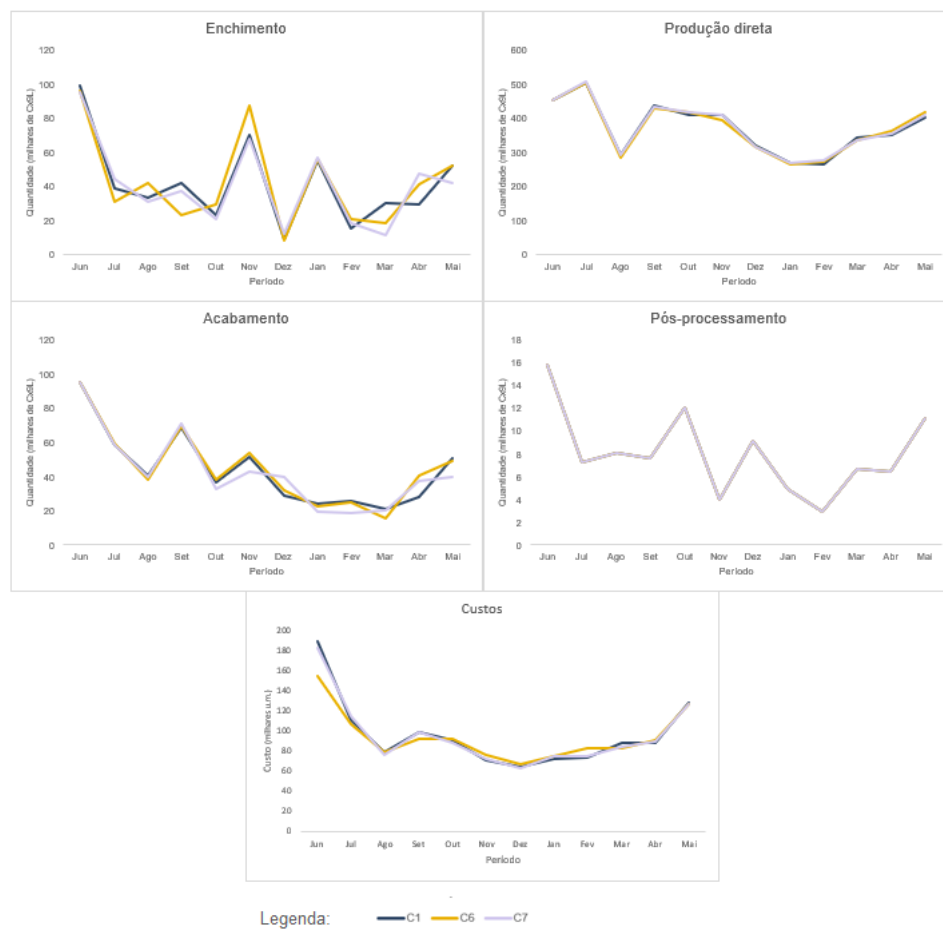


Figura D.3: Comparação dos custos e quantidades mensais produzidas através de enchimento, acabamento, produção direta e pós-processamento para os cenários C1, C6 e C7

Anexo E

Visualização

Este anexo apresenta as diferentes folhas do ficheiro *Output* desenvolvido (Figura E.1 a Figura E.14) e uma secção de cada vista do *dashboard* implementado (Figura E.15 a Figura E.18). Por questões de confidencialidade, alguns dados foram desfocados.

Quantidades para produção (Cx9L)																	
Por linha de produção (incluindo subcontractação)																	
Centro		(All)															
Quantidade (Cx9L)		Mês															
Linha	Família	Capacidade	Fecho	Processo	202106	202107	202108	202109	202110	202111	202112	202201	202202	202203	202204	202205	
1	Acabamento				1	2	6	30			7	19					6
2	Acabamento							106									
3	Acabamento							23	285	6							
4	Acabamento							672	1099	911	148	796	65	432	19		
5	Acabamento							356	136	219							
6	Acabamento							1710	540	570							
7	Acabamento				309	473	740	801	436	192	451	383	137	161	329	331	
8	Acabamento				1	4	1	2	14			5	3				1
9	Acabamento							829				650		87	40	60	
10	Acabamento				5	4	17	12	27	25	5	49	62	25	19		
11	Acabamento							12									
12	Acabamento				0	128	36	445			30	98	45	49	75	55	
13	Acabamento																
14	Acabamento				19	6	3	6	10								
15	Acabamento							119	10	119	293						
16	Acabamento				20	150											
17	Acabamento				165	245	248	423	6		33	71	106	76	34	6	
18	Acabamento				36		22	3	2	5	3	35	27	27	26	28	
19	Acabamento				10	1	2	1	1	4	2	3	3				
20	Acabamento				32	14	14	52	41								
21	Acabamento				20												
22	Acabamento				280		1	1			2	2	2	2	2	2	
23	Acabamento							6	11	3	5	3	1	4	4	4	
24	Acabamento				261	173	140	530	386	620	662	105	111	269	293	120	
25	Acabamento						5	12	7	3	6	8	4	11	16	6	
26	Acabamento				15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
27	Acabamento				5	12	3	11	255	444	170		32	64			
28	Acabamento								247	637	646	70	67	42	19	3	
29	Acabamento				663	688	1082	1217	677	495	625	630	494	703	392	550	
30	Acabamento				39	44	97	86	726	201							
31	Acabamento																
32	Acabamento				19	228	5	19	33	48							
33	Acabamento																
34	Acabamento				100	2	1	7	24	20							
35	Acabamento																
36	Acabamento				76												
37	Acabamento					19	35	39	27	131	89	25	13	25	48	25	
38	Acabamento																
39	Direta																
40	Direta				15 270	19 119	1644	10 328	10 540	1246	1 159						
41	Direta									14 409	2 351	1671	1220	5 110	8 552	13 700	
42	Direta									895	512						
43	Direta									1 020	2 028	1728					
44	Direta				96 581	101 497	52 626	81 361	65 089	38 997	55 507	54 583	65 564	74 081	47 379	63 010	
45	Direta				1 491	5 384	32 759	31 434	46 110	40 546	32 527	39 235	31 914	31 595	45 416	39 285	
46	Direta				5 193	8 016	1 000	4 365	2 225	1 843	2 875	5 950	1 000	324	1 526	2 447	
47	Direta				2 392			91						1 782	1 909		
48	Direta				609			771		634	500	600		321			
49	Direta				105	460		543	176	500	500	595		691			
50	Direta				1 006			500	1467	511	500	500	500	500	775	754	661
51	Direta				164	69	151	45	165	253	267	634	66	104	167	684	

Figura E.1: Ficheiro *Output*- Quantidades para produção

Tempos totais de produção (horas)

Por linha de produção (excluindo subcontratação)

Centro		(All)															
Tempo de produção (hor	Família	Capacidade	Fecho	Processo	Mês	202105	202107	202108	202109	202110	202111	202112	202201	202202	202203	202204	202205
10000-10	Acabamento	0.0	0.1	0.2	0.7							0.2	0.5				
10000-10	Acabamento							2.6									0.2
10000-10	Acabamento						28.5	0.6	2.5	3.9	2.4						
10000-10	Acabamento									0.4	3.8		0.1				
10000-10	Acabamento									9.0	14.6	10.8	2.0	10.6	0.9	5.8	0.3
10000-10	Acabamento									4.4	1.7	2.7					
10000-10	Acabamento									16.4	6.8	7.1					
10000-10	Acabamento						4.1	6.3	9.9	10.7	5.8	2.6	6.0	5.1	1.8	2.1	4.4
10000-10	Acabamento						0.0	0.1	0.0	0.1	0.3			0.2	0.1		0.0
10000-10	Acabamento									19.4				3.8		0.9	1.4
10000-10	Acabamento						0.3		0.2	1.1	0.8	1.8	1.7	0.3	3.2	4.2	2.3
10000-10	Acabamento										0.2						
10000-10	Acabamento							0.0	2.9	0.8	9.9		0.7	2.2	1.0	1.1	1.7
10000-10	Acabamento										2.9	24.3		9.4			
10000-10	Acabamento						0.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2				13.7	2.0
10000-10	Acabamento						0.4	2.9		2.6	0.2	2.4	6.5			3.2	1.3
10000-10	Acabamento																0.0
10000-10	Acabamento						4.3	5.4	5.5	9.4	0.1		0.7	1.6	2.4	1.7	0.8
10000-10	Acabamento						0.8		0.5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.8	0.6	0.6	0.7
10000-10	Acabamento						0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1			
10000-10	Acabamento							0.9	0.4	0.4	1.4	1.1					
10000-10	Acabamento																
10000-10	Acabamento						0.7										
10000-10	Acabamento						6.4		0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10000-10	Acabamento									0.4	0.7		0.2	0.3	0.2	0.1	0.3
10000-10	Acabamento						8.5	3.8	3.1	11.8	7.0	14.0	14.7	2.3	2.5	8.6	6.3
10000-10	Acabamento									0.2	0.5	0.3	0.1	0.3	0.4	0.2	0.5
10000-10	Acabamento						0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1		0.1
10000-10	Acabamento						0.1	0.2	0.0	0.1	3.4	5.9	2.3		0.4	0.9	
10000-10	Acabamento									0.1	0.0	0.2	0.7	0.8			
10000-10	Acabamento									4.6	9.2	8.6	0.9	1.3	0.6	0.3	0.1
10000-10	Acabamento						8.3	8.6	13.5	15.2	8.5	5.7	7.8	7.6	5.2	8.8	12.4
10000-10	Acabamento							0.6	1.3	1.1	9.7	2.7					
10000-10	Acabamento																
10000-10	Acabamento						15.2										
10000-10	Acabamento									0.4	0.8	0.9	0.6	0.3	0.6	0.6	0.6
10000-10	Acabamento																0.2
10000-10	Produção Direta										1.9	1.8					
10000-10	Produção Direta						24.6	30.6	2.6	29.3	16.9	8.7	4.3	2.7	2.0	8.2	13.7
10000-10	Produção Direta										1.4	0.8					21.9
10000-10	Produção Direta										3.2	3.2	2.8				
10000-10	Produção Direta						154.5	162.4	84.2	130.2	105.4	62.4	88.8	87.3	104.9	118.5	75.8
10000-10	Produção Direta						2.4	8.7	51.6	50.4	73.9	65.8	53.2	64.0	51.5	50.8	72.9
10000-10	Produção Direta						8.3	12.8	1.6	7.8	3.6	3.1	5.7	8.9	1.6	1.5	3.1

Figura E.2: Ficheiro *Output*- Tempos de produção

Quantidades e espaço em stock (Cx9L)
Por família / capacidade / fecho

Família	Capacidade	Fecho	Valor	Mês	202105	202107	202108	202109	202110	202111	202112	202201	202202	202203	202204	202205
10000-10	Stock livre GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock em estagio GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Barrafeira - Espaço ocupado (bospaletes)				8245	10091	1438	1344	1281	3220	3583	4021	3877	2883	6879	4936
10000-10	Stock livre PA (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Produto acabado - Espaço ocupado (paletes)				296	361	51	45	46	119	163	144	140	104	247	116
10000-10	Stock livre GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock em estagio GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Barrafeira - Espaço ocupado (bospaletes)				5594	4565	235	51	515	885	1083	3240	3210	3451	7338	6863
10000-10	Stock livre PA (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock em estagio PA (Cx9L)				182	125	3	2	17	25	30	80	89	261	202	190
10000-10	Produto acabado - Espaço ocupado (paletes)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock livre GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock em estagio GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Barrafeira - Espaço ocupado (bospaletes)				1429	0	0	0	0	1105	1557	4181	5345	8430	6388	1352
10000-10	Stock livre PA (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock em estagio PA (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Produto acabado - Espaço ocupado (paletes)				28	0	0	0	0	28	41	109	139	221	167	61
10000-10	Stock livre GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock em estagio GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Barrafeira - Espaço ocupado (bospaletes)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock livre PA (Cx9L)				1887	385	0	0	0	673	986	2530	2582	2074	3021	1177
10000-10	Stock em estagio PA (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Produto acabado - Espaço ocupado (paletes)				53	12	0	0	0	0	21	32	79	73	65	94
10000-10	Stock livre GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock em estagio GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Barrafeira - Espaço ocupado (bospaletes)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock livre PA (Cx9L)				1890	67	25	25	25	335	853	2634	3583	2396	4386	1116
10000-10	Stock em estagio PA (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Produto acabado - Espaço ocupado (paletes)				38	3	1	1	1	1	33	24	53	126	116	164
10000-10	Stock livre GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock em estagio GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Barrafeira - Espaço ocupado (bospaletes)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock livre PA (Cx9L)				56329	13020	895	0	14541	24382	19273	34823	44333	35544	56332	45738
10000-10	Stock em estagio PA (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Produto acabado - Espaço ocupado (paletes)				1827	374	30	0	416	697	553	896	1287	1015	1627	1307
10000-10	Stock livre GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock em estagio GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Barrafeira - Espaço ocupado (bospaletes)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock livre PA (Cx9L)				2165	8486	12147	3771	27387	30232	29399	27257	48319	66387	78439	65465
10000-10	Stock em estagio PA (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Produto acabado - Espaço ocupado (paletes)				636	242	346	306	778	862	848	777	1378	1888	2174	1862
10000-10	Stock livre GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock em estagio GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Barrafeira - Espaço ocupado (bospaletes)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock livre PA (Cx9L)				124	1748	843	1225	1646	552	732	1517	524	388	674	1345
10000-10	Stock em estagio PA (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Produto acabado - Espaço ocupado (paletes)				4	45	24	32	43	16	40	40	15	12	18	24
10000-10	Stock livre GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000-10	Stock em estagio GFR (Cx9L)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura E.3: Ficheiro *Output*-Quantidades e espaço em stock

Incumprimentos do plano de vendas (Cx9L)

Por família / capacidade / fecho

Incumprimento das vendas			Mês	202106	202107	202108	202109	202110	202111	202112	202201	202202	202203	202204	202205
Família	Capacidade	Fecho													
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				23	67	11	35	32		5	4	12	12
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				2	15	19	22	15	19	10	5	10	4
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				628									
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				1578	4 714								
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				1407									
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%					195	251	240					886	
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%						82	581						
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%						3	40						
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				77	412	921							
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%								309	48	49	10	7	10
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				342									
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%							12	2	2	1	1		
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				191	578	551	455	382	440	413	346	542	143
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				17									258
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%					4	13	11	71	13	9	8	7	8
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				0	0	0	7	20	3	0	0	1	0
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%						4	7	2	5			14	31
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%												459	412
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%										14	10	47	23
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%								64	12	12	7	13	28
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				28	205	84	56	58			28	37	37
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%					248	299	224	166	202	150	20	217	74
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				18	356	172	224	264	92	121	53	176	34
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%						140					25	449	
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%					685	400	300	750	419	245			
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%								502	158	64	271	89	241
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				51	75	75	75	75	75	75	75	75	
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				350									
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%										91			
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%							10	25			5	3	5
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				182	182	227	182	113	34	34	45	123	136
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%							61	71	12	8	5	4	2
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				339	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%								26	309	76	64	10	24
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				0	0	0	7	20	3	0	0	1	0
Acabamento - Acabamento - 100%	100%	100%				2	4	3	3	4	6	3	3	3	3

Figura E.4: Ficheiro *Output*-Incumprimento do plano de vendas

Ocupação das linhas

Por linha de produção

Centro (All)

Ocupação das linhas			Mês	202106	202107	202108	202109	202110	202111	202112	202201	202202	202203	202204	202205
Linha	Secção	Values													
10000_1000															
Acabamento															
	1º Turno: Capacidade máxima (horas)		152	176	96	176	160	168	160	168	160	160	184	168	176
	1º Turno: Horas trabalhadas		54	58	59	61	88	83	113	25	43	34	53	22	
	2º Turno: Capacidade máxima (horas)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2º Turno: Horas trabalhadas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ocupação (face à capacidade do 1º turno)		36%	33%	61%	35%	55%	49%	70%	15%	27%	18%	31%	13%	
Enchimento															
	1º Turno: Capacidade máxima (horas)		152	176	96	176	160	168	160	168	160	160	184	168	176
	1º Turno: Horas trabalhadas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2º Turno: Capacidade máxima (horas)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2º Turno: Horas trabalhadas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ocupação (face à capacidade do 1º turno)		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10000_1000															
Acabamento															
	1º Turno: Capacidade máxima (horas)		152	176	96	176	160	168	160	168	160	160	184	168	176
	1º Turno: Horas trabalhadas		152	176	96	176	160	148	159	136	160	160	184	168	176
	2º Turno: Capacidade máxima (horas)		38	44	44	44	40	42	40	42	40	46	42	44	
	2º Turno: Horas trabalhadas		38	44	44	44	40	0	0	32	0	0	1	7	
	Ocupação (face à capacidade do 1º turno)		125%	125%	146%	125%	125%	88%	100%	124%	100%	100%	100%	104%	
Enchimento															
	1º Turno: Capacidade máxima (horas)		152	176	96	176	160	168	160	168	160	160	184	168	176
	1º Turno: Horas trabalhadas		152	176	96	176	160	148	159	136	160	160	184	168	176
	2º Turno: Capacidade máxima (horas)		38	44	44	44	40	42	40	42	40	46	42	44	
	2º Turno: Horas trabalhadas		38	44	44	44	40	0	0	32	0	0	1	7	
	Ocupação (face à capacidade do 1º turno)		125%	125%	146%	125%	125%	88%	100%	124%	100%	100%	100%	104%	
10000_1000															
Acabamento															
	1º Turno: Capacidade máxima (horas)		152	176	96	176	160	168	160	168	160	160	184	168	176
	1º Turno: Horas trabalhadas		152	176	96	176	160	148	135	112	160	160	184	168	176
	2º Turno: Capacidade máxima (horas)		38	44	44	44	40	42	40	42	40	46	42	44	
	2º Turno: Horas trabalhadas		38	44	44	44	40	0	0	32	0	0	1	7	

Figura E.5: Ficheiro *Output*-Ocupação das linhas de enchimento

Utilização de mão-de-obra
Por centro fabril

Centro	Values	Mês	202106	202107	202108	202109	202110	202111	202112	202201	202202	202203	202204	202205
FABRIL_001	Capacidade base disponível (horas-homem)		13 832	16 016	16 016	16 016	14 560	15 288	14 560	15 288	14 560	16 744	15 288	16 016
	Capacidade total utilizada (horas-homem)		10 633	10 815	7 859	10 011	9 703	9 174	9 109	6 825	7 176	8 383	8 583	9 294
	Capacidade extra utilizada (horas-homem)		380	441	0	441	400	0	0	0	0	5	5	74
	Utilização de mão-de-obra (%)		77%	68%	49%	63%	67%	60%	63%	45%	49%	50%	56%	58%
FABRIL_002	Capacidade base disponível (horas-homem)		5 928	6 864	6 864	6 864	6 240	6 552	6 240	6 552	6 240	7 176	6 552	6 864
	Capacidade total utilizada (horas-homem)		2 589	2 901	2 544	3 245	3 587	3 663	2 964	1 440	1 213	1 272	1 560	1 621
	Capacidade extra utilizada (horas-homem)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Utilização de mão-de-obra (%)		44%	42%	37%	47%	57%	56%	48%	22%	19%	18%	24%	24%

Figura E.6: Ficheiro *Output*-Utilização de mão de obra

Plano de manutenção
Por linha de produção

Centro	[All]	Values	Mês	202106	202107	202108	202109	202110	202111	202112	202201	202202	202203	202204	202205
FABRIL_001	2	Janela possível		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Mês sugerido?		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FABRIL_001	3	Janela possível		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
		Mês sugerido?		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
FABRIL_002	2	Janela possível		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Mês sugerido?		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FABRIL_002	3	Janela possível		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
		Mês sugerido?		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
FABRIL_003	2	Janela possível		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Mês sugerido?		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FABRIL_003	3	Janela possível		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
		Mês sugerido?		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
FABRIL_004	2	Janela possível		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Mês sugerido?		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FABRIL_004	3	Janela possível		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
		Mês sugerido?		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
FABRIL_005	2	Janela possível		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Mês sugerido?		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FABRIL_005	3	Janela possível		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
		Mês sugerido?		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Figura E.7: Ficheiro *Output*-Plano de manutenção

Ocupação do armazém

Por centro fabril

Centro	Values	Mês												
		202105	202106	202107	202108	202109	202110	202111	202112	202201	202202	202203	202204	202205
10000														
	Produto acabado - Espaço disponível (paletes)	8 967	8 967	8 967	8 967	8 967	8 967	8 967	8 967	8 967	8 967	8 967	8 967	8 967
	Produto acabado - Espaço ocupado (paletes)	0	5 859	4 955	4 321	5 139	5 151	5 909	5 992	6 946	7 930	8 213	7 988	6 120
	Produto acabado - Taxa de ocupação do espaço (%)	0%	65%	55%	48%	57%	57%	66%	67%	77%	88%	92%	89%	68%
	Garrafeira - Espaço disponível (boxpaletes)	3 036	3 036	3 036	3 036	3 036	3 036	3 036	3 036	3 036	3 036	3 036	3 036	3 036
	Garrafeira - Espaço ocupado (boxpaletes)	0	3 020	2 775	3 262	2 900	2 984	3 550	3 332	3 723	3 704	3 863	3 688	3 766
	Garrafeira - Taxa de ocupação do espaço (%)	0%	99%	91%	107%	96%	98%	117%	110%	123%	122%	127%	121%	124%
10001														
	Produto acabado - Espaço disponível (paletes)	2 973	2 973	2 973	2 973	2 973	2 973	2 973	2 973	2 973	2 973	2 973	2 973	2 973
	Produto acabado - Espaço ocupado (paletes)	0	2 035	1 725	2 068	2 060	1 649	1 866	1 205	1 000	919	805	708	829
	Produto acabado - Taxa de ocupação do espaço (%)	0%	68%	58%	70%	69%	55%	63%	41%	34%	31%	27%	24%	28%
	Garrafeira - Espaço disponível (boxpaletes)	955	955	955	955	955	955	955	955	955	955	955	955	955
	Garrafeira - Espaço ocupado (boxpaletes)	0	1 150	1 128	1 089	1 041	1 006	972	955	1 082	1 082	1 066	1 154	1 234
	Garrafeira - Taxa de ocupação do espaço (%)	0%	120%	118%	114%	109%	105%	102%	100%	113%	113%	112%	121%	129%

Figura E.8: Ficheiro *Output*-Ocupação de armazém

Cadências médias (Garrafas/hora)

Por linha de produção

Centro		Mês											
(All)		202106	202107	202108	202109	202110	202111	202112	202201	202202	202203	202204	202205
10000													
	Cadência média de enchimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cadência média de produção direta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cadência média de acabamento	377	301	491	476	459	461	475	477	453	462	485	472
10001													
	Cadência média de enchimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cadência média de produção direta	7 499	7 499	7 494	7 496	7 496	7 455	7 480	7 443	7 477	7 489	7 491	7 487
	Cadência média de acabamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10002													
	Cadência média de enchimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cadência média de produção direta	4 466	4 604	4 402	4 442	4 284	4 208	4 057	4 130	4 143	4 415	4 389	4 568
	Cadência média de acabamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10003													
	Cadência média de enchimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cadência média de produção direta	7 019	7 045	7 047	7 045	7 043	7 029	7 052	7 058	6 960	6 989	6 949	6 998
	Cadência média de acabamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10004													
	Cadência média de enchimento	9 671	9 763	9 783	9 325	9 407	9 654	9 151	9 696	9 765	9 540	9 794	9 741
	Cadência média de produção direta	6 791	7 292	6 620	6 792	6 620	7 139	6 613	6 538	6 757	6 734	6 788	6 906
	Cadência média de acabamento	5 490	6 129	6 560	5 878	5 629	6 306	5 810	5 890	6 344	6 051	6 553	7 029
10005													
	Cadência média de enchimento	0	0	0	0	0	2 353	2 353	2 353	2 353	0	0	0
	Cadência média de produção direta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cadência média de acabamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10006													
	Cadência média de enchimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cadência média de produção direta	5 443	5 448	5 457	5 327	5 359	5 445	5 433	5 456	5 457	5 389	5 446	5 431
	Cadência média de acabamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10007													
	Cadência média de enchimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 750	0
	Cadência média de produção direta	2 745	2 429	2 545	2 275	2 135	2 573	1 951	2 314	2 311	2 393	2 489	2 136
	Cadência média de acabamento	1 948	1 997	2 136	2 146	2 110	2 048	1 877	1 430	1 619	1 465	1 354	1 622
10008													
	Cadência média de enchimento	3 377	3 034	2 825	2 704	2 719	2 806	2 747	4 305	2 864	2 481	4 250	3 983
	Cadência média de produção direta	3 160	3 075	3 107	2 941	2 902	3 221	2 338	2 784	2 370	2 242	2 348	2 726
	Cadência média de acabamento	2 225	2 879	1 837	2 395	2 968	3 078	3 273	2 765	3 141	2 984	2 915	2 797
10009													
	Cadência média de enchimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura E.9: Ficheiro *Output*-Cadências médias das linhas

Utilização de mão-de-obra													
Por linha de produção													
Centro (All)													
Linha	Valores	Mês											
		202106	202107	202108	202109	202110	202111	202112	202201	202202	202203	202204	202205
Capacidade base disponível (horas-homem)		2 432	2 816	2 816	2 816	2 560	2 688	2 560	2 688	2 560	2 944	2 688	2 816
Capacidade total utilizada (horas-homem)		378	458	404	428	739	689	308	177	348	243	378	186
Capacidade extra utilizada (horas-homem)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilização de mão-de-obra (%)		16%	16%	14%	15%	29%	26%	12%	7%	14%	8%	14%	6%
Capacidade base disponível (horas-homem)		1 520	1 760	1 760	1 760	1 600	1 680	1 600	1 680	1 600	1 840	1 680	1 760
Capacidade total utilizada (horas-homem)		1 300	2 201	1 400	2 201	2 000	1 483	1 600	1 680	1 600	1 845	1 685	1 834
Capacidade extra utilizada (horas-homem)		380	441	0	441	400	0	0	0	0	5	5	74
Utilização de mão-de-obra (%)		125%	125%	80%	125%	125%	88%	100%	100%	100%	100%	100%	104%
Capacidade base disponível (horas-homem)		2 280	2 640	2 640	2 640	2 400	2 520	2 400	2 520	2 400	2 760	2 520	2 640
Capacidade total utilizada (horas-homem)		2 076	2 454	1 507	2 456	2 230	1 686	1 524	1 760	2 235	2 610	2 328	2 412
Capacidade extra utilizada (horas-homem)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilização de mão-de-obra (%)		91%	93%	57%	93%	93%	67%	64%	70%	93%	95%	92%	91%
Capacidade base disponível (horas-homem)		1 368	1 584	1 584	1 584	1 440	1 512	1 440	1 512	1 440	1 656	1 512	1 584
Capacidade total utilizada (horas-homem)		1 156	1 241	915	805	626	580	941	291	445	1 078	1 451	1 398
Capacidade extra utilizada (horas-homem)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilização de mão-de-obra (%)		85%	78%	58%	51%	43%	38%	65%	19%	31%	65%	96%	88%
Capacidade base disponível (horas-homem)		3 952	4 576	4 576	4 576	4 160	4 368	4 160	4 368	4 160	4 784	4 368	4 576
Capacidade total utilizada (horas-homem)		3 218	2 371	1 930	2 361	2 191	3 446	2 106	1 831	1 689	1 292	1 444	2 072
Capacidade extra utilizada (horas-homem)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilização de mão-de-obra (%)		81%	52%	42%	52%	53%	79%	51%	42%	41%	27%	33%	45%
Capacidade base disponível (horas-homem)		152	176	176	176	160	168	160	168	160	184	168	176
Capacidade total utilizada (horas-homem)		0	0	0	0	0	20	4	30	20	18	0	0
Capacidade extra utilizada (horas-homem)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilização de mão-de-obra (%)		0%	0%	0%	0%	0%	12%	3%	18%	12%	10%	0%	0%
Capacidade base disponível (horas-homem)		912	1 056	1 056	1 056	960	1 008	960	1 008	960	1 104	1 008	1 056
Capacidade total utilizada (horas-homem)		397	364	480	808	795	614	804	271	380	513	426	406
Capacidade extra utilizada (horas-homem)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilização de mão-de-obra (%)		43%	35%	45%	76%	83%	61%	84%	27%	40%	46%	42%	38%
Capacidade base disponível (horas-homem)		2 128	2 464	2 464	2 464	2 240	2 352	2 240	2 352	2 240	2 576	2 352	2 464
Capacidade total utilizada (horas-homem)		179	154	639	272	257	408	262	91	84	97	224	164
Capacidade extra utilizada (horas-homem)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilização de mão-de-obra (%)		8%	6%	26%	11%	11%	17%	12%	4%	4%	4%	10%	7%
Capacidade base disponível (horas-homem)		1 824	2 112	2 112	2 112	1 920	2 016	1 920	2 016	1 920	2 208	2 016	2 112
Capacidade total utilizada (horas-homem)		1 500	2 112	1 089	1 636	1 320	1 376	1 437	441	498	430	614	838
Capacidade extra utilizada (horas-homem)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilização de mão-de-obra (%)		82%	100%	52%	77%	100%	98%	75%	22%	26%	22%	40%	40%
Capacidade base disponível (horas-homem)		1 064	1 232	1 232	1 232	1 120	1 176	1 120	1 176	1 120	1 288	1 176	1 232
Capacidade total utilizada (horas-homem)		507	262	325	463	561	649	446	632	249	168	32	184
Capacidade extra utilizada (horas-homem)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilização de mão-de-obra (%)		48%	21%	26%	38%	50%	55%	40%	54%	22%	13%	8%	15%

Figura E.10: Ficheiro *Output*-Utilização de mão de obra por linha

Transportes entre centros (Cx9L)

Por Família / Capacidade / Fecho

Stock GRF movimentado (Cx9L)					Mês											
Centro de origem	☒ Centro de destino	Família	Capacidade	Fecho	202106	202107	202108	202109	202110	202112	202201	202202	202203	202204	202205	
					2 563											
					30											
					150											
					3											
					1											
					189											
						12										
					33											
					94											
					30											
					28								19			
					36											
							1082									
					20											
					79											
									70			97	42	19	5	
					42											
					69											
							182						64			
					11											
										68	42		13			

Ajuste das quantidades sugeridas

[illegible]

Figura E.13: Ficheiro *Output*-Ajuste das quantidades sugeridas

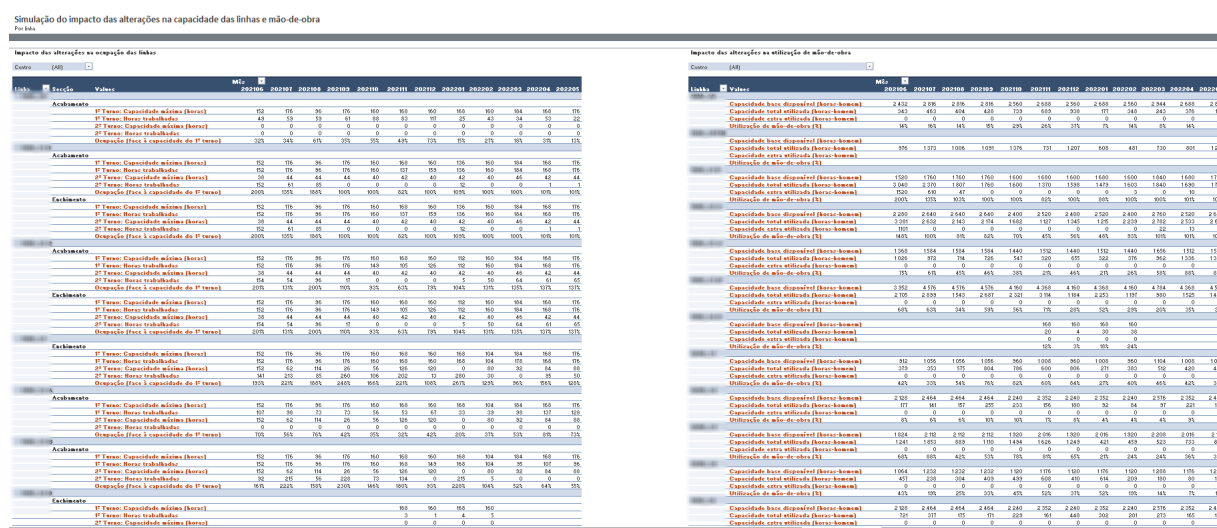
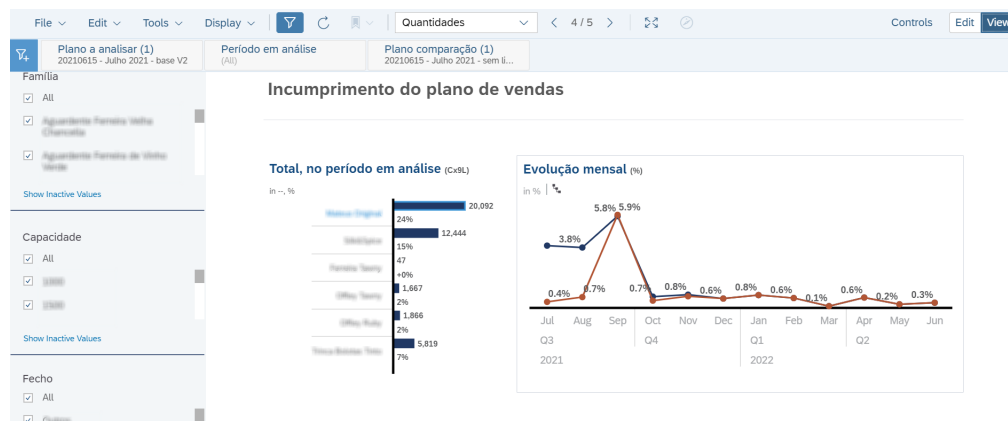
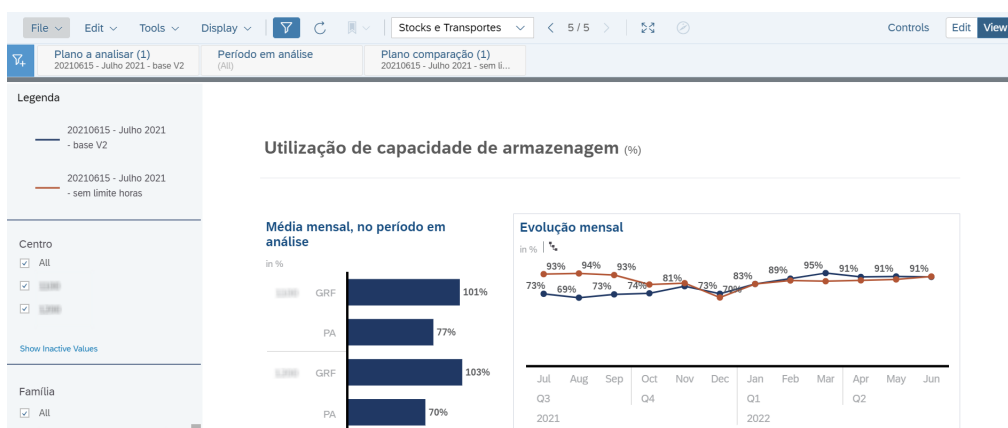


Figura E.14: Ficheiro *Output*-Simulação do impacto das alterações



Figura E.15: *Dashboard* - Vista mão de obra

Figura E.16: *Dashboard* - Vista linhas de enchimentoFigura E.17: *Dashboard* - Vista quantidadesFigura E.18: *Dashboard* - Vista stocks e transportes