



## Otimização do processo de produção de gelo em lojas de retalho alimentar

JOSÉ PAULO DOS SANTOS LEAL

Outubro de 2016

# OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE GELO EM LOJAS DE RETALHO ALIMENTAR

José Paulo Santos Leal

**2016**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE GELO EM LOJAS DE RETALHO ALIMENTAR

José Paulo Santos Leal

1110671

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor António Galvão Ramos.

**2016**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# JÚRI

## **Presidente**

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

## **Orientador**

<Doutor António Galvão Ramos>

<Professor adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto>

## **Arguente**

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Galvão Ramos pela orientação e apoio ao longo do período de desenvolvimento do trabalho.

À equipa da Direção de Proteção de Ativos da SONAE MC, em especial à Direção de Controlo de Custos pela disponibilidade e colaboração em todas as fases do projeto.

À família e amigos.



## PALAVRAS CHAVE

Planeamento Produção, Eficiência energética, retalho alimentar

## RESUMO

Este estudo foi desenvolvido no âmbito da Unidade curricular de Dissertação / Projeto / Estágio do Mestrado em Engenharia Mecânica – Ramo de Gestão Industrial, do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O projeto foi desenvolvido no Departamento de Controlo de Custos na empresa SONAE MC, que atua no setor do retalho alimentar, com o objetivo de reduzir os custos energéticos associados à produção de gelo, destinado à conservação de artigos piscícolas expostos em loja e na retaguarda, assim como do respetivo processo de degelo que ocorre no fim de cada dia de trabalho.

A abordagem passou, inicialmente, pela recolha e análise de dados relativos a consumos de água e energia dos equipamentos de produção de gelo, e à relação desses consumos com alguns indicadores de negócio, com o objetivo de uniformizar parâmetros como a quantidade de gelo utilizado. Numa fase posterior foi desenvolvido um modelo de otimização, com recurso a um modelo de programação linear inteira, com o objetivo de planear os períodos de funcionamento das máquinas de gelo, tendo em consideração a variação de tarifa energética que ocorre durante o dia, minimizando assim os custos associados à produção de gelo.

A implementação do modelo a um conjunto de lojas, para efeito de teste, revelou uma redução de cerca de 35% dos custos energéticos, assim como uma melhoria na qualidade do gelo através do planeamento da produção o mais próximo possível do momento de necessidade, diminuindo o efeito de aglomeração causado pelo tempo de armazenamento excessivo.

KEYWORDS

Scheduling; Energy efficiency; Food retail

## ABSTRACT

This study was developed within the course of Thesis / Project / Internship of the Master Degree in Mechanical Engineering – Industrial Management branch from the Polytechnic School of Engineering, in Porto.

The project was developed in the Cost Control Department at SONAE MC, a leader in the food retail business in Portugal. The goal was to reduce the energy costs of the ice production process used to preserve fresh fish displayed on shelves and stored in boxes at the background of the store, and the respective melting of the ice at the end of each day.

The approach started with the data analysis of water and energy consumption of the ice production units, and the relation between those consumptions with some business performance indicators, with the purpose of standardize parameters such as the ice quantities used in shelve. Then, an integer linear model was proposed with the objective of reducing the total energy costs associated with the ice production process, by scheduling the production considering the energy tariffs variation during the day.

The implementation of the model to a group of stores revealed a 35% reduction in the energy costs, and also a significant improvement in the quality of the ice, by scheduling the production as late as possible, reducing the effect of ice agglomeration caused by excessive storage times.

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Unidades

<Termo>	<Designação>
°C	Grau Célsio
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
€	Euro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1- À ESQUERDA ESTÁ REPRESENTADO UMA FORMA INCORRETA DE CONSERVAÇÃO DE PEIXE FRESCO. O PEIXE DEVE ESTAR TODO COBERTO DE GELO, EVITANDO QUALQUER TROCA DE CALOR COM O AMBIENTE ENVOLVENTE, COMO SE ENCONTRA REPRESENTADO À DIREITA. (LIMA, ET AL., 2013) .....	32
FIGURA 2 – SISTEMAS DE INTERAÇÃO E INTERVENIENTES NA CADEIA DE DISTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA. FONTE (GAHM, DENZ, DIRR, & TUMA, 2015). .....	33
FIGURA 3 - ABORDAGENS AO PLANEAMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – QUADRO RESUMO (GAHM, DENZ, DIRR, & TUMA, 2015) .....	35
FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUÇÃO DE GELO E DEGELO .....	38
FIGURA 5 – CONTENTOR DE ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE GELO.....	39
FIGURA 6 – PRIMEIRA NECESSIDADE DE GELO (ABERTURA DE LOJA).....	39
FIGURA 7 – SEGUNDA NECESSIDADE DE GELO (SEGUNDA ABERTURA) PARA MANUTENÇÃO DA CAMADA DE GELO EM BANCA.....	40
FIGURA 8 – TERCEIRA NECESSIDADE DE GELO (FECHO DE LOJA) PARA CONSERVAÇÃO DE PRODUTO.....	40
FIGURA 9 – DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA NO SETOR DA PEIXARIA.....	42
FIGURA 10 – RELAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA COM O VOLUME DE PRODUTO TRANSACIONADO. ....	42
FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO, EM PORCENTAGEM, DA ESPESSURA DA CAMADA DE GELO UTILIZADA NAS LOJAS DO GRUPO.....	43
FIGURA 12 – BANCA DE EXPOSIÇÃO PARA PEIXARIA, COM SISTEMA DE DEGELO AUTÓNOMO. ....	44
FIGURA 13 – RESULTADOS DO PROCESSO DE DEGELO, NA LOJA A. ....	45
FIGURA 14 – DISTRIBUIÇÃO DAS TARIFAS ENERGÉTICAS DURANTE A SEMANA EM PERÍODO DE INVERNO. ....	47
FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO DAS TARIFAS ENERGÉTICAS DURANTE O SÁBADO EM PERÍODO DE INVERNO. ....	47
FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO DAS TARIFAS ENERGÉTICAS DURANTE O DOMINGO EM PERÍODO DE INVERNO. ....	47
FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO DAS TARIFAS ENERGÉTICAS DURANTE A SEMANA EM PERÍODO DE VERÃO. ....	47
FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO DAS TARIFAS ENERGÉTICAS DURANTE O SÁBADO EM PERÍODO DE VERÃO. ....	47
FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO DAS TARIFAS ENERGÉTICAS DURANTE O DOMINGO EM PERÍODO DE VERÃO. ....	47
FIGURA 20 – FERRAMENTA EXCEL.....	51
FIGURA 21 – RESULTADO DO MODELO – PLANEAMENTO LOJA 1 PERÍODO DE VERÃO – SEMANA.....	55

---

FIGURA 22 - RESULTADO DO MODELO – PLANEAMENTO LOJA 1 PERÍODO DE VERÃO – SÁBADO. ....	55
FIGURA 23 – RESULTADO DO MODELO – PLANEAMENTO LOJA 1 PERÍODO DE VERÃO – DOMINGO. ....	56
FIGURA 24 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DAS TARIFAS ENERGÉTICAS – INSTÂNCIA ALEATÓRIA. ....	56
FIGURA 25 - RESULTADO DO MODELO – PLANEAMENTO LOJA TESTE. ....	57
FIGURA 26 – PLANO LOJA 1 PERÍODO VERÃO - SEMANA.....	69
FIGURA 27 - PLANO LOJA 1 PERÍODO VERÃO - SÁBADO .....	69
FIGURA 28 - PLANO LOJA 1 PERÍODO VERÃO - DOMINGO.....	69
FIGURA 29 - PLANO LOJA 1 PERÍODO INVERNO - SEMANA.....	70
FIGURA 30 - PLANO LOJA 1 PERÍODO INVERNO - SÁBADO .....	70
FIGURA 31 - PLANO LOJA 1 PERÍODO INVERNO - DOMINGO.....	70
FIGURA 32 - PLANO LOJA 2 PERÍODO VERÃO - SEMANA .....	71
FIGURA 33 - PLANO LOJA 2 PERÍODO VERÃO - SÁBADO .....	71
FIGURA 34 - PLANO LOJA 2 PERÍODO VERÃO - DOMINGO.....	71
FIGURA 35 - PLANO LOJA 2 PERÍODO INVERNO - SEMANA.....	72
FIGURA 36 - PLANO LOJA 2 PERÍODO INVERNO - SÁBADO .....	72
FIGURA 37 - PLANO LOJA 2 PERÍODO INVERNO – DOMINGO .....	72
FIGURA 38 - PLANO LOJA 3 PERÍODO VERÃO - SEMANA .....	73
FIGURA 39 - PLANO LOJA 3 PERÍODO VERÃO - SÁBADO .....	73
FIGURA 40 - PLANO LOJA 3 PERÍODO VERÃO - DOMINGO.....	73
FIGURA 41 - PLANO LOJA 3 PERÍODO INVERNO - SEMANA.....	74
FIGURA 42 - PLANO LOJA 3 PERÍODO INVERNO - SÁBADO .....	74
FIGURA 43 - PLANO LOJA 3 PERÍODO INVERNO – DOMINGO .....	74
FIGURA 44 - PLANO LOJA 4 PERÍODO VERÃO - SEMANA .....	75
FIGURA 45 - PLANO LOJA 4 PERÍODO VERÃO - SÁBADO .....	75
FIGURA 46 - PLANO LOJA 4 PERÍODO VERÃO - DOMINGO.....	75
FIGURA 47 - PLANO LOJA 4 PERÍODO INVERNO - SEMANA.....	76
FIGURA 48 - PLANO LOJA 4 PERÍODO INVERNO - SÁBADO .....	76
FIGURA 49 - PLANO LOJA 4 PERÍODO INVERNO – DOMINGO .....	76
FIGURA 50 - PLANO LOJA 5 PERÍODO VERÃO - SEMANA .....	77
FIGURA 51 - PLANO LOJA 5 PERÍODO VERÃO - SÁBADO .....	77
FIGURA 52 - PLANO LOJA 5 PERÍODO VERÃO - DOMINGO.....	77

---

FIGURA 53 - PLANO LOJA 5 PERÍODO INVERNO - SEMANA.....	78
FIGURA 54 - PLANO LOJA 5 PERÍODO INVERNO - SÁBADO .....	78
FIGURA 55 - PLANO LOJA 5 PERÍODO INVERNO – DOMINGO .....	78
FIGURA 56 - PLANO LOJA 6 PERÍODO VERÃO - SEMANA .....	79
FIGURA 57 - PLANO LOJA 6 PERÍODO VERÃO - SÁBADO .....	79
FIGURA 58 - PLANO LOJA 6 PERÍODO VERÃO - DOMINGO.....	79
FIGURA 59 - PLANO LOJA 6 PERÍODO INVERNO - SEMANA.....	80
FIGURA 60 - PLANO LOJA 6 PERÍODO INVERNO - SÁBADO .....	80
FIGURA 61 - PLANO LOJA 6 PERÍODO INVERNO – DOMINGO .....	80
FIGURA 62 - PLANO LOJA 7 PERÍODO VERÃO – SEMANA.....	81
FIGURA 63 - PLANO LOJA 7 PERÍODO VERÃO – SÁBADO .....	81
FIGURA 64 - PLANO LOJA 7 PERÍODO VERÃO – DOMINGO .....	81
FIGURA 65 - PLANO LOJA 7 PERÍODO INVERNO – SEMANA.....	82
FIGURA 66 - PLANO LOJA 7 PERÍODO INVERNO – SÁBADO.....	82
FIGURA 67 - PLANO LOJA 7 PERÍODO INVERNO – DOMINGO .....	82
FIGURA 68 - PLANO LOJA 8 PERÍODO VERÃO – SEMANA.....	83
FIGURA 69 - PLANO LOJA 8 PERÍODO VERÃO – SÁBADO .....	83
FIGURA 70 - PLANO LOJA 8 PERÍODO VERÃO – DOMINGO.....	83
FIGURA 71 - PLANO LOJA 8 PERÍODO INVERNO - SEMANA.....	84
FIGURA 72 - PLANO LOJA 8 PERÍODO INVERNO - SÁBADO .....	84
FIGURA 73 - PLANO LOJA 8 PERÍODO INVERNO – DOMINGO .....	84
FIGURA 74 - PLANO LOJA 9 PERÍODO VERÃO – SEMANA.....	85
FIGURA 75 - PLANO LOJA 9 PERÍODO VERÃO – SÁBADO .....	85
FIGURA 76 - PLANO LOJA 9 PERÍODO VERÃO – DOMINGO.....	85
FIGURA 77 - PLANO LOJA 9 PERÍODO INVERNO - SEMANA.....	86
FIGURA 78 - PLANO LOJA 9 PERÍODO INVERNO - SÁBADO .....	86
FIGURA 79 - PLANO LOJA 9 PERÍODO INVERNO – DOMINGO .....	86



## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – GANHOS COM A NORMALIZAÇÃO DA ESPESSURA DA CAMADA DE GELO. ....	43
TABELA 2 – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO REALIZADO RELATIVAMENTE À EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE DEGELO. ....	44
TABELA 3 – CUSTO MÉDIO DA ENERGIA POR PERÍODO DIÁRIO. VALORES 2015. ....	46
TABELA 4 – DISTRIBUIÇÃO DAS TARIFAS ENERGÉTICAS AO LONGO DO DIA, CONSIDERANDO O DIA DA SEMANA E O PERÍODO DO ANO. ....	46
TABELA 5 – DADOS SOBRE AS QUANTIDADES DE GELO NECESSÁRIO E HORAS DE ENTREGA E DAS CARACTERÍSTICAS DA UNIDADE DE PRODUÇÃO. ....	52
TABELA 6 – CALCULO DA DIMENSÃO DO MODELO.....	52
TABELA 7 – DADOS PARA IMPLEMENTAÇÃO NO MODELO (PERÍODO DE VERÃO – SEMANA) – UNIDADES EM Nº DE PERÍODOS. ....	53
TABELA 8 - DADOS PARA IMPLEMENTAÇÃO NO MODELO (EXCETO PERÍODO DE VERÃO – SEMANA) – UNIDADES EM Nº DE PERÍODOS. ....	54
TABELA 9 – RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO PARA O PERÍODO DE VERÃO – SEMANA. .	54
TABELA 10 - RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO PARA O PERÍODO DE INVERNO E VERÃO (SÁBADO E DOMINGO). ....	55
TABELA 11 – NÚMERO DE TARIFAS E RESPETIVO CUSTO – VALORES GERADOS ALEATORIAMENTE.....	56
TABELA 12 - DADOS SOBRE AS QUANTIDADES DE GELO NECESSÁRIO E HORAS DE ENTREGA E CARACTERÍSTICAS DA UNIDADE DE PRODUÇÃO GERADOS ALEATORIAMENTE.....	57
TABELA 13 - CALCULO DA DIMENSÃO DO MODELO DA LOJA TESTE. ....	57
TABELA 14 - RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DA LOJA TESTE. ....	57



# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	23
1.1	Enquadramento.....	23
1.2	Sustentabilidade e eficiência energética.....	23
1.3	Metodologia .....	25
1.4	Estrutura do documento.....	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	29
2.1	A conservação de artigos piscícolas em lojas do retalho alimentar.....	29
2.2	Gelo como meio de conservação .....	31
2.3	Modelos de programação linear na otimização de custos energéticos .....	32
3	PROCESSO DE PRODUÇÃO DE GELO .....	38
3.1	Mapeamento do processo .....	38
3.1.1	Produção de gelo .....	41
3.1.2	Processo de degelo .....	43
3.2	Minimização dos custos de energia associados à produção de gelo – Modelo matemático programação linear inteira .....	45
3.2.1	Ferramenta Excel .....	50
3.2.2	Implementação do modelo e resultados obtidos .....	51
3.2.3	Teste de robustez ao modelo .....	56
4	CONCLUSÕES.....	61
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	65

---

6	ANEXOS .....	69
6.1	Resultado gráfico – implementação modelo de otimização .....	69

# INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

1.2 AUMENTO DA PROCURA ENERGÉTICA E MEDIDAS DE EFICIÊNCIA

1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO



## 1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação de mestrado foi realizada no âmbito de um estágio curricular “*Call For Solutions*” desenvolvido na Sonae MC, empresa do Grupo Sonae, líder no mercado nacional no segmento do retalho alimentar.

### 1.1 Enquadramento

Atualmente a Sonae MC apresenta um conjunto diversificado de formatos, desde os hipermercados Continente e supermercados de conveniência Continente Modelo, Continente Bom Dia e Meu Super. Possui também outros formatos para além do retalho alimentar, como as Cafetarias Bom Bocado, restaurantes Bagga, e ainda as lojas Note!, Well’s e Zu, no segmento de livrarias, saúde ótica e bem estar, e produtos e serviços para animais de estimação, respetivamente.

O estágio foi realizado junto da Direção de Controlo de Custos, integrada na Direção de Proteção de Ativos, e o objetivo passou pela análise do processo de produção de gelo e degelo, utilizado no setor da peixaria das lojas Continente, Continente Modelo e Continente Bom dia, visando principalmente a redução do consumo de energia, inerentes aos dois processos.

### 1.2 Sustentabilidade e eficiência energética

A União Europeia assume cada vez mais a redução do consumo de energia e a redução do desperdício energético como uma questão determinante para a sua política energética. Em 2007 foi assumido pelos países membros da EU, o objetivo de reduzir o consumo médio anual de energia em 20%. Portugal traçou metas mais ambiciosas, estabelecendo como objetivo uma redução de energia primária de 25%.

O Conselho Europeu de 20 e 21 de março de 2014 salientou a eficácia das medidas de eficiência energética na redução dos custos de energia e na dependência energética, e estabeleceu normas no âmbito da eficiência energética. Essas medidas visam melhorar a eficiência em todas as fases da cadeia de abastecimento de energia, desde o aprovisionamento energético à utilização por parte dos consumidores finais.

O preço da energia tende a aumentar com a procura, e de acordo com a Exxon Mobil, (2015), é muito provável que a procura global de energia aumente cerca de 35%, até 2040, sendo que esse número pode aumentar para 140% se não forem adotadas atempadamente medidas de eficiência energética. Esta previsão do crescimento da procura tem em consideração diversos fatores, como o aumento da população mundial em cerca de dois mil milhões de habitantes, o aumento global da

classe média, principalmente em países como China, Brasil e Índia, e a expansão das economias emergentes com os países não pertencentes à OCDE a contribuir em cerca de 70% para a procura global de energia.

A utilização de energia é essencial para que a população possa aceder a um estilo de vida que de outra forma seria impossível de manter. Contudo, a utilização descontrolada de energia acarreta algumas consequências negativas, sendo as principais a extinção das energias não renováveis ou de origem fóssil, e o impacto negativo no meio ambiente. Todo o processo de transformação, transporte e uso final de energia, causam impactos negativos no meio ambiente. Aquando da fase de exploração, são libertados diversos resíduos que contaminam as águas, solos e a atmosfera. Também o transporte e distribuição de energia, com a criação de redes elétricas, oleodutos e gasodutos, produzem um impacto negativo no ambiente. É de salientar que a produção e uso de energia, tanto na indústria como nas habitações e nos transportes, é responsável pela maioria das emissões de CO<sub>2</sub> causadas pelo Homem.

De acordo com Méndez, Cerdá, Grossmann, Harjunkoski, & Fahl, (2005), o planeamento representa um dos principais problemas em todos os processos produtivos e é um fator crucial para o aumento da performance das organizações. No caso particular dos supermercados, os custos de energia representam aproximadamente 35% dos custos operacionais totais, o que significa que uma boa política de eficiência energética pode provocar um impacto positivo bastante significativo nas despesas globais. Segundo Michaloski, et al., (2011), uma das formas para reduzir os custos energéticos passa por mover a carga dos períodos de pico de energia, onde os custos são mais elevados, para períodos de baixa, com tarifas energéticas mais reduzidas.

O planeamento é raramente considerado como opção no que toca a implementação de medidas de eficiência energética, contudo, alguns avanços estão a ser alcançados nessa matéria. Fatores como a necessidade produtiva de bens tangíveis, dados técnicos dos equipamentos relativos às suas necessidades energéticas, processos de aquisição de energia, variação das tarifas energéticas ao longo do tempo, são aspetos que devem ser tomados em consideração para a redução da procura de energia por parte das organizações. Relativamente a este último fator, no futuro a tendência é passar a existir um número maior de tarifas energéticas, o que leva a uma variação maior do custo da energia durante cada dia, tornando a tomada de decisão e planeamento bastante mais complexo.

### 1.3 Metodologia

De forma a alcançar os objetivos propostos, este estudo foi desenvolvido segundo uma metodologia dividida em três fases:

A primeira fase passou pelo levantamento de todas as operações do processo, considerando todos os cuidados especiais a ter em conta com o produto em questão, assim como o levantamento e análise de alguns indicadores de negócio de forma identificar previamente possíveis pontos-chave no problema.

A segunda fase contemplou visitas a algumas lojas, onde foi realizado o levantamento da realidade atual, com objetivo de identificar desperdícios que podem ser evitados, concretamente desperdícios de energia e de água associados ao processo de produção de gelo e processo de degelo.

Por fim, e com base no que foi observado na segunda fase, foi desenvolvido um modelo matemático para o planeamento da produção de gelo com o objetivo de minimizar os custos energéticos na produção de gelo.

### 1.4 Estrutura do documento

O presente documento analisa o processo de produção de gelo e processo de degelo, num ponto de vista de redução de custos. Propõe um modelo matemático de programação linear inteira, com o objetivo de minimizar os custos energéticos associados à produção de gelo no setor das peixarias, alocando a produção das máquinas a períodos com tarifas energéticas mais baixas, garantindo todas as necessidades de cada uma das lojas, quer em quantidade quer em prazos.

No capítulo 2 é apresentada a pesquisa bibliográfica, onde são abordados os temas da conservação de produtos piscícolas em lojas do retalho alimentar, a utilização de gelo como meio de conservação e práticas de higiene associadas ao manuseamento deste tipo de produtos. É também apresentado um resumo de alguns modelos matemáticos usados para otimização de custos energéticos de produção.

No capítulo 3 é descrito em detalhe todo o processo associado à produção de gelo e ao processo de degelo, e é também apresentado um modelo matemático para otimização dos custos energéticos da produção de gelo.

O capítulo 4 apresenta as conclusões do trabalho realizado, e indica o próximo passo a dar para a implementação de algumas propostas de melhoria.



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CONSERVAÇÃO DE ARTIGOS PISCÍCULOS EM LOJAS  
DO RETALHO ALIMENTAR

2.2 GELO COMO MEIO DE CONSERVAÇÃO

2.3 MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR NA OTIMIZAÇÃO  
DE CUSTOS ENERGÉTICOS



---

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo são abordados os temas da conservação de artigos piscícolas, cuidados de higiene associados ao manuseamento e transporte deste tipo de artigo alimentar assim como os parâmetros a ter em consideração na produção de gelo para conservação de peixe fresco. É realizada também uma revisão das diferentes abordagens e classificação de problemas de otimização energética.

### 2.1 A conservação de artigos piscícolas em lojas do retalho alimentar

Nas cadeias de abastecimento da indústria alimentar de produtos perecíveis, existe a necessidade de produção de frio de forma a garantir a correta conservação dos produtos durante o seu transporte, armazenamento e comercialização.

No caso particular dos artigos piscícolas, sendo um alimento muito perecível, carece de um processo de conservação bastante rigoroso, levando a que o pescado conservado em condições deficitárias, rapidamente se torne impróprio para consumo, podendo causar inúmeros problemas de saúde. Citando Inovenergy (2012) “O peixe perde qualidade devido à atividade bacteriana ou enzimática, ou plena atividade de ambos. A redução da temperatura de armazenamento retarda significativamente essas atividades, atrasando assim a deterioração e degradação autolítica”.

Para que o peixe fresco não se estrague rapidamente, vários fatores devem ser tomados em consideração desde o momento de captura até ao momento de comercialização, incluindo todas as operações intermédias de processamento e armazenamento. Os fatores principais que contribuem para a degradação do pescado fresco são o tempo, a temperatura e as medidas de higiene.

Após a captura, o produto deve ser imediatamente processado ou armazenado em condições ideais. A exposição prolongada às condições ambientais, durante a sua manipulação e transporte até à câmara de conservação, é um grande aliado das bactérias e enzimas presentes no próprio peixe, e em poucas horas poderão desenvolver-se e multiplicar-se, fazendo com que o produto se torne impróprio para consumo (Lima, et al., 2013).

A temperatura ambiente é um fator muito importante a ter em consideração, pois leva à proliferação de bactérias que contaminam o produto e podem causar doenças. Imediatamente após a captura, o peixe deve ser mantido a temperaturas muito próximas dos 0°C e humidade relativa de 90%, normalmente recorrendo-se à utilização de gelo para esse efeito.

Todos os utensílios utilizados na manipulação do pescado, como facas, afiadores, tábuas de corte, caixas plásticas, deveram ser limpos com frequência de forma a não contaminar o produto com agentes externos. É muito importante utilizar utensílios

feitos de materiais fáceis de limpar e que não acumulem sujidade. Materiais em inox, plástico ou polipropileno são muito comuns na indústria alimentar e nos estabelecimentos comerciais (Lima, et al., 2013).

Em todo os centros de processamento, distribuição e comercialização de peixe fresco, deve ser garantido o fornecimento de água limpa e gelo. A Escola Superior Agrária Coimbra (2004) menciona que, no que diz respeito á agua, esta deve estar disponível nas condições potáveis ideais, tanto quente como fria, e com pressão adequada para as operações diárias de processamento do peixe e limpeza do espaço e utensílios. Consequentemente, o gelo deverá ser produzido a partir de água potável e protegido de qualquer contaminação de agentes externos. No que diz respeito ao vapor, este deve ser disponibilizado com pressão suficiente, e sempre que se encontre em contacto direto com o produto deve ser garantido que este não representa perigo para os alimentos.

Relativamente à gestão de resíduos, tais como miudezas e outros desperdícios, estes devem ser removidos regularmente das instalações de processamento e/ou comerciais. As instalações para o armazenamento de resíduos devem ser sujeitas a uma correta manutenção, e devem devidamente separadas das restantes áreas de forma a não contaminar as demais zonas da instalação.

As instalações sanitárias e a higiene pessoal devem ser mantidas em níveis que garantam a não contaminação dos espaços e do produto.

Devem ser disponibilizados meios adequados para lavar e secar as mãos de forma higiénica. Nenhuma pessoa portadora de qualquer doença infecciosa, ou que se encontre com qualquer tipo de ferida aberta, pode ser encarregue de atividades de preparação, manuseamento ou transporte dos produtos, e sempre que necessário, deve ser usado vestuário, coberturas para a cabeça e calçado adequado. Nas áreas de manuseamento e processamento não é permitido fumar, cuspir, mascar ou comer, e usar adereços pessoais.

Os veículos de transporte devem ser concebidos de forma a que as paredes e tetos sejam feitos de materiais resistentes à corrosão, com superfícies lisas que facilitem as operações de limpeza e evitem o acumular de resíduos.

É de extrema importância a existência de equipamentos de refrigeração para manter o peixe conservado durante todo o transporte, a uma temperatura o mais próxima possível dos 0°C. Para peixe congelado, a temperatura deve ser igual ou inferior a -18°C, e para peixe ou marisco vivo a temperatura deve ser a tolerada pelas respetivas espécies.

---

## 2.2 Gelo como meio de conservação

O recurso ao gelo como forma de conservação de peixe fresco é um dos meios mais utilizados na indústria alimentar, sendo amplamente utilizado nos barcos de pesca tradicional e industrial, durante o armazenamento e distribuição, e também durante a sua exposição nos estabelecimentos comerciais e mercados tradicionais.

Segundo Frazier & Westhoff (1988), o gelo retarda a ação de agentes deterioradores nos alimentos, pois cada microrganismo apresenta uma temperatura ótima para o seu crescimento, abaixo da qual não conseguirá multiplicar-se. O gelo pode ser usado como método de conservação ou de preservação temporária.

A água utilizada na produção de gelo para a indústria alimentar tem de respeitar os padrões de potabilidade estabelecidos. O uso de gelo com cloro é bastante efetivo na redução de micro-organismos, aumentando aproximadamente três dias a vida de prateleira do pescado sob refrigeração (Scherer, et al., 2004).

De acordo com Vieira (2004), o gelo utilizado na conservação do peixe fresco deve ser de ótima qualidade no que diz respeito ao aspeto bacteriológico, pois este afeta diretamente a qualidade do pescado. O gelo usado na conservação do peixe deve ser triturado ou em forma de flocos. Os flocos de gelo apresentam numerosas vantagens em relação ao gelo granulado e ao gelo em cubos, apresentando um custo de produção mais baixo, fácil manuseamento (principalmente para os estabelecimentos comerciais), e também reduzem a probabilidade de provocar lesões na sua superfície do peixe, o que contribuiria para acelerar o seu processo de degradação (Inovenergy, 2012).

P.M.L. & Germano (2001) afirmam que a maior parte dos microrganismos que contaminam o pescado estão relacionados com a qualidade da água usada para produzir o gelo utilizado na sua conservação e também os procedimentos adotados após a captura do peixe.

Hoffman, Disney, Pinegar, & Cameron (1974) ao estudar o prazo de validade da espécie *Bagrus spp*, concluíram que algumas das amostras conservadas em gelo, estavam em condições aceitáveis após dezasseis dias de serem armazenadas.

Sastry & Srikar (1986) relatam que o peixe fresco armazenado em gelo se encontrava em boas condições após três dias, e em condições aceitáveis após sete dias.

Frequentemente, de forma a obter temperaturas de conservação mais baixas, é prática comum adicionar sal à água usada na produção do gelo. “A quantidade adequada de gelo feito a partir de uma solução contendo 3% de cloreto de sódio, mantém um ambiente de conservação de cerca de -1°C.” (Inovenergy, 2012).

Stansby (1968) aconselha uma relação peso gelo/pescado entre 1:4 e 1:1, de acordo com as condições de comercialização do pescado. O armazenamento deve ser feito em caixas de plástico rígido (PVC), com gelo intercalado com camadas de peixe, e armazenado em camaras de frio. O prazo de validade médio de um peixe a 0°C é de 8 dias, a 22°C é de 1 dia e a 38°C é de apenas 12 horas. (Giampietro & Rezende-Lago, 2009)



Figura 1- À esquerda está representado uma forma incorreta de conservação de peixe fresco. O peixe deve estar todo coberto de gelo, evitando qualquer troca de calor com o ambiente envolvente, como se encontra representado à direita. (Lima, et al., 2013)

No caso particular do processo de produção de gelo nas lojas de retalho alimentar, o gelo deverá, idealmente, ser produzido o mais próximo possível do momento da sua utilização, diminuindo desta forma o efeito de aglomeração que ocorre devido a prolongados períodos de armazenamento. A aglomeração do gelo torna o processo de construção da camada de gelo mais difícil, sendo necessário bater o gelo de forma a ser possível a sua extração do contentor, o que destrói parcialmente a sua forma lamelar.

### 2.3 Modelos de programação linear na otimização de custos energéticos

O uso sustentável de recursos leva às empresas repensarem os seus processos e negócios. O conceito de sustentabilidade de Elkington (1998) assenta em três pilares – económico, ambiental e social, que são tomados em consideração simultaneamente. Com o aumento do consumo por parte da população, as indústrias agem de forma a dar resposta às necessidades, consumindo cada vez mais energia, sendo consequentemente o maior consumidor de energia.

A produção e distribuição de energia traz um impacto negativo para o meio ambiente, através das emissões de gases, poluição dos solos e águas, e uso extensivo de metros quadrados de terreno, sendo indispensável a redução dos consumos energéticos para um desenvolvimento sustentável.

Num estudo recente Gahm, Denz, Dirr, & Tuma (2015) apresentam uma extensa revisão acerca das diferentes medidas de eficiência energética aplicáveis ao setor

industrial, de forma a identificar e estruturar diferentes tipos de problemas e métodos de planeamento energético.

A análise efetuada por Gahm, Denz, Dirr, & Tuma (2015) a literatura relevante, indica que existem dois intervenientes com objetivos distintos, assim como três sistemas de interação, que determinam a abordagem a seguir na implementação de medidas de planeamento energético.

O interveniente principal é a empresa que usa a energia para produzir bens tangíveis. O interveniente secundário é o fornecedor de energia, que oferece uma ou mais fontes de energia ao mercado. Os três sistemas de interação são os seguintes: O sistema de produção e o sistema interno de conversão de energia, podendo ambos ser utilizados pelo utilizador final, e o sistema externo de conversão de energia, que é operado pelo fornecedor (Figura 2).

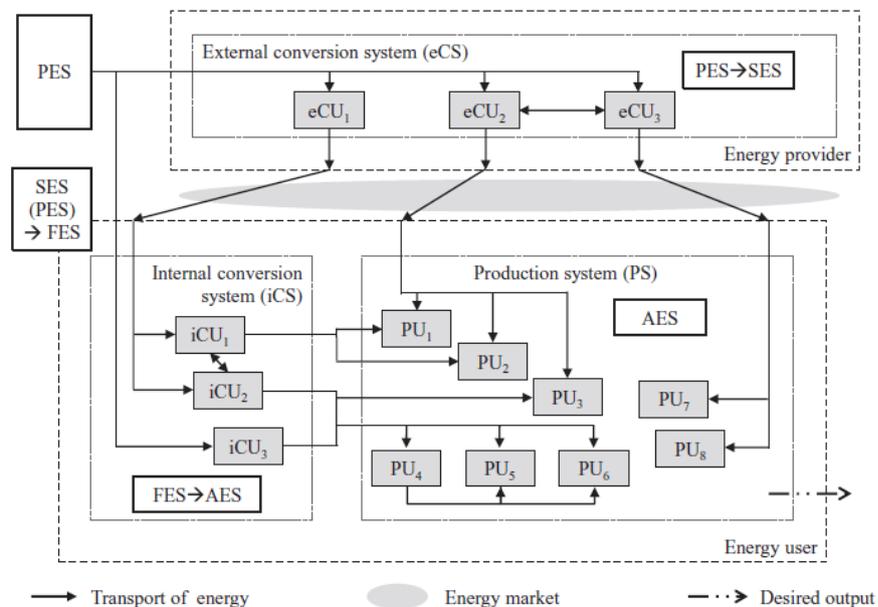


Figura 2 – Sistemas de interação e intervenientes na cadeia de distribuição energética. Fonte (Gahm, Denz, Dirr, & Tuma, 2015).

Com base nas definições mencionadas, são propostas três dimensões para a classificação das várias abordagens de planeamento energético:

- Cobertura energética – Especifica o sistema de produção em funcionamento na empresa, assim como o sistema interno/externo de conversão de energia, com o objetivo de reduzir as necessidades energéticas. Aspectos como tempos de espera dos equipamentos, planeamento de produção tendo em conta tempos de *setup*, alocação de trabalhos a máquinas que requerem menos energia para o seu funcionamento e ajustamento da velocidade de processamento, são

---

tomados em consideração nas medidas de eficiência energética implementadas.

- Fornecimento de energia – Descreve as características energéticas dos equipamentos usados na produção, sendo esta abordagem utilizada nos casos em que existe variação nas tarifas energéticas ao longo do tempo, encorajando as empresas a deslocar as suas necessidades energéticas de forma a evitar determinados períodos do dia.
- Necessidades energéticas – Descreve as necessidades energéticas dos equipamentos usados na produção, tendo em consideração essas necessidades em atividades produtivas e atividades não produtivas como o acionamento dos equipamentos, tempos de espera, atividades de preparação, tempo de encerramento dos equipamentos e armazenamento de material e produtos finais.

As três dimensões, suas categorias e atributos, para a eficiência no planeamento energético estão sumariadas na Figura 3.

Os modelos de programação linear são muitas vezes utilizados na resolução de problemas de alocação de recursos e planeamento, incluindo problemas de planeamento energético.

Wang & Li (2013) propõem um modelo baseado na variação das tarifas energéticas, aplicado a sistemas produtivos com  $N$  máquinas dispostas em série e  $N - 1$  *buffers*, determinando qual das máquinas pode ser desligada temporariamente ou colocada num estado de menor consumo energético tendo em consideração parâmetros como tempo de ciclo de cada máquina, capacidade de armazenamento dos buffers, capacidade produtiva e respetivos consumos energéticos. Utilizam um algoritmo PSO binário para calcular soluções muito próximas da solução ótima.

Yusta, Torres, & Khodr (2010) apresenta um modelo matemático que simula o custo e as necessidades energéticas de um processo de maquinação, de forma determinar o planeamento que maximiza o lucro, tendo em consideração a variação horária das tarifas energéticas ao longo do dia. O consumo energético dos equipamentos de maquinação está diretamente relacionado com parâmetros como a velocidade de corte e de avanço, que influencia diretamente o número de componentes produzidos em cada dia. O resultado final é um planeamento que descreve quantos componentes devem ser produzidos a cada hora do dia, assumindo um preço fixo para cada componente, maximizando o lucro da empresa.

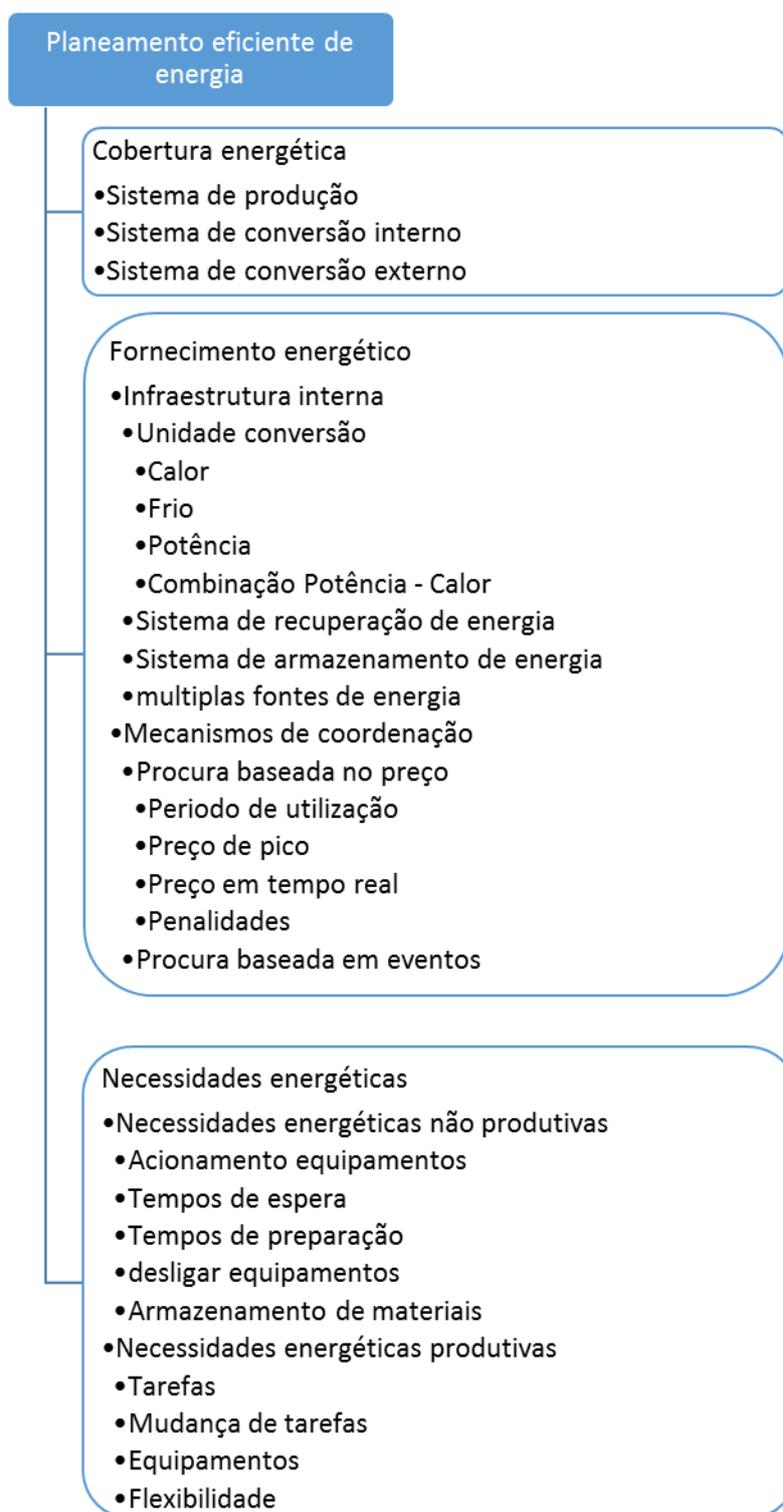


Figura 3 - Abordagens ao planeamento de eficiência energética – Quadro resumo (Gahm, Denz, Dirr, & Tuma, 2015)

Shrouf, Ordieres-Meré, García-Sánchez, & Ortega-Mier (2013) afirma que cada equipamento tem diferentes estados e transições que acarretam diferentes consumos energéticos que podem ser medidos. Três diferentes estados dos equipamentos são identificados, processamento, tempo de espera e *shut down*. Com informação relativa à duração de cada turno de trabalho, consumo energético de cada equipamento por período, em todos os estados anteriormente mencionados, e respetivo tempo de utilização de cada um desses estados, propõe um modelo matemático com três *output's*: Definição dos períodos de arranque e término da produção de cada equipamento; Decisão relativamente aos períodos em que cada equipamento deve estar em *standby* ou desligado; Disponibilizar o consumo energético exato de cada um dos equipamentos.

Haït & Artigues (2010) aplica um modelo de programação linear inteiro a um processo de produção de ferro fundido, numa indústria de fundição. O processo transforma sucata em ferro fundido, e é um processo com quatro etapas em que a ordem das etapas está definida e deve ser respeitada. O objetivo do modelo é planejar todas as tarefas, alocando-as a períodos do dia específicos, minimizando o custo total de energia.

O problema de planeamento da produção de gelo abordado neste trabalho de acordo com a classificação proposta por Gahm, Denz, Dirr, & Tuma (2015) é um problema de “Fornecimento energético” baseado em mecanismo de coordenação da procura com base no preço e tempo de utilização. A produção de gelo ocorre ao longo do dia de forma a dar resposta às três necessidades, que ocorrem em períodos do dia específicos. Tendo em consideração a variação das tarifas energéticas, o objetivo é alocar a produção dos equipamentos a períodos do dia com tarifas energéticas mais baixas, otimizando o custo de produção, tendo também em consideração o período de armazenamento do gelo nos contentores.

# PROCESSO PRODUÇÃO DE GELO

## 3.1 MAPEAMENTO DO PROCESSO

### 3.1.1 PRODUÇÃO DE GELO

### 3.1.2 PROCESSO DE DEGELO

## 3.2 MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE ENERGIA ASSOCIADOS À PRODUÇÃO DE GELO – MODELO MATEMÁTICO PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

### 3.2.1 FERRAMENTA EXCEL

### 3.2.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO E RESULTADOS OBTIDOS

### 3.2.3 TESTE DE ROBUSTEZ AO MODELO

### 3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE GELO

No presente capítulo é descrito o processo de produção de gelo, preparação da banca de venda ao público e respetivo processo de degelo e higienização, atualmente em vigor. Será apresentada uma análise a vários indicadores de negócio e consumos de água e energia, de forma a traçar um primeiro retrato da realidade e indicar possíveis pontos de melhoria. Por fim, é apresentado um modelo matemático para otimização dos custos energéticos envolvidos na produção do gelo, planeando a produção dos equipamentos tendo em conta a variação das tarifas energéticas ao longo de cada dia.

#### 3.1 Mapeamento do processo

No âmbito da eficiência energética de todo o processo de preservação de pescado fresco, são identificados dois pontos-chave como fontes significativas de consumo de água e energia elétrica, sendo eles a produção de gelo e o sistema de degelo. O fluxograma da Figura 4 apresenta todas as operações realizadas em cada dia de trabalho.

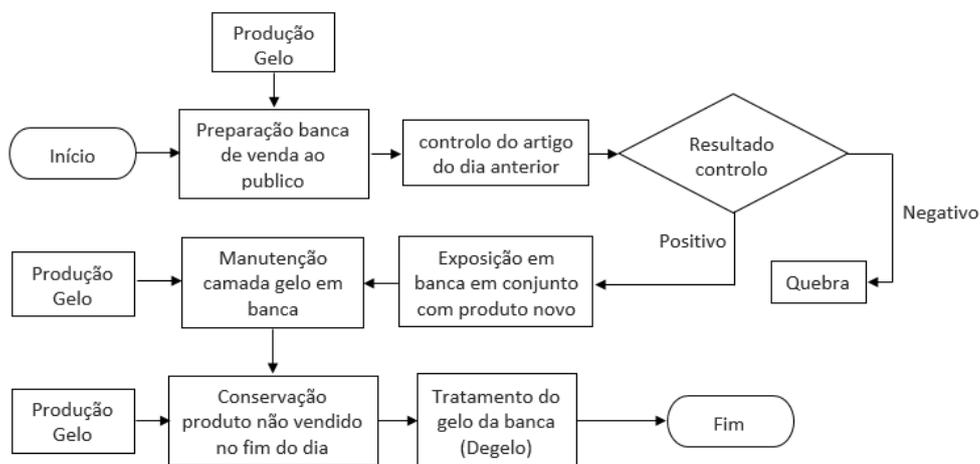


Figura 4 – Fluxograma do processo produção de gelo e degelo

A produção de gelo apresenta uma importância crítica nas atividades diárias do setor da peixaria nos supermercados. O gelo é amplamente usado na conservação de artigos piscícolas ao longo de toda a cadeia de abastecimento, sendo que nas lojas de venda ao público é o único meio utilizado para manter o peixe fresco em condições de comercialização ideais durante todo o período de exposição em banca. Qualquer problema que leve à falta de gelo no momento da abertura da loja pode provocar um impacto negativo no volume de vendas do setor, ao atrasar a hora de abertura. Dito

isto, é imperativo que todo o gelo esteja disponível à hora certa e nas quantidades necessárias, para que todas as restantes operações ocorram de forma normal.

O processo inicia com a produção de gelo, e para tal todas as lojas possuem uma unidade de produção de gelo. O gelo é produzido diretamente para contentores (Figura 5), cada um com a capacidade de 105kg, que servem como meio de armazenamento e transporte do gelo do local onde ocorre a produção até à frente de secção onde é utilizado.



Figura 5 – Contentor de armazenamento e transporte de gelo.

Existem três necessidades de gelo distintas ao longo do dia. A primeira necessidade acontece antes da abertura da loja ao público, onde a quantidade de gelo necessária é maior, sendo esta utilizada para construir a camada de gelo em cima das bancas onde o peixe será exposto e mantido a temperatura e humidade ideais para a sua preservação durante o dia. O conjunto das atividades de preparação da camada de gelo na banca e exposição do produto é designado por “1ª abertura” (Figura 6).



Figura 6 – Primeira necessidade de gelo (abertura de loja).

Durante o período da manhã, com o efeito da temperatura ambiente da loja, o gelo presente na banca derrete parcialmente diminuindo a sua capacidade para preservar o produto exposto. Ao mesmo tempo, devido a todo o manuseamento de

produto durante esse período, a camada superficial do gelo tende a ficar suja com sangue proveniente de alguns peixes e/ou escamas. Para combater a perda de gelo e dar um aspeto mais limpo e apelativo à banca, existe uma segunda necessidade de gelo para refazer as zonas onde o degelo é mais acentuado e para rearranjar o produto e manter um aspeto apelativo. Às atividades realizadas na manutenção da camada de gelo é chamado de “2ª abertura” (Figura 7).



Figura 7 – Segunda necessidade de gelo (Segunda abertura) para manutenção da camada de gelo em banca.

No final do dia, existe uma terceira necessidade de gelo que é utilizada para acondicionar e conservar, em caixas, todo o peixe que não foi vendido durante o dia, de forma a este poder ser recolocado em banca no dia seguinte, depois de passar pelo processo de inspeção de qualidade, de forma a garantir a venda de produto em bom estado de conservação. Esta atividade é designada por “fecho de loja” (Figura 8).



Figura 8 – Terceira necessidade de gelo (fecho de loja) para conservação de produto.

Após ser reacondicionado todo o produto, o gelo presente em cima da banca é destruído e as bancas desinfetadas de forma a evitar contaminações bacterianas no novo produto que será exposto no dia seguinte. Os requisitos higiénicos e sanitários são bastante rigorosos no que diz respeito à comercialização deste tipo de produtos.

De forma a destruir esse gelo, que já se encontra contaminado com resíduos provenientes do peixe fresco, existem dois processos para o efeito:

- sistema de degelo automático em banca através do aquecimento da base da banca com recurso a vapor de água gerado numa caldeira que se encontra montada junto de um dos pés da banca;
- retirada manual de todo o gelo para um contentor, com recurso a uma pá, que será levado para um outro local onde irá decorrer o degelo, com recurso a pulverizadores de água ou com recurso ao degelo natural à temperatura ambiente;

O tipo de degelo efetuado por cada loja influencia diretamente o momento em que ocorrem as atividades de limpeza. As lojas que procedem à retirada manual do gelo em banca, efetuam a limpeza das mesmas antes do final do turno. As restantes lojas que possuem o sistema automático de degelo em funcionamento, que funciona durante a noite, procedem à limpeza da banca no início do turno do dia seguinte.

A produção do gelo é efetuada no interior de camaras refrigeradas, que se encontram à temperatura de 0-2°C. Contudo, se a produção for muito antecipada, o gelo presente nos contentores tende a derreter parcialmente, fazendo com que as várias lamelas de gelo se aglomerem criando blocos de gelo cada vez maiores, o que dificulta o seu manuseamento por parte do operador no momento em que é utilizado.

### 3.1.1 Produção de gelo

A produção de gelo representa uma percentagem considerável do consumo de água no setor da peixaria. Na Figura 9 encontra-se representado a distribuição dos consumos de água do setor, para uma das lojas da companhia, onde podemos observar que cerca de 38% (aproximadamente 50m<sup>3</sup> mensais) do consumo está alocado à produção de gelo.

De forma a identificar possíveis fatores que poderão influenciar a necessidade de gelo das lojas, são comparados na Figura 10 os consumos de água das máquinas de gelo ao longo de um ano e são relacionados esses consumos com a quantidade de peixe fresco, em quilogramas, que foi exposto em banca, em cada mês. Daí é possível concluir que existe uma variação pequena no consumo de água ao longo do ano, e que essa pequena variação pode estar relacionada com fatores externos à produção de gelo para as bancas, como campanhas promocionais pontuais com necessidade de produção de gelo para esse efeito. Podemos também concluir que o volume de peixe fresco transacionado não apresenta uma relação significativa com a necessidade de gelo da loja.

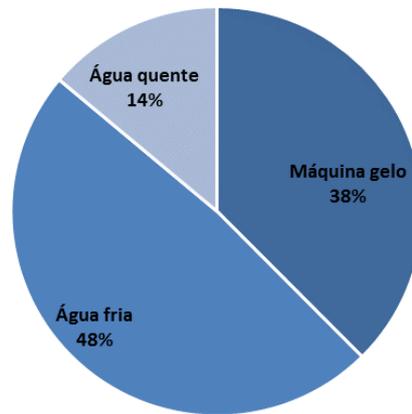


Figura 9 – Distribuição do consumo de água no setor da peixaria.

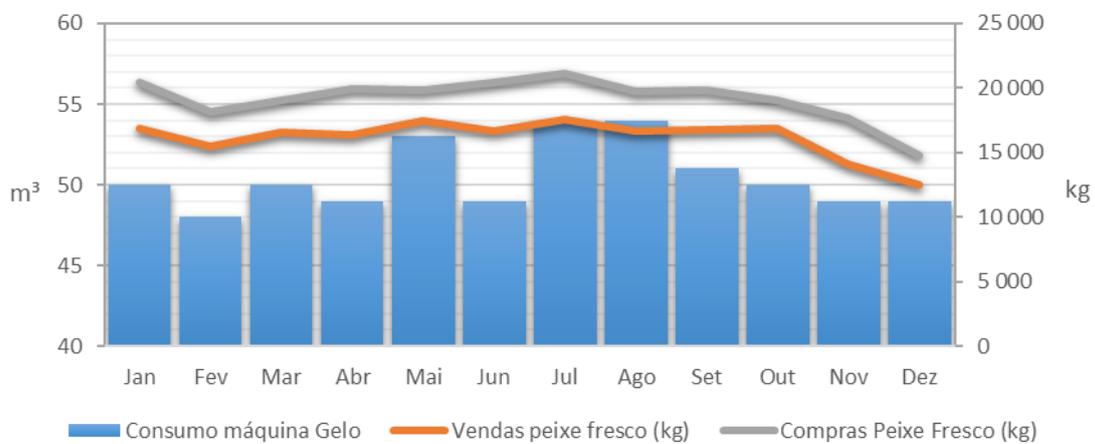


Figura 10 – Relação do consumo de água com o volume de produto transacionado.

Um aspeto que logicamente influencia diretamente o consumo de água e energia das máquinas é a quantidade de gelo utilizada ao longo do dia. Na Figura 11 encontra-se representada a distribuição da espessura da camada de gelo utilizada pelas lojas da cadeia de retalho. Podemos observar que existe uma variação grande na espessura da camada de gelo em banca nas várias lojas, e que cerca de 50% dessas lojas usa uma espessura de camada de gelo de 12cm.

Dada a dificuldade de medição da espessura de gelo ao longo de todo o comprimento de banca, a solução poderá passar pela normalização do número de contentores de gelo utilizados, pois representa uma forma mais expedita de controlo de quantidades. Na Tabela 1 é apresentado o ganho possível de ser obtido com a uniformização da espessura da camada de gelo em 12cm, para um universo de 216 lojas.

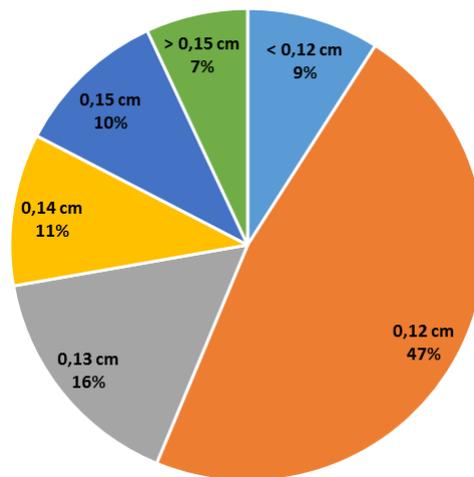


Figura 11 – Distribuição, em percentagem, da espessura da camada de gelo utilizada nas lojas do grupo.

Tabela 1 – Ganhos com a normalização da espessura da camada de gelo.

Universe de lojas	Volume de gelo (atual) [m <sup>3</sup> ]	Volume de gelo (Normalizado) [m <sup>3</sup> ]	Poupança [m <sup>3</sup> /ano]	Poupança [%]
216	168,8	155,4	4901	8,5

### 3.1.2 Processo de degelo

Como mencionado anteriormente, todo o gelo que fica presente na banca de venda ao público no final do dia encontra-se contaminado com resíduos de produto, sendo assim eliminado de forma a evitar possíveis contaminações ao novo produto no dia seguinte. O processo utilizado para o efeito passa por derreter o gelo e enviá-lo diretamente para a rede de saneamento. Atualmente existem bancas com sistema de degelo incorporado, que evitam a necessidade de retirar manualmente o gelo para contentores e também a necessidade de possuir uma zona na retaguarda, para ocorrer o processo de degelo.

O sistema automático de degelo é acionado ao final do dia, após ser retirado todo o produto em exposição. Esse mesmo sistema é constituído por uma caldeira, onde é aquecida água com recurso a uma resistência elétrica com o objetivo de gerar vapor. O vapor de água circula em contato com a parte inferior da base da banca, aquecendo-a, e derretendo dessa forma o gelo que se encontra em cima (Figura 12).

O sistema de degelo das bancas é também ele uma fonte de consumo de água e energia elétrica. O degelo é um tema sensível, havendo em algumas lojas alguns problemas relativos à sua eficácia. Também existe o problema de os resíduos que se encontram misturados com o gelo, ficarem queimados e agarrados à banca, dificultando a tarefa de limpeza e desinfeção que acontece em seguida.



Figura 12 – Banca de exposição para peixaria, com sistema de degelo automático.

Por forma a encontrar quais as possíveis causas do problema, foi realizado um breve questionário a algumas lojas da companhia, onde é possível comparar os tempos de funcionamento do sistema com os resultados obtidos. A eficiência do processo de degelo é classificada qualitativamente em três níveis: 1 – fica muito gelo por derreter, que requer bastante trabalho adicional; 2 – fica pouco gelo por derreter, que requer pouco trabalho adicional; 3 – não existe gelo por derreter, não requerendo trabalho adicional. A existência ou não de resíduos está classificada com Sim e Não, no caso de existirem ou não resíduos no final do processo, respetivamente. Na Tabela 2 estão representados os resultados ao questionário realizado.

Tabela 2 – Respostas ao questionário realizado relativamente à eficiência do processo de degelo.

Loja	Acionamento sistema	Término Sistema	Duração	Eficiência do processo	Resíduos	Área bancada [m <sup>2</sup> ]
A	22h00	01h00	03h00	2	Não	6,0
B	21h30	03h00	05h30	2	Sim	4,0
C	00h30	03h30	03h00	2	Sim	3,4
D	21h15	00h15	03h00	3	Sim	2,5
E	23h30	05h30	06h00	2	Sim	6,5

Podemos constatar com base no resultado do questionário, que a loja D é a mais eficaz no que diz respeito ao processo de degelo, tendo o sistema em funcionamento durante 3 horas para uma banca com 2,5m<sup>2</sup>. Contudo, a loja D apresenta resíduos agarrados no final do processo, o que perlonga a duração do processo de limpeza. Pelo contrário, tal não acontece com a loja A, onde não existem resíduos agarrados no final do processo, facilitando a limpeza, e a quantidade de gelo existente após as 3 horas de funcionamento, é muito pouca. Na Figura 13 podemos observar o resultado do processo de degelo após as 3 horas de funcionamento.



Figura 13 – Resultados do processo de degelo, na loja A.

No que respeita à manutenção preventiva deste tipo de sistema, e também devido ao fato de ser um sistema novo que ainda não se encontra em funcionamento em todas as lojas do grupo, não existe nenhuma ordem de trabalho de manutenção preventiva em sistema. Segundo a ficha técnica do fabricante, todo o sistema deve ser inspecionado trimestralmente para verificar a existência de calcário, na caldeira e em todo o sistema de tubagens que distribui o vapor ao longo de todo o comprimento da banca. A existência de calcário poderá ser o fator que diminui a eficiência do sistema, obstruindo o caudal de vapor à saída.

Após a uniformização da quantidade de gelo em banca, que foi abordado no subcapítulo anterior, devem ser realizados testes, com o sistema em correto funcionamento, e aferir qual o tempo de operação ideal para derreter toda a camada de gelo, sem sobreaquecer a base da banca na fase final do processo, evitando assim o problema de resíduos agarrados.

### 3.2 Minimização dos custos de energia associados à produção de gelo – Modelo matemático programação linear inteira

A variação do custo da energia elétrica ao longo do dia representa uma oportunidade de diminuição da fatura energética, pela via do planeamento do funcionamento dos equipamentos para o período do dia economicamente mais rentável. As máquinas de gelo são equipamentos chave para o correto funcionamento do setor da peixaria e são utilizadas diariamente para a produção de gelo. As necessidades de gelo de cada loja são, na grande maioria dos dias, contantes, podendo ser planeado o funcionamento das máquinas de forma a otimizar o custo energético, garantindo a quantidade de gelo necessária no momento certo.

No caso particular abordado neste estudo, existem quatro tarifas energéticas em vigor, correspondendo a períodos específicos do dia, período de ponta, período de cheias, período de vazio normal e período de super vazio, respetivamente do período

mais caro para o mais barato. O custo médio da energia em cada um dos períodos foi calculado com recurso a dados relativos ao ano de 2015. Estes valores são atualizados anualmente. O valor de cada tarifa encontra-se representado na Tabela 3. Na Tabela 4 podemos observar a distribuição das tarifas ao longo do dia, considerando o dia da semana e o período do ano.

Tabela 3 – Custo médio da energia por período diário. Valores 2015.

<b>Período</b>	<b>Preço Médio 2015 [€/kWh]</b>
Ponta	0,2001
Cheias	0,0963
Vazio Normal	0,0722
Super Vazio	0,0657

Da Figura 14 à Figura 19 encontram-se representadas as variações das tarifas energéticas ao longo do dia, tendo em consideração o dia da semana e o período do ano, Verão e Inverno.

Tabela 4 – Distribuição das tarifas energéticas ao longo do dia, considerando o dia da semana e o período do ano.

<b>Período de hora legal de Inverno</b>		<b>Período de hora legal de Verão</b>	
<b>Segunda – Sexta-feira</b>		<b>Segunda – Sexta-feira</b>	
Ponta	09:30 – 12:00 18:30 – 21:00	Ponta	09:15 – 12:15
Cheias	07:00 – 09:30 12:00 – 18:30 21:00 – 24:00	Cheias	07:00 – 09:15 12:15 – 24:00
Vazio normal	00:00 – 02:00 06:00 – 07:00	Vazio normal	00:00 – 02:00 06:00 – 07:00
Super vazio	02:00 – 06:00	Super vazio	02:00 – 06:00
<b>Sábado</b>		<b>Sábado</b>	
Cheias	09:30 – 13:00 18:30 – 22:00	Cheias	09:00 – 14:00 20:00 – 22:00
Vazio normal	00:00 – 02:00 06:00 – 09:30 13:00 – 18:30 22:00 – 24:00	Vazio normal	00:00 – 02:00 06:00 – 09:00 14:00 – 20:00 22:00 – 24:00
Super Vazio	02:00 – 06:00	Super Vazio	02:00 – 06:00
<b>Domingo</b>		<b>Domingo</b>	
Vazio normal	00:00 – 02:00 06:00 – 24:00	Vazio normal	00:00 – 02:00 06:00 – 24:00
Super Vazio	02:00 – 06:00	Super Vazio	02:00 – 06:00

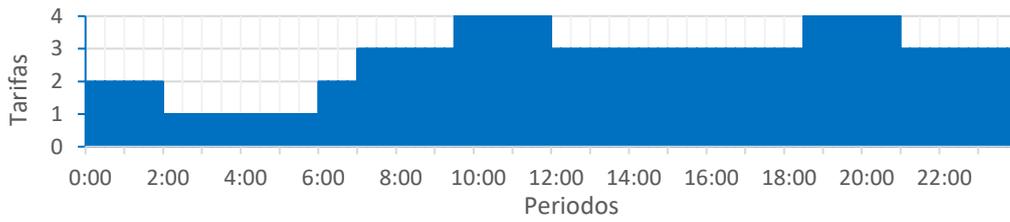


Figura 14 – Distribuição das tarifas energéticas durante a semana em período de Inverno.

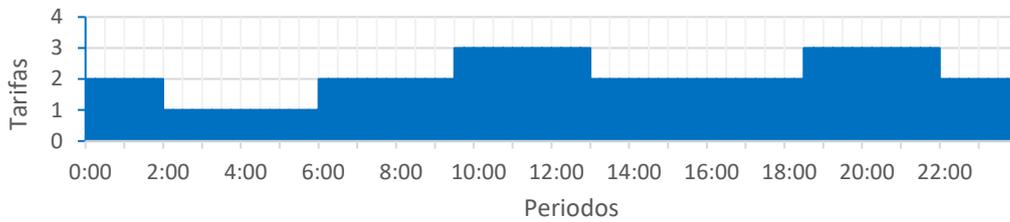


Figura 15 - Distribuição das tarifas energéticas durante o Sábado em período de Inverno.

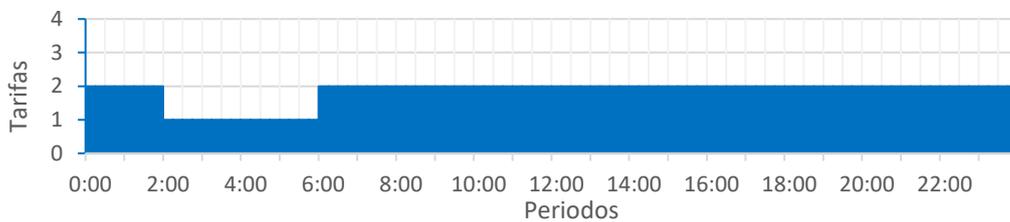


Figura 16 - Distribuição das tarifas energéticas durante o Domingo em período de Inverno.

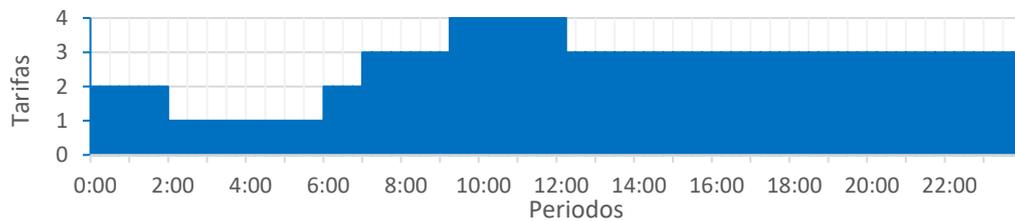


Figura 17 - Distribuição das tarifas energéticas durante a semana em período de Verão.

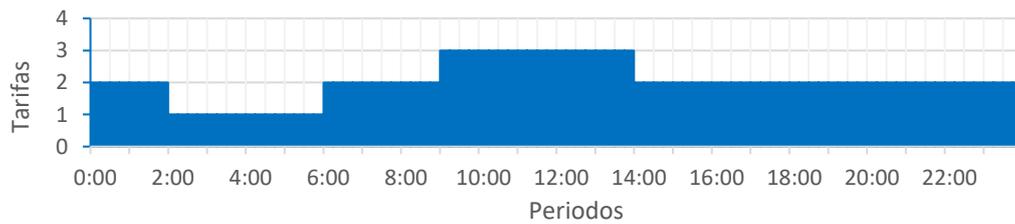


Figura 18 - Distribuição das tarifas energéticas durante o Sábado em período de Verão.

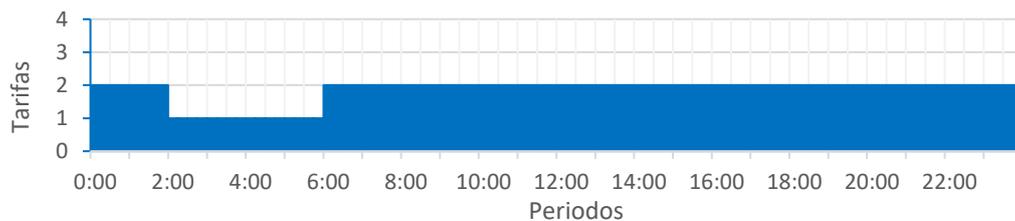


Figura 19 - Distribuição das tarifas energéticas durante o Domingo em período de Verão.

Para planejar a produção das máquinas de gelo, assegurando todas as necessidades de cada loja relativamente a quantidades e tempos de entrega, é apresentado um modelo de programação linear inteira, que determina o período de início e de fim de produção de cada contentor de gelo, com base em todas as restrições existentes no processo em cada loja.

O modelo matemático para o planeamento da produção de gelo será formulado como um modelo de programação linear com o objetivo de alocar a produção de gelo a períodos que minimizem os custos de energia, produzindo apenas as quantidades necessárias de forma a reduzir em simultâneo o consumo de água.

Seja  $J$  o conjunto das necessidades  $j$  de cada loja, de quantidade  $q_j$ , com instante de conclusão  $d_j$  e instante de disponibilidade  $r_j = d_j - m$ , sendo  $m$  a duração máxima do gelo em condições ideais de manuseamento.  $T$  representa o horizonte temporal de planeamento, que se encontra dividido em intervalos uniformes  $t$ , de duração constante  $T_s$ .

Seja  $I$  o conjunto de contentores  $i$  com capacidade máxima  $v_i$ , que são abastecidos por uma unidade de produção de gelo com capacidade  $P$ .

Seja  $E$  o conjunto de tarifas energéticas  $k$ , com custo  $c_k$  aplicável no intervalo de tempo de  $ts_k$  a  $tf_k$ .  $W$  representa a duração de cada período da tarifa energética  $k$ ,  $w_k = tf_k - ts_k$ .

A dimensão dos intervalos de tempo,  $T_s$ , é selecionada tendo em consideração a dimensão dos períodos das tarifas energéticas, a capacidade de cada contentor, a durabilidade do gelo armazenado, a necessidade de gelo de cada loja e a capacidade produtiva da unidade de produção. A dimensão dos intervalos de tempo afeta diretamente a dimensão do modelo.

O intervalo de tempo é determinado por:

$$T_s = mdc\left(W, \frac{v}{P}, m, \frac{q}{P}, d\right) \quad (1)$$

Seja  $c_t$  o custo energético por período de tempo e  $a$  uma penalidade por produzir  $j$  no período de tempo  $t$ .

A capacidade máxima  $v$  de cada contentor é dada em intervalos de tempo, que são calculados por:

$$max = \frac{v/P}{T_s} \quad (2)$$

Variáveis de decisão:

$$x_{itj} = \begin{cases} 1, & \text{Se a produção de } i \text{ para a necessidade } j \text{ acontece no período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$s_{it} = \begin{cases} 1, & \text{Se a produção de } i \text{ começa no período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$f_{it} = \begin{cases} 1, & \text{Se a produção de } i \text{ termina no período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

O modelo de programação linear utilizado é o seguinte:

Minimizar:

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in [r_j, d_j]} \sum_{i \in I} x_{itj} [c_t + (d_j - t) \cdot a] \quad (3)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in [r_j, d_j]} x_{itj} \geq \frac{q_j}{P \cdot T_s}, \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{itj} \leq 1, \forall t \in T \quad (5)$$

$$s_{it} \leq \sum_{t'=t}^{t+max-1} f_{it'}, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (6)$$

$$f_{it} \leq \sum_{t'=t-max+1}^t s_{it'}, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{t \in T} s_{it} = \sum_{t \in T} f_{it}, \forall i \in I \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} x_{itj} = \sum_{t'=1}^t s_{it'} - \sum_{t'=1}^{t-1} f_{it'}, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (9)$$

$$\sum_{t'=1}^t s_{it'} \geq \sum_{t'=1}^t f_{it'}, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (10)$$

$$\sum_{t \in [r_j, d_j]} s_{it} \leq 1, \forall i \in I, \forall j \in J \quad (11)$$

$$x_{itj}, s_{it}, f_{it} \in \{0, 1\}, \forall i \in I, \forall t \in T, \forall j \in J \quad (12)$$

Na formulação apresentada, a função objetivo (3) minimiza o custo total de energia e garante que a produção de gelo é planeada o mais próximo possível do momento da necessidade. As restrições de quantidade (4) asseguram que não existem roturas nas necessidades de gelo, e as restrições (5) obrigam a que apenas um contentor seja utilizado de cada vez, durante a produção. As restrições (6) e (7) limitam o número mínimo e máximo de períodos para o enchimento de cada contentor, garantindo que a capacidade máxima não é excedida (6) e que existe uma quantidade mínima de um período de tempo a ser produzida por contentor (7). As condições (8) obrigam a que todos os contentores que iniciam a produção tenham um período de término. As restrições (9) e (10) asseguram que o número de períodos utilizados para o enchimento de cada contentor é igual ao número de períodos compreendidos entre o início e fim da produção desse mesmo contentor. As condições (11) obrigam a que cada contentor tenha que estar vazio para poder ser utilizado para a produção. As restrições binarias são asseguradas pela condição (12).

### 3.2.1 Ferramenta Excel

A ferramenta Excel é uma ferramenta de cálculo amplamente utilizada na resolução de vários problemas de otimização. É uma ferramenta bastante utilizada no mundo empresarial, devido à sua flexibilidade e simplificação na utilização, quer em aplicações mais simples de tratamento de dados, quer em aplicações mais complexas de análise e resolução de problemas.

Na Figura 20 está ilustrada a ferramenta que foi desenvolvida, onde de forma simples é possível selecionar o período do ano, o dia da semana e a loja onde pretendemos planejar a produção de gelo. Na tabela, a verde, é indicado qual dos modelos utilizar para o conjunto de parâmetros selecionados (período ano, dia, loja). O gráfico a azul representa a variação da tarifa energética para o período selecionado, e o gráfico abaixo representa o planeamento calculado pelo modelo.

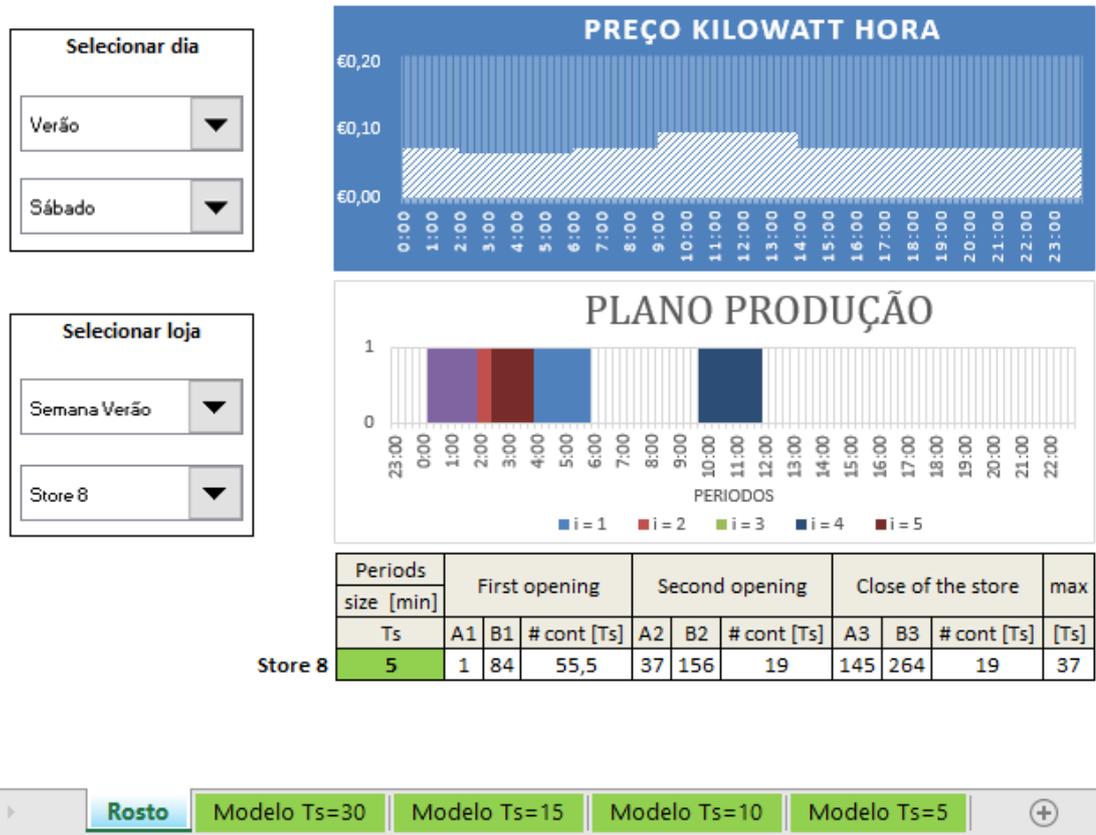


Figura 20 – Ferramenta Excel

### 3.2.2 Implementação do modelo e resultados obtidos

O modelo foi implementado em Excel, sendo os resultados obtidos com recurso ao OpenSolver. A escolha do Excel advém do facto de ser uma ferramenta de fácil utilização, e bem conhecida pelas equipas da Companhia, e permite a obtenção de resultados ótimos em poucos minutos.

O procedimento para a aplicação do modelo é o seguinte:

- Selecionar o dia da semana e o período do ano em questão e definir as respetivas tarifas aplicadas a esse mesmo dia;
- Definir as quantidades necessárias  $q_1$ ,  $q_2$  e  $q_3$ , assim como a capacidade dos contentores de armazenamento, de acordo com a loja em estudo;
- Definir a durabilidade do gelo armazenado;
- Correr o modelo usando a extensão OpenSolver do Excel;

Foram estudados dois problemas distintos. No primeiro problema são usados dados relativos a um conjunto de lojas da cadeia de retalho em questão. No segundo

problema são utilizados dados gerados de forma aleatória para se avaliar a flexibilidade do modelo em cenários com um maior número de tarifas em vigor.

Resultados obtidos para o primeiro problema:

Na Tabela 9 encontram-se as informações relativas a 9 lojas que foram escolhidas para implementação do modelo e análise de resultados. Todos os contentores utilizados nas lojas têm a mesma capacidade de 0,105m<sup>3</sup> (105kg).

Tabela 5 – Dados sobre as quantidades de gelo necessário e horas de entrega e das características da unidade de produção.

	Primeira abertura		Segunda abertura		Fecho loja		Capacidade produtiva $P$ [m <sup>3</sup> /h]	Consumo energético [kW]
	$d_1$	$q_1$	$d_2$	$q_2$	$d_3$	$q_3$		
Loja 1	6:00	6,0	14:00	2,0	21:00	1,0	0,1260	16,67
Loja 2	6:00	8,0	13:00	1,0	23:00	1,0	0,2100	27,56
Loja 3	6:00	7,0	12:00	2,0	22:00	1,0	0,1400	16,54
Loja 4	6:00	6,0	15:00	3,0	23:00	2,0	0,2100	27,50
Loja 5	6:00	5,0	12:00	2,0	21:00	0,5	0,2100	27,50
Loja 6	6:00	4,0	12:00	1,0	22:00	0,5	0,1145	13,75
Loja 7	6:00	2,5	12:00	1,0	21:00	0,5	0,0467	4,36
Loja 8	6:00	1,5	12:00	0,5	21:00	0,5	0,0341	4,28
Loja 9	6:00	2,0	12:00	0,5	21:00	0,5	0,0341	4,28

A dimensão dos intervalos de tempo,  $T_s$ , varia segundo a fórmula (1), sendo a durabilidade do gelo,  $m$ , constante igual a 10 horas.

Tabela 6 – Calculo da dimensão do modelo.

	$W$ [min]	$W$ [min]	$v/P$ [min]	$m$ [min]	$T_s$ [min]	$T_s$ [min]
	Verão - Semana	Restantes dias			$W=15$	$W=30$
Loja 1	15	30	50	600	5	10
Loja 2	15	30	30	600	15	30
Loja 3	15	30	45	600	15	15
Loja 4	15	30	30	600	15	30
Loja 5	15	30	30	600	15	30
Loja 6	15	30	55	600	5	5
Loja 7	15	30	135	600	15	15
Loja 8	15	30	185	600	5	5
Loja 9	15	30	185	600	5	5

A fórmula (11) converte o número de contentores utilizados no respetivo número de períodos necessários para o seu enchimento.

$$Q_j = \frac{60 \cdot q_j \cdot v_i}{P \cdot T_s} \quad (11)$$

Para o caso da primeira abertura da loja 1 em que são necessários 6 contentores, temos:

$$Q_1 = \frac{60 \times 6 \times 0,105}{0,1260 \cdot 5} = 60$$

$$Q_2 = \frac{60 \times 2 \times 0,105}{0,1260 \cdot 5} = 20$$

$$Q_3 = \frac{60 \times 1 \times 0,105}{0,1260 \cdot 5} = 10$$

O resultado para as restantes lojas encontra-se representado na Tabela 7 e Tabela 8, para  $W=15$  e  $W=30$ , respetivamente.

Tabela 7 – Dados para implementação no modelo (Período de Verão – Semana) – unidades em nº de períodos.

	Primeira abertura			Segunda abertura			Fecho loja			max (2)
	$r_1$	$d_1$	$Q_1$	$r_2$	$d_2$	$Q_2$	$r_3$	$d_3$	$Q_3$	[min]
Loja 1	1	84	60	61	180	20	145	264	10	10
Loja 2	1	28	16	17	56	2	57	96	2	2
Loja 3	1	28	21	13	52	6	53	92	3	3
Loja 4	1	28	12	25	64	6	57	96	4	2
Loja 5	1	28	10	13	52	4	49	88	1	2
Loja 6	1	84	44	37	156	11	157	276	6	11
Loja 7	1	28	23	13	52	9	49	88	5	9
Loja 8	1	84	56	37	156	19	145	264	19	37
Loja 9	1	84	74	37	156	19	145	264	19	37

Tabela 8 - Dados para implementação no modelo (Exceto período de Verão – Semana) – unidades em nº de períodos.

	Primeira abertura			Segunda abertura			Fecho loja			max (2)
	$r_1$	$d_1$	$Q_1$	$r_2$	$d_2$	$Q_2$	$r_3$	$d_3$	$Q_3$	
Loja 1	1	42	30	31	90	10	73	132	5	5
Loja 2	1	14	8	9	28	1	29	48	1	1
Loja 3	1	28	21	13	52	6	53	92	3	3
Loja 4	1	14	6	13	32	3	29	48	2	1
Loja 5	1	14	5	7	26	2	25	44	1	1
Loja 6	1	84	44	37	156	11	157	276	6	11
Loja 7	1	28	23	13	52	9	49	88	5	9
Loja 8	1	84	56	37	156	19	145	264	19	37
Loja 9	1	84	74	37	156	19	145	264	19	37

Os resultados obtidos após correr o modelo, assim como a comparação co a situação atual e respetivos ganhos, estão representados na Tabela 9 e Tabela 10, para o período de Verão e Inverno, respetivamente.

Tabela 9 – Resultados da implementação do modelo para o período de Verão – Semana.

	Semana		Sábado		Domingo		Total Semana		Poupança [%]
	Custo antes [€]	Custo depois [€]							
Loja 1	15,0696	8,9282	10,4355	4,2967	9,6330	4,2967	95,4	53,2	44
Loja 2	14,5974	9,5647	10,9491	4,6163	10,9491	4,6163	94,9	57,1	40
Loja 3	12,8447	8,8253	10,2998	8,5264	9,5036	8,5264	84,0	61,2	27
Loja 4	20,0695	10,8680	14,8973	5,1026	12,9117	5,1026	128,2	64,5	50
Loja 5	11,0753	6,9857	10,4134	3,6582	9,7515	3,6582	75,5	42,2	44
Loja 6	8,3018	4,8547	6,6211	4,7188	5,9592	4,7188	54,1	33,7	38
Loja 7	4,1349	3,0349	3,0443	2,7985	2,8344	2,7985	26,6	20,8	22
Loja 8	3,9990	2,4727	2,9041	2,3093	2,6981	2,3093	25,6	17,0	34
Loja 9	4,2813	3,0135	2,9885	2,7729	2,7824	2,7729	27,2	20,6	24

Com base nos resultados obtidos através do modelo, podemos verificar uma poupança média de 36% nos custos energéticos no período de Verão, e de 35% no Inverno. O resultado do planeamento obtido para a loja 1, em período de Verão, encontra-se representado na Figura 21, Figura 22 e Figura 23. Figura 21 – Resultado do modelo – Planeamento loja 1 Período de Verão – semana..

Tabela 10 - Resultados da implementação do modelo para o período de Inverno e Verão (Sábado e Domingo).

	Semana		Sábado		Domingo		Total Semana		Poupança [%]
	Custo antes [€]	Custo depois [€]							
Loja 1	14,6368	8,9282	10,6344	8,5934	9,6330	8,5934	93,5	61,8	34
Loja 2	17,4592	9,5647	11,6092	9,2326	10,9491	9,2326	109,9	66,3	40
Loja 3	12,4153	8,8253	10,2992	8,5264	9,5036	8,5264	81,9	61,2	25
Loja 4	18,6417	10,8680	14,2318	10,2053	12,9117	10,2053	120,4	74,8	38
Loja 5	11,0753	7,6478	9,7497	7,3164	9,7515	7,3164	74,9	52,9	29
Loja 6	9,3727	4,8547	6,6197	4,7188	5,9592	4,7188	59,4	33,7	43
Loja 7	4,9272	3,0349	3,3588	2,7985	2,8344	2,7985	30,8	20,8	33
Loja 8	4,4434	2,4727	3,1101	2,3093	2,6981	2,3093	28,0	17,0	39
Loja 9	5,0590	3,0135	3,2972	2,7729	2,7824	2,7729	31,4	20,6	34

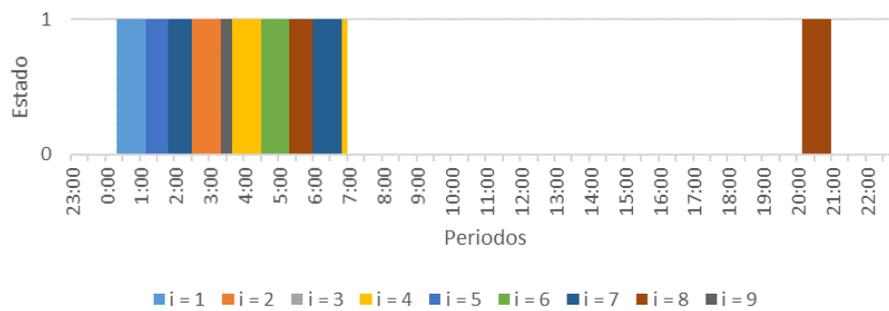


Figura 21 – Resultado do modelo – Planeamento loja 1 Período de Verão – semana.

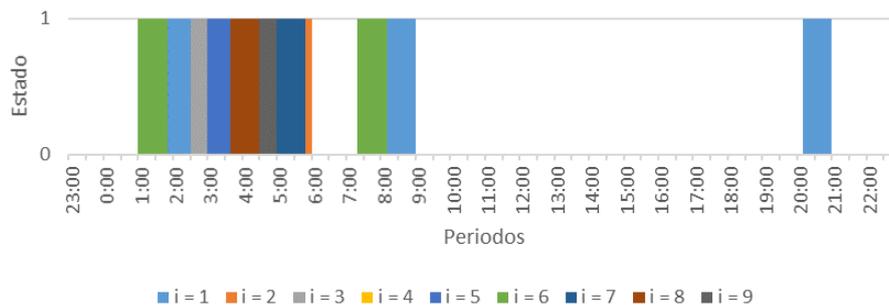


Figura 22 - Resultado do modelo – Planeamento loja 1 Período de Verão – Sábado.

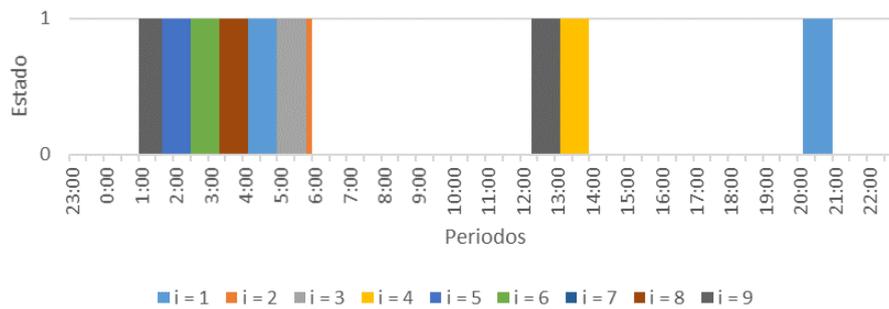


Figura 23 – Resultado do modelo – Planeamento loja 1 Período de Verão – Domingo.

### 3.2.3 Teste de robustez ao modelo

De forma a testar a robustez do modelo a possíveis alterações que possam ocorrer no futuro, relativamente à variação das tarifas energéticas ao longo do dia e ao número de tarifas em funcionamento, foi criada uma instância de teste em que o número de tarifas em funcionamento, o valor da cada tarifa e as necessidades de produção foram gerados de forma aleatória. O modelo é calculado com e sem restrições de binário, de forma a verificar a proximidade dos resultados obtidos.

Tabela 11 – Número de tarifas e respetivo custo – valores gerados aleatoriamente.

Tarifas	Custo [€/kWh]
1	0,0973
2	0,1571
3	0,1834
4	0,2859
5	0,3506
6	0,5546
7	0,7687
8	0,8878

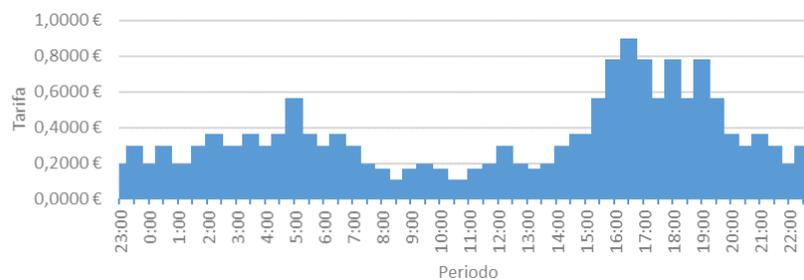


Figura 24 – Distribuição gráfica das tarifas energéticas – instância aleatória.

Tabela 12 - Dados sobre as quantidades de gelo necessário e horas de entrega e características da unidade de produção gerados aleatoriamente.

Primeira abertura		Segunda abertura		Fecho loja		Capacidade produtiva
$d_1$	$q_1$	$d_2$	$q_2$	$d_3$	$q_3$	$P[m^3/h]$
6:10	7,0	11:00	2,0	22:25	2,0	0,1250

Tabela 13 - Calculo da dimensão do modelo da loja teste.

$W$	$v/P$	$m$	$T_s$
[min]	[min]	[min]	[min]
15	50,39	600	5

Tabela 14 - Resultados da implementação do modelo da loja teste.

Primeira abertura			Segunda abertura			Fecho loja			max (2)
$r_1$	$d_1$	$Q_1$	$r_2$	$d_2$	$Q_2$	$r_3$	$d_3$	$Q_3$	[min]
1	87	70	25	145	20	162	282	20	10

O resultado obtido pelo modelo, incluindo as restrições de binário, encontra-se ilustrado na Figura 25. O custo energético é minimizado em 2,0637 €/kW em ambos os casos de uso de restrições binárias, o que mostra a robustez do modelo e a adaptabilidade a diferentes realidades.

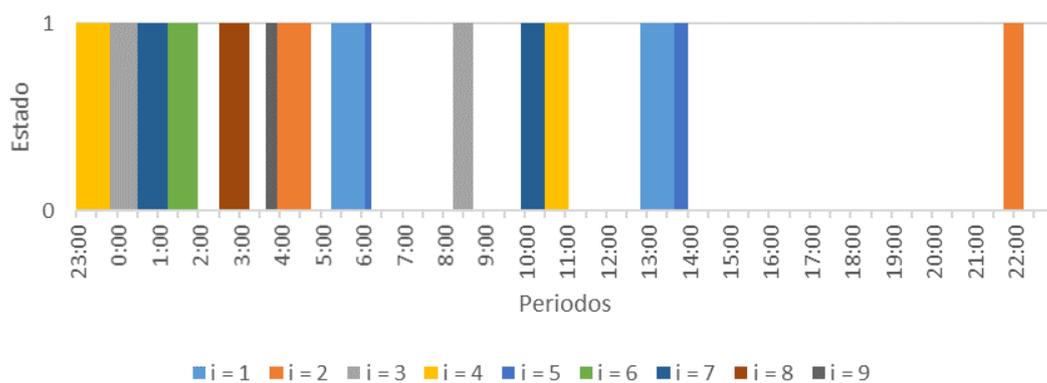


Figura 25 - Resultado do modelo – Planeamento loja teste.



# CONCLUSÕES



---

## 4 CONCLUSÕES

O estudo efetuado permitiu identificar oportunidades de melhoria em ambos os processos, de produção de gelo e degelo.

Através da análise da quantidade de gelo utilizada em banca pelas várias lojas, foi possível identificar os casos de produção de gelo em excesso para a primeira abertura, afetando diretamente os consumos de água e energia do setor. A estratégia adotada passou pela uniformização da espessura da camada de gelo em cerca de 12 centímetros, medida essa utilizada pela maioria das lojas, e que leva a uma poupança de 8% no consumo de água. De forma a facilitar o controlo da quantidade de gelo usada, a forma mais expedita passa por controlar a quantidade de gelo indiretamente, através do número de contentores utilizados em cada fase do dia.

O processo de degelo automático é descrito em vários casos como um ponto problemático em toda a operação no setor da peixaria, apresentando resíduos agarrados à banca em resultados do seu funcionamento ou, em alguns casos, sendo insuficiente para derreter a totalidade do gelo. Através dos resultados do questionário realizado e das recomendações do fabricante relativamente à manutenção do sistema, é possível verificar que o tempo de funcionamento do sistema não é normalizado, apresentando resíduos agarrados nos casos onde o tempo de funcionamento do sistema é maior. O fato de no sistema de gestão de manutenção não estar contemplado as intervenções de prevenção do fabricante é um fator que pode, com o tempo, diminuir a eficiência do sistema.

Relativamente á otimização dos custos energéticos associados à produção de gelo, após a aplicação do modelo apresentado neste estudo a nove lojas da Companhia, utilizando os respetivos dados fornecidos pelas lojas em questão, é possível verificar uma redução de cerca de 35% no custo energético associado ao funcionamento das máquinas de gelo. Está redução é alcançada através da alocação da produção a períodos onde a tarifa energética em vigor é mais baixa. Os resultados obtidos através da utilização do modelo são de fácil implementação, uma vez que as únicas alterações são do carater de planeamento, não afetando as restantes operações.

O modelo desenvolvido foi testado num cenário onde o número de tarifas em vigor é maior, mostrando que possui uma flexibilidade que permite a sua aplicabilidade num futuro onde a realidade se altere.

De forma a dar continuidade ao trabalho realizado, os próximos passos passam por uniformizar a quantidade de gelo produzido, junto das lojas, e ajustar o tempo de funcionamento do sistema em função da dimensão da banca e do resultado final, integrando as medidas de prevenção mencionadas pelo fabricante no plano de

manutenção preventiva das lojas. Relativamente à aplicação do modelo, a próxima fase passa por testar os resultados num conjunto de lojas mais alargado, e numa fase posterior, aplicar o modelo a todas as lojas da companhia.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS  
FONTES DE INFORMAÇÃO**



---

## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- Elkington, J. (1998). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. *Observatoire du Management Alternatif*.
- Escola Superior Agrária Coimbra. (2004). *Código de práticas para peixe e produtos de pesca*. Coimbra.
- Exxon Mobil. (2015). *The Outlook for Energy: A View to 2040*. TX, USA: ExxonMobil.
- Frazier, W. C., & Westhoff, D. C. (1988). *Food Microbiology*. 4 ed. New York: Graw Hill.
- Gahm, C., Denz, F., Dirr, M., & Tuma, A. (2015). Energy-efficient scheduling in manufacturing companies: A review and research framework. *European Journal of Operational Research*.
- Giampietro, A., & Rezende-Lago, N. (2009). Qualidade do gelo utilizado na conservação de pescado fresco. *Arquivos do Instituto de Biologia*.
- Haït, A., & Artigues, C. (2010). On electrical load tracking scheduling for a steel plant. *Computers & Chemical Engineering*, 3044-3047.
- Hoffman, A., Disney, J., Pinegar, A., & Cameron, J. (1974). The preservation of some East African Freshwater fish. *The African Journal of tropical Hydrobiology and Fisheries*.
- Inovenergy. (2012). *Estado da Arte do sector do Frio por fileira*. Covilhã: Departamento de Engenharia Eletromecânica - Universidade Beira Interior.
- Lima, A. F., Silva, A. P., Rodrigues, A. P., Bergamin, G. T., Lima, L. K., Filho, M. X., & Maciel, P. O. (2013). *Boas práticas para conservação do peixe*. Embrapa.
- Méndez, C. A., Cerdá, J., Grossmann, I. E., Harjunkoski, I., & Fahl, M. (2005). State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes. *Computers & Chemical Engineering*, 913-946.
- Michaloski, J., Shao, G., Arinez, J., Lyons, K., Leong, S., & Riddick, F. (2011). Analysis of sustainable manufacturing using simulation for integration of production and building service. *Proceedings of the 2011 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design* (pp. 93-101). Society for Computer Simulation International.
- P.M.L., G., & Germano, M. (2001). *Higiene e Vigilância Sanitária de Alimentos*. São Paulo: Livraria Varela.
- Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy policy*, 377-390.
- Pereira, A. C. (2009). *A qualidade do gelo utilizado na conservação dos pescados e sua importância para a qualidade do pescado: Estudo de revisão*. São Paulo.

- 
- Sastry, H., & Srikar, L. (1986). Shelf life of cuttle fish (*Sepia aculeata*) stored in ice. *Indian Journal of Animal Science*.
- Scherer, R., Daniel, A. P., Augusti, P. R., Lazzari, R., Lima, R. L., Fries, L. L., . . . Emanuelli, T. (Oct./Dec. de 2004). Efeito do gelo sobre parâmetros químicos e microbiológicos da carne de carpa capim. *Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, pp. 680-684.
- Shrouf, F., Ordieres-Meré, J., García-Sánchez, A., & Ortega-Mier, M. (2013). Optimizing the production scheduling for a single machine to minimize total energy consumption cost. *Journal of Cleaner Production*, 197-207.
- Stansby, M. E. (1968). *Industrial fishery technology*. London: New York : Reinhold.
- Vieira, R. (2004). *Microbiologia, Higiene e Qualidade do Pescado: teoria e prática*. São Paulo: Livraria Varela.
- Wang, Y., & Li, L. (2013). Time-of-use based electricity demand response for sustainable manufacturing systems. *Energy*, 233-244.
- Yusta, J. M., Torres, F., & Khodr, H. M. (2010). Optimal methodology for machining process scheduling in spot electricity markets. *Energy Conversion and Management*, 2647-2654.

# ANEXOS

## 6.1 RESULTADO GRÁFICO – IMPLEMENTAÇÃO MODELO DE OTIMIZAÇÃO



## 6 ANEXOS

### 6.1 Resultado gráfico – implementação modelo de otimização

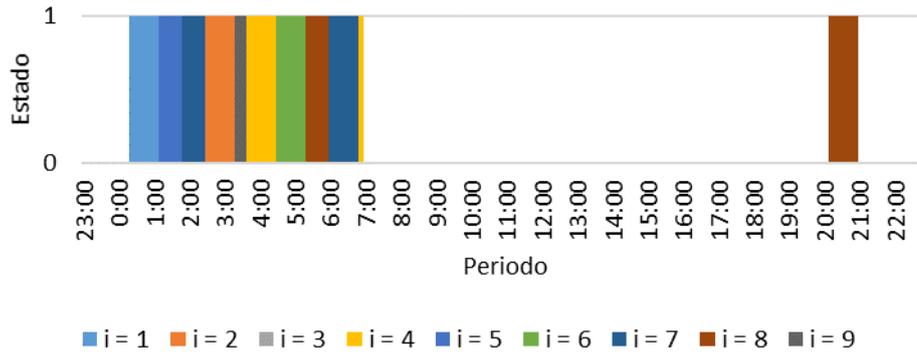


Figura 26 – Plano loja 1 Período Verão - Semana

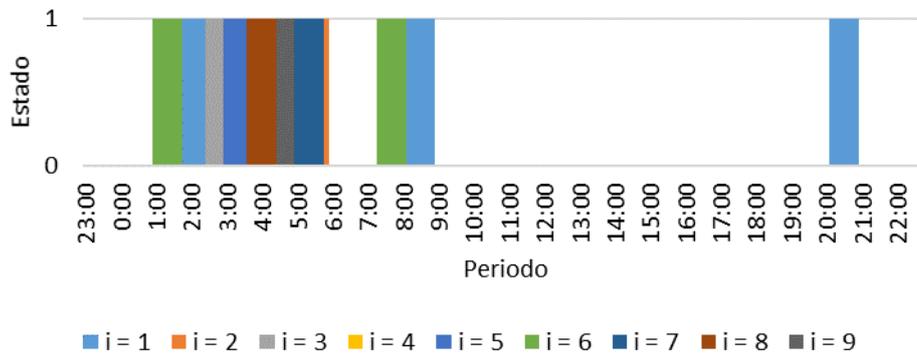


Figura 27 - Plano loja 1 Período Verão - Sábado

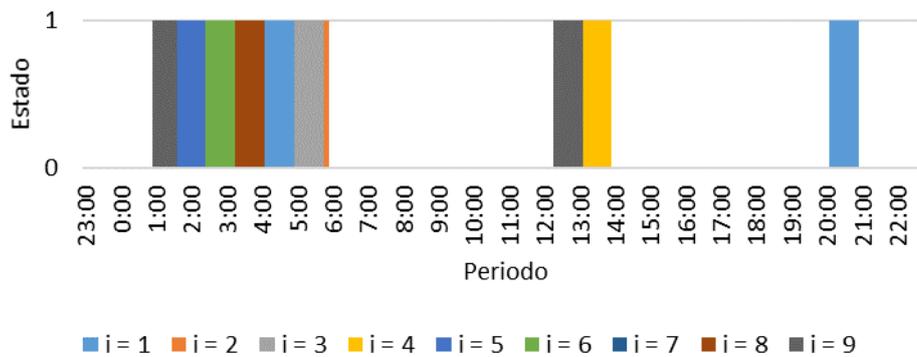


Figura 28 - Plano loja 1 Período Verão - Domingo

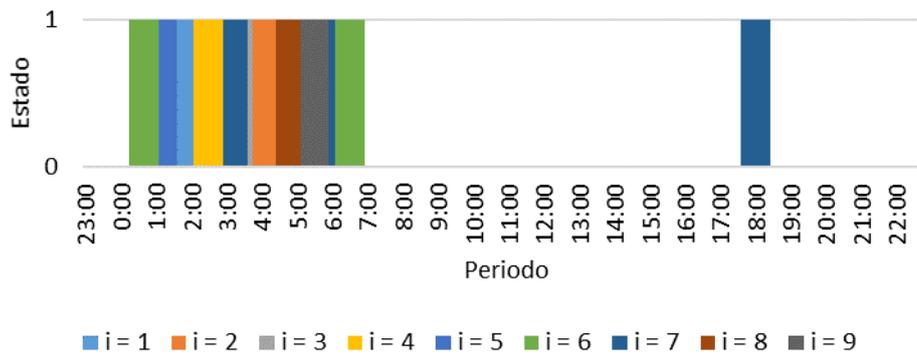


Figura 29 - Plano loja 1 Período Inverno - Semana

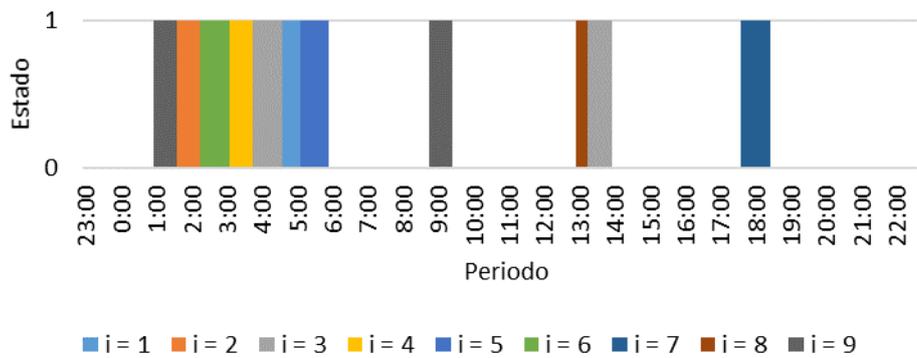


Figura 30 - Plano loja 1 Período Inverno - Sábado

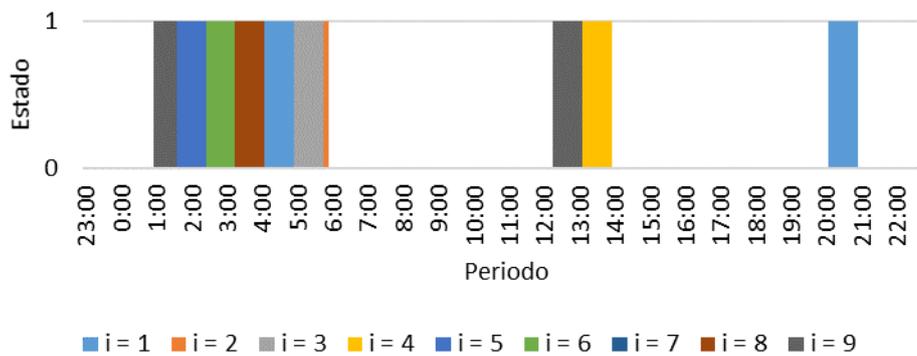


Figura 31 - Plano loja 1 Período Inverno - Domingo

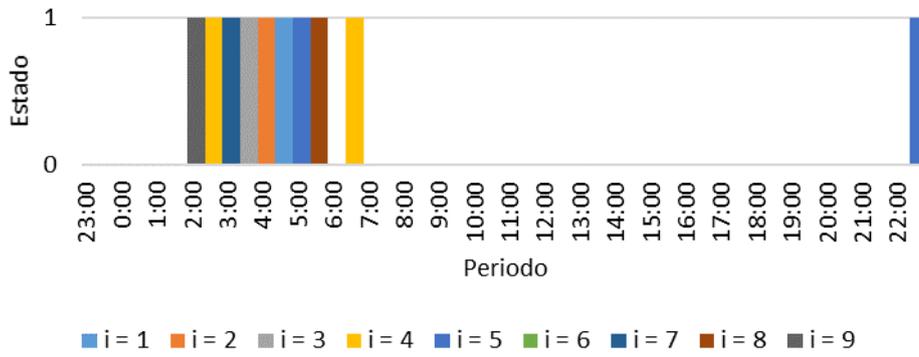


Figura 32 - Plano loja 2 Período Verão - Semana

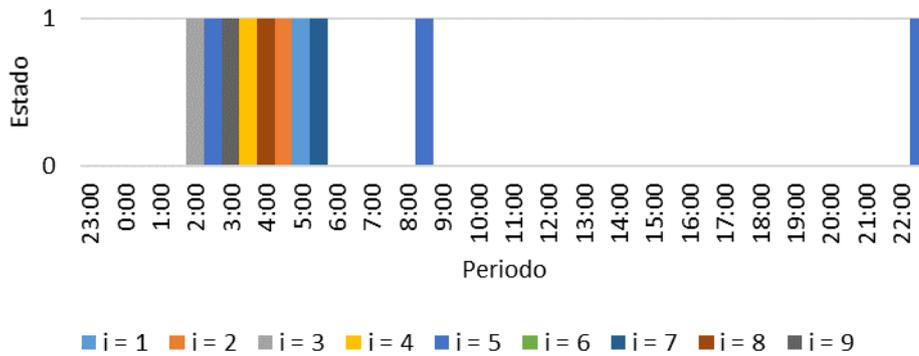


Figura 33 - Plano loja 2 Período Verão - Sábado

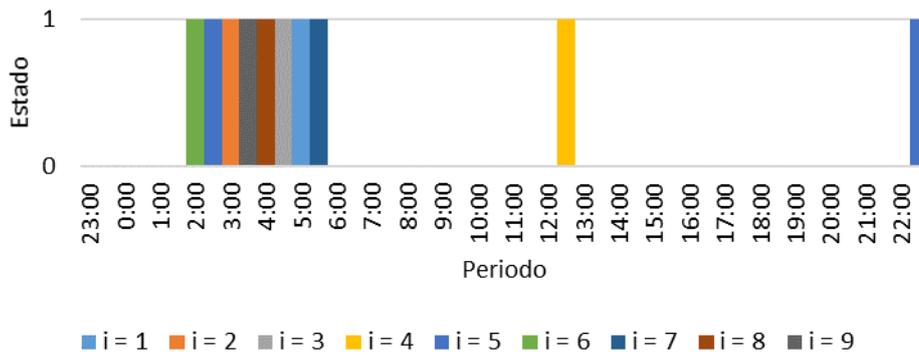


Figura 34 - Plano loja 2 Período Verão - Domingo

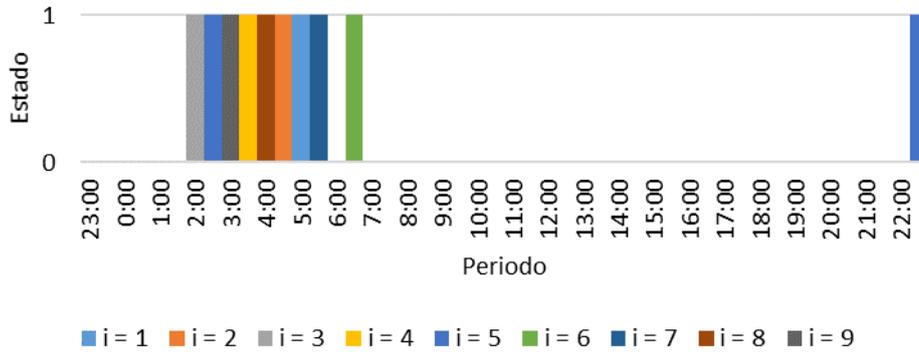


Figura 35 - Plano loja 2 Período Inverno - Semana

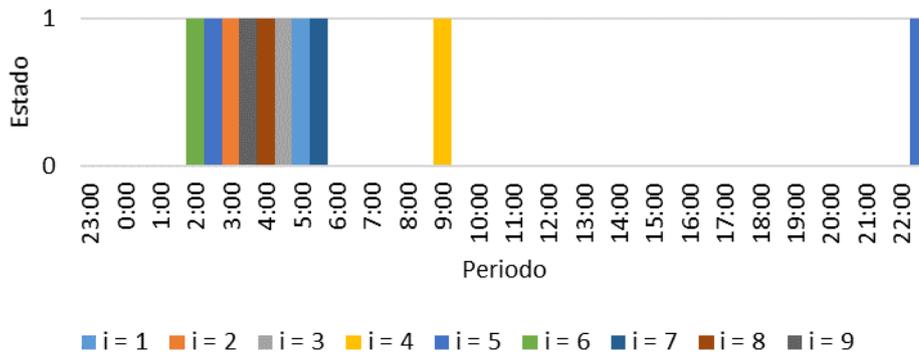


Figura 36 - Plano loja 2 Período Inverno - Sábado

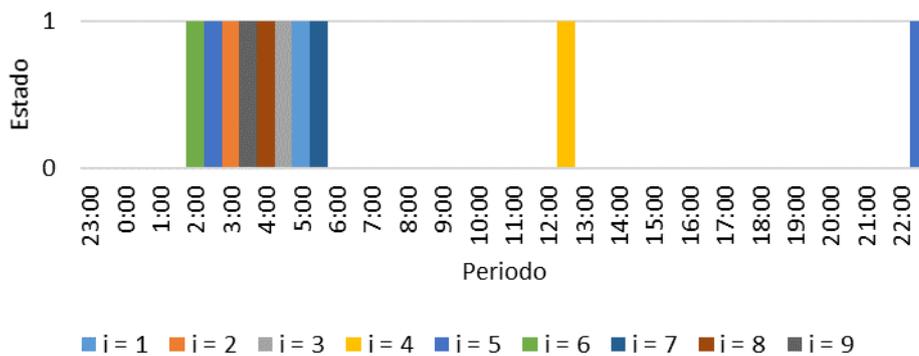


Figura 37 - Plano loja 2 Período Inverno - Domingo

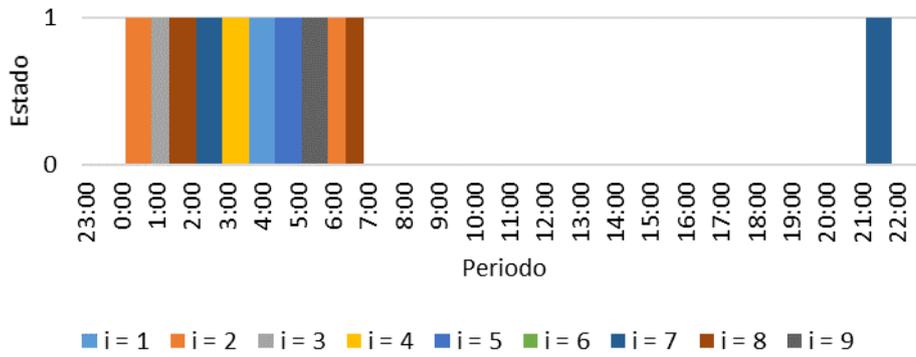


Figura 38 - Plano loja 3 Período Verão - Semana

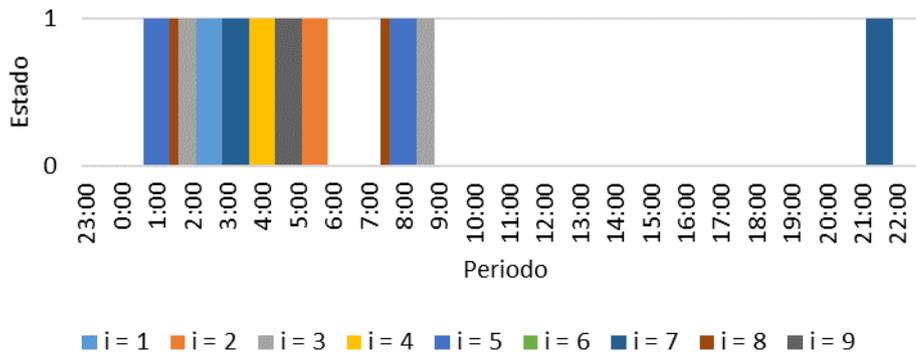


Figura 39 - Plano loja 3 Período Verão - Sábado

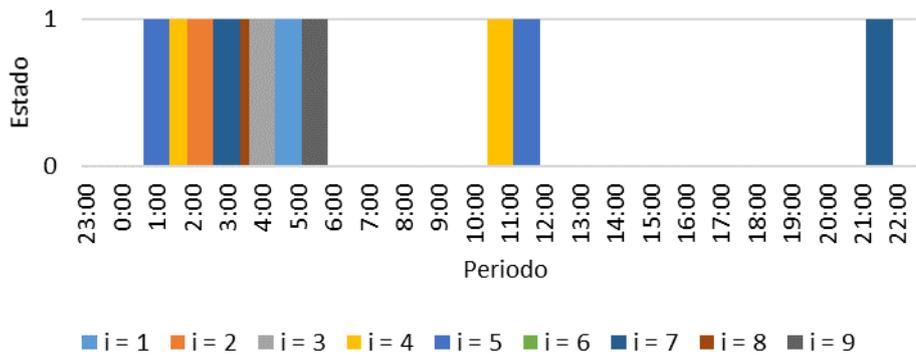


Figura 40 - Plano loja 3 Período Verão - Domingo

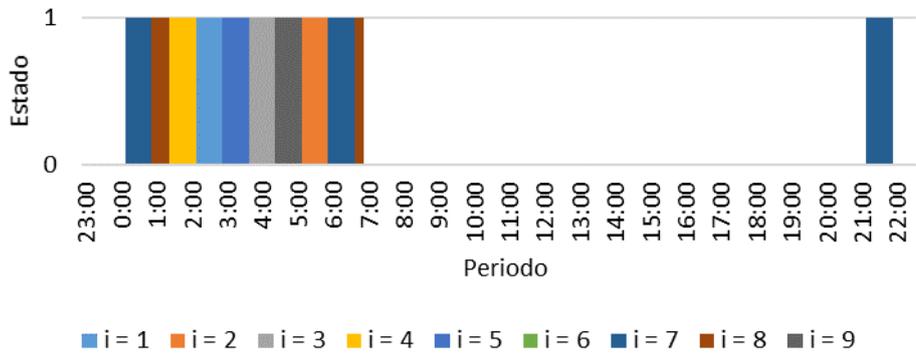


Figura 41 - Plano loja 3 Período Inverno - Semana

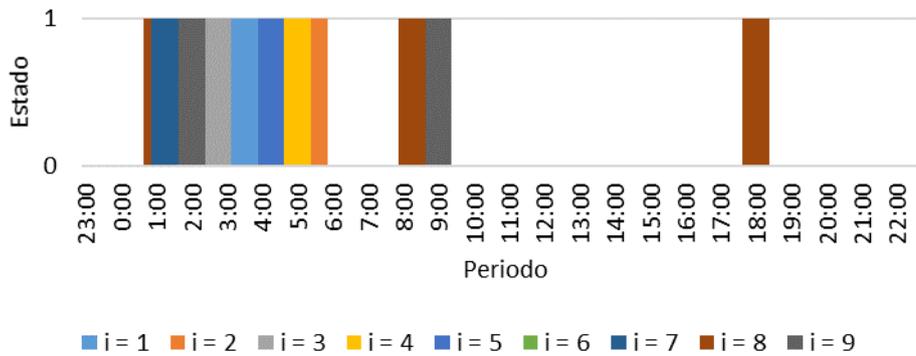


Figura 42 - Plano loja 3 Período Inverno - Sábado

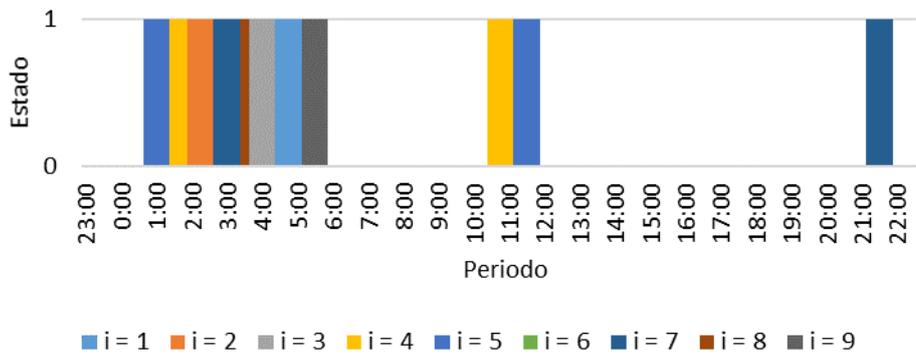


Figura 43 - Plano loja 3 Período Inverno - Domingo

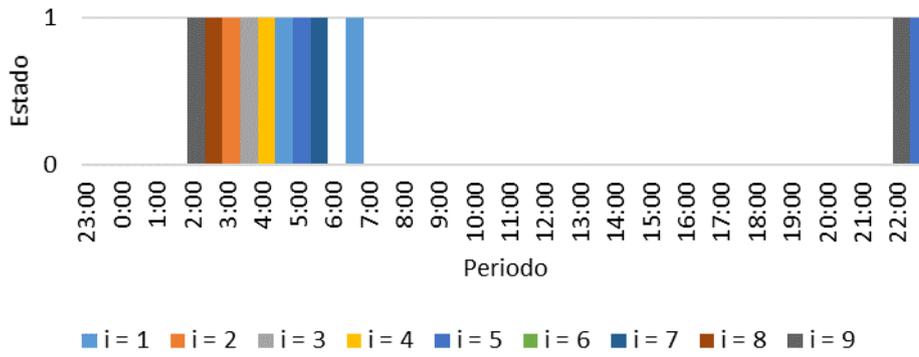


Figura 44 - Plano loja 4 Período Verão - Semana

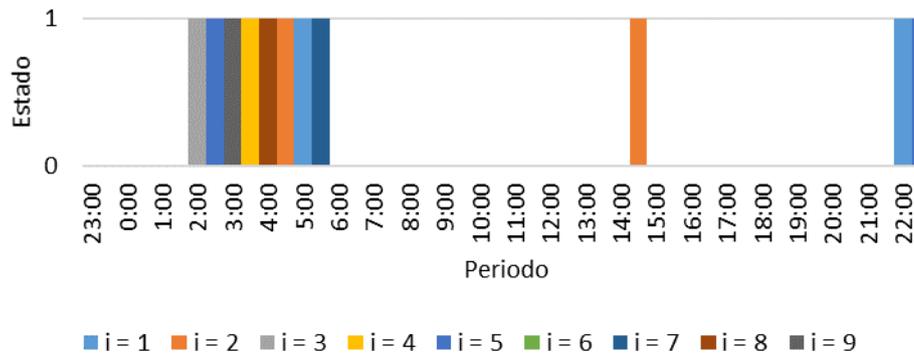


Figura 45 - Plano loja 4 Período Verão - Sábado

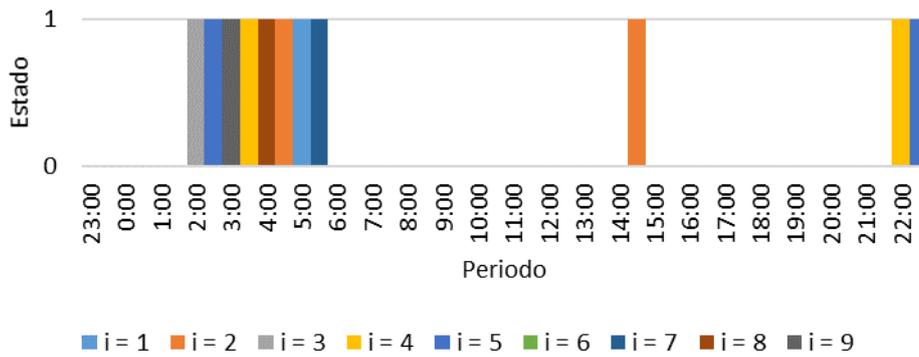


Figura 46 - Plano loja 4 Período Verão - Domingo

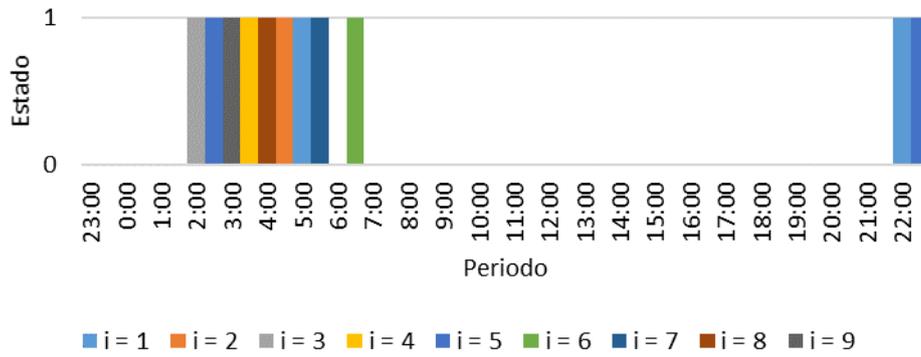


Figura 47 - Plano loja 4 Período Inverno - Semana

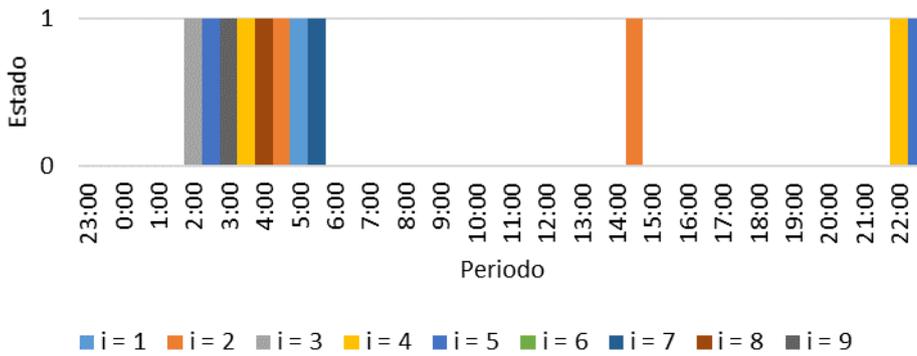


Figura 48 - Plano loja 4 Período Inverno - Sábado

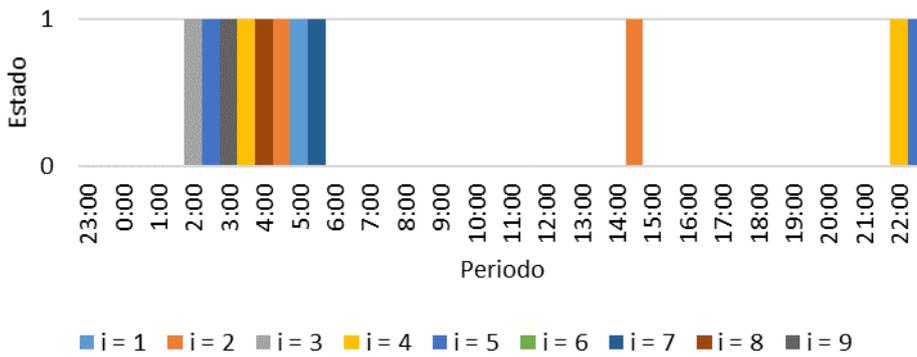


Figura 49 - Plano loja 4 Período Inverno - Domingo

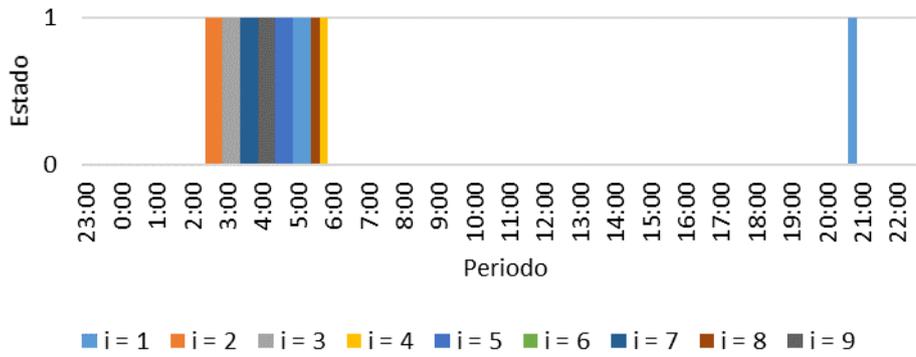


Figura 50 - Plano loja 5 Período Verão - Semana

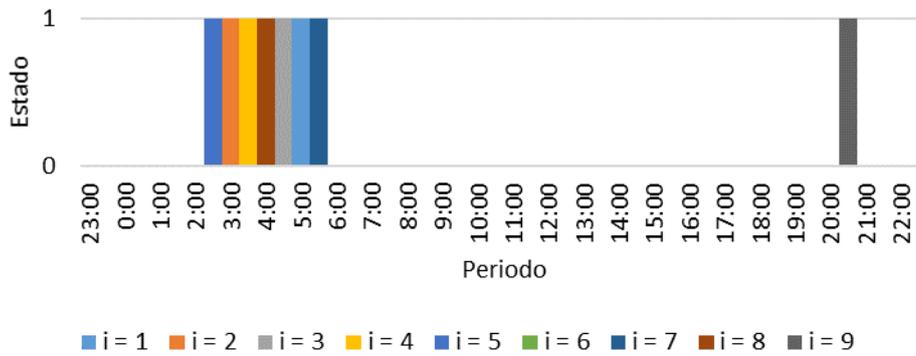


Figura 51 - Plano loja 5 Período Verão - Sábado

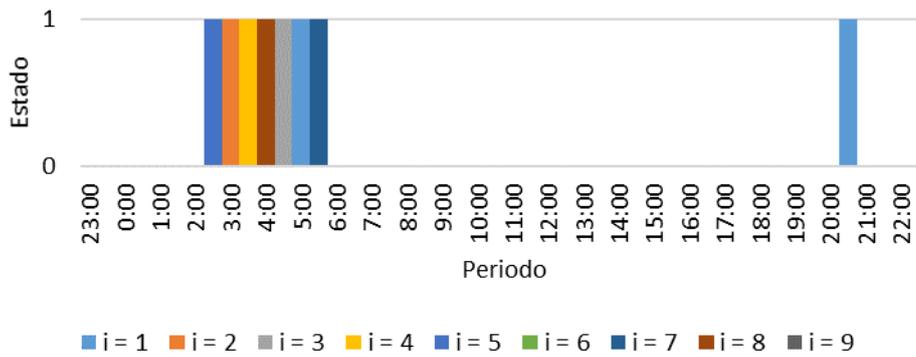


Figura 52 - Plano loja 5 Período Verão - Domingo

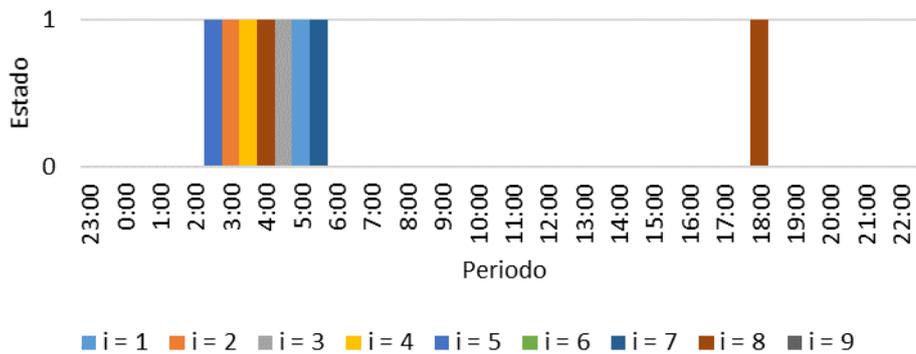


Figura 53 - Plano loja 5 Período Inverno - Semana

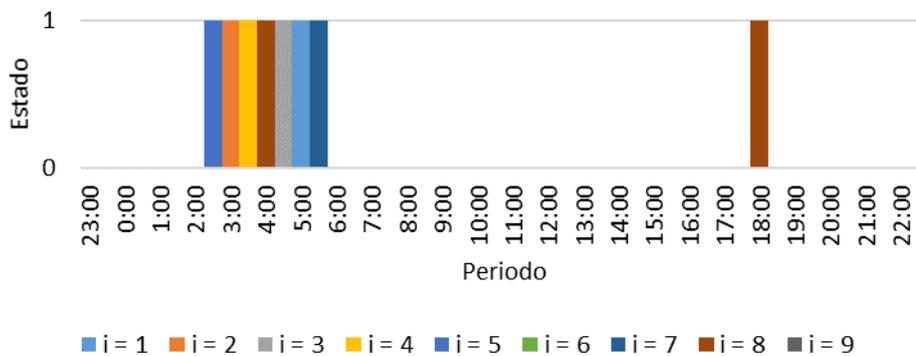


Figura 54 - Plano loja 5 Período Inverno - Sábado

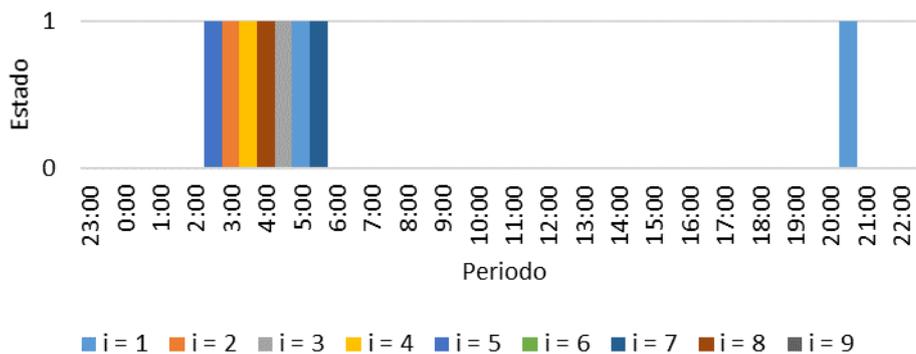


Figura 55 - Plano loja 5 Período Inverno - Domingo

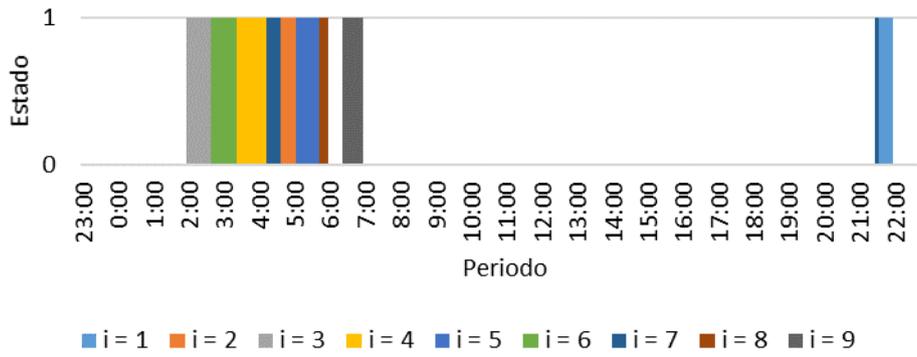


Figura 56 - Plano loja 6 Período Verão - Semana

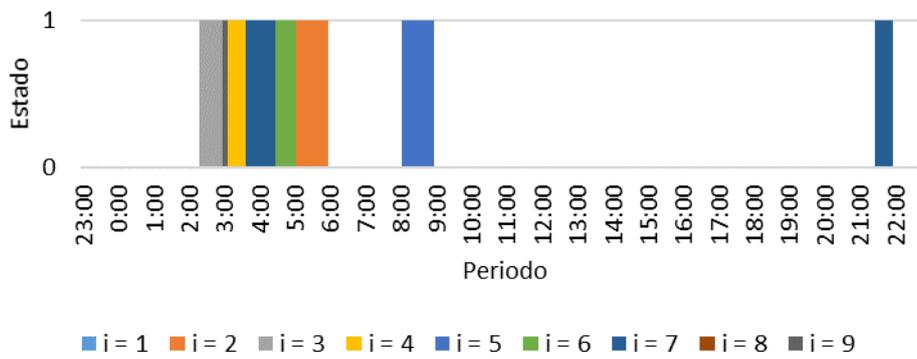


Figura 57 - Plano loja 6 Período Verão - Sábado

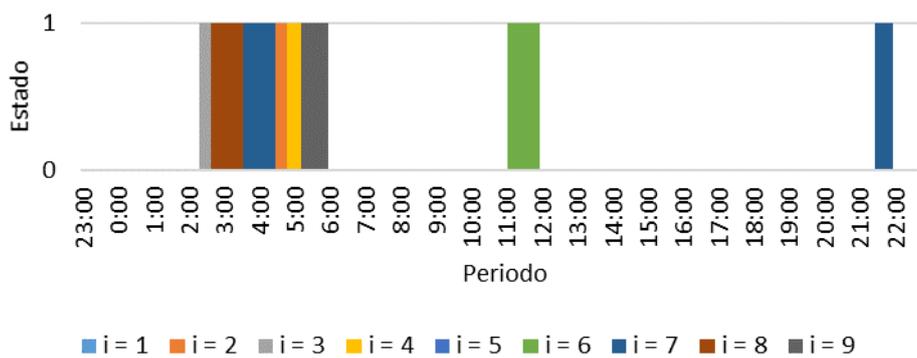


Figura 58 - Plano loja 6 Período Verão - Domingo

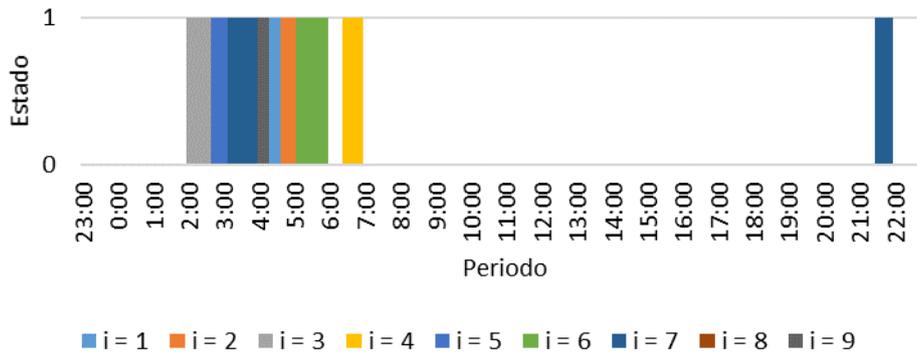


Figura 59 - Plano loja 6 Período Inverno - Semana

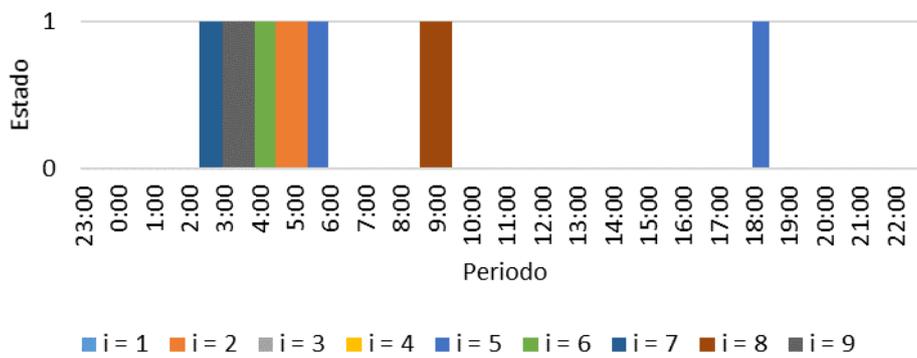


Figura 60 - Plano loja 6 Período Inverno - Sábado

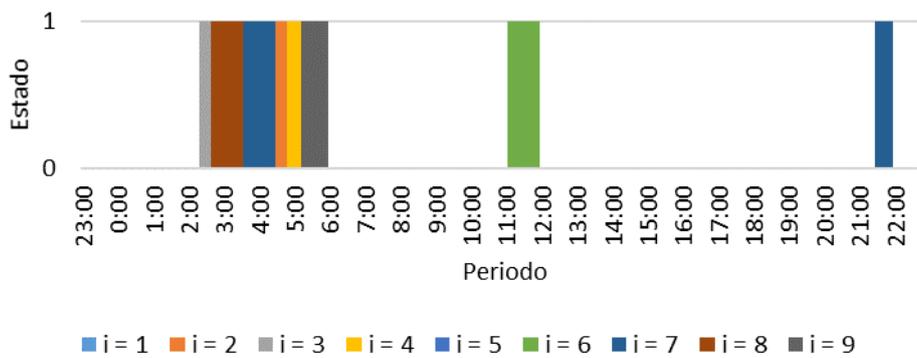


Figura 61 - Plano loja 6 Período Inverno - Domingo

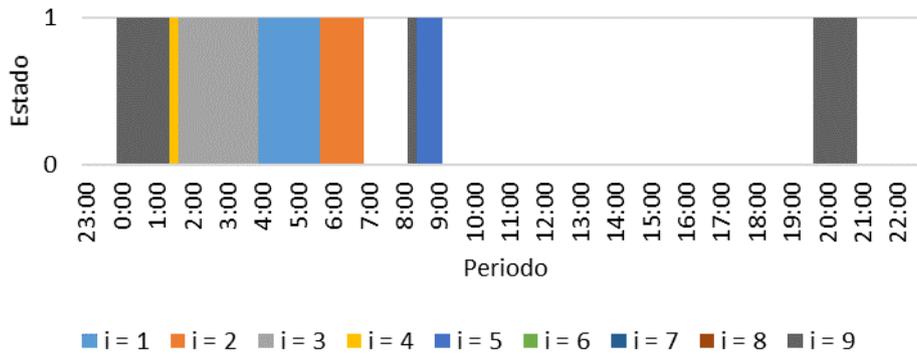


Figura 62 - Plano loja 7 Período Verão – Semana

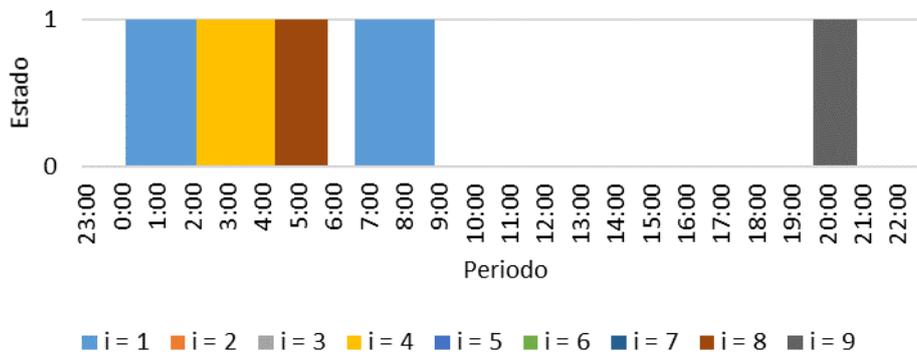


Figura 63 - Plano loja 7 Período Verão – Sábado

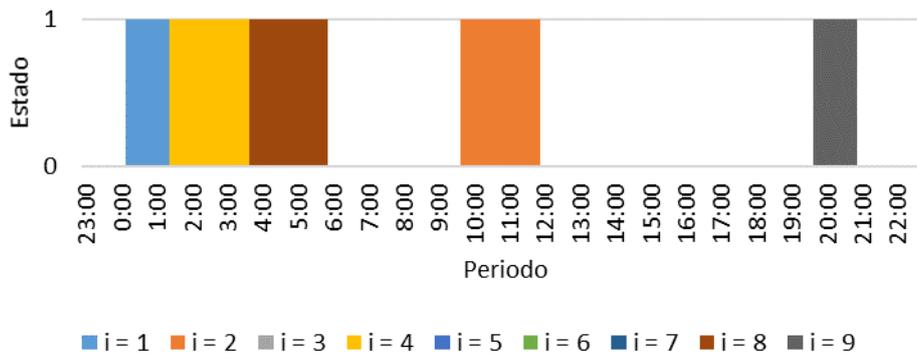


Figura 64 - Plano loja 7 Período Verão – Domingo

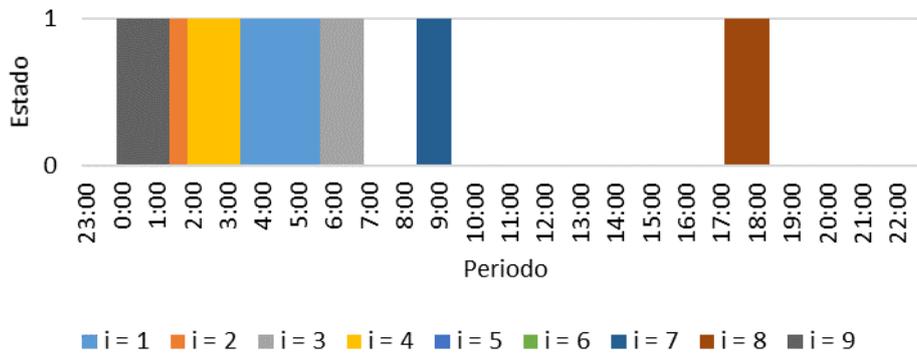


Figura 65 - Plano loja 7 Período Inverno – Semana

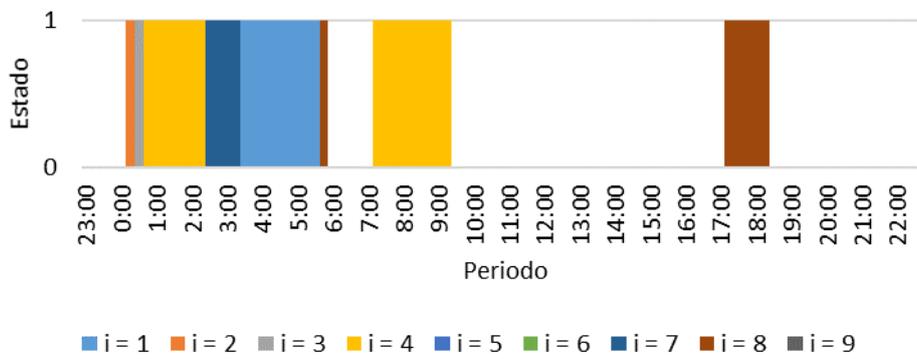


Figura 66 - Plano loja 7 Período Inverno – Sábado

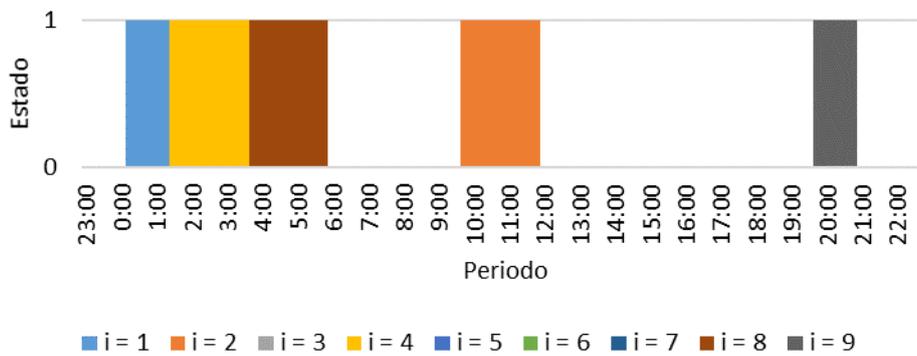


Figura 67 - Plano loja 7 Período Inverno – Domingo

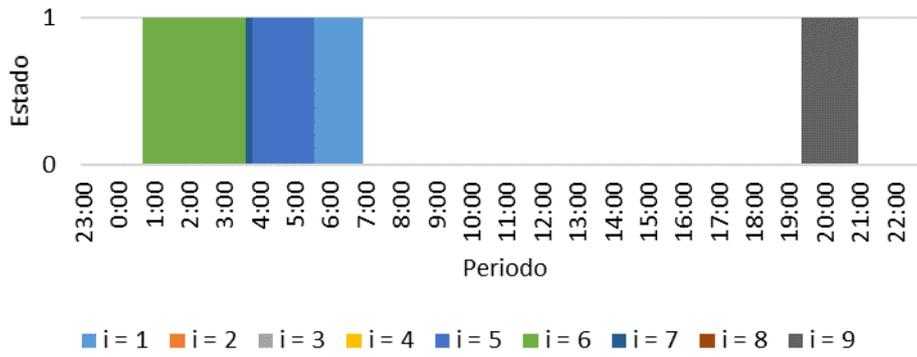


Figura 68 - Plano loja 8 Período Verão – Semana

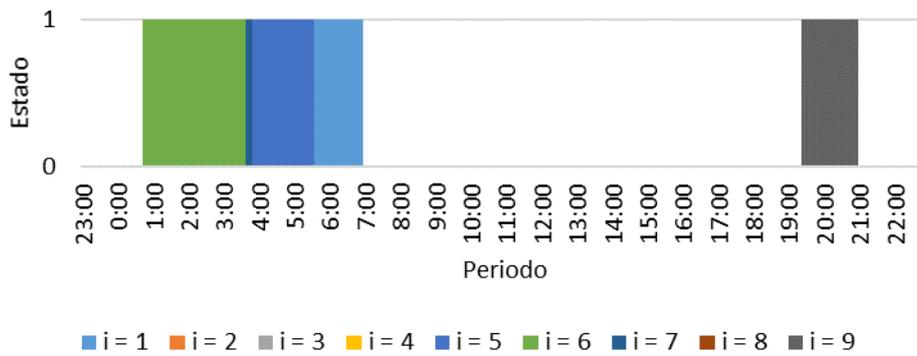


Figura 69 - Plano loja 8 Período Verão – Sábado

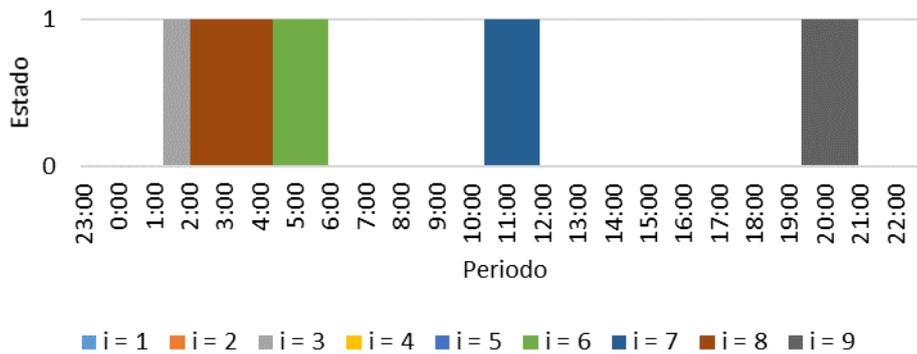


Figura 70 - Plano loja 8 Período Verão – Domingo

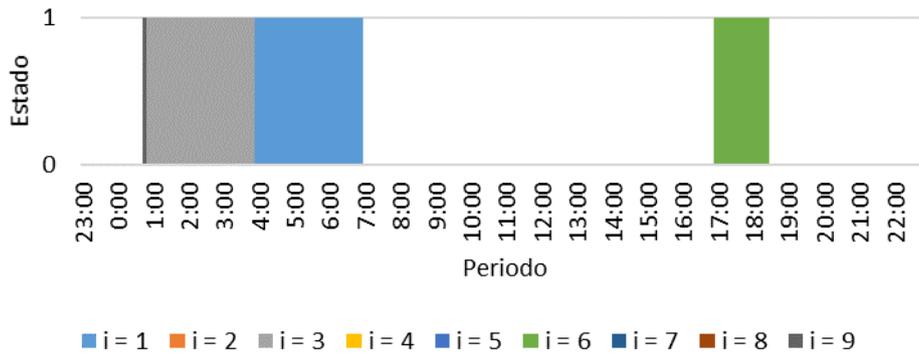


Figura 71 - Plano loja 8 Período Inverno - Semana

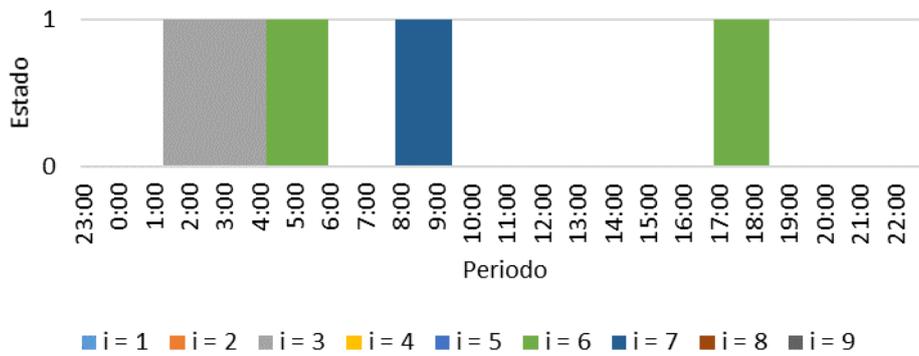


Figura 72 - Plano loja 8 Período Inverno - Sábado

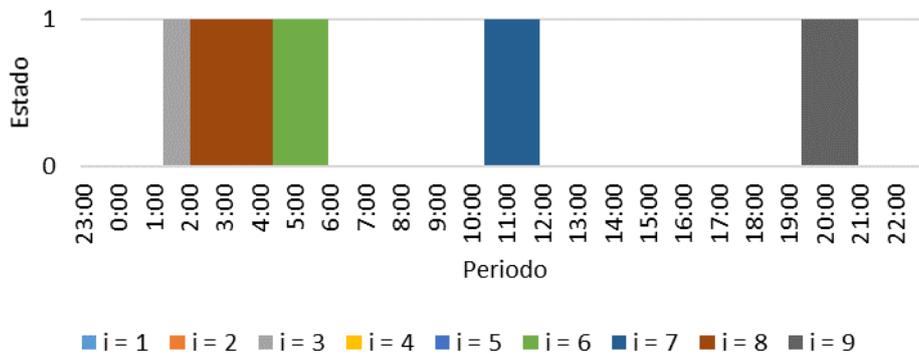


Figura 73 - Plano loja 8 Período Inverno - Domingo

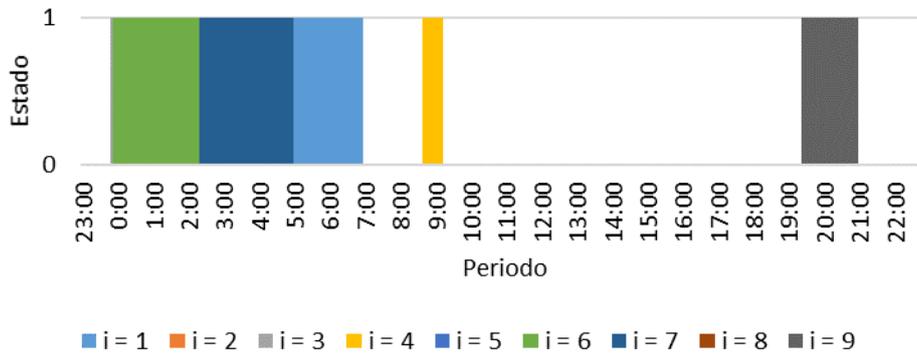


Figura 74 - Plano loja 9 Período Verão – Semana

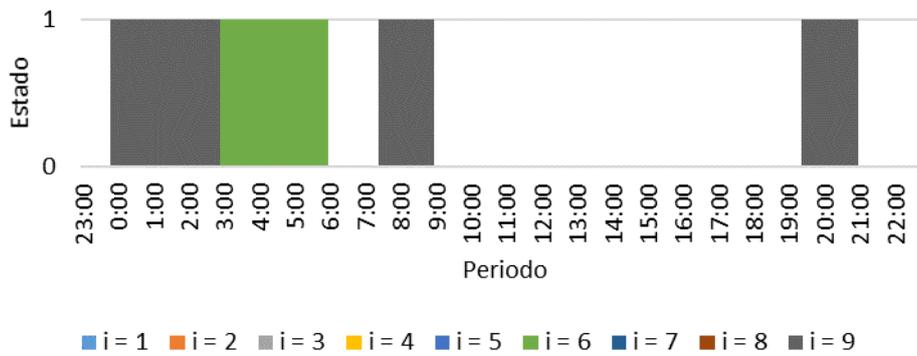


Figura 75 - Plano loja 9 Período Verão – Sábado

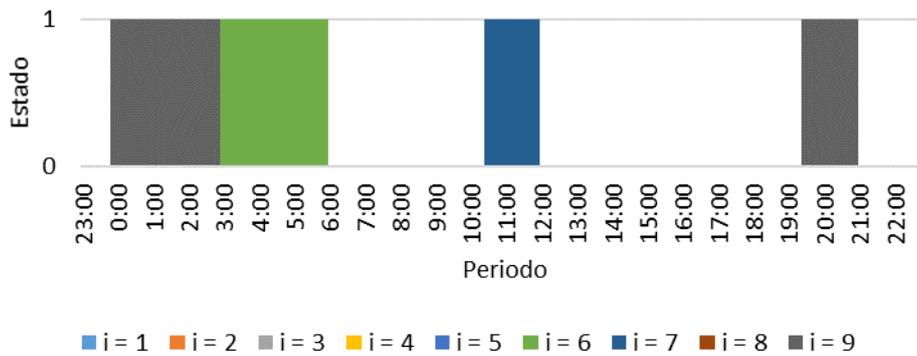


Figura 76 - Plano loja 9 Período Verão – Domingo

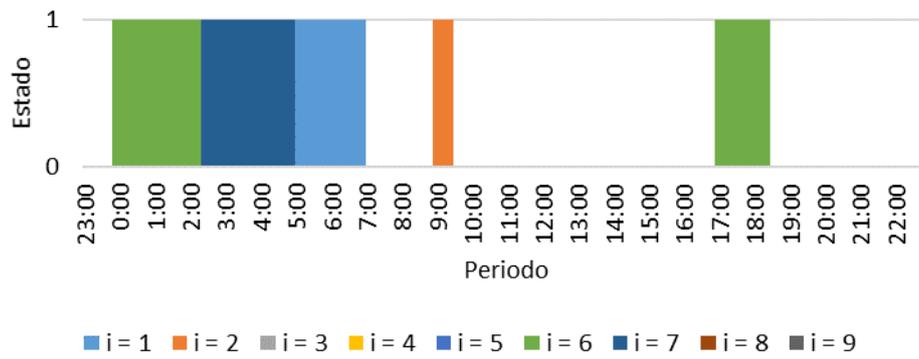


Figura 77 - Plano loja 9 Período Inverno - Semana

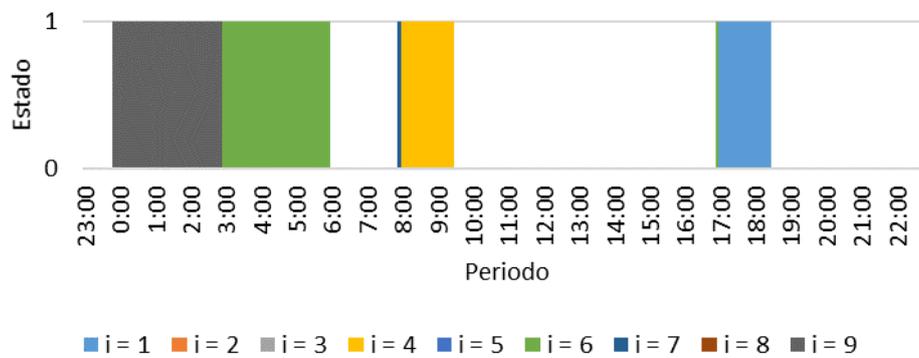


Figura 78 - Plano loja 9 Período Inverno - Sábado

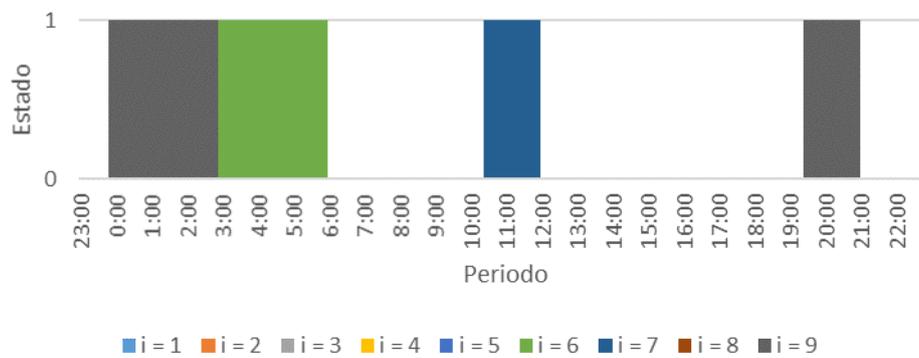


Figura 79 - Plano loja 9 Período Inverno - Domingo