

Análise e Especificação de Procedimentos para Melhoria da Disponibilidade de Empilhadores Elétricos a Temperaturas Extremas

Ricardo Daniel Vieira Esteves

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Professor Jonas Henriques de Lima

Orientador na Sonae MC: Engenheiro Gilberto Pedro Lobo



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2021-02-17

Resumo

O presente projeto foi realizado sob a alçada do Departamento de Manutenção do entreposto da Maia, da Sonae MC, localizado no parque industrial da Maia. O seu surgimento advém de um problema relacionado com a incerteza e imprevistos da disponibilidade dos equipamentos de movimentação de carga. Atualmente não está implementado nenhum sistema de controlo e medição ativa de variáveis como, por exemplo, a produtividade e utilização dos diversos equipamentos. A justificação para tal não se deve a desinteresse da organização, mas sim ao ambiente hostil e extremo que se enfrenta nas operações da secção dos congelados. Uma temperatura de -18°C .

Aquando da realização deste projeto, alguns foram os desafios enfrentados, que dificultaram e inclusive colocaram em risco a realização do mesmo. Para além da restrita literatura e investigação feita sobre os processos de carga e descarga das baterias de tracção a temperaturas negativas e extremas; a situação pandémica global e o consequente isolamento social também não contribuíram para "*levar este barco a bom porto*". Ainda assim, por sugestão da equipa de manutenção, teve-se a oportunidade de desenvolver algo novo, na esperança de ajudar trabalhos futuros.

A metodologia adotada ao longo do projeto sempre se baseou no caminho: *aprender, interpretar, aplicar*. Primeiramente com a recolha de informação e, posteriormente, com a elaboração de conceitos e relações entre variáveis. Diversos indicadores e funções foram calculados de modo a poderem ser formuladas as equações que permitem obter perspetivas do carregamento e descarregamento de uma bateria de carregamento rápido em operação e sobre o seu tempo de vida útil, através do desgaste consequente das operações.

Após identificação e justificação dos pressupostos, foram esquematizadas as diversas sequências de carga e descarga de uma bateria. Desde o início da sua utilização, até ao alcance do seu número máximo de ciclos (tempo de vida útil). De destacar, ainda, os 128 cenários desenvolvidos para aquela que é a peça chave de todos os planos: *a confiança nos colaboradores para cumprimento escrupuloso das suas tarefas*. Assim, foram idealizados e desenvolvidos 8 estratégias de resolução do problema em mãos, cada uma com diferentes custos e medidas. Por conseguinte, definiu-se, também, uma lista de procedimentos destinada aos diversos colaboradores intervenientes, numa tentativa de proporcionar, principalmente, controlo e conhecimento sobre a situação dos equipamentos e operações. Procedimentos simples e objetivos. A inclusão de tarefas, aparentemente, simples a diferentes cargos de colaboradores permite a delineação de um plano geral de manutenção preventiva e preditiva.

As conclusões obtidas permitem a tomada de uma decisão sobre uma proposta em concreto. A qual baseada apenas no intuito de resolução do problema de indisponibilidade e na exigência de custos num horizonte temporal de 5 anos, atualizados ao momento atual. A proposta denominada "*TO-BE Rotação 18+3*" inclui a contemplação de 21 baterias e a sua distribuição uniforme por 7 grupos. A movimentação semanal de um destes grupos para um estado de repouso e a sucessiva inclusão em operações a temperatura ambiente permite a diminuição do impacto da temperatura extrema e negativa, bem como a recuperação de material ativo. Para trabalhos futuros recomenda-se a consideração dos efeitos das reações eletroquímicas e o impacto do processo de repouso.

Abstract

Analysis and Specification of Procedures for Improving the Availability of Electric Stackers at Extreme Temperatures

The present project was carried out under the responsibility of the Maintenance Department of the Maia warehouse, of Sonae MC, located in the Maia industrial park. Its emergence arises from a problem related to the uncertainty and unforeseen availability of cargo handling equipments. Currently, there is no active control or measurement system for variables, such as productivity and the usability of different equipments, for example. This is not justified by a disinterest from the company, but rather to the hostile and extreme environment that the operations of the frozen section have to face. A temperature of -18°C .

While carrying out this project, there were some challenges which needed to be faced, that made it difficult and even put the all project at risk. In addition to the limited literature and research done on the charging and discharging processes of traction batteries at negative and extreme temperatures; the global pandemic situation and the consequent social isolation also present themselves as factors against this project. Still, at the suggestion of the maintenance team, the opportunity to develop something new was created, with hope to help future researches.

The methodology adopted throughout the project has always been based on the path: *learn, interpret, apply*. First with the collection of information and, later, with the development of concepts and relationships between variables. Several indicators and functions have been calculated in order to be able to formulate the equations that allow to obtain perspectives of the charging and discharging of a fast charging battery in operation and on its lifetime, through the consequent wear of the operations.

After the identification and justification of the assumptions, various sequences of battery charge and discharge were outlined. From the beginning of its use, until reaching the maximum number of cycles (lifetime). Noteworthy, also, are the 128 scenarios developed for that which is the key part of all plans: *the trust in employees for the scrupulous fulfillment of their tasks*. Thus, 8 strategies to solve the problem at hand were devised and developed, each with different costs and measures. Therefore, a list of procedures was also defined for the various employees involved, in an attempt to provide control and knowledge about the situation of the equipments and operations. Simple and objective procedures. The inclusion of simple tasks for different collaborative positions allows the outline of a general plan for preventive and predictive maintenance.

The conclusions obtained allow a decision to be made on a specific proposal. Which is based only on the intention of solving the problem of unavailability and the demand for costs within a 5-year time horizon, updated to the current moment. The proposal called "*TO-BE Rotation 18+3*" includes the contemplation of 21 batteries and their uniform distribution among 7 groups. The weekly movement of one of these groups to a state of rest and the successive inclusion in operations at room temperature allows the reduction of the impact of extreme and negative temperature, as well as the recovery of active material. For future work, it is recommended to consider the effects of electrochemical reactions and the impact of the resting process.

Agradecimentos

Primeiramente, o sucesso da presente Dissertação de Mestrado é dedicado a todos aqueles que, de forma direta e/ou indireta, contribuíram para o desenvolvimento da mesma. Não apenas pelo auxílio prestado aquando da realização da mesma, mas também pelo conhecimento ensinado e até pelos momentos de lazer. Na esperança de poder também ter contribuído para o sucesso pessoal e profissional daqueles que me rodeiam, sinto-me na obrigação de reconhecer as contribuições de todos. *Perante a situação de esquecimento de alguém, o meu maior agradecimento a todos vocês!*

Agradeço ao **Engenheiro Gilberto Pedro Lobo**, orientador na Sonae MC, por todo o apoio moral, académico e profissional que demonstrou ao longo da elaboração da presente Dissertação de Mestrado. Pela postura rígida e desafios colocados perante a avaliação do estado do projeto. Pelo apoio quase paternal e motivacional, zelando pelo bom encaminhamento do projeto. Não obstante, destaco também a importância dos colaboradores Ana Paula e Ricardo Pinto, membros da equipa de manutenção pelo contínuo apoio e preocupação demonstrados. A todos os elementos desta equipa deixo o meu agradecimento, bem como a todos os restantes colaboradores da empresa, com quem tive a oportunidade de contactar. Por fim, agradeço à Sonae MC pela proposta e oportunidade de realização da presente Dissertação de Mestrado.

Agradeço ao **Professor Jonas Henriques de Lima**, orientador na FEUP, pelo constante acompanhamento e conselhos providenciados ao longo da elaboração do presente projeto. Pela sua não conformação com o trabalho desenvolvido e por me criar um espírito de superação dos meus objetivos. Não obstante, um agradecimento a todos os professores do MIEGI, da FEUP. Pelo todo o conhecimento transmitido ao longo dos 5 (cinco) anos que aqui se concluem.

Agradeço a **todos os estudantes** que ao longo destes 5 (cinco) anos tive o prazer e a honra de conhecer. Aos meus colegas e amigos de ano, companheiros de um longo e nem sempre compreensível percurso. Um agradecimento especial por tudo o que me ensinaram e por todos os momentos partilhados. Pelas amizades que espero carregar por muitos anos e pelas memórias que certamente carregarei com um sorriso no rosto.

Agradeço a **todos os jogadores de Tribal Wars** pelos bons momentos de lazer. *-Muffins and Cookies (PT53). EL QUARNEIRO CARTEL (PT63). Quarneiros Loucos! (PT70). Murder (PT73). WolfPack (PT76).*

Agradeço a todos aqueles que tenho a honra de chamar de *amigos* pela contribuição que me permitiu aqui chegar.

O maior agradecimento vai para a **minha família**. Pela educação, carinho e apoio. Pela humildade e respeito que me ensinaram a guiar o meu percurso. Por todo o apoio incondicional ao longo dos anos. Pela paciência demonstrada. Em especial, um agradecimento ao **meu pai** por ser um exemplo do que um dia espero ser.

Um especial agradecimento ao **meu irmão**, que sem qualquer culpa foi dos maiores prejudicados pelo tempo que este projeto nos roubou. Por toda a compreensão que em tão tenra idade demonstra. Pela mais simples presença a meu lado. **Obrigado!**

Aos meus Pais, irmão, família e amigos.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	Sobre o projeto na Sonae MC	2
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Método seguido no projeto	3
1.5	Estrutura da dissertação	4
2	Revisão de literatura	5
2.1	Manutenção	5
2.1.1	Manutenção corretiva/reativa	6
2.1.2	Manutenção preventiva	6
2.1.3	Manutenção preditiva	6
2.2	Confiabilidade	7
2.2.1	Confiabilidade em função do tempo	7
2.3	Conceitos económico-financeiros	8
2.3.1	<i>Net Present Value</i>	8
2.4	Baterias de tracção	9
2.5	Baterias de chumbo	10
2.5.1	Modo de funcionamento de uma bateria	10
2.5.2	Impacto da temperatura	10
2.5.3	Impacto da <i>depth of discharge</i>	15
3	Descrição da situação inicial	18
3.1	Situação inicial	18
3.1.1	Parque de máquinas e baterias	18
3.1.2	Condições de operação	19
3.1.3	Manutenção existente	19
3.1.4	Variáveis sob análise	21
3.2	Problema	21
3.3	Objectivos do projeto	23
3.3.1	Estratégia de consciencialização	23
3.3.2	Rotina de supervisão	24
3.3.3	Rotina de medição de tensão	24
3.3.4	Interface de registo das medições	24
3.3.5	Calendarização da rotação das baterias	25
3.3.6	Função custo-benefício	25

4	Metodologia e solução proposta	26
4.1	Pressupostos	26
4.1.1	Relativos às baterias	26
4.1.2	Relativos aos processos e procedimentos	28
4.2	Procedimentos e etapas	30
4.2.1	Definição das zonas operacionais	31
4.2.2	Variação temporal do estado de carga	31
4.2.3	Calendário de operações	38
4.2.4	Função custo e distribuição de tarefas	41
4.2.5	Proposta escolhida, gastos atuais e custo de oportunidade	47
5	Conclusão	49
A	Dados, gráficos e tabelas de apoio	54
A.1	Cronograma de tarefas	54
A.2	Incremento da tensão da bateria na região ' <i>Coup de Fouet</i> '	54
A.3	Dados auxiliares e gráfico da variação do tempo de vida útil em função da <i>DOD</i>	55
A.4	Teste à distribuição de Poisson	56
A.4.1	Conjunto de observações recolhidas	57
A.5	Teste à normalidade das decisões erradas	57
A.6	Exemplos de cenários com falhas de carregamento	58
A.7	Variação de <i>SOC</i> e da previsão do tempo de vida útil ao longo do dia	60
A.8	Simulação das diversas sequências de descarga, consoante a etapa da proposta de resolução e das condições do local de descarga	63
A.9	Exemplificação, para 10 semanas, da rotação dos grupos de baterias, segundo as propostas de resolução	67
A.10	Interfaces de apoio	69
A.10.1	Interface de apoio ao eletricista	69
A.10.2	Interface de apoio ao operador da oficina	69
A.11	Planos de custos anual	75
A.12	Sistema de identificação de grupos de baterias exigido pela proposta ' <i>TO-BE Rotação 18+3</i> '	83

Acronyms and Symbols

VRLA -	<i>Valve Regulated Lead Acid</i>
SOC -	<i>State of Discharge</i>
DOD -	<i>Depth of Discharge</i>
NPV -	<i>Net Present Value</i>
CEC -	Chefe de Equipa dos Congelados
OO -	Operador da Oficina

Lista de Figuras

2.1	Os 3 tipos de manutenção, em função da sua performance e tempo de ocorrência da próxima falha. Fonte: (Almada-Lobo and Leitão, 2018a)	5
2.2	Queda de tensão sofrida por um componente, da bateria, durante o processo de descarregamento. Fonte: (Arvind and Senthilnath, 2020)	12
2.3	Concentração de eletrólito em função da descarga da bateria. Fonte: Gandhi et al. (2009)	13
4.1	Variação do estado de carga da bateria VRLA, num cenário sem qualquer falha de carregamento, durante um dia de trabalho. Fonte própria	33
4.2	Interfaces de apoio ao eletricista e ao operador de oficina. Fonte própria	42
A.1	Cronograma de atividades e tarefas realizadas durante as 18 semanas. Fonte própria	54
A.2	Tensão da bateria ao longo do processo de descarga, com realce da região ' <i>Coup de Fouet</i> '. Fonte: Pascoe and Sirisena (2002)	54
A.3	Previsão adaptada ao contexto atual do tempo de vida útil de uma bateria VRLA. Fonte: Bindner et al. (2005)	55
A.4	Função de distribuição (à esquerda) e função de probabilidade (à direita) do evento "Número de falhas de carregamento por período de trabalho". Fonte própria . . .	56
A.5	Função de distribuição (à esquerda) e função de probabilidade (à direita) do evento "Número de falhas de carregamento por turno". Fonte própria	56
A.6	Conjunto de observações, recolhidas durante 10 (dez) dias, acerca do número de baterias que não foram colocadas à carga no fim de cada período de trabalho/início de cada pausa. Fonte própria	57
A.7	Teste à normalidade dos dados provenientes das decisões erradas. Fonte própria .	57
A.8	4 exemplos de 7, da variação do estado de carga da bateria VRLA, em cenários com 1 falha de carregamento, durante um dia de trabalho. Fonte própria	58
A.9	4 exemplos de 21, da variação do estado de carga da bateria VRLA, em cenários com 2 falhas de carregamento, durante um dia de trabalho. Fonte própria	58
A.10	4 exemplos de 35, da variação do estado de carga da bateria VRLA, em cenários com 3 falhas de carregamento, durante um dia de trabalho. Fonte própria	59
A.11	4 exemplos de 35, da variação do estado de carga da bateria VRLA, em cenários com 4 falhas de carregamento, durante um dia de trabalho. Fonte própria	59
A.12	Variação do estado de carga de uma bateria VRLA e da sua previsão do tempo de vida útil, ao longo de um dia, num cenário sem falhas de carregamento. Fonte própria	60
A.13	Variação do estado de carga de uma bateria VRLA e da sua previsão do tempo de vida útil, ao longo de um dia, num cenário com 1 falha de carregamento. Fonte própria	61

A.14	Variação do estado de carga de uma bateria VRLA e da sua previsão do tempo de vida útil, ao longo de um dia, num cenário com 2 falhas de carregamento. Fonte própria	61
A.15	Variação do estado de carga de uma bateria VRLA e da sua previsão do tempo de vida útil, ao longo de um dia, num cenário com 3 falhas de carregamento. Fonte própria	62
A.16	Variação do estado de carga de uma bateria VRLA e da sua previsão do tempo de vida útil, ao longo de um dia, num cenário com 4 falhas de carregamento. Fonte própria	62
A.17	Simulação de sequências de descarregamento quando uma bateria VRLA permanece 7 dias dentro dos congelados (5,5 dias em operação e 1,5 dias em repouso. Fonte própria	63
A.18	Simulação de sequências de descarregamento quando uma bateria VRLA permanece 5,5 dias em operação nos congelados e 1,5 dias em repouso fora dos congelados. Fonte própria	64
A.19	Simulação de sequências de descarregamento quando uma bateria VRLA permanece 5,5 dias em operação nos congelados e 1,5 dias em operação em ambiente. Fonte própria	65
A.20	Simulação de sequências de descarregamento quando uma bateria VRLA permanece 7 dias em operação em ambiente. Fonte própria	66
A.21	Sistema de identificação de grupos de baterias constituído por 7 cores e 7 letras diferenciadoras dos 7 grupos de 3 baterias VRLA que compõe o total das 21 baterias exigidas para implementação da proposta "TO-BE Rotação 18+3". Fonte própria	83

Lista de Tabelas

2.1	Histogramas dos tempos de vida útil (teórico - a) e da frequência relativa da não colocação das baterias VRLA sobre o processo de carregamento (prático - b).	8
2.2	Número médio de ciclos conseguidos pelas baterias <i>NexSys</i> , segundo diferentes taxas limite de descarga. Fonte: EnerSys (2019)	17
3.1	Horário diário de trabalho na secção dos congelados. Fonte própria	20
4.1	Variáveis a considerar na função de descarregamento.	32
4.2	Variáveis a considerar na função de carregamento.	33
4.3	Probabilidades de uma bateria VRLA não ser colocada à carga n vezes, por dia. Fonte própria	35
4.4	Propostas de planeamento e algumas características principais. Fonte própria	39
4.5	Planeamento para as propostas que incluem rotações em grupos de baterias VRLA. Fonte própria	40
4.6	Custo acumulado de aquisição e manutenção referentes a cada proposta, num período de 5 anos.	44
4.7	Custos de aquisição e manutenção referentes a cada proposta, num período de 5 anos, reportados ao ano 0. Fonte própria	44
4.8	Custos, por bateria requerida, de aquisição e manutenção referentes a cada proposta. Fonte própria	45
4.9	Custos, por bateria requerida, de aquisição e manutenção referentes a cada proposta, num período de 5 anos, reportados ao ano 0. Fonte própria	45
4.10	Cálculo do fator de paragem diário de uma bateria. Fonte própria	46
4.11	Custo atual, num horizonte temporal de 5 anos. Fonte própria	46
4.12	Quadro-resumo: " <i>TO-BE Rotação 18+3</i> " versus " <i>AS-IS</i> ". Fonte própria	47
4.13	Análise de sensibilidade: " <i>TO-BE Rotação 18+3</i> " versus " <i>AS-IS</i> ". Fonte própria	48
A.1	Planeamento para 10 semanas para a proposta " <i>TO-BE Rotação 18+2</i> ". Fonte própria	67
A.2	Planeamento para 10 semanas para a proposta " <i>TO-BE Rotação 18+3</i> ". Fonte própria	67
A.3	Planeamento para 10 semanas para a proposta " <i>TO-BE Rotação 18+6</i> ". Fonte própria	68
A.4	Planeamento para 10 semanas para a proposta " <i>TO-BE Rotação 18+9</i> ". Fonte própria	68
A.5	Planeamento para 10 semanas para a proposta " <i>TO-BE Rotação 18+18</i> ". Fonte própria	68
A.6	Plano de custos para a proposta " <i>TO-BE repouso a frio</i> ". Fonte própria	75
A.7	Plano de custos para a proposta " <i>TO-BE repouso a quente</i> ". Fonte própria	76

A.8	Plano de custos para a proposta " <i>TO-BE Rotação 18 sem repouso</i> ". Fonte própria	77
A.9	Plano de custos para a proposta " <i>TO-BE Rotação 18+2</i> ". Fonte própria	78
A.10	Plano de custos para a proposta " <i>TO-BE Rotação 18+3</i> ". Fonte própria	79
A.11	Plano de custos para a proposta " <i>TO-BE Rotação 18+6</i> ". Fonte própria	80
A.12	Plano de custos para a proposta " <i>TO-BE Rotação 18+9</i> ". Fonte própria	81
A.13	Plano de custos para a proposta " <i>TO-BE Rotação 18+18</i> ". Fonte própria	82

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

O presente projeto foi realizado no âmbito da unidade curricular Dissertação, do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Em colaboração com a empresa Sonae MC, o projeto aqui apresentado resultou duma proposta do Departamento de Manutenção, da mesma entidade.

O surgimento deste trabalho advém da postura em prol do conhecimento e otimização dos processos internos. Assim, sob a alçada do Departamento de Manutenção foi analisada a atuação dos e sobre os equipamentos de movimentação de carga. Nomeadamente a eficiência das suas operações e processos, mas também o comportamentos dos colaboradores da empresa para com estes ativos. Primeiramente sobre todo o entreposto. Mais tarde restrito à secção dos congelados, a regularidade de problemas com paragens repentinas destes equipamentos levantou questões sobre a possibilidade de prevenir e impedir tais falhas.

Resumidamente, o Departamento de Manutenção procura uma melhoria da disponibilidade energética dos equipamentos de movimentação de carga (máquinas elétricas com capacidade de transporte e elevação de paletes num armazém).

Da perspetiva da organização, a pressão/motivação para o estudo e resposta ao tema advém do pensamento progressista e da constante busca por melhorias dos processos e operações. Uma constante busca pela melhor aplicação dos recursos disponíveis na obtenção de melhores resultados. Por outro lado, a restrição do tema para a aplicação apenas sobre a secção dos congelados, apesar da diminuta quantidade e qualidade de bibliografia e estudos, permitiu um ganho extra de motivação para a criação de algo novo que realmente possa acrescentar valor e desenvolvimentos numa setor não tão estudado. Para além do propósito basilar da Dissertação de Mestrado, aqui se pretende o desenvolvimento de um projeto que possa servir de base para trabalhos futuros, até para melhoria dos processos de outras entidades, operantes com produtos congelados e/ou sob condições de temperaturas extremas (retalhistas, cadeias de distribuição de congelados, empresas de logística especializada, entre outros).

1.2 Sobre o projeto na Sonae MC

A Sonae MC representa uma das empresas pertencentes ao grupo SONAE SGPS. Tal como pode ser lido no próprio site da organização: "*A Sonae é uma multinacional que gere um portefólio diversificado de negócios nas áreas de retalho, serviços financeiros, tecnologia, centros comerciais e telecomunicações*" (SGPS, 2020).

Enquanto organização, a SONAE SGPS pauta por um conjunto de valores que pretende inspirar e recriar em todos os seus colaboradores: "*confiança e integridade*", "*as pessoas no centro do nosso sucesso*", "*ambição*", "*inovação*", "*responsabilidade corporativa*", "*frugalidade e eficiência*" e "*cooperação e independência*" (Sonae MC, 2020). De destacar ainda o resultado líquido do período, apresentado no 3º (terceiro) trimestre de 2020 de 94.376.556€. Valor que reflete o sucesso da conjugação de interesses das decisões enquanto organização, com fins lucrativos, e da valorização de todos os recursos humanos sob a sua alçada.

No seio deste conjunto de valores e da contínua busca pela inovação e melhoria contínua dos processos e operações, surge a presente proposta de Dissertação de Mestrado, adjacente ao Departamento de Manutenção. Um problema cuja solução não deverá passar pelo declínio ou extinção das condições de trabalho dos colaboradores. Um desafio de balanceamento entre a gestão dos atuais recursos da empresa e a resolução de um problema atual e agravante dos custos.

1.3 Objetivos do projeto

O projeto desenvolvido teve como objetivo a apresentação de uma proposta/estratégia que vise a melhoria da disponibilidade energética dos equipamentos de movimentação de carga na secção dos congelados, de um dos entrepostos da Sonae MC, localizado na parque industrial da Maia.

Para tal, foi definida uma estratégia de centralizar a investigação sobre a utilização, manutenção e disponibilidade das baterias que proporcionam energia para as operações destas máquinas. A justificação depreende-se com o único grau de liberdade para alterações concretas e racionais, tendo em conta o período de tempo dedicado à dissertação (4 meses).

De forma mais detalhada, num ambiente de temperaturas extremas e negativas, pretende-se demonstrar a análise realizada ao modo de funcionamento das baterias, bem como a previsão das curvas/funções de descarregamento e carregamento, e o uso da utilização/desgaste como forma de calcular e prever o tempo de vida útil de uma bateria. Por outro lado, uma previsão dos custos dos processos e simplificar as diversas tarefas aos colaboradores da empresa de forma a evitar incumprimentos e/ou erros.

O objetivo final do trabalho consiste na proposta de uma estratégia de melhoria da disponibilidade das baterias que vise a possibilidade de manutenção e conhecimento atualizado sobre o estado destes ativos, sem comprometer os custos e/ou a normalidade das operações da secção.

1.4 Método seguido no projeto

A metodologia seguida e apresentada pode ser dividida em 4 (quatro) fases distintas. **Compreensão, investigação, análise e formulação**. Por entendimento dos termos, a compreensão do tema, a investigação de estudos e conhecimento já publicado pela comunidade científica e pelos próprios fabricantes de baterias, a análise dos dados recolhidos e a formulação da estratégia a propor. De um modo geral, serão providenciadas, seguidamente, algumas indicações sobre cada uma das fases descritas. No entanto, para informação mais pormenorizada, deve ser consultado o capítulo 4. Ainda assim, esquematicamente, a calendarização das atividades/tarefas realizadas pode ser observada, na figura A.1 (presente em anexo).

Sobre a primeira fase¹, a **compreensão**, pode entender-se como o período de integração na empresa e de assimilação de informações principais. A exemplo disso, o funcionamento do departamento, da organização e das operações. Mas também decisão dos conceitos a serem abordados, bem como as variáveis que até então têm condicionado a ação e desenvolvimento de estratégias à priori. Neste caso, a temperatura extrema de -18 °C e o incumprimento de tarefas.

Na segunda fase² (**investigação**) foi recolhida a maior parte da informação utilizada na elaboração deste projeto. Admita-se que foi mais extensa do que previsto inicialmente devido à especificidade do tema. A reduzida quantidade de literatura relevante encontrada, que não se confundisse com a compreensível parcialidade de fabricantes, pode ser considerada um dos maiores desafios enfrentados. Para além de conhecimento técnico, foi também necessário recorrer a conhecimentos de manutenção e estatística, bem como liderança e gestão de recursos humanos.

A terceira fase³ (**análise**) baseou-se na compilação e análise dos dados recolhidos. Dados estes provenientes de recolha, não apenas bibliográfica, mas também diretamente das operações do entreposto da Sonae MC. Uma vez recolhidos e organizados os dados, foi necessário o seu mapeamento de forma à compreensão do seu encaixe e no delineamento da estratégia a seguir.

Finalmente, na quarta fase⁴ (**formulação**), depois de aprender e interpretar sobre um tema tão díspar dos temas centrais do próprio curso, procedeu-se ao desenvolvimento de funções matemáticas e gráficas de modo a melhor entender a realidade encontrada e ser possível desenvolver um planeamento que se coadune com os objetivos esperados e exigidos ao presente projeto.

Concluindo, é, ainda, importante providenciar o devido destaque e importância ao "*pitch*"/ "*briefing*"/ "reunião de equipa" realizado semanalmente, com o intuito de apresentar o trabalho realizado e as conclusões obtidas durante a semana anterior. A regularidade da realização da mesma também contemplou a proposta de novos desafios e perspetivas de análise de cada situação.

¹Correspondente às etapas 1, 2, 3, 4 e 5 da figura A.1

²Correspondente às etapas 2, 3, 4 e 5 da figura A.1

³Correspondente às etapas 2, 3, 6, 7 e 8 da figura A.1

⁴Correspondente às etapas 2, 9 e 10 da figura A.1

1.5 Estrutura da dissertação

A estrutura da presente dissertação é composta por 5 (cinco) capítulos: introdução, revisão bibliográfica, descrição do problema, metodologia e solução proposta e conclusão.

Primeiramente, no primeiro capítulo, a **introdução**, é realizada uma breve apresentação das funções do departamento e da empresa na qual o presente projeto foi desenvolvido. Para além de uma breve descrição da metodologia adotada, o cronograma de tarefas/atividades, também são aqui abordados.

No segundo capítulo pode ser encontrada a **revisão bibliográfica** (também conhecida como "Estado de Arte"). Aqui, diversos conceitos, investigações, explicações e exposições, fulcrais para a realização do presente projeto, são identificados, explicados e relacionados, de forma pormenorizada, com a situação atual da organização. Tendo em conta a complexidade inicial de aprendizagem sobre a envolvência do projeto, os temas apresentados, principalmente relacionados com as baterias de tração, são extensos e pormenorizados.

Seguidamente, no terceiro capítulo (**descrição do problema**), é apresentada a situação atual da organização. Uma perspetiva imparcial e objetiva, não afiliada à empresa. Pontos como a realidade encontrada, a identificação do(s) problema(s) e proposta(s) de resolução(ões) podem ser aqui descritos.

Por conseguinte, a **metodologia e solução proposta** é apresentada no quarto capítulo. Uma descrição de todas as dificuldades/etapas enfrentadas e ultrapassadas no desenvolvimento do presente projeto. Deste modo, são estabelecidos e apresentados todos os pressupostos, bem como as suas justificações práticas e bases literárias. Por fim, o cálculo de diversos indicadores, com vista à formulação de diversas funções cujos objetivos se centram nas aplicações "previsão" e "decisão": funções de descarga e carga da bateria; e função-custo das propostas.

Em jeito de conclusão, no último capítulo da dissertação é apresentada a **conclusão** e a tomada de decisão (pessoal e da organização), bem como os argumentos apresentados por ambas as partes. Ainda assim, a dissertação não se encerra sem apresentar perspetivas para trabalhos futuros, na esperança de que possa servir de partida para a melhoria e otimização da gestão energética e de disponibilidade dos equipamentos de movimentação de carga.

Capítulo 2

Revisão de literatura

2.1 Manutenção

De acordo com a norma europeia EN 13306, por manutenção entende-se todas as combinações de ações técnicas, administrativas e de gestão realizadas durante o ciclo de vida de um determinado ativo, com o intuito de o preservar e/ou restaurá-lo a um estado capaz de realizar a função ao qual está destinado. Para o mesmo efeito, estão contabilizadas todas as ações realizadas que previnem ou reduzem as consequências da ocorrência de uma falha (CEN, 2001).

Assim sendo, 3 (três) são as principais classificações atribuídas a opções de manutenção praticadas. Tal como se pode conferir pela figura 2.1, a opção por cada um dos planos gerais de manutenção apresentados deve ter em conta o nível de performance pretendido, bem como o tempo para a ocorrência da próxima falha. Não obstante, o custo de implementação de cada tipo de manutenção deve ser considerado numa perspetiva de não comprometer a estabilidade económica de quem implementa apenas com vista à inovação e obtenção de melhores resultados dos seus equipamentos. Cada tipo de manutenção possui as suas vantagens e desvantagens e todos devem ser considerados como viáveis antes da tomada de decisão final.

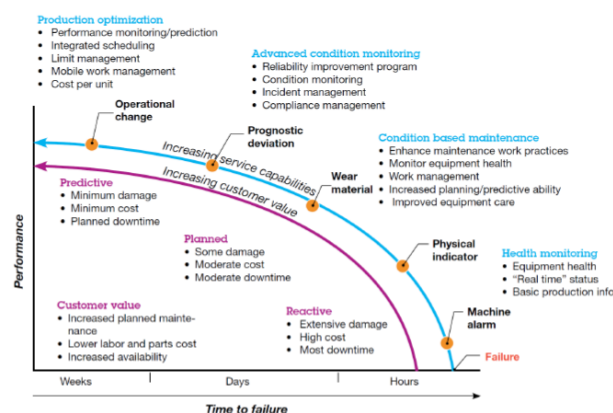


Figura 2.1: Os 3 tipos de manutenção, em função da sua performance e tempo de ocorrência da próxima falha. Fonte: (Almada-Lobo and Leitão, 2018a)

2.1.1 Manutenção corretiva/reativa

Tal como descrito por Hassan et al. (2019), a manutenção corretiva¹ é caracterizada, principalmente, pela não atuação sobre os mais diversos equipamentos antes da ocorrência de uma falha. Apesar de presentear os seus aplicantes com menos custos de operação e a menor necessidade de pessoal, também confere desvantagens alarmantes, como por exemplo: a ocorrência não planeada/inesperada e mais frequente de falhas no equipamento, que pode conduzir à interrupção do seu tempo de ciclo. Assim, apenas nesta ocasião são feitas reparações ou se procede à troca do equipamento.

Por conseguinte, a utilização deste tipo de manutenção potencia a ocorrência de imprevistos na produtividade da linha de produção e/ou na condução de trabalhos.

A importância da manutenção corretiva/reativa para o presente projeto advém da sua atual utilização para resolução das paragens de operação na secção dos congelados. A sua exposição pormenorizada encontra-se no capítulo 3, na secção 3.1.3.

2.1.2 Manutenção preventiva

De acordo com os trabalhos de Zhu et al. (2019), a manutenção preventiva permite a redução dos custos face à singular prática da manutenção corretiva, em cerca de 12% a 18%. Tal como a sua designação assim o intui, este tipo de manutenção consiste na atuação regular sobre o equipamento de modo a detetar e prevenir a ocorrência de falhas, bem como a mitigação da degradação dos seus componentes/sistemas em detrimento da constante utilização (Zhu et al., 2019).

A manutenção preventiva é utilizada como meio para incrementar a fiabilidade sobre um equipamento.

Apesar disto, a opção pela prática de manutenção preventiva ainda permite a ocorrência de algumas falhas, no entanto permite moderar os custos de operação e reparação, bem como os tempos perdidos devido a reparações e paragens das linhas de produção. Por outras palavras, a aplicação da manutenção preventiva deve ser considerada apenas quando o custo de a praticar é inferior ao custo de não a praticar.

A relevância da manutenção preventiva justifica-se pelas estratégia e procedimentos propostos para a resolução do problema de indisponibilidade de equipamentos existente. A justificação para a sua utilização encontra-se exposta no capítulo 3 - secção 3.3, e a sua aplicação no capítulo 4.

2.1.3 Manutenção preditiva

Ainda sobre a investigação levada a cabo em Hassan et al. (2019), a complexa definição de manutenção preditiva pode ser resumida às ações de monitorização/controlo realizadas em prol da previsão da ocorrência da próxima falha num determinado equipamento. Através da atuação sobre o mesmo à priori da paragem necessária, expecta-se a prevenção do próprio acontecimento da falha.

¹Também referida como manutenção reativa.

Como pode ser visto pela figura 2.1, esta é a prática que provoca um menor dano acumulado no equipamento por ela afetado. Por outro lado, os custos de reparação sofrem uma diminuição brusca e as reparações regulares, previstas na manutenção preventiva, são substituídas por atuações precisas e apenas em determinados momentos, com o intuito de prolongar a vida útil do ativo em questão.

A relevância da manutenção preditiva justifica-se pela possibilidade de previsão do fim do tempo de vida útil dos diversos componentes que compõe as baterias e a possibilidade de atuação sobre as mesmas. A justificação para a sua utilização encontra-se exposta no capítulo 3 - secção 3.3, e a sua aplicação no capítulo 4.

2.2 Confiabilidade

Confiabilidade², fiabilidade, credibilidade. Termos similares e usados para descrever algo na qual pode ser depositada confiança (Priberam, 2020).

Tecnicamente, o termo confiabilidade é descrito como a capacidade que um determinado equipamento/ativo possui, de cumprir as suas funções, sem a ocorrência de uma falha, num determinado ambiente e de acordo com as condições para o qual foi projetado (Gaspar et al., 2017). Em concordância, a associação desta terminologia a um sistema/equipamento/componente (qualquer ativo), não elimina a possibilidade da ocorrência de uma falha nas operações do mesmo. Deste modo, tal como é descrito por Almada-Lobo and Leitão, em 2018a, a confiabilidade também pode, por sua vez, ser associada à probabilidade que um sistema possui de funcionar correta e adequadamente sobre as suas funções específicas, pelo período de tempo desejado, sobre as condições previstas de operação (Almada-Lobo and Leitão, 2018b).

Aplicando ao caso atual, o conceito de confiabilidade encontra-se, inconscientemente, associado ao pensamento e certeza de que cada operador da secção dos congelados³ cumpre escrupulosamente as tarefas para o qual se encontra designado. Ou seja, a confiança que irá encontrar uma máquina em condições favoráveis ao desempenho da sua atividade, no princípio de cada turno de trabalho, bem como a confiança que a máquina não sofrerá nenhuma falha, durante os períodos laborais, que coloque em risco o seu índice de produtividade.

Assim, aferindo que uma falha num sistema pode ter diversas causas, origens ou tempos de ocorrência, o conceito de confiabilidade não exclui, de todo, a hipótese de que um sistema não irá falhar.

2.2.1 Confiabilidade em função do tempo

Histograma de tempos de vida útil / Função densidade de probabilidade (FdP) e histograma

Tal como pode ser observado pela figura 2.1(a), através do grafismo dos registos de tempos de vida útil dos equipamentos pode idealizar-se a existência de normalidade nos dados ao dispor.

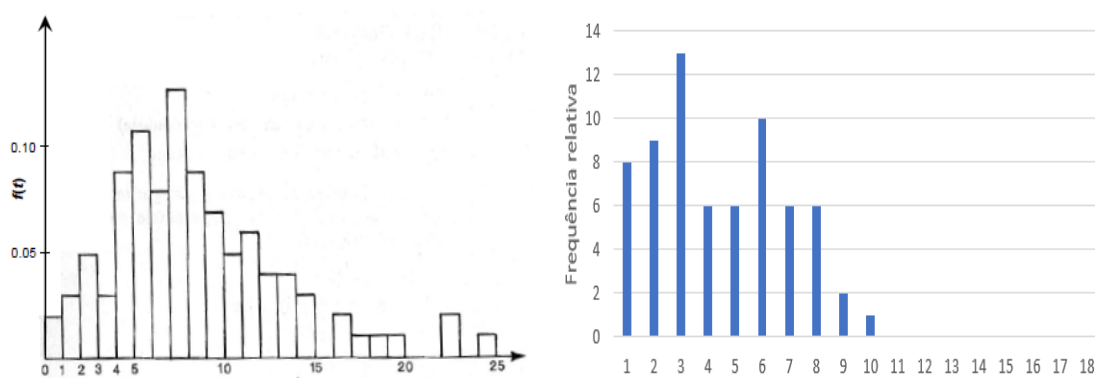
²Tradução do termo "*reliability*"

³Doravante designado *picker*, devido à simplicidade do termo.

Atestando a representação da figura 2.1(a) como apenas demonstrativa, no presente caso não é possível a elaboração de semelhante histograma. Isto justifica-se pela ausência de recolha de dados relacionada com a utilização e disponibilidade dos equipamentos operantes na secção dos congelados. Através do registo de observações, realizado durante 10 (dez) dias de operações, foi construído o gráfico representado na figura 2.1(b). De realçar que o teste à normalidade das observações recolhidas negou a presente ideia (figura A.7, presente em anexo).

Tendo em conta informação recolhida informalmente junto da equipa de manutenção, foi estimado um tempo de vida útil de 2 (dois) anos para uma bateria VRLA operante a -18°C .

Tabela 2.1: Histogramas dos tempos de vida útil (teórico - a) e da frequência relativa da não colocação das baterias VRLA sobre o processo de carregamento (prático - b).



a) Exemplo de um histograma dos tempos de vida útil. Fonte: (Almada-Lobo and Leitão, 2018b).

b) Histograma da frequência relativa das baterias não colocadas à carga. Fonte própria

Por conseguinte, devido à única falha dos equipamentos ser considerada por insuficiência do estado de carga e pelo insucesso de aplicação da distribuição da distribuição normal nas observações recolhidas, não será tentada a aplicação de conceitos relacionados com confiabilidade: função de probabilidade de falha, função de probabilidade de sobrevivência, *mean time between failure* e/ou função de risco.

2.3 Conceitos económico-financeiros

2.3.1 Net Present Value

Tal como explicado por Stephen A. Ross, em *Uses, Abuses, and Alternatives to the Net-Present-Value Rule*, o conceito de *Net Present Value*⁴, é utilizado aquando da necessidade de comparação de diferentes alternativas de investimento e/ou pretensão de conhecimento pelo valor presente do respetivo investimento. Através da atualização, ao momento atual, dos diferentes cash-flows anuais futuros à respetiva taxa de desconto; e da subtração do montante investido inicialmente, calcula-se o valor atual desse mesmo investimento. A aplicação deste conceito de

⁴Também conhecido por *valor presente líquido*

matemática financeira permite, por exemplo, a comparação entre planos de investimento com diferentes características, inclusive diferentes durações temporais. A fórmula de cálculo do *Net Present Value* (NPV) é apresentada seguidamente:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{CashFlow_i}{(1+r)^{-i}} - Investimento_{inicial} \quad (2.1)$$

Por conseguinte, perante a situação final de decisão sobre as diversas propostas apresentadas no presente projeto, o conceito de *Net Present Value* foi utilizado como fator diferencial dos custos de investimento face a gastos de aquisição de ativos e de manutenção relativos a cada proposta.

Face à dificuldade e imprecisão de estimativa dos ganhos com a implementação de cada proposta estes não são considerados, o que exige uma reformulação da equação 2.1. Tal justifica-se pela igualdade do principal objetivo, pretendido pela implementação de qualquer uma das propostas: **melhoria da disponibilidade dos equipamentos de movimentação de carga operantes na secção dos congelados**. Assim, pode ser admitida a aplicação da seguinte reformulação, numa perspetiva de atualização ao momento atual dos gastos que cada proposta implica.

$$NPV_{reformulado} = \sum_{i=1}^5 \frac{CustoTotalAnual_i}{(1+9\%)^{-i}} \quad (2.2)$$

Note-se que a taxa de desconto considerada de 9% advém de instruções da entidade patronal e do costume de aplicação da mesma na ponderação de investimentos.

2.4 Baterias de tracção

Muito sucintamente, uma bateria (também conhecida como acumulador) é o nome atribuído a um dispositivo cuja finalidade é a produção e/ou o armazenamento de uma certa quantidade de energia, mediante os limites da sua capacidade. Como pode ser confirmado pelo manual de baterias da Robert Bosch GmbH, recorrendo a processos de oxidação e redução, o dispositivo electroquímico (a bateria/acumulador) transforma energia química em energia eléctrica. Os sentidos inversos das reacções químicas também se sucedem. Assim, pode afirmar-se que esta transformação é reversível. Mediante o tipo de bateria e as suas características/especificações, o carregamento e descarregamento pode ser efectuado centenas de vezes, dentro do período de vida útil da bateria (Bosch, 2012).

As mais recentes notícias de desenvolvimento de baterias de tracção apontam no sentido da invocação e da continuidade da melhoria daqueles que são consideradas as baterias do futuro: as baterias de lítio. Actualmente, e no seguimento de notícias de Press (2020), o objectivo dos fabricantes é a criação de baterias com mais densidade energética, dotadas de uma superior celeridade de carregamento, uma maior resistência ao desgaste e capazes de enfrentar um maior número de ciclos.

Apesar de as baterias de chumbo se apresentarem como soluções viáveis e a preços mais reduzidos, não possuem uma tão boa capacidade energética, tendo ainda um peso bastante superior

quando comparadas com as suas principais concorrentes (baterias de lítio e níquel). Ainda assim, atualmente assiste-se no mercado a um "esforço último" de utilização das baterias convencionais de chumbo-ácido. Um dos ainda argumentos a favor das mesmas advém da sua etiquetagem como "verdes". Das baterias hoje conhecidas são as que, comprovadamente, são 100% recicláveis.

2.5 Baterias de chumbo

Segundo Parkomak (2012), o termo bateria pode ser explicado como um dispositivo de conversão de energia química, contida em substâncias activas, em energia eléctrica, graças a um conjunto de reacções electroquímicas de oxidação e redução⁵.

Deste modo, primeiramente é importante definição da célula como unidade electroquímica básica. O termo bateria será utilizado como um conjunto de diversas células associadas, entre si, em série e/ou em paralelo.

A implementação de baterias nos mais diversos sistemas de potência possui como principal obstáculo atingir os seguintes objectivos:

- Elevada vida útil;
- Elevada densidade energética; e
- Baixo custo.

2.5.1 Modo de funcionamento de uma bateria

Deste modo, o termo bateria pode ser simplificado a uma série de pilhas associadas entre si. A geração de energia eléctrica decorre das diversas reacções de oxidação e redução.

Aquando da utilização da bateria o material existente é alvo de uma reacção de oxidação (reductor), diminuindo a quantidade presente do mesmo. A bateria diz-se em estado descarregado quando todo o material foi oxidado. Por conseguinte, o dispositivo não tem mais capacidade para continuar a gerar corrente eléctrica (Bocchi et al., 2000).

Seguidamente, o dispositivo deve ser ligado a uma fonte externa de electricidade, sendo que a corrente eléctrica irá causar a reversibilidade das reacções de oxidação e redução. Em estado de carregamento, os níveis do componente reductor são repostos. O estado carregado é atingido quando o reductor se encontra com os níveis originais e, por conseguinte, a bateria encontra-se pronta a uma nova utilização (Carneiro et al., 2017).

2.5.2 Impacto da temperatura

As baterias de chumbo apresentam uma grande sensibilidade a variações de temperatura.

Leuchter and Bauer (2015) abordam a questão no estudo da variação da capacidade das baterias de chumbo face a diferentes níveis de temperaturas. Assim, é importante salientar que o

⁵Doravante designadas "redox"

cálculo da capacidade de uma bateria é dotado de bastante complexidade e incertezas, sendo expectável um nível de incerteza de aproximadamente 20%. Não obstante, a capacidade ideal para estas baterias é atingida quando o seu processo de descarregamento ocorre para temperaturas entre os 0° C e os 40° C. A degradação das capacidades teóricas da bateria manifesta-se para temperaturas negativas (Leuchter and Bauer, 2015), (Salkind et al., 2001).

Face ao desaconselhamento, da utilização de baterias de chumbo em ambientes extremos, por parte dos fabricantes, admite-se que as temperaturas extremas⁶ provocam uma quebra da capacidade da bateria e no seu tempo de vida útil, devido, entre outros factores, à variabilidade da sua resistência interna (Hitachi Chemical Co, 2018), (WEG, 2019), (FIAMM, 2014), (EnerSys, 2019).

Ainda sobre o impacto da variação da temperatura de operação numa característica de importância tal como a capacidade, pode esperar-se uma quebra da capacidade da bateria entre 40% (Moore et al., 2004) e 50% (Panasonic Corporation, 2013) face à capacidade teórica.

Por conseguinte, de modo a tentar contrariar a tendência crescente da quebra da capacidade com o decréscimo da temperatura de descarga da bateria, é aconselhada a diminuição da corrente de descarga (Panasonic Corporation, 2013).

Em jeito de conclusão, à priori da introdução e explicação do impacto da variação da temperatura nos processos de carregamento e descarregamento de uma bateria de chumbo admite-se que o tempo de vida útil é influenciado pelos mais diversos factores. Os próprios processos e procedimentos de carga e descarga da bateria; a tensão de cada um dos componentes que a constituem; a corrente eléctrica fornecida; e a temperatura de exposição. São estes alguns exemplos de factores manipuláveis que compõe o resultado espectável para o tempo de vida útil de uma bateria de chumbo.

2.5.2.1 Sobre o processo de descarregamento

O estudo e análise de Arvind and Senthilnath (2020) sobre a performance das baterias de chumbo conforme diferentes valores de temperatura permitiu-lhes concluir um valor para a temperatura ideal de operação (processo de descarregamento) de uma bateria de chumbo. Na ordem dos 38,37° C. No entanto, uma gama de temperaturas entre 38° C e 40° C permite cobrir a considerável diversidade de baterias existentes no mercado.

A temperatura de actuação de uma bateria tem uma importância nuclear na tomada de decisão sobre manutenção e perspectivas do tempo de vida útil. Uma série de escolhas de causa-efeito deve ser considerada quando a temperatura de descarga é diferente de 25° C⁷. Por exemplo, o aumento da temperatura de descarga proporciona uma redução significativa dos tempos de ciclo que a bateria consegue suportar, mas, por outro lado, também diminui o impacto dos processos de carregamento e descarregamento na degradação da bateria (Asgar and Urmee, 2000).

Assim, ainda devem ser consideradas outras consequências do aumento da temperatura a que uma bateria se encontra exposta, desde que estas não entrem na gama de extremos. Através do

⁶São consideradas como "*temperaturas extremas*" todas aquelas cujos valores não se encontrem entre um mínimo de -10° C e um máximo de 40° C

⁷Valor de temperatura considerado como ambiente

aumento da temperatura pode esperar-se que a própria capacidade de descarga aumente significativamente, como resultado de uma redução da queda de tensão sofrida pela bateria, como pode ser verificado pela figura 2.2 (Arvind and Senthilnath, 2020).

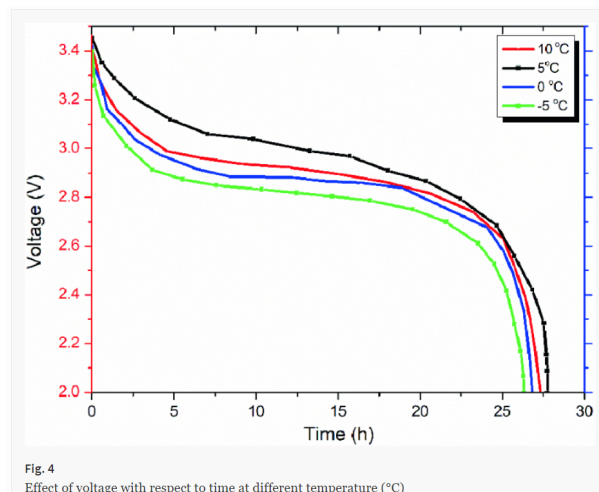


Figura 2.2: Queda de tensão sofrida por um componente, da bateria, durante o processo de descarregamento. Fonte: (Arvind and Senthilnath, 2020)

De um modo geral, pode afirmar-se que o incremento da temperatura acelera as reações químicas, traduzindo-se, assim, num melhoramento da performance da bateria. No entanto, é espectável uma diminuição do tempo de vida útil devido ao maior desgaste sofrido com as diversas sequências de carga e descarga.

Por conseguinte, o tempo de ciclo (tempo de descarga) também é afetado pelo decréscimo da temperatura. Como uma das conclusões do estudo de Gandhi et al. (2009), para uma taxa de descarga constante, ou seja, um trabalho ininterrupto, o período de descarregamento de uma bateria de chumbo diminui com o decréscimo da temperatura. Enquanto para uma temperatura ambiente de 25° C, a duração de uma descarga total aproxima-se das 5 (cinco) horas de trabalho ininterrupto. Quando exposta a uma temperatura de -40° C, a mesma medida toma valores próximos das 2,75 horas previstas de trabalho - 3,25 horas para -20° C. O modelo matemático proposto por Gandhi et al. (2009) tenta explicar esta drástica redução dos períodos de descarga a baixas temperaturas. Estudo este que assenta na base teórica em redor do ponto crítico de congelação do eletrólito⁸. A existência de um risco de congelamento do eletrólito H₂SO₄, aquando da operação a reduzidas temperaturas, acarreta cuidados e conhecimentos redobrados. O ponto de congelação do eletrólito encontra-se tabelado para -50° C. No entanto, o valor apresentado não é fixo e constante em função do estado de carga⁹ da bateria. Em função da descarga observada (e respetiva diminuição do SOC), a reação química entre o óxido de chumbo e o ácido sulfúrico (e consequente formação de sulfato de chumbo) provoca uma diminuição da concentração de eletrólito. Assim sendo, o ponto crítico de congelação altera-se para temperaturas superiores, ainda que negativas (Gandhi et al.,

⁸Admitindo que o eletrólito utilizado é o ácido sulfúrico - H₂SO₄

⁹Doravante designada "SOC", oriundo do termo "state of charge"

2009). Tendo em consideração o ponto crítico de congelação (para -20°C) como temperatura de descarga da bateria, as 3,25 horas consideradas para trabalho ininterrupto são convertidas em 5,2 horas de trabalho intermitente¹⁰.

Tal como pode ser verificado pela figura 2.3, o decréscimo da concentração de eletrólito durante o período de descarga aproxima-se de uma relação linear. A previsão de uma das variáveis deve, teoricamente, recair sobre a restante (Gandhi et al., 2009). No entanto, as baterias de chumbo a operar em temperaturas de -18°C são de chumbo-ácido do tipo seladas¹¹, o que impossibilita a medição ativa da concentração de eletrólito presente em cada uma. Ainda assim, estima-se que, para operações a -18°C , a temperatura interior dos diversos componentes se aproxime dos 4°C . Isto justifica-se devido ao calor libertado pelos componentes, durante a descarga, em consequência da ocorrência das reações de oxidação e redução (Gandhi et al., 2009).

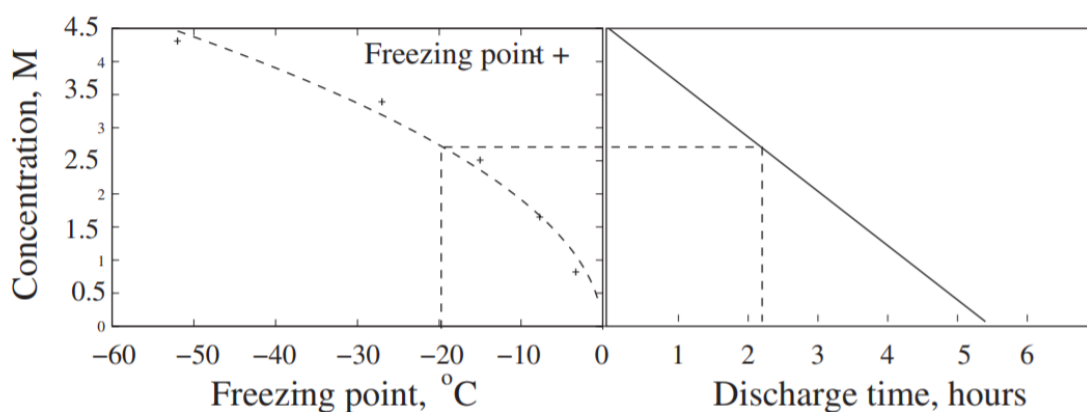


Figura 2.3: Concentração de eletrólito em função da descarga da bateria. Fonte: Gandhi et al. (2009)

Finalmente, quando sob análise de condições de descarregamento que exijam uma densidade de corrente mais elevada, é espectável que o início do processo de congelação ocorra mais cedo, em virtude da celeridade do decréscimo da concentração de eletrólito ser superior. Por sua vez, teoriza-se que o valor conseguido para a capacidade da bateria VRLA sob estudo seja inferior, tal como abordado por Gandhi et al. (2009), Salkind et al. (2001), WEG (2019), He et al. (2017), Boman (2014) e Leuchter and Bauer (2015).

2.5.2.2 Sobre o processo de carregamento

O processo de carregamento de uma qualquer bateria exige mais cuidados e atenção, comparativamente à descarga da mesma.

¹⁰Denotando que, ainda sobre o mesmo estudo, é considerado que, em média, 5 (cinco) horas de trabalho ininterrupto corresponde a 8 (oito) horas de trabalho intermitente, consideração que melhor se adequa à realidade de um empreposto comercial retalhista.

¹¹Doravante designadas "baterias VRLA", em tradução livre "valve-regulated lead-acid batteries", também classificadas como "SLA - sealed lead-acid batteries".

A literatura existente sobre o carregamento de baterias VRLA em temperaturas negativas não pode ser classificada como vasta, sendo a explicação para tal bastante simples. Os próprios fabricantes o desaconselham e não se comprometem com a garantia de uma performance de qualidade na descarga, quando as baterias são alvo de carregamento a temperaturas abaixo dos 0 °C (EnerSys, 2019) (FIAMM, 2014), (WEG, 2019), (Panasonic Corporation, 2013). Efetivamente, a operação de baterias a temperaturas extremas (e negativas) acarreta riscos, sendo, por exemplo, o próprio congelamento da bateria, um deles. Uma vez ocorrido, provoca danos irreversíveis, dado o eletrólito liquidificar-se e, por conseguinte, criar riscos de dano ao cofre¹² e possíveis fugas de eletrólito¹³ (Buchmann, 2017). Como resultado, uma diminuição da potência fornecida pela bateria, bem como uma ainda maior redução do seu tempo de ciclo.

Além disso, as temperaturas reduzidas e extremas provocam uma redução da taxa de aceitação de carregamento (Buchmann, 2017), entre 20% a 40%, devido à imediata polarização do eletrodo negativo (Sharpe and Conell, 1987).

Considerando que, num carregamento a temperatura ambiente, a energia fornecida à bateria deve ser superior¹⁴ àquela teorizada pelo fabricante, para um cenário de -20° C esta condição acarreta uma ainda maior importância (Sharpe and Conell, 1987). Embora desaconselhado, as baterias VRLA permitem o carregamento a temperaturas de congelamento (negativas e extremas). No entanto, a uma reduzida taxa de carregamento¹⁵, uma corrente de baixa intensidade e por longos períodos de tempo (Buchmann, 2017).

Não obstante, é não menos importante prestar atenção à tensão de cada um dos componentes, quando a bateria de chumbo se encontra com um SOC de 100%. Consoante a temperatura de carregamento devem ser feitas alterações ao processo, de acordo com a compensação energética necessária em virtude da variação da temperatura exposta, em relação à considerada como ambiente (25 °C) (Hitachi Chemical Co, 2018).

A tensão de carga deve acompanhar uma variação da intensidade de corrente, ambas no mesmo sentido, e contrárias à variação da temperatura (Hitachi Chemical Co, 2018). A uma temperatura de -20° C a libertação crítica de gases pode ser considerada desprezável, no entanto a tensão crítica encontra-se tabelada em 2,70 volt por componente. Desta forma, o limite da tensão de carga deve ser colocado em 2,45 volt por componente (Buchmann, 2017). Segundo indicações e no seguimento dos resultados apresentados em FIAMM (2014), para uma temperatura de -20° C a tensão fornecida deve ser 2,3643 volt por componente¹⁶. Os sistemas de carregamento mais recentes já se encontram dotados de mecanismos capazes da alteração das variáveis tensão e intensidade de corrente, em função de valores de temperatura e humidade díspares dos considerados aceitáveis (Hitachi Chemical Co, 2018), (Sharpe and Conell, 1987).

¹² Denominação atribuída à caixa que suporta os diversos componentes, que compõe a bateria.

¹³ Acontecimento classificado como muito perigoso, no sentido em que o ácido sulfúrico é corrosivo e provoca danos quando em contacto com a pele.

¹⁴ Devido à ineficácia do processo de carregamento.

¹⁵ Doravante designada "c-rate".

¹⁶ No seguimento de um quadro-resumo de tensões aconselhadas, foi produzida a reta $V = -0,0025 \cdot T(^{\circ}\text{C}) + 2,3193$.

Consequentemente, a maior eficácia do carregamento rápido está limitada para temperaturas entre os 5° C e os 45° C, sendo que os melhores resultados podem ser observados num intervalo ainda mais específico 10° C a 30° C (Buchmann, 2017), (Salkind et al., 2001).

2.5.2.3 Sobre o processo de repouso

O repouso de uma bateria apresenta-se como uma etapa fulcral para a garantia de uma boa performance. Tal como esclarecido por fabricantes e fornecedores do ramo, EnerSys (2019), Panasonic Corporation (2013), ABB (2017), Bosch (2012), WEG (2019), Hitachi Chemical Co (2018), FIAMM (2014), a bateria deve ser colocada num estado de repouso após atingir o SOC de 100% e antes de se iniciar a descarga da mesma.

Por sua vez, existem também restrições relacionadas com as condições de repouso da bateria. Por exemplo, tal como esclarecido por Salkind et al. (2001), a temperatura aconselhada para o repouso deve estar compreendida entre o intervalo de -15° C e 40° C.

Assim sendo, Salkind et al. (2001) confirma os relatos do fabricante/fornecedor ABB (2017) ao admitir que com a diminuição da temperatura aumenta o tempo que a bateria aguenta num estado de repouso, sem que a perda do SOC devido ao processo de auto-descarga¹⁷ seja significativa. A título de exemplo, a ABB (2017) relata que, para uma temperatura de 5° C, uma bateria VRLA tem a capacidade de permanecer até 19 (dezanove) meses sob um estado de repouso, sofrendo uma perda de pouco mais de 20% da capacidade devido ao processo de auto-descarga que ocorre naturalmente. Contrariamente ao ocorrido quando uma bateria semelhante permanece em repouso a uma temperatura de 40° C (considerada a temperatura ideal de carregamento). Para tal temperatura o decréscimo do SOC é 50%, em pouco mais de 6 (seis) meses.

Desta forma, conclui-se que a diminuição da temperatura de exposição da bateria VRLA diminui o efeito do processo de auto-descarga.

2.5.3 Impacto da *depth of discharge*

Tendo por base o estudo realizado por Asgar and Urmee (2000) sobre o impacto da implementação de painéis fotovoltaicos em zonas rurais, a "*depth of discharge*"¹⁸ e a temperatura de exposição das baterias de chumbo apresentam-se como factores críticos de influência sobre o tempo de vida útil e a performance de utilização.

De acordo com o mesmo estudo, o carregamento da bateria também se apresenta como um processo fulcral para o bem estar e melhor preservação das condições espectáveis de desempenho. Em consequência, a actuação sobre uma bateria deve ser o mais célere possível, quando direccionada ao seu processo de carregamento, e após concluído ou interrompido o processo de descarga.

¹⁷Processo natural e não evitável de perda de energia por parte de uma bateria, mesmo não sendo alvo de qualquer operação. Um bom exemplo é a descarga das baterias elétricas dos carros quando não são colocados a trabalhar durante algum tempo.

¹⁸Doravante designada "*DOD*", em tradução livre "*profundidade limite de descarga*".

Sobre o impacto da temperatura, pode admitir-se que o seu incremento se reflecte numa diminuição significativa do tempo de ciclo e do processo de degradação da bateria.

Como ponto de partida para a prevenção da degradação da bateria ao longo do tempo, é importante notar que a perda de água será tanto maior quanto a *SOC*.

Considerando a equação que relaciona *DOD* e *SOC*:

$$DOD = 100\% - SOC$$

pode concluir-se que sequências de descarga mais baixas proporcionam um valor mais elevado para a taxa de perda de água da bateria, ao longo do seu tempo de vida útil (Asgar and Urmee, 2000).

Contudo, o mesmo estudo de Asgar and Urmee (2000) permite também entender que a *DOD* proporciona uma trajectória contrária à sua evolução, sobre, tanto a eficiência energética da bateria, como o seu tempo médio de ciclo.

Acerca do impacto da *DOD* no bem estar da bateria VRLA, o trabalho de Salkind et al. (2001) aborda a questão. A descarga da bateria abaixo de uma taxa limite de descarga razoável, máximo 70%¹⁹, coloca em risco o bom funcionamento da mesma. Para valores de *SOC* muito baixos pode observar-se a excessiva dissolução do ácido sulfúrico na água (concentração de H₂SO₄ demasiado baixa). Assim, devido à falta de iões sulfato como condutores de corrente, a impedância na bateria apresenta valores demasiado elevados e a quantidade de corrente transmitida no seio da mesma diminui (Salkind et al., 2001). No entanto, esta situação pode ser corrigida com um longo período de carregamento e/ou elevação da tensão de carregamento, num ambiente supervisionado e a temperaturas positivas.

Por sua vez, na decisão acerca da *DOD* a ser considerada e implementada é, também, importante destacar a sua influência sobre o número de ciclos que uma bateria consegue suportar durante o seu tempo de vida útil. Abordado por Salkind et al. (2001), quanto menor a taxa de descarga a que uma bateria é sujeita, maior será o número de ciclos que a caracteriza. Através de um estudo desenvolvido pelo *Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy*, por Bindner et al. (2005), concluiu-se que o número de ciclos suportado por uma bateria VRLA pode ser estimado a partir da seguinte fórmula:

$$Throughput = Average[(E_{nom} * DOD_i) * C_{F,i}]_Y^X$$

- E_{nom} = Capacidade nominal da bateria
- DOD_i = *DOD* considerada
- $C_{F,i}$ = Número de ciclos até ocorrer uma falha para a *DOD* considerada

¹⁹Estado de carga limite apontado por fabricantes para o limite de carga que a bateria deve apresentar antes de ser direccionada para a estação de carregamento (ABB, 2017), (FIAMM, 2014), (EnerSys, 2019), (Bosch, 2012), (Hitachi Chemical Co, 2018), (Panasonic Corporation, 2013), (WEG, 2019).

Por consequência do mesmo estudo, admite-se que o número de ciclos máximo é obtido para uma *DOD* no valor de 30% (Salkind et al., 2001), (Bindner et al., 2005), (ABB, 2017). A *DOD* calculada, que maximiza o número de ciclos suportado por uma bateria VRLA implica um período de descarga curto, apenas possível de ser implementado em trabalhos com pausas muito regulares ou com intensidades de descarga baixas, de modo a equilibrar o tempo de descarga com a corrente debitada pela bateria (mantendo o valor da *c-rate*).

Através da tabela 2.2, pode verificar-se que, o fabricante EnerSys (2019), de baterias VRLA, apenas apresenta resultados até uma *DOD* de 80%. Isto justifica-se tendo em conta o valor limite de descarga apontado pelo mesmo. Sequências de descargas que atinjam um *SOC* abaixo dos 20% podem comprometer a sua recuperação integral. Segundo EnerSys (2019), apenas é possível garantir um funcionamento da bateria VRLA dentro dos parâmetros aceitáveis de performance para sequências de descargas cuja *DOD* não ultrapasse 80%. Por outro lado, o valor de 30% não apresenta o maior número de ciclos, no entanto é aquele que, através dos trabalhos desenvolvidos por Bindner et al. (2005), melhor conjuga as variáveis número de ciclos durante o tempo de vida útil, potência debitada pela bateria e tempo de ciclo.

Tabela 2.2: Número médio de ciclos conseguidos pelas baterias NexSys, segundo diferentes taxas limite de descarga. Fonte: EnerSys (2019)

<i>Depth of discharge (DOD)</i>	Número de ciclos
10%	8200
20%	4096
30%	2700
40%	2000
50%	1500
60%	1200
70%	900
80%	700

Por sua vez, o estudo desenvolvido por Salkind et al. (2001) também permite depreender que, em temperaturas negativas, a taxa de descarga entre os *SOC* 100% e 90% é significativamente superior²⁰, quando comparado com o decréscimo entre os restantes estados de *SOC*.

²⁰Por exemplo, o decréscimo do *SOC* de 100% para 90% é dotado de maior celeridade em relação ao decréscimo entre os valores de 90% e 80% - e todos os restantes *SOC*.

Capítulo 3

Descrição da situação inicial

A presente análise terá como base a realidade encontrada na secção dos congelados, do entreposto "Maia Centro", da Sonae MC, no ano de 2020.

Resumidamente, o problema de indisponibilidade de equipamentos de movimentação de carga que se enfrenta na secção dos congelados advém de 2 (dois) importantes fatores: falhas de carregamento das máquinas e menor controlo sobre os procedimentos e operações. O cenário encontrado atualmente, também denominado por "AS-IS" reflete uma permanência das máquinas (e respetivas baterias) dentro da câmara frigorífica, a uma temperatura de -18°C , em processos de carregamento, descarregamento e repouso. Assim, reflete-se, desde já, a contrariedade face ao aconselhado por fabricantes (relacionado com questões de carregamento). Adicionalmente, a não supervisão frequente das operações e aplicação de manutenção corretiva contribuem para a incerteza quanto ao estado real das baterias operantes nos congelados.

3.1 Situação inicial

3.1.1 Parque de máquinas e baterias

Atualmente a secção dos congelados do entreposto "Maia Centro" da Sonae MC, é constituída por 4 (quatro) pisos. Esta constituição proporciona o trabalho em altura. O que é justificado devido ao custo do dimensionamento de uma câmara frigorífica que permitisse operações em comprimento. Dos 4 (quatro) pisos existentes, as operações, sobre as quais é elaborado o presente projeto, correspondem aos 3 (três) pisos superiores, onde ocorre o *picking* dos produtos a serem enviados para as diversas lojas.

Deste modo, pode ser considerada a existência de 5 (cinco) tipos distintos de equipamentos operantes: porta-paletes elétricos¹, retrateis, empilhadores elétricos, *stakers*² e transpaletes.

O presente projeto focou-se na utilização dos **empilhadores elétricos**, distribuídos de forma uniforme pelos 3 (três) pisos de operações: 6 (seis) no 1º piso, 6 (seis) no 2º piso e 6 (seis) no 3º

¹Também denominados por preparadores e/ou 'PPE's pelas operações.

²Denominação atribuída aos transpaletes com capacidade elevatória.

piso. Os equipamentos em questão encontram-se equipados com baterias VRLA, de 24 volt e 250 ampere de capacidade.

3.1.2 Condições de operação

Os *pickers* operam distribuídos por 3 (três) pisos a uma temperatura de -18°C .

Deste modo, o horário de trabalho dos *pickers* nos congelados difere das restantes secções do entreposto. Como pode ser verificado pelos dados da tabela 3.1, um dia encontra-se dividido em 2 (dois) turnos. Em cada um, cada *picker* trabalha durante 6 (seis) horas no total. Tendo em conta as condições adversas, cada período consecutivo de trabalho é constituído por apenas 90 (noventa) minutos, sendo seguido, obrigatoriamente, por uma pausa. Pausa esta que pode tomar os valores de 30 (trinta), 45 (quarenta e cinco) ou 90 (noventa) minutos. Apesar do equipamento de vestuário extra que é providenciado aos *pickers* dos congelados, a sequência de período de trabalho e pausa é obrigatória de modo a assegurar as melhores condições de saúde e segurança para os mesmos. Um período inferior a 90 (noventa) minutos de trabalho teria um impacto negativo na produtividade da operação, sendo que este foi o equilíbrio encontrado. A informação presente na tabela 3.1 é respeitada de 2^a (segunda) a 6^a (sexta). No entanto, também é respeitado o primeiro turno (turno da manhã) ao sábado. Ao domingo, ninguém opera na referida secção.

Em cada um dos 3 (três) pisos da secção dos congelados existem carregadores para as baterias. A partir do piso inferior consegue contar-se 6 (seis), 6 (seis) e 6 (seis) estações de carregamento, respetivamente. Por conseguinte, as baterias nunca são colocadas fora dos veículos elétricos aos quais normalmente fornecem energia, a não ser em caso de falha.

Num cenário de ocorrência de falha a bateria terá que ser retirada manualmente do respetivo equipamento, pelo operador da oficina, e substituída por uma outra (de entre as que se encontram na reserva). Como estimador de tempo, contabiliza-se 60 (sessenta) minutos para que a operação do *picker* seja retomada. Contabilisticamente, resumindo os custos da ocorrência de uma falha, estima-se que, 60 (sessenta) minutos de interrupção de trabalho de uma bateria equivale a 120 (cento e vinte) minutos de interrupção de trabalho de um *picker* da secção sob análise.

3.1.3 Manutenção existente

Contrariamente ao aconselhado por fabricantes, as baterias são alvo do processo de carregamento à mesma temperatura extrema que realizam as operações de descarga, isto é, a -18°C .

Face a este ambiente adverso já é esperado que, tanto a capacidade como o tempo de vida útil das baterias VRLA, sejam inferiores, quando comparadas com as similares operantes nas restantes secções do entreposto.

Aplicado a este projeto de dissertação, a opção atual, para a secção dos congelados, recai sobre o recurso à manutenção corretiva. Aquando da falha de um equipamento (energizados por uma bateria VRLA), o mesmo é alvo de um processo de troca de baterias. Aqui, a bateria VRLA descarregada é retirada do equipamento, sendo substituída por uma outra totalmente carregada, de modo a que o operador possa retornar às suas funções.

Tabela 3.1: Horário diário de trabalho na secção dos congelados. Fonte própria

Turno	Horário de início	Horário de fim	Tipo
1º turno (turno da manhã)	08:00	09:30	Trabalho
	09:30	10:15	Pausa
	10:15	11:45	Trabalho
	11:45	13:15	Pausa
	13:15	14:45	Trabalho
	14:45	15:15	Pausa
	15:15	16:45	Trabalho
	16:45	17:15	Pausa e troca de turnos
2º turno (turno da tarde)	17:15	18:45	Trabalho
	18:45	19:30	Pausa
	19:30	21:00	Trabalho
	21:00	22:30	Pausa
	22:30	00:00	Trabalho
	00:00	00:30	Pausa
	00:30	02:00	Trabalho

Mais pormenorizadamente, não é feita uma verificação periódica do estado de conservação e performance das baterias VRLA. A atuação sobre as mesmas ocorre apenas aquando da ocorrência de uma falha. Aqui, a bateria VRLA é retirada da câmara frigorífica pelo operador da oficina³, sendo submetida a sequências de carga e descarga à temperatura ambiente. Este processo é uma opção dada por fabricantes/fornecedores - (EnerSys, 2019) - para avaliar a recuperação da capacidade da bateria face ao ambiente hostil em que normalmente opera.

Finalmente, a bateria na qual ocorreu a falha é colocada em operação a temperatura ambiente. Por experiência operacional, a mesma demora, aproximadamente, 2 (dois) dias a "regressar" às suas capacidades teóricas, caso não esteja completamente comprometido algum componente. Se verificado este último cenário, o componente terá que ser substituído, sob o risco de outros serem sobre descarregados durante a operação e os danos se estenderem a toda a bateria.

A política de abate e/ou descarte de uma bateria VRLA é aplicada quando verificado o insucesso em completar um ciclo de descarga de 4 (quatro) horas de trabalho intermitente. Ainda assim, a opção recai sobre a substituição dos componentes danificados e não pelo abate da bateria como um todo, justificação que assenta na diferença de custos.

Em conclusão, a manutenção existente pode ser classificada como corretiva, uma vez que, apenas após a ocorrência da falha existe a atuação sobre o ativo danificado.

³Que procede à substituição da bateria por uma de reserva.

3.1.4 Variáveis sob análise

Diversas são as variáveis e termos necessários ao projeto. Considerando a sua utilização para contextualização, definição de pressupostos ou elaboração de uma solução, a sua exposição é importante para que todo o projeto possa ser compreendido da melhor forma.

Assim, considera-se a existência de 2 (duas) classificações principais na definição das variáveis⁴. A relação primária e direta com o ambiente ou com a bateria em si define o processo de separação.

De um modo geral, nenhuma componente ambiental, de equipamentos ou mão-de-obra pode ser referida sem estas variáveis serem destacadas.

A principal caracterização do ambiente ao qual estão expostos, tanto os mais diversos colaboradores, como os equipamentos, é a temperatura de -18° C, mantida dentro da câmara frigorífica⁵. Relativamente a esta temperatura, já considerada como extrema, os períodos de trabalho são afetados e restritos a 90 (noventa) minutos. Por sua vez, a descarga das baterias, nestas condições, não incorre em contrariedade com recomendações por parte de fabricantes. No entanto, o carregamento a uma temperatura tão extrema é totalmente desaconselhado pelos mesmos, como descrito, por exemplo, por Panasonic Corporation (2013) e EnerSys (2019).

Quanto à segunda classificação que distingue as variáveis utilizadas aquando da elaboração do presente projeto, recai sobre a sua utilidade na descrição dos processos e conceitos em redor das baterias VRLA. Deste modo, incluída na mesma classificação, ainda é necessária a sua adjudicação em função do seu momento de consideração.

No seguimento lógico do processo à qual cada bateria VRLA é exposta, relacionada com a descarga do equipamento, existe a necessidade de recorrer a conceitos como: *profundidade limite de descarga*⁶, *estado de carga*⁷ e *capacidade*. Por sua vez, quando afeta ao processo de carregamento, os conceitos já enunciados não deixam de ser úteis. No entanto, surge a necessidade da inclusão de outros como: *resistência interna*, *corrente elétrica* e *tensão*. Finalmente, a avaliação da prestação e disponibilidade das baterias VRLA é descrita em redor dos termos: *desempenho*⁸, *tempo de ciclo* e *tempo de vida útil*.

3.2 Problema

Contrariamente às restantes secções do entreposto, onde existe um sistema ligado em rede e que monitoriza a utilização das máquinas e baterias, a secção dos congelados não dispõe desta monitorização, principalmente devido à temperatura mantida a -18° C. Esta temperatura limita a utilização de alguns sistemas eletrónicos de, por exemplo, monitorização ativa e em tempo real da produtividade individual dos diversos *pickers* e equipamentos que aqui operam diariamente.

⁴Não obstante a dependência entre si.

⁵Termo usado para referência a toda a secção dos congelados.

⁶Referido como *depth of discharge* ou DOD.

⁷Referido como *state of charge* ou SOC.

⁸Referido como performance.

Adicionalmente, a utilização de baterias VRLA (de carregamento rápido), também não permite a elaboração de uma perspectiva do tempo de trabalho de cada uma, uma vez que o processo de troca de bateria na oficina não acontece⁹.

Assim, e devido à impossibilidade de acesso a registos de carga (tensão, intensidade de corrente, temperatura, entre outras medições), que os próprios carregadores possam recolher acerca das baterias VRLA sobre as quais atuam, a possibilidade de previsão e conhecimento momentâneo do estado de conservação de cada uma das baterias recai sobre a informação recolhida junto dos funcionários que operam com as mesmas. Informação esta dotada de demasiada simplicidade para ser convertida, qualitativamente, em dados de previsão. Algumas questões como:

- Existiram ocorrências a registar durante o período de trabalho?
- Reparou em alguma máquina que tenha descarregado totalmente durante o período de trabalho?
- Reparou se, no início do período de trabalho, existia alguma máquina que não estivesse a carregar?

São exemplos de processos de recolha de informação no sentido de um entendimento geral sobre o estados das baterias (e consequentemente dos equipamentos) que atuam nesta secção. O presente conjunto de questões foi utilizado durante os 10 (dez) dias de levantamento de dados acerca do cumprimento das tarefas de carregamento das máquinas, por parte dos *pickers* - analisados posteriormente no capítulo 4, secção 4.2.2.5.

Por conseguinte, o controlo do estado de carregamento e descarregamento recai, exclusivamente, sobre os *pickers* dos congelados. Assim, a confiança no cumprimento de todas as suas funções é um ponto fulcral da gestão dos equipamentos. No entanto, por diversas vezes podem ser observados acontecimentos que demonstram uma incompleta consciencialização por parte destes colaboradores para a importância do cuidado a ter com os equipamentos. Mais pormenorizada-mente, é frequente o abandono dos equipamentos, durante os diversos períodos de pausa, fora dos carregadores. Deste modo, a recuperação do estado de carga da bateria VRLA não acontecerá e a sua descarga será muito superior ao previsto¹⁰, conduzindo, frequentemente, ao total descarregamento do equipamento durante o período de trabalho. Quando tal acontece, a interrupção do período de trabalho do *picker* é estimada para, aproximadamente, 60 (sessenta) minutos. Em relação à avaliação do impacto desta falha, na produtividade das operações, considera-se que 60 minutos de indisponibilidade de uma bateria/equipamento corresponde a 120 (cento e vinte) minutos de indisponibilidade do próprio colaborador¹¹.

Finalmente, contrariando as recomendações de fabricantes/fornecedores e devido à necessidade da gestão do espaço e facilidade de operações, o processo de carregamento destas baterias

⁹Nas mais restantes secções do entreposto são utilizadas, principalmente, baterias de chumbo-puro e chumbo-ácido, que carregam na oficina, depois de perfazerem um turno de 8 (oito) horas de trabalho intermitente.

¹⁰Incrementando significativamente o tempo de ciclo.

¹¹Conjunto de informações de causa-efeito cuja base/justificação remonta a considerações internas da entidade patronal.

ocorre a uma temperatura de -18°C . Situação que tem um sério impacto sobre a recuperação que a bateria VRLA consegue fazer durante as diversas sequências de carga-descarga. O carregamento a uma temperatura extrema cria condições adversas à ocorrência tão eficaz da reação electroquímica que conduz à restituição do dióxido de chumbo. Esta diminuição da reposição da matéria ativa presente nos elétrodos (positivo e negativo) tem um efeito negativo no tempo de vida útil da bateria, diminuído face ao inicialmente previsto.

3.3 Objectivos do projeto

Na presente secção encontram-se expostos, sem ordem de prioridade, os objetivos concretos (e uma breve descrição) que se pretendem alcançar com a proposta de Dissertação de Mestrado. Todas as tarefas foram idealizadas no sentido de simplificar a atuação e as tarefas dos diversos funcionários, minimizando a possibilidade de erros humanos¹².

Em contraste com a situação atual, a manutenção preventiva pode consistir como uma opção viável para este projeto de dissertação. Maior controlo e gestão da disponibilidade dos equipamentos. Estes são alguns fatores que, superficialmente, seriam tidos como possíveis ganhos caso uma estratégia de manutenção preventiva sobre as baterias VRLA fosse colocada em prática. Ainda numa perspetiva geral, neste caso, o ganho em termos de produtividade é facilmente previsível. Uma vez diminuída a paragem dos equipamentos devido a falhas da bateria, maior celeridade terão as operações e maior disponibilidade poderá ser dada aos equipamentos alocados à "*reserva*" para este tipo de cenários.

No caso em mãos, a manutenção preditiva seria, também, uma medida razoável e viável de ser aplicada. Especulação do tempo de vida útil das baterias face aos diversos ciclos de carga e descarga de que são alvos e a sua troca no momento previsto de decaimento de performance. Estes são alguns exemplos de medidas racionais que se apresentam como soluções para a implementação de um plano baseado nos princípios da manutenção preditiva. Respetivamente, a previsão da falha (devido ao fim do tempo de vida útil do ativo); e a atuação sobre o mesmo de modo a criar o mínimo distúrbio sobre as operações e manter os índices de desempenho e produtividade.

3.3.1 Estratégia de consciencialização

A colocação das máquinas sob o processo de carregamento é fulcral para a garantia de uma performance segundo os parâmetros esperados.

O não carregamento durante uma pausa tem impacto na performance nos restantes tempos de trabalho e, por vezes, no turno seguinte. Assim, e com o objetivo de assegurar o maior tempo de vida útil dentro das condições extremas à qual exposta, a bateria tem que ser colocada à carga durante todas as pausas.

¹²Aplicação do princípio K.I.S.S. - "*Keep It Simple, Sam*".

Posto isto, justifica-se a delineação de estratégias de consciencialização da importância do processo de carregamento: não apenas para assegurar um bom estado da máquina, sob a qual os *pickers* irão trabalhar, mas também melhorar a produtividade do tempo de trabalho destes últimos.

E incrementa a produtividade geral do *picking* nos congelados.

3.3.2 Rotina de supervisão

Inicialmente, com a perspetiva pessimista do insucesso da estratégia de consciencialização dos *pickers*, caberá ao chefe de equipa dos congelados a supervisão do carregamento das baterias.

Para tal, no início de cada pausa, deve ser feita uma "ronda" de supervisão sobre os 3 (três) pisos que perfazem a secção dos congelados com o intuito de colocar sob o processo de carregamento todas as máquinas que não cumprirem esta obrigação. Prevê-se a alocação de 5 (cinco) minutos, por pausa para a realização de tal tarefa.

O referido plano prevê que, gradualmente, esta rotina deixe de ser necessária, devido ao alcance de sucesso na consciencialização dos *pickers* para a importância do carregamento das máquinas.

3.3.3 Rotina de medição de tensão

A medição da tensão de cada componente que compõe uma bateria é a forma mais fidedigna e direta de apurar sobre o estado em que a mesma se encontra.

Deste modo, defina-se a rotação "frio-quente" como a estratégia de movimentação cíclica dos diversos equipamentos entre as operações nos congelados e a temperatura ambiente¹³. Aquando da ocorrência da mesma, as baterias alvo serão submetidas a medições da tensão de cada um dos seus componentes. Primeiramente, após serem movidas para fora da câmara frigorífica (a -18° C), recai sobre o eletricista medir a tensão de cada um dos componentes das baterias a serem submetidas ao processo de rotação "frio-quente". Seguidamente, após um período de carregamento de 30 (trinta) minutos a 1 (uma) hora, recairá, novamente, ao eletricista a tarefa de medir os mesmos componentes. Objetivamente a recuperação das tensão das baterias com o processo de carregamento poderá ser avaliada, de modo a poder-se apurar o estado das mesmas.

Finalmente, antes de voltarem a ser introduzidas na câmara frigorífica, o mesmo processo será repetido, garantindo-se, desta forma, que todas as baterias presentes dentro da secção dos congelados se encontram em bom estado e cumprem os parâmetros considerados como aceitáveis para operarem.

3.3.4 Interface de registo das medições

O registo das medições feitas pelo eletricista será efetuado numa interface criada, de modo a que a análise dos dados recolhidos possa ser feita no imediato.

Caso os valores apresentados não cumpram com os requisitos mínimos exigidos, o algoritmo desenvolvido enviará uma notificação sob a forma de um alarme para a equipa de manutenção,

¹³Movimentação das baterias de um ambiente de operação a -18° C para um ambiente de operação a 25° C.

sinalizando que um ou mais componentes precisam de ser alvo de troca sob pena de comprometer os restantes e, em último caso, toda a bateria.

3.3.5 Calendarização da rotação das baterias

O grande objetivo de rotação "frio-quente" recai sobre uma "peça" fundamental, o operador da oficina, que, por sua vez, terá a tarefa de, segundo indicação, retirar as baterias da câmara frigorífica, e colocá-las em operação no ambiente a 25° C.

Assim, um sistema de identificação¹⁴ será atribuído a cada intervalo de tempo e o mesmo será colocado nas baterias que, nesse período, devem ser alvo do processo de rotação "frio-quente". Em simultâneo, as baterias não sinalizadas para esse período deverão ser colocadas, também, fora da câmara frigorífica, de modo a iniciar um processo de repouso¹⁵.

Após o período de operação a 25° C recairá, ainda, sobre o operador da oficina, a tarefa de voltar a colocar as baterias alvo na câmara frigorífica, de forma a que o processo de rotação "frio-quente" possa ser reiniciado.

3.3.6 Função custo-benefício

Para qualquer proposta de alteração à realidade, a função custo-benefício deve ser elaborada de modo a que possa ser depreendido quanto irá custar a implementação de cada alteração e qual o ganho, seja para os funcionários, seja para a empresa. Assim, serão contabilizados custos como:

- Custo de aquisição do número de baterias necessário;
- Custo de aquisição de um componente da bateria;
- Custo do tempo extra ocupado aos diversos colaboradores intervenientes.

Ainda assim, será também apresentado o custo de oportunidade enfrentado pela entidade caso a decisão seja a não implementação da proposta de resolução aconselhada. Sabendo que a disponibilidade de um equipamento se encontra diretamente relacionado com a sua colocação sob um estado de carregamento, o valor associado ao custo de oportunidade é, também ele, variável, em função da decisão de cada *picker*.

¹⁴Sistema este que recairá sobre uma cor e uma letra. A utilização da letra em conjunto com a cor precavê a existência de colaboradores com daltonismo. Desta forma, em qualquer circunstância uma bateria pode ser associada ao respetivo grupo que integra.

¹⁵Processo este também importante para a recuperação da bateria face às condições adversas de operação.

Capítulo 4

Metodologia e solução proposta

4.1 Pressupostos

No desenvolvimento do presente projeto, foi necessário definir diversos pressupostos, cuja necessidade e utilidade prendem-se com a suposição de diversas características das baterias e procedimentos considerados como válidos e credíveis. Seguidamente identificam-se esses pressupostos, bem como, a sua explicação e fundamentação teórica/literária, sob os quais o projeto se baseou.

4.1.1 Relativos às baterias

Na relação entre as características de originais das baterias VRLA e a temperatura de -18°C , admite-se que:

1. As baterias VRLA, sob análise, são constituídas, cada uma, por 12 (doze) componentes, responsáveis pelo armazenamento de energia;
2. No início do processo de descarregamento, os diversos componentes que compõem as baterias VRLA apresentam uma tensão de 2,2 volt;
3. A capacidade teórica das baterias VRLA consideradas é 250 ampere;
4. Quando exposta a uma temperatura de -18°C , a capacidade da bateria representa apenas 50% do seu valor teórico;
5. Para uma temperatura de descarga de -18°C , foi considerado que a bateria VRLA descarrega totalmente em 3,25 horas de trabalho ininterrupto, equivalente a 5,2 horas de trabalho intermitente;
6. O descarregamento entre estados de carga de 100% e 90%, ocorre com maior celeridade; considerando-se uma taxa de descarga 2 (duas) vezes superior à observável para qualquer descarregamento abaixo dos 90% de estado de carga;

7. Todas as baterias consideradas são dotadas de sistemas que permitem o carregamento rápido, a uma taxa de recuperação do estado de carga no valor de 1% por minuto de carregamento;
8. A taxa de aceitação de carregamento, quando a bateria é exposta a este processo a uma temperatura de -18°C , é de 90%;
9. O processo de repouso não provoca um decréscimo significativo no estado de carga da bateria VRLA, pelo que o seu impacto não foi considerado.
10. O tempo de vida útil pode ser calculado através da multiplicação das seguintes variáveis: *potência*, *profundidade limite de descarga (DOD)* e o *número de ciclos teórico até à próxima falha*;

4.1.1.1 Sustentação teórica e verificação prática

O pressuposto enunciado em 1 reflete a definição já referida de bateria no capítulo 2, pelo que se dispensa uma explicação mais aprofundada.

Tal como refiro por Buchmann (2017), a tensão de um componente não deve exceder determinados valores, sob o risco de o danificar permanentemente (e comprometer todo o sistema). O valor máximo de 2,97 volt por componente, proposto por Buchmann, estabelece um limite aceitável para a confirmação do pressuposto 2. Ainda assim, o valor de 2,2 volt encontra-se abaixo do indicado pelos fabricantes FIAMM e WEG - respetivamente, 2,3643 volt¹ e 2,3990 volt². Apesar de o pressuposto 2 remeter para um valor inferior, a compensação energética necessária, face à temperatura, é suficiente para compensar esta limitação presente nos carregadores disponíveis no teatro de operações.

A capacidade das baterias é uma especificação inalterável. Assim sendo, considerou-se que todas as baterias incluídas neste projeto são dotadas de uma capacidade de 250 ampere, como referido em 3. A escolha deste valor justifica-se pelas especificações das baterias VRLA recentemente adquiridas e colocadas em operação na secção dos congelados. No entanto, tal como referenciado por fabricantes, a capacidade teórica não corresponde à capacidade real, quando a temperatura é de -18°C . Assim, numa perspetiva conservadora, considerou-se o pressuposto 4, tendo indicações de quebras de capacidade valorizadas em 43%³ em WEG (2019) e, aproximadamente, 50% em Panasonic Corporation (2013).

Por sua vez, na mesma secção, as operações não são contínuas. Face à diversidade de tarefas realizadas pelos *pickers*, o trabalho das baterias VRLA deve ser classificado como intermitente.

¹Valor calculado através da fórmula indicada pelo fabricante FIAMM: $V = -0.0025 * T(C) + 2.3193$; onde V e $T(C)$ representam, respetivamente, a tensão de cada componente e a temperatura a ser considerada.

²Valor calculado através da fórmula indicada pelo fabricante WEG: $V = [2,27 - 0,003 * (T(C) - 25)] * n$; onde V , n e $T(C)$ representam, respetivamente, a tensão total do sistema, a temperatura a ser considerada e o número de componentes.

³Valor calculado através da fórmula indicada pelo fabricante WEG: $C = C_{25} * [1 + k * (T(C) - 25)]$; onde C , C_{25} , k e $T(C)$ representam, respetivamente, a capacidade à temperatura considerada, a capacidade à temperatura de 25°C , o coeficiente de compensação face à temperatura - 0.0010, e a temperatura considerada.

Por conseguinte, e confirmando o pressuposto 5, Gandhi et al. concluem, nas suas investigações, que 5 horas de trabalho ininterrupto/contínuo correspondem a 8 horas de trabalho intermitente. Assim, as experimentações divergiram, também, para a descarga contínua a temperaturas extremas e negativas, -20°C , concluindo uma duração de 3,25 horas quando utilizada uma bateria VRLA⁴.

Adicionalmente, existem ainda outros aspetos influenciados pela temperatura extrema: o descarregamento e o carregamento das baterias, por exemplo.

Baseado no trabalho desenvolvido em Pascoe and Sirisena (2002), foi admitido o pressuposto 6 devido à ocorrência de um fenómeno ainda pouco estudado: no início do processo de descarregamento, durante um período de tempo muito curto, a tensão da bateria decresce rápida e drasticamente. A chamada "*Coup de Fouet*", como pode ser observado em pela figura A.2, apresentada em anexo.

Relativamente ao processo de carregamento, e aos pressupostos 7 e 8, todas as baterias VRLA operantes na secção dos congelados são consideradas, neste projeto, de carregamento rápido. Isto justifica-se pela simplicidade que proporciona na análise da situação inicial. Em relação à taxa de aceitação, referido em Sharpe and Conell (1987) os estudos apontam para um défice desta variável entre 20% a 40%, para uma temperatura de -20°C . Em concordância com a realidade encontrada, foi estipulado um valor de 90% face ao teórico, numa perspetiva conservadora, mas não demasiado pessimista.

Ainda assim, a utilização do pressuposto 9 deve-se à insignificância do decréscimo do estado de carga da bateria VRLA quando submetida a repouso durante uma curta duração. A realidade corrobora com a escrita de Salkind et al. (2001) e com os conselhos de diversos fabricantes, por exemplo WEG, FIAMM e Panasonic Corporation. A não utilização das baterias durante um período de tempo considerável diminui o seu estado de carga. No entanto, neste caso a bateria está, no máximo, exposta a 36 (trinta e seis) horas de repouso. Logo, o consequente decréscimo do estado de carga não é significativo.

Por fim, a explicação para a utilização do pressuposto 10, encontra-se exposta em 2.5.3.

4.1.2 Relativos aos processos e procedimentos

Para além de pressupostos acerca das baterias VRLA, referentes aos processos e procedimentos realizados durante o estudo do projeto e com vista à implementação e manutenção do mesmo, admite-se que:

1. Na avaliação da situação inicial:

- (a) A decisão de colocar a bateria VRLA à carga, no início de cada pausa, segue uma distribuição binomial.

2. Na proposta final:

⁴Não obstante a diferença de 2°C entre a mesma variável ambiental (a temperatura), com vista à simplicidade da situação inicial, as conclusões da referida investigação foram consideradas como válidas neste caso. Fica anotada a fragilidade.

- (a) Cada bateria VRLA a operar na secção dos congelados, é colocada sob o processo de carregamento no início de todas as pausas;
- (b) A calendarização é cumprida escrupulosamente, por todos os intervenientes;
- (c) Aquando do início da implementação, todas as baterias VRLA são novas com 0% de utilização e 0% de desgaste;
- (d) A carga de trabalho a que uma bateria VRLA é submetido dentro e fora da secção dos congelados, é idêntica.
- (e) Convencionou-se neste estudo que o custo total de remuneração de cada colaborador, nesta secção, é de 1.400 EUR/ mensais, indistintamente do posto/função que praticam.

4.1.2.1 Sustentação teórica e verificação prática

Tal como já referido em 3, na exposição da situação inicial existe uma diferença entre o turno associado aos *pickers* dos congelados, dos restantes. Assim, no final de cada 90 (noventa) minutos de trabalho consecutivo, cabe ao *picker* a tarefa de colocar o equipamento que opera na estação de carregamento, para que a bateria possa recuperar algum estado de carga durante a pausa. No entanto, o pressuposto 1a, atrás referido, é considerado pelos seguintes motivos:

- Pela dualidade de resultados possíveis, considerou-se a decisão de colocar o equipamento à carga como a descrição da experiência e, sobre a mesma, apenas existem 2 resultados possíveis: colocar/não colocar à carga, sucesso/insucesso, respetivamente;
- Pela simplificação do tratamento inicial dos dados, considerou-se que a probabilidade da ocorrência de sucesso ou insucesso se mantém inalterada de experiência para experiência. Por outras palavras, a decisão de colocar a bateria à carga não é afetada pela decisão feita na pausa anterior. Esta decisão justifica-se tendo em conta o pensamento de cuidado para com os ativos da empresa demonstrada pelos coladores em questão - tal como referido em 3;
- Pela aleatoriedade do resultado, considerou-se o resultado dependente da decisão tomada pelo *picker*, no fim do período de trabalho. O levantamento do número de baterias que, por pausa (e em cada turno) não são colocadas sob o processo de carregamento acusou demasiada dispersão dos resultados, inviabilizando a previsão concreta do referido resultado.

Por outro lado, quanto aos procedimentos que irão ser propostos mais à frente, os admitidos em 2a, 2b, 2c, 2d, 2e apresentam-se como algo intuitivos e comuns. No entanto, fulcrais para a boa implementação e manutenção do que é aqui proposto.

Por indicação do fabricante, neste caso EnerSys, as baterias atualmente utilizadas não necessitam de qualquer manutenção⁵. Por conseguinte, a única possibilidade de falha recai sobre a insuficiência do estado de carga. Assim, admitir-se que todas as pausas de trabalho são utilizadas para o carregamento das baterias (como descrito em 2a) permite estimar o tempo de vida útil da bateria, garantido o bom desempenho das mesmas aquando das operações.

⁵Referente à reposição dos níveis de água e/ou ácido sulfúrico.

Relativamente ao pressuposto 2b nenhuma justificação ou argumentação será descrita, devido à lógica adjacente ao mesmo.

Por sua vez, quanto ao desgaste e utilização, respetivamente, pressupostos 2c e 2d, a previsão do tempo de vida útil apenas pode ser realizada, com eficácia, aquando da utilização de baterias VRLA novas⁶. Quanto às operações a -18° C e 25° C, a máxima semelhança possível permite uma estimativa do desgaste⁷.

Finalmente, o custo para a empresa admitido em 2e, é referente ao valor médio despendido com remuneração mensal de cada colaborador operante do entreposto.

4.2 Procedimentos e etapas

Com vista à apresentação de uma solução para o problema foi necessário delinear uma estratégia de investigação, estudo e resolução. Seguidamente são expostas as diferentes etapas sobre as quais se focou o plano definido, não sendo contabilizado o tempo despendido em investigação literária.

1. Definição das zonas operacionais;
2. Variação temporal do estado de carga:
 - (a) Função de descarregamento;
 - (b) Função de carregamento;
 - (c) Cenário ideal de carga-descarga;
 - (d) Tempo de vida útil;
 - (e) Cenários com falhas de carregamento;
 - (f) Gráficos demonstrativos da evolução do estado de carga;
3. Calendário de operações;
4. Função de custos:
 - (a) Tarefas executadas pelos colaboradores;
 - (b) Descrição e exposição dos custos;
5. Quadro-resumo "Modelo-Custo".

⁶Isto deve-se à ausência de registos quanto à utilização e desgaste dos equipamentos operantes a uma temperatura de -18° C, o que impossibilita a previsão do tempo de vida útil restante.

⁷As baterias VRLA não são colocadas sob o processo de carregamento na oficina. Devido ao facto de as estações de carregamento se encontrarem espalhadas pelo entreposto e da ausência de recolha ativa de dados, não é possível medir a utilização e desgaste, apenas fazer uma previsão.

4.2.1 Definição das zonas operacionais

Na realidade encontrada, as baterias VRLA operam em 2 (duas) zonas distintas. Admitindo que o principal fator diferenciador de ambas é a temperatura, a terminologia a utilizar para descrever e referenciar cada uma seguirá o mesmo critério. Assim sendo, considera-se a existência da zona "*ambiente*"⁸ e da zona "*congelados*"⁹. Para além da temperatura outras diferenças podem ser salientadas, como por exemplo, a dispersão das estações de carregamento pela zona de operações. Em "*ambiente*", o equipamento de carga (onde a bateria VRLA atua) é obrigado a percorrer uma maior distância para alcançar a zona de carregamento, razão pela qual a distância deve ser considerada caso o equipamento em questão se apresente com um diminuto estado de carga aquando das operações.

Deste modo, com vista à simplificação e possibilidade de comparação das diferentes zonas, foi definido o pressuposto 2d (relativo aos processos e procedimentos). Por outras palavras, o mesmo horário de trabalho é cumprido em ambas as zonas.

Note-se que, por exigência de algumas estratégias/soluções, foi considerada a existência de uma terceira zona, a zona de "*repouso*", a qual não pressupõe a existência de quaisquer operações laborais, nem processos de carregamento e/ou descarregamento. Esta zona apenas tem como função proporcionar um espaço de repouso para as baterias VRLA, entre os -18° C e os 25° C. Fisicamente, a zona de "*repouso*" corresponde ao espaço que antecede a entrada para a câmara frigorífica (que caracteriza a zona dos congelados).

4.2.2 Variação temporal do estado de carga

O *SOC* das baterias VRLA é variável ao longo do dia. Em função da utilização e da recuperação que lhe é permitida, o *SOC* depende de 2 (dois) fatores: o carregamento e descarregamento da bateria. Tal como expresso anteriormente, a utilização de uma bateria VRLA sem o subsequente carregamento levará a consequências não benéficas. Tal como sugerido por alguns fabricantes (p.e. EnerSys e Panasonic Corporation), a descarga de uma bateria VRLA não deve alcançar valores superiores a 70%. Por outras palavras, o limite de descarga pretendido impõe um limite no *SOC* para 30%. Quaisquer valores inferiores significam uma *DOD* superior a 70%, o que pode causar danos irreversíveis à bateria e um severo impacto sobre o seu tempo de vida útil, tal como uma diminuição na capacidade de recuperar até *SOC* de 100%.

4.2.2.1 Função de descarregamento

Com vista à previsão da descarga enfrentada por cada bateria VRLA em cada um dos períodos de 90 (noventa) minutos de trabalho intermitente, é necessário considerar pressupostos já expostos anteriormente: 5 (cinco) para o tempo conseguido em descarga total intermitente e 6 (seis) para o diferencial de descarga entre o intervalo de *SOC* 100% - 90%. Assim sendo admite-se que:

⁸Assim designada em detrimento da temperatura à qual as diversas baterias se encontram expostas - 25C - durante os processos de descarregamento e carregamento.

⁹Assim designada em detrimento da temperatura à qual as diversas baterias se encontram expostas - -18C - durante os processos de descarregamento e carregamento.

- O tempo de descarga total intermitente são 312 minutos;
- Entre o SOC de 100% e 90%, a bateria VRLA descarrega 1% em 1,56 minutos¹⁰

Como pode ser verificado pela tabela 4.1, 5 (cinco) são as variáveis necessárias para definir a função de descarregamento seguidamente exposta:

Para $SOC_i = 100\%$:

$$SOC_f = SOC_i - (SOC_i - 90\%) + \frac{((T_o - ((SOC_i - 90\%) * ((1\% * T_d) / 100\%) / M_d) * 100)) / (T_d * 1\% / 100\%))}{100} \quad (4.1)$$

Para $SOC_i \neq 100\%$:

$$SOC_f = SOC_i - ((T_o) / ((T_d * 1\%) / 100\%)) / 100 \quad (4.2)$$

Tabela 4.1: Variáveis a considerar na função de descarregamento.

SOC inicial (%)	SOC_i	-
SOC final (%)	SOC_f	-
Tempo da operação (minutos)	T_o	90
Multiplicador para a taxa descarga entre 100% e 90%	M_d	2,00
Tempo de descarga total intermitente (minutos)	T_d	312

4.2.2.2 Função de carregamento

Uma vez definida a função de descarregamento, é igualmente necessária a dedução da função que permite a previsão do montante de SOC que uma bateria VRLA, nas condições descritas, consegue recuperar, para um dado período de carregamento. Considerando o já descrito nos pressupostos 7 e 8 referentes às taxas de, respetivamente, carregamento por minuto¹¹ e aceitação de carga¹² e as variáveis descritas na tabela 4.2, a função de carregamento pode ser definida por:

$$SOC_f = SOC_i + (T_o * T_c * T_a) \quad (4.3)$$

¹⁰Considerando o pressuposto 5 e a respetiva explicação, uma descarga total contínua, a -18°C , ocorre em 3,25 horas. Quando analisada a descarga total intermitente considera-se a ocorrência em 5,2 horas, ou seja, 312 minutos. A duplicação da taxa de descarga, devido ao início em 100% de SOC , permite obter um decréscimo de 1% a cada 1,56 minutos.

¹¹Por outras palavras, a SOC que a bateria VRLA consegue recuperar por minuto de carregamento.

¹²Como já referido o processo de carregamento é ineficiente, sendo esta característica ainda mais importante quando o mesmo ocorre a temperaturas extremas, neste caso, -18°C .

Tabela 4.2: Variáveis a considerar na função de carregamento.

SOC inicial (%)	SOC_i	-
SOC final (%)	SOC_f	-
Tempo da operação (minutos)	T_o	30, 45 ou 90
Taxa de carregamento (%/minuto)	T_c	1,00
Taxa de aceitação de carregamento (%)	T_a	90

4.2.2.3 Cenário ideal de carga-descarga

Tendo em conta a definição das funções que permitem prever a variação do *SOC* ao longo de um turno, segundo o pressuposto definido em 2a, o cenário ideal de carga-descarga de uma bateria VRLA, nas presentes condições, pode ser delineado.

Através da visualização da figura 4.1, denotam-se diversas características deste cenário que vão de encontro, não apenas com às orientações de fabricantes, mas também às exigências da própria organização. Assim, através da variação calculada de *SOC*, num cenário ideal¹³, podem ser retiradas as seguintes conclusões:

1. O carregamento da bateria VRLA, durante as pausas, permite a recuperação para níveis de *SOC* superiores a 90%;
2. O nível mais baixo de *SOC* alcançado, durante 2 turnos consecutivos¹⁴ é de 62,46%, correspondente a uma *DOD* valorizada em 37,54%, claramente inferior ao limite máximo de 70% a 80% exigido; e
3. Não está prevista a ocorrência de qualquer falha para a bateria VRLA, devido a insuficiência de *SOC*.

	Início		Tempo do processo		Fim		Processo	Cenário 1		
troca turnos	8:00 AM	-	1:30	-	9:30 AM	90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%
	9:30 AM	-	0:45	-	10:15 AM	45	Charge	Sim	66,15%	100,00%
	10:15 AM	-	1:30	-	11:45 AM	90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%
	11:45 AM	-	1:30	-	1:15 PM	90	Charge	Sim	66,15%	100,00%
	1:15 PM	-	1:30	-	2:45 PM	90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%
	2:45 PM	-	0:30	-	3:15 PM	30	Charge	Sim	66,15%	93,15%
	3:15 PM	-	1:30	-	4:45 PM	90	Discharge	Sim	93,15%	64,31%
	4:45 PM	-	0:30	-	5:15 PM	30	Charge	Sim	64,31%	91,31%
	5:15 PM	-	1:30	-	6:45 PM	90	Discharge	Sim	91,31%	62,46%
	6:45 PM	-	0:45	-	7:30 PM	45	Charge	Sim	62,46%	100,00%
	7:30 PM	-	1:30	-	9:00 PM	90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%
	9:00 PM	-	1:30	-	10:30 PM	90	Charge	Sim	66,15%	100,00%
	10:30 PM	-	1:30	-	12:00 AM	90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%
	12:00 AM	-	0:30	-	12:30 AM	30	Charge	Sim	66,15%	93,15%
	12:30 AM	-	1:30	-	2:00 AM	90	Discharge	Sim	93,15%	64,31%

Figura 4.1: Variação do estado de carga da bateria VRLA, num cenário sem qualquer falha de carregamento, durante um dia de trabalho. Fonte própria

¹³Mas mantendo as condições adversas do meio, por exemplo, a temperatura de -18° C.

¹⁴Por outras palavras, um dia de trabalho.

4.2.2.4 Tempo de vida útil

Por conseguinte, uma vez calculada a variação de *SOC* de uma bateria VRLA ao longo de um dia de trabalho, faz sentido a tentativa de previsão do seu tempo de vida útil.

Deste modo, o primeiro passo recai sobre o cálculo do desgaste/utilização sofrido pela bateria a cada dia de trabalho. Assim que o desgaste/utilização acumulado tome o valor de 100%, considera-se que a bateria alcançou o seu tempo de vida útil expectado. A seguinte previsão foi realizada com recurso ao cenário formulado e exposto na figura 4.1, à dedução matemática proposta por Bindner et al. (2005) (apresentada no capítulo 2) e às restrições da capacidade da bateria admitidas em 50% (como admitido e justificado pelo pressuposto 4, e baseado em WEG (2019) e Panasonic Corporation (2013)).

Os dados e respetivo gráfico presentes na figura A.3 (apresentados em anexo) traduzem a expectativa de ciclos que uma bateria consegue enfrentar durante o seu tempo de vida útil. De salientar que, os mesmos dados, são o resultado da fórmula matemática indicada em Bindner et al. (2005):

$$Throughput = Average[(E_{nom} * DOD_i) * C_{F,i}]_Y^X \quad (4.4)$$

Com a restrição da capacidade de 50%:

$$E_{nom} = (E_{teo} * F_{red} * N_c * V_c) / 1000 \quad (4.5)$$

E_{nom} :	Capacidade nominal da bateria
DOD_i :	DOD considerada
$C_{F,i}$:	Número de ciclos até ocorrer uma falha para a DOD considerada
E_{teo} :	Capacidade teórica da bateria
F_{red} :	Fator de redução da capacidade da bateria devido à temperatura (50%)
N_c :	Número de componentes que compõe a bateria (12)
V_c :	Tensão inicial de cada componente (2,2 V)

De forma a confirmar os resultados, a não inclusão da redução da capacidade duplica os dados obtidos. De notar que, o fabricante EnerSys, afirma um tempo de vida útil entre 5.000 a 6.000 ciclos à temperatura ambiente, para as baterias VRLA que fornece à organização. Assim, os resultados calculados permitem suportar as informações providenciadas por fabricantes das próprias baterias.

Por conseguinte, através do cálculo da *DOD* ocorrida em cada período de descarregamento, é possível estimar o tempo de vida útil de cada bateria VRLA, em função da sua utilização. Para tal, considera-se que, em cada turno, cada bateria sofre 4 (quatro) ciclos de descarga. Isto justifica-se pela sequência operações de descarregamento e carregamento ocorridas em cada turno.

Tal como pode ser verificado, por exemplo, pela figura A.19, apresentada em anexo, para cada ciclo de descarga é associada um número de ciclos¹⁵. Seguidamente, a divisão da unidade

¹⁵Número este que se concretizaria caso a presente bateria perfizesse sempre ciclos de descarga com a referida *DOD*.

pelo mesmo número confere uma perspectiva do desgaste/utilização que a bateria sofreu devido ao respetivo processo de descarregamento.

Finalmente, o somatório das diversas descargas conferem um valor para o desgaste/utilização diário e/ou por turno.

Ainda na figura A.19 pode ser realçado o diferencial de desgaste sofrido pela bateria VRLA aquando da operação nos congelados, a -18°C , ou a temperatura ambiente, a 25°C . O valor pode ser admitido como o dobro quando comparado o "*frio*" com o "*quente*".

A título de exemplo, ainda sobre a figura A.19, a utilização semanal exemplificada¹⁶ permite à bateria VRLA um tempo de vida útil de aproximadamente 383 dias.

4.2.2.5 Cenários com falhas de carregamento

Uma das tarefas dos *pickers* dos congelados é colocar os equipamentos de carga nas estações de carregamento, no fim de cada período de trabalho (antes das diversas pausas). No entanto, tal como é descrito no capítulo 3, a situação atual não corrobora o total cumprimento das tarefas. Apesar de, uma qualquer proposta desenvolvida para a melhoria da disponibilidade de equipamentos de carga ter que assumir o descrito no pressuposto 2a, a realidade assim não o comprova. Por conseguinte, torna-se necessário o desenvolvimento de cenários que possam proporcionar a visualização das consequências aquando do incumprimento das tarefas. Nomeadamente o cenário que permite a regularidade no processo de carregamento das baterias VRLA, a atuar, não apenas nos congelados, mas também em ambiente.

Com vista à elaboração de tais cenários - traduções matemáticas e ilustrativas de falhas no cumprimento da tarefa de deixar a máquina a carregar antes de cada pausa de trabalho, foi considerado o já admitido no pressuposto 1a (a decisão de colocar a máquina à carga, no fim de cada período de trabalho, segue uma distribuição binomial). Tendo em conta os 7 (sete) momentos diários de decisão (considerando um dia de trabalho, ou seja, dois turnos consecutivos) e a dualidade do resultado, foram elaborados 128 ($2^7 = 128$) cenários¹⁷. Para a aplicação da distribuição binomial, considerou-se a probabilidade de sucesso 75%¹⁸. Assim, depreende-se a seguinte informação:

Tabela 4.3: Probabilidades de uma bateria VRLA não ser colocada à carga n vezes, por dia. Fonte própria

N =	0	1	2	3	4	5	6	7
Probabilidade:	13,35%	31,15%	31,15%	17,30%	5,77%	1,15%	0,13%	0,01%

Não existe qualquer informação relativa à probabilidade de uma bateria não ser carregada 8 (oito) vezes durante um dia, uma vez que, no final do último período de trabalho diário, todas as máquinas são sempre colocadas sobre o processo de carregamento. Ainda sobre a tabela 4.3, pode

¹⁶Correspondente a 5 (cinco) dias e meio de operações a -18°C e 1 (um) dia e meio de operações a 25°C .

¹⁷Cenários de colocação/não colocação de uma máquina à carga, no fim de cada período de trabalho.

¹⁸Uma prespetiva bastante otimista, inclusive considerada demasiado otimista, segundo indicações de colaboradores.

observar-se que a probabilidade duma bateria ser sempre colocada a carregar durante um dia de trabalho é inferior à de não ser colocada 1 (uma), 2 (duas) e 3 (três) vezes.

Assim, torna-se importante a elaboração dos tais cenários que incluem falhas no cumprimento da tarefa de colocar a máquina a carregar e a averguação da hipótese de o número de decisões erradas¹⁹ seguir uma distribuição normal.

Face à averguação da normalidade dos dados esta foi rejeitada, tal como pode ser verificado pela figura A.7 (presente em anexo). O número de vezes que um *picker* erra na sua decisão não aparenta seguir uma distribuição normal.

Adicionalmente, foi estudada a possibilidade de observações recolhidas, ainda sobre a mesma situação, seguirem uma distribuição de *Poisson*. Decorrente dos 10²⁰ (dez) dias de observações (na qual se encontram os resultados das questões indicadas no capítulo 3, secção 3.2), acerca da quantidade de máquinas não colocadas à carga no final de cada período de trabalho, foi estimada a probabilidade das mesmas serem sempre colocadas sobre um processo de carregamento. O processo encontra-se presente em anexo na figura A.4. Como pode ser observado, estima-se que a probabilidade de não encontrar nenhum equipamento sem ser sobre um processo de carregamento, no final de um período de trabalho, é de 2,44% ($\lambda_1 = 3,7125$). O mesmo princípio, mas aplicado à não existência de qualquer falha de carregamento durante um turno inteiro, conduz a resultados na ordem dos $3,6 * 10^{-5}$ ($\lambda_2 = 14,85$).

Por outro lado, referente aos cenários que incluam falhas no carregamento da bateria VRLA (e consequentemente do equipamento de transporte de carga), os mesmos seguem o princípio já estabelecido para a previsão do cenário ideal (sem falhas de carregamento). Como pode ser depreendido por alguns dos exemplos apresentados nas figuras A.8, A.9, A.10 e A.11, quando não é permitida a recuperação de *SOC* à bateria, os valores da DOD aumentam nos períodos de trabalho seguintes, muitas vezes excedendo as descargas máximas aconselhadas (70% a 80%), ou seja, um *SOC* inferior a 20% e 30%. Em alguns casos a bateria chega inclusive a ser vítima de insuficiência de *SOC*. Nestas situações, a máquina mantém-se imobilizada até que uma bateria com *SOC* suficiente seja reposta. Todo este último processo, normalmente, exige um total de 60 (sessenta) minutos de paragem da máquina.

De salientar a existência de um sistema de segurança e salvaguarda no equipamento de transporte de carga, como medida preventiva do alcance de insuficiência de *SOC* da bateria. Esta salvaguarda traduz-se num chamado "*sistema de translação do estado de carga*". Por outras palavras, um desvio de 20% no estado de carga da bateria. O impacto desta medida tem como objetivo a indicação de um *SOC* de 0%, quando na verdade ainda é de 20%. Deste modo, é garantido que a bateria VRLA consegue fornecer energia suficiente ao equipamento para este se deslocar até à estação de carregamento. No entanto, por diversas vezes esta indicação de insuficiência de *SOC* é ignorada devido à continuidade de funcionamento do equipamento. Por conseguinte, o referido

¹⁹Por outras palavras, o número de decisões que culminam na não colocação da máquina a carregar no fim do período de trabalho.

²⁰Período de tempo sobre o qual existiu disponibilidade por parte dos colaboradores. De destacar que, por políticas de segurança, ninguém pode estar sozinho dentro da câmara frigorífica, em detrimento da temperatura de -18° C.

sistema de translação não será considerado na avaliação dos cenários de descarga que contemplam o não cumprimento de tarefas de carregamento.

Quanto aos cenários desenvolvidos para as falhas de carregamento, dos 128 cenários idealizados, apenas 4 exemplos para 1 (uma), 2 (duas), 3 (três) e 4 (quatro) falhas de carregamento se encontram apresentadas, respetivamente, nas figuras A.8, A.9, A.10 e A.11 (presentes em anexo). Assim, numa perspetiva geral, é possível depreender-se que o não carregamento em qualquer um dos intervalos resulta num alcance de *DOD* completamente díspar do que se pretende com o cenário ideal (presente em 4.1).

Sobre os 4 exemplos de cenários que contemplam apenas 1 (uma) falha de carregamento, dos 7 (sete) previstos (figura A.8, presente em anexo), pode concluir-se que a 2ª pausa do turno se apresenta como a de maior relevância. O não cumprimento da tarefa, neste período, cria um impacto que só irá retomar a valores normais no turno seguinte. Para além da *DOD* alcançada superior a 60%, durante 3 (três) períodos consecutivos de descarregamento, de destacar, ainda, a probabilidade de 31,15% de um equipamento não ser colocado à carga 1 (uma) vez durante um dia de trabalho.

Sobre os 4 (quatro) exemplos de cenários que contemplam 2 (duas) falhas de carregamento, dos 21 previstos, (figura A.9, presente em anexo), pode concluir-se que a ocorrência de 2 falhas consecutivas é o cenário mais prejudicial, levando a bateria a descargas culminantes num *SOC* até abaixo dos 10%. Aqui, por 4 vezes, o equipamento indicaria um *SOC* de 0% como presságio de uma futura insuficiência de carga para alcançar a estação de carregamento. Apesar do severo impacto no tempo de vida útil da bateria VRLA²¹, não se encontra previsto um bloqueio do equipamento devido a um esgotamento total de *SOC*. Destaque-se, ainda, a probabilidade de 31,15% de um equipamento não ser colocado à carga 2 vezes durante um dia de trabalho.

Sobre os 4 exemplos de cenários que contemplam 3 (três) falhas de carregamento, dos 35 previstos (figura A.10, presente em anexo), pode concluir-se que a ocorrência de 3 (três) falhas consecutivas conduz ao bloqueio da bateria devido à completa insuficiência de carga. Um alcance de *SOC* de 0% é bastante prejudicial para a bateria, uma vez que pode comprometer a capacidade de recuperação de material ativo e causar danos irreversíveis. Quando uma bateria é vítima do descrito, aconselha-se à colocação da mesma sobre um processo de recuperação de carga²². Ainda assim, a ocorrência do bloqueio do equipamento apenas não é experienciada quando, após 2 (duas) falhas consecutivas, a 3ª falha ocorre com um espaçamento superior a 4 intervalos de carregamento. Para falhas de carregamento não consecutivas a bateria não alcança o *SOC* de 0%. No entanto, os valores de *DOD* alcançados durante, praticamente, todos os períodos de trabalho do dia são preocupantes. Destaque-se, ainda, a probabilidade de 17,30% de um equipamento não ser colocado à carga 3 (três) vezes durante um dia de trabalho.

Sobre os 4 exemplos de cenários que contemplam 4 (quatro) falhas de carregamento, dos 35 previstos (figura A.11, presente em anexo), pode concluir-se que a ocorrência de 3 (três) ou

²¹ Como referido anteriormente, a valores de *DOD* superiores corresponde um menor tempo de vida útil.

²² Processo que contempla, durante vários dias, diversas sequências de carga-descarga até que um carregamento permita o alcance dos 100% de *SOC*.

4 (quatro) falhas consecutivas conduz ao mesmo resultado. Isto é, a ocorrência da 4ª falha de carregamento consecutiva não irá ter impacto, uma vez que, durante este período de pausa do trabalho, o equipamento de transporte de carga encontra-se a ser alvo de uma substituição da bateria "morta" por uma com um *SOC* de 100%. Por outro lado, a previsão da totalização de 4 (quatro) falhas de carregamento ao longo do dia, mesmo distribuídas igualmente pelos 2 turnos, conduz ao bloqueio da máquina. Não existe nenhum cenário que contemple este número de incumprimento de tarefas que não se desfeche desta forma. Destaque-se, ainda, a probabilidade de 5,77% de um equipamento não ser colocado à carga 4 (quatro) vezes durante um dia de trabalho.

4.2.2.6 Gráficos demonstrativos da evolução do estado de carga

De forma a poder explicar, de forma visual, e apresentar a terceiros os resultados e consequências do cumprimento das tarefas de carregamento das baterias, ou seja, da prática constante do cenário previsto como ideal, surge a figura A.12 (presente em anexo). Como previsto pelo processo de cálculo do tempo de vida útil (apresentado em 4.2.2.4), a *DOD* que confere um maior tempo de vida útil à bateria é de 15% de descarga. No entanto, um decréscimo de 15% do *SOC* da bateria VRLA, nestas condições, apenas se reflete em, aproximadamente, 31 (trinta e um) minutos de operação²³ o que se torna inviável de aplicar fora do plano teórico devido ao decréscimo de produtividade, consequência das constantes pausas e retoma de operações. Por imposição da organização o horário de trabalho não deverá ser alterado.

Por fim, gráficos demonstrativos para cenários com 1 (uma), 2 (duas), 3 (três) e 4 (quatro) falhas de carregamento são também apresentados em anexo. Respetivamente, figuras A.13, A.14, A.15 e A.16, onde se pode retirar uma ideia sobre o declínio excessivo do *SOC* face ao mínimo obtido no cenário ideal (figura A.12).

4.2.3 Calendário de operações

O problema enfrentado pela organização relacionado com a disponibilidade dos equipamentos de transporte de carga não se deve à falta dos mesmos, mas sim à falta de capacidade das baterias VRLA que neles operam. Assim, e com a impossibilidade de alterar as condições físicas/ambientais, bem com horários de trabalho, uma proposta de melhoria e solução para o problema aqui exposto passa pela gestão da energia disponível a operar na secção dos congelados. Por outras palavras, a garantia de que todas as baterias VRLA, que se encontram nesta secção, possuem condições de *SOC* suficientes para enfrentar as exigências dos trabalhos que as necessitam.

Deste modo, conjugando toda a informação recolhida juntos das operações da organização, a informação apresentada em no capítulo 2 e o resultado de todos os cálculos e formulações até aqui apresentados, o plano a propor passaria pela alternância das baterias VRLA entre os 3 (três) espaços existentes: congelados, ambiente e repouso. Para além das imposições existentes, contribuiriam para esta decisão os seguintes fatores:

²³Considerando taxas de descarga de 1% a cada 1,56 minutos entre o *SOC* de 100% a 90% e 1% a cada 3,12 minutos para o *SOC* inferiores a 90%.

- A limitação da quantidade das baterias VRLA existentes;
- A necessidade de operação com baterias VRLA, tanto em ambiente, como em congelados;
- A redução em 50% da capacidade das baterias VRLA em operações nos congelados; e
- O não declínio de *SOC* aquando do repouso.

Assim, a informação recolhida para elaboração da situação inicial (apresentada em 3) demonstra demasiados cenários e incertezas para que uma perspectiva viável e fidedigna de comparação possa ser formulada. Embora um incerto "AS-IS" que varia diariamente e já previsto²⁴, 8 soluções são propostas para um possível "TO-BE". Todas elas focam-se na rotação das baterias VRLA entre os ambientes a -18 °C e a 25 °C e no repouso das mesmas.

À primeira vista, tal como pode ser verificado pelos valores apresentados na tabela 4.4, pode ser concluído que a alternância de operações nos congelados e em ambiente incrementa o tempo de vida útil das baterias VRLA. O que já seria de esperar, tendo em conta o diferencial de desgaste que a bateria sofre em ambos os espaços.

Ainda sobre as propostas apresentadas na tabela 4.4, as principais diferenças que conduzem a resultados diferentes nas características apresentadas na mesma tabela são a existência de repouso nas suas rotinas e as quantidades de dias a operar, quer nos congelados, quer em ambiente.

Tabela 4.4: Propostas de planeamento e algumas características principais. Fonte própria

Propostas	Tempo de vida útil (dias)	Dias em frio	Dias em quente	# Baterias necessárias
"TO-BE repouso a frio"	431	431	0	18
"TO-BE repouso a quente"	431	-	-	18
"TO-BE Rotação 18 sem repouso"	382	301	81	18
"TO-BE Rotação 18+2"	454	389	49	20 (18+2)
"TO-BE Rotação 18+3"	459	372	70	21 (18+3)
"TO-BE Rotação 18+6"	478	331,5	119	24 (18+6)
"TO-BE Rotação 18+9"	496	300	168	27 (18+9)
"TO-BE Rotação 18+18"	534	211,5	266	36 (18+18)

Através da visualização das figuras A.17, A.18 e A.20, pode depreender-se as principais diferenças, não apenas sobre os níveis de desgaste aos quais as baterias VRLA estão expostas, mas também as respetivas temperaturas. De salientar que o principal problema advém do carregamento a temperaturas negativas e extremas²⁵.

A proposta "TO-BE repouso a frio" prevê a atuação das baterias única e exclusivamente na secção dos congelados, situação idêntica à real. No entanto, é fulcral garantir o carregamento constante das baterias VRLA, uma sequência da figura A.17, até que o tempo de vida útil seja alcançado.

²⁴A secção 4.2.2.5 apresenta exemplos dos 128 cenários possíveis.

²⁵Isto justifica-se pelo facto de as baterias VRLA estarem preparadas para operações de descarregamento a temperaturas de -18° C, sendo o carregamento a tais temperaturas desaconselhado por todos os fabricantes (como já referido).

A proposta "*TO-BE repouso a quente*" é bastante semelhante à anteriormente referida. No entanto, ao invés da permanência constante a uma temperatura de -18°C , o ciclo semanal será igual ao representado na figura A.18. Devido à inexistência de informação e estudos mais aprofundados sobre o repouso das baterias VRLA em temperaturas negativas, e como foi admitido o pressuposto 9, este plano apenas se apresenta como uma alternativa mais dispendiosa. Tal justifica-se devido à exigência de retirar todos os equipamentos de dentro da câmara frigorífica ao sábado, depois do 1º turno, e a realização do processo reverso na madrugada de domingo para segunda-feira.

A proposta "*TO-BE 18 sem repouso*" não prevê qualquer repouso para as baterias VRLA - razão pela qual se apresenta com a menor perspectiva de tempo de vida útil. Segundo o exemplificado na figura A.19, depois das operações normais de 10 (dez) turnos semanais e 1 (um) turno ao sábado, está prevista a sua movimentação e operação em ambiente. Apesar da operação em ambiente permitir à bateria VRLA fazer uma recuperação do seu material ativo aquando das operações a 25°C , o desgaste é mais acentuado devido à regularidade de operações diárias.

As propostas "*TO-BE Rotação 18+2*", "*TO-BE Rotação 18+3*", "*TO-BE Rotação 18+6*", "*TO-BE Rotação 18+9*" e "*TO-BE Rotação 18+18*" prevêem o mesmo ciclo. Uma sequência segundo a seguinte ordem: primeiramente a permanência segundo a representação da figura A.17, seguidamente a da figura A.18 e, finalmente, o planeamento da figura A.20. No fim do ciclo, prevê-se o retorno aos congelados e o reinício do mesmo. De realçar que o sinal "+" no nome das propostas remete para a quantidade de baterias em excesso (face às presentes nos congelados) que são necessárias e a quantidade de baterias VRLA pertencente a cada grupo de baterias. As diferentes propostas requerem a criação de um diferente número de grupos: 10 (dez) grupos na "*TO-BE Rotação 18+2*", 7 (sete) grupos na "*TO-BE Rotação 18+3*", 4 (quatro) grupos "*TO-BE Rotação 18+6*", 3 (três) grupos "*TO-BE Rotação 18+9*" e 2 (dois) grupos na "*TO-BE Rotação 18+18*". Outra diferença recai sobre o grupo de baterias que avança a etapa seguinte. A tabela 4.5 exemplifica, durante 10 (dez) semanas, a conclusão das 3 (três) etapas nestas 5 (cinco) propostas. Segundo a mesma tabela é possível depreender-se que as diferentes propostas proporcionam um diferente número de semanas consecutivas de operação segundo a etapa da figura A.17. Desta forma, é garantida a existência de 18 (dezoito) baterias em operação nos congelados.

Tabela 4.5: Planeamento para as propostas que incluem rotações em grupos de baterias VRLA. Fonte própria

Semanas:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Propostas:										
"TO-BE Rotação 18+2"	F	F	F	F	F	F	F	F	F-R	Q
"TO-BE Rotação 18+3"	F	F	F	F	F	F-R	Q	F	F	F
"TO-BE Rotação 18+6"	F	F	F-R	Q	F	F	F-R	Q	F	F
"TO-BE Rotação 18+9"	F	F-R	Q	F	F-R	Q	F	F-R	Q	F
"TO-BE Rotação 18+18"	F-R	Q	F-R	Q	F-R	Q	F-R	Q	F-R	Q

F: Planeamento para operações em congelados, representado na figura A.17

F-R: Planeamento para operações em congelados, com repouso fora, representado na figura A.18

Q: Planeamento para operações em ambiente, representado na figura A.20

Concluindo, ainda referente ao último conjunto de 5 (cinco) propostas, um sistema de identificação de grupos (cores e letras) será adotado com vista à simplificação da tarefa ao operador da oficina que, todas as semanas, tem que movimentar um "x" número de baterias, consoante a proposta a adotar. Uma exemplificação do planeamento de cada grupo, para 10 (dez) semanas e para cada uma destas propostas pode ser analisado pelas tabelas A.1, A.2, A.3, A.4 e A.5 apresentadas em anexo.

4.2.4 Função custo e distribuição de tarefas

Após a apresentação das propostas que visam a resolução do problema de disponibilidade dos equipamentos de movimentação de carga, a decisão do melhor planeamento não deve ser tomada sem conhecimento do custo que a mesma obrigará a incorrer.

Assim sendo, faz sentido a descrição das tarefas de cada interveniente no plano e a pormenorização do tempo consumido, de modo a que um custo possa ser mensurado.

Cada proposta apresentada implica a atuação de 5 (cinco) tipos diferentes de colaboradores: *pickers*, chefe de equipa dos congelados, eletricista, operador da oficina e equipa de manutenção. De realçar o pressuposto 2e, referente aos custos para a organização resultantes da remuneração mensal dos diversos colaboradores.

4.2.4.1 Distribuição de tarefas

Ao *picker* cabe a tarefa de cumprir escrupulosamente os seus deveres, nomeadamente a colocação do equipamento de movimentação de carga que opera sob um estado de carregamento, no fim do período de trabalho, e antes de abandonar o interior da câmara frigorífica para a respetiva pausa.

Ao **chefe de equipa dos congelados** caberá a tarefa de supervisão do cumprimento das tarefas do Picker. No final de cada período de trabalho, deve ser realizada uma "ronda" de inspeção pelos 3 (três) pisos da secção dos congelados com vista à confirmação do estado de carregamento de todos os equipamentos. Caso não seja verificado, o mesmo deverá colocar a máquina em tal estado.

Ao **eletricista** cabe a função de medir a tensão de cada um dos 12 (doze) componentes que compõem a bateria. Mediante indicação do plano/calendarização, os 12 (doze) componentes de cada bateria que é colocada em repouso, devem ser medidos antes do início do carregamento. O mesmo processo deverá ser repetido antes de a máquina ser colocada em operações em ambiente e/ou novamente nos congelados. Em planeamentos que prevêm operações nos congelados e em ambiente, uma terceira medição será necessária à priori do retorno dos equipamentos ao interior da câmara frigorífica. O resultado das medições deverá ser registado na interface representada na figura 4.2²⁶, desenvolvida com ligação a uma folha de registo de dados, já utilizada. Caso alguma das medições não esteja dentro dos valores considerados como aceitáveis, uma notificação será imediata e automaticamente enviada para a equipa de manutenção, a qual procederá em conformidade.

²⁶Código associado a cada interface apresentado em anexo, na secção A.10.

Ao **operador da oficina** cabe a tarefa de movimentação das máquinas dos congelados para o repouso, do repouso para o ambiente, e do ambiente para os congelados - quando tais movimentos são necessários, segundo a planificação. Como já referido, mediante a planificação escolhida, um sistema de cores estará implementado com vista à simplificação das funções do operador da oficina²⁷. Por outro lado, o operador da oficina é, ainda, responsável pela troca de componentes (sob decisão da equipa de manutenção). Estas trocas de componentes deverão ser registadas na interface representada na figura 4.2, de troca de componentes. Assim, em tempo real, existe sempre a opção de gerir o tempo de vida útil dos diversos componentes que compõem as baterias VRLA.

A **equipa de manutenção** não se encontra contemplada nos planos de custo (tabelas A.6, A.7, A.8, A.9, A.10, A.11, A.12 e A.13, presentes em anexo).

The figure displays two screenshots of a software interface for battery component management. Both screenshots have a header section with 'Registo' and 'Data:' fields. The top screenshot is titled 'Registo da tensão dos componentes de uma bateria 24 V' and contains a grid of 12 input fields for components 1 through 12. Below the grid is a red warning message: 'Aviso: Por favor digite as tensões sobre o formato "X,XX" V'. At the bottom are two buttons: 'Submeter registos' (green) and 'Reiniciar registos' (orange). The bottom screenshot is titled 'Registo da troca de componentes de uma bateria 24 V' and contains a grid of 12 buttons labeled 'Trocar' for components 1 through 12. It also features the same red warning message and buttons at the bottom. Both interfaces include a 'Histórico' section with 'Editar' and 'Apagar' buttons.

Figura 4.2: Interfaces de apoio ao eletricista e ao operador de oficina. Fonte própria

²⁷ Ao operador da oficina não cabe a decisão de quais equipamentos movimentar. O mesmo apenas sabe que na semana 1, por exemplo, movimenta as máquinas "vermelhas", na seguinte movimenta as "azuis", e assim sucessivamente.

4.2.4.2 Função-custo

Seguidamente é apresentada a função do custo de cada proposta, mediante as baterias necessárias, os componentes de reserva e o custo do tempo ocupado pelos diversos colaboradores.

$$Custo_{QT_{ANOS}anos} = QT_{BuyBAT} * [(X_1 * 3.600) + (X_2 * 450)] + \\ QT_{ANOS} * 48 * \left((X_3 * Custo_{TempoPicker}) + (X_4 * X_5 * Custo_{TempoChefe}) + \right. \\ \left. (X_7 * QT_{BAT} * 2 * 12 * X_6 * Custo_{TempoEletricista}) + [X_9 * (2 * X_7 + X_8) * Custo_{TempoOficina}] \right) \quad (4.6)$$

Variáveis:

Sabendo que...

X_1	representa o "Número de baterias novas necessárias";
X_2	representa o "Número de componentes de reserva necessários";
X_3	representa o "Tempo, em minutos, extra ocupado ao Picker";
X_4	representa o "Tempo, em minutos, gasto, pelo chefe de equipa dos congelados, em cada "ronda" de supervisão";
X_5	representa a "Quantidade de rondas de supervisão realizadas, por semana de trabalho";
X_6	representa o "Tempo médio, em minutos, consumido em cada medição da tensão de um componente";
X_7	representa a "Quantidade de baterias que são alvo da movimentação";
X_9	representa o "Tempo, em minutos, consumido com a movimentação de máquinas dos congelados para repouso; e de ambiente para congelados";
X_8	representa o "Tempo, em minutos, consumido com a movimentação de máquinas de repouso para ambiente";
QT_{BAT}	representa a quantidade de baterias que é alvo de rotação em cada etapa;
QT_{BuyBAT}	representa a "Quantidade de vezes que é necessário a compra de um novo conjunto de baterias, mediante os anos em análise".

Através da aplicação da função custo, apresentada na equação 4.6, pode ser formulada a tabela 4.6. O espectro temporal sobre o qual incide a expectativa de custo deverá ser, no máximo, 5 (cinco) anos. Tal justifica-se pela desvalorização tecnológica sofrida pelas próprias baterias VRLA, deixando desse modo fazer sentido a aplicação das propostas aqui apresentadas. Como tal, devem ser consideradas as seguintes perspetivas:

1. Curto prazo: 1 ano;
2. Médio prazo: 3 anos;
3. Longo prazo: 5 anos.

Considere-se ainda a tabela 4.7, cujos valores refletem os custos acumulados no mesmo espectro temporal, mas reportados ao ano 0. O cálculo do *Net Present Value* justifica-se pela necessidade de comparação das 8 (oito) propostas. Apesar de todas terem custos de manutenção constantes, a

Tabela 4.6: Custo acumulado de aquisição e manutenção referentes a cada proposta, num período de 5 anos.

Propostas	Custos de aquisição e manutenção		
	até 1 ano	até 3 anos	até 5 anos
"TO-BE repouso a frio"	72.479,41 €	217.438,22 €	362.397,03 €
"TO-BE repouso a quente"	76.259,41 €	228.778,22 €	381.297,03 €
"TO-BE Rotação 18 sem repouso"	75.881,41 €	227.644,22 €	379.407,03 €
"TO-BE Rotação 18+2"	77.649,41 €	232.948,22 €	388.247,03 €
"TO-BE Rotação 18+3"	81.746,41 €	245.239,22 €	333.132,03 €
"TO-BE Rotação 18+6"	94.037,41 €	282.112,22 €	383.787,03 €
"TO-BE Rotação 18+9"	106.328,41 €	318.985,22 €	434.442,03 €
"TO-BE Rotação 18+18"	143.201,41 €	429.604,22 €	586.407,03 €

diferença que cada proporciona à utilização e desgaste das baterias VRLA resulta numa divergência dos tempos de vida útil entre propostas. Deste modo, através da aplicação da taxa de desconto de 9%, já utilizada em matérias de investimento pela entidade, procedeu-se ao cálculo do custo de cada proposta, num horizonte temporal de 5 (cinco) anos, reportando esse custo ao presente. Assim, para efeitos de comparação, cada proposta é tratada como um investimento. Neste caso com um *cash-flow* nulo, quando relacionado com rendimentos/proveitos. O ganho que advém da implementação de cada proposta exigira uma avaliação do efeito da melhoria da disponibilidade dos equipamentos na redução dos custos de paragem, por falha do estado de carga das diversas baterias VRLA.

Tabela 4.7: Custos de aquisição e manutenção referentes a cada proposta, num período de 5 anos, reportados ao ano 0. Fonte própria

Propostas	Custos de aquisição e manutenção (NPV)		
	até 1 ano	até 3 anos	até 5 anos
"TO-BE repouso a frio"	72.479,41 €	183.466,74 €	281.919,63 €
"TO-BE repouso a quente"	76.259,41 €	193.035,04 €	296.622,51 €
"TO-BE Rotação 18 sem repouso"	75.881,41 €	192.078,21 €	295.152,22 €
"TO-BE Rotação 18+2"	77.649,41 €	196.553,54 €	302.029,13 €
"TO-BE Rotação 18+3"	81.746,41 €	206.924,25 €	268.830,21 €
"TO-BE Rotação 18+6"	94.037,41 €	238.036,39 €	309.618,66 €
"TO-BE Rotação 18+9"	106.328,41 €	269.148,54 €	344.721,50 €
"TO-BE Rotação 18+18"	143.201,41 €	362.484,97 €	465.191,64 €

Não obstante a importância do conhecimento dos custos totais para a tomada de decisão, é, de igual relevância, considerar outros fatores referentes a cada uma das propostas. Por exemplo o número de baterias contempladas por cada proposta. Para dar resposta a esta necessidade construiu-se as tabelas 4.8 e 4.9, calculadas a partir dos custos anuais, de cada proposta, tendo em atenção o diferencial de divisão pelo número de baterias necessárias para implementar cada uma delas. À semelhança das tabelas associadas aos custos totais e acumulados (tabelas 4.6 e 4.7), também aqui foram elaboradas as 2 (duas) tabelas com e sem atualização dos custos ao ano 0,

respetivamente.

Tabela 4.8: Custos, por bateria requerida, de aquisição e manutenção referentes a cada proposta. Fonte própria

Propostas	Custos de aquisição e manutenção por bateria		
	até 1 ano	até 3 anos	até 5 anos
"TO-BE repouso a frio"	4.026,63 €	12.079,90 €	20.133,17 €
"TO-BE repouso a quente"	4.236,63 €	12.709,90 €	21.183,17 €
"TO-BE Rotação 18 sem repouso"	4.215,63 €	12.646,90 €	21.078,17 €
"TO-BE Rotação 18+2"	3.882,47 €	11.647,41 €	19.412,35 €
"TO-BE Rotação 18+3"	3.892,69 €	11.678,06 €	15.863,43 €
"TO-BE Rotação 18+6"	3.918,23 €	11.754,06 €	15.991,13 €
"TO-BE Rotação 18+9"	3.938,09 €	11.814,27 €	16.090,45 €
"TO-BE Rotação 18+18"	3.977,82 €	11.933,45 €	16.289,08 €

Tabela 4.9: Custos, por bateria requerida, de aquisição e manutenção referentes a cada proposta, num período de 5 anos, reportados ao ano 0. Fonte própria

Propostas	Custos de aquisição e manutenção por bateria		
	até 1 ano	até 3 anos	até 5 anos
"TO-BE repouso a frio"	4.026,63 €	10.192,60 €	15.662,20 €
"TO-BE repouso a quente"	4.236,63 €	10.724,17 €	16.479,03 €
"TO-BE Rotação 18 sem repouso"	4.215,63 €	10.671,01 €	16.397,35 €
"TO-BE Rotação 18+2"	3.882,47 €	9.827,68 €	15.101,46 €
"TO-BE Rotação 18+3"	3.892,69 €	9.853,54 €	12.801,44 €
"TO-BE Rotação 18+6"	3.918,23 €	9.918,18 €	12.900,78 €
"TO-BE Rotação 18+9"	3.938,09 €	9.968,46 €	12.767,46 €
"TO-BE Rotação 18+18"	3.977,82 €	10.069,03 €	12.921,99 €

Por conseguinte, a decisão acerca da adoção de qualquer estratégia de melhoria da disponibilidade dos equipamentos de transporte de carga, presente na secção dos congelados, deverá focar-se na análise dos custos. Assim, a utilidade das tabelas 4.7 e 4.9 é, facilmente, entendida, numa perspectiva de antecipação de gastos, os quais a entidade terá que suportar.

4.2.4.3 Custo de oportunidade

Os dados e procedimentos apresentados na tabela 4.10 permitem o cálculo do fator de paragem diário de uma bateria, considerando fatores, dados e resultados previamente exibidos. Os 128 cenários previstos para, durante 1 (um) dia de trabalho, todos os momentos de decisão (totalizados em sete) de colocar a máquina no processo de carregamento (coluna 1). As probabilidades calculadas, resultantes da aplicação da distribuição binomial para cada número de insucessos diários (coluna 2). O tempo que a bateria enfrenta um SOC abaixo do limite mínimo recomendado por fabricantes, 30% (coluna 3).

Assim sendo, defina-se o valor de **1,977**, obtido como resultado da tabela 4.10, como o fator de paragem diário de uma bateria.

Tabela 4.10: Cálculo do fator de paragem diário de uma bateria. Fonte própria

Insucessos /dia (1)	Frequência absoluta (2)	Probabilidade	Tempo prejudicial (3)	(3)/(1) = (4)	(4) * (2) = (5)
0	1	13,35%	0 h	0	0,000
1	7	31,15%	0 h	0	0,000
2	21	31,15%	35 h	1,667	0,519
3	35	17,30%	168,75 h	4,821	0,834
4	35	5,77%	292,25 h	8,350	0,482
5	21	1,15%	227,5 h	10,833	0,125
6	7	0,13%	86,25 h	12,321	0,016
7	1	0,01%	13,25 h	13,250	0,001
Total:	128	100%	823 h	51,243	1,977

Deste modo, o valor correspondente ao custo de oportunidade anual, derivado da não aplicação de uma das estratégias propostas, é seguidamente calculado.

$$\begin{array}{l|l}
 1,977 * 18 = 35,586 & * 18 \text{ baterias} \\
 15 * 35,586 = 533,79 \text{ €/dia} & * 15\text{€ corresponde ao custo de oportunidade de cada ocorrência}^a \\
 533,79 * 200 = 106.758 \text{ €/ano} & * 200 \text{ dias de trabalho por ano}
 \end{array}$$

^aValor utilizado devido a indicação por parte da organização.

Através da tabela 4.11 pode depreender-se, num horizonte temporal de 5 anos, o custo atual, acumulado e atualizado (com uma taxa de 9%) que, atualmente, a empresa enfrenta.

Tabela 4.11: Custo atual, num horizonte temporal de 5 anos. Fonte própria

Anos:	1	3	5
Custo atual (acumulado):	106.758 €	320.274 €	533.790 €
Custo atual (atualizado):	97.943,12 €	270.235,96 €	415.251,39 €
Custo oportunidade (acumulado):	25.011,59 €	75.034,77 €	200.657,95 €
Custo oportunidade (atualizado):	22.946,41 €	63.311,70 €	146.421,18 €

4.2.5 Proposta escolhida, gastos atuais e custo de oportunidade

No presente projeto de Dissertação de Mestrado foram formuladas e apresentadas 8 (oito) propostas de resolução do problema inicial: melhoria da disponibilidade de equipamentos de movimentação de carga, a temperaturas extremas e negativas. Assim, a proposta "*TO-BE Rotação 18+3*" apresenta-se como a mais vantajosa. Não apenas pelo menor custo, num horizonte temporal de 5 (cinco) anos, mas também pelos procedimentos de manutenção preventiva e preditiva que permite implementar.

Tal como descrito no presente capítulo, na secção 4.2.4.3, elevados são os gastos incorridos, atualmente pela organização. Assim, admite-se uma aproximação otimista da situação atual. Caracterizada pela solitária consideração dos gastos incorridos em detrimento do não carregamento regular das baterias, na secção dos congelados; e segundo uma utilização de baterias novas. Devido à incerteza do estado atual das baterias e ao cumprimento das tarefas adjacentes a cada colaborador, tal pressuposto teve que ser tido em consideração. Na realidade, os **415.251,39 €** previstos tomam valores superiores, mas dificilmente estimados com mais assertividade.

Por conseguinte, pode admitir-se que o custo de oportunidade enfrentado, atualmente pela organização, pela **não** implementação da proposta "*TO-BE Rotação 18+3*" é **146.421,18 €** e 200.657,95 €, valor acumulado em 5 (cinco) anos, respetivamente, com e sem atualização ao ano 0 (recorrendo a uma taxa de desconto de 9%).

Assim, pode considerar-se a implementação da proposta "*TO-BE Rotação 18+3*" como recomendada, devido ao seu custo total, de aquisição e implementação, previsto de **268.830,21 €** e 333.132,03 €, valor acumulado em 5 (cinco)anos, respetivamente, com e sem atualização ao ano 0 (recorrendo a uma taxa de desconto de 9%).

4.2.5.1 Quadro-resumo

Tabela 4.12: Quadro-resumo: "*TO-BE Rotação 18+3*" versus "*AS-IS*". Fonte própria

Proposta: "<i>TO-BE Rotação 18+3</i>"			
Total de Baterias 21	Baterias em Congelados 18	Baterias em Ambiente 3	Tempo de vida útil 459
até 1 ano 81.746,41 €	até 3 anos 206.924,25 €	até 5 anos 268.830,21 €	NPV do custo total
até 1 ano 3.892,69 €	até 3 anos 9.853,54 €	até 5 anos 12.900,44 €	NPV do custo por bateria
até 1 ano 97.493,12 €	até 3 anos 270.235,96 €	até 5 anos 415.251,39 €	NPV do custo atual
até 1 ano 22.946,41 €	até 3 anos 63.311,70 €	até 5 anos 146.421,18 €	NPV do custo de oportunidade

4.2.5.2 Análise de sensibilidade

A implementação da proposta "*TO-BE Rotação 18+3*", face à situação atual considera-se vantajosa. A visualização da tabela 4.13 permite a perceção das principais diferenças entre uma aproximação da situação atual e da proposta indicada. De notar que a aproximação do "*AS-IS*" considera apenas as falhas de carregamento e os custos incorridos em detrimento das mesmas.

As **falhas de carregamento** apresentam-se, atualmente, como o maior obstáculo à obtenção de melhores resultados. Claramente o maior desafio é contrariar a existente tendência que impede a regularidade de carregamentos e a boa recuperação de *SOC* por parte das baterias operantes na secção dos congelados. Assim a estratégia de consciencialização sobre os *pickers* e a implementação de rotinas de supervisão promove um decréscimo de 100% da interrupção das operações devido a quebras nos níveis de *SOC* das baterias.

Relativamente à **regularização dos tempos de ciclo e monitorização do estado das baterias**, o calendário de movimentação das baterias entre secções do entreposto e a medição da tensão dos componentes permite uma distribuição homogénea do desgaste/utilização da totalidade das baterias VRLA que operam nos congelados.

Por outro lado, a atual estratégia de **manutenção corretiva** deixa de ser aplicada e permanece como uma medida de emergência para a ocorrência de falhas inesperadas. Tal justifica a redução de 90% indicada na tabela 4.13. Adicionalmente, a medição regular da tensão dos componentes das baterias VRLA (**manutenção preventiva**) permite atestar sobre o estado atual das baterias e proceder à troca de componentes quando estes apresentarem medidas próximas do limite inferior aceitável. Por sua vez, a previsão do tempo de vida útil de cada componente pode ser considerada como uma medida de **manutenção preditiva**.

Através a introdução de novas tarefas - ainda que independentes entre si - cria-se uma maior necessidade do cumprimento escrupuloso das tarefas, por parte de todos os colaboradores, criando uma maior **dependência**. O aumento de 300% indicado na tabela 4.13 justifica-se pela criação de 3 novas tarefas, em relação à que já é considerada atualmente (colocação das baterias à carga por parte dos *pickers*).

Finalmente, a redução do **custo com a secção** dos congelados é evidente através do positivo custo de oportunidade criado.

Tabela 4.13: Análise de sensibilidade: "*TO-BE Rotação 18+3*" versus "*AS-IS*". Fonte própria

Tema	"AS-IS"	vs	"TO-BE"	Resultado
Falhas de carregamento	Recorrentes		Inexistentes	- 100%
Regularização dos tempos de ciclo	Inexistente		Regular	+
Monitorização do estado das baterias	Inexistente		Regular	+
Manutenção corretiva	Existente		Raro	- 99%
Manutenção preventiva	Inexistente		Regular	+
Manutenção preditiva	Inexistente		Regular	+
Dependência nos colaboradores	Menor		Maior	+ 300%
Custos com secção (NPV a 5 anos)	415.251,39 €		268.830,21 €	- 35,26%

Capítulo 5

Conclusão

O presente projeto permite o estudo e análise de um conceito amplamente investigado, mas com restrições raramente aplicadas. Principalmente tendo em conta as condições desaconselhadas pelos fabricantes/fornecedores e especialistas. Ainda assim, com a devida modéstia é possível considerar que são aqui apresentados avanços, não apenas em contexto prático (empresarial), mas também teórico.

Primeiramente, aplicado à realidade encontrada, o estudo e análise dos processos de descarregamento e carregamento das baterias VRLA permite proporcionar um maior conhecimento e preocupação para com a sua utilização e valorização da importância da gestão do banco de energia presente dentro da câmara frigorífica. Por outro lado, a previsão do tempo de vida útil dos componentes que compõe as baterias - mediante a sua utilização, desgaste e ambiente operante - favorece a implementação de estratégias de manutenção preventiva e preditiva. A medição semanal da tensão dos diversos componentes para assegurar o seu bom estado de conservação e utilização. O conhecimento temporal relativo ao cumprimento do número total de ciclos. Medidas que permitem antecipar e evitar a paragem de operações. Não obstante, é feito também um destaque da regularidade do carregamento das baterias; o ponto fulcral para o bom funcionamento das operações de *picking*.

Por conseguinte, num computo geral, o presente projeto apresenta desenvolvimentos, principalmente pelo estudo do desgaste sofrido por baterias de chumbo de carregamento rápido, em operações a temperaturas consideradas como extremas.

Relativamente às dificuldades enfrentadas durante o tempo de desenvolvimento de todo o projeto, podem admitir-se duas causas: literatura e situação atual. O processo de carregamento das baterias VRLA, a temperaturas extremas e/ou negativas é desaconselhado por fabricantes/fornecedores e estudos sobre o mesmo padecem de quantidade. Claramente um ponto de destaque encontra-se no tempo necessário para a completa e consistente familiarização em torno do tema, devido à falta de literatura. Por outro lado, a situação pandémica atual coloca-se como um obstáculo na aproximação das pessoas e, consequentemente, na recolha de opiniões e observações.

Perante os objetivos estabelecidos pode ser admitido o cumprimento integral dos mesmos. A criação de gráficos demonstrativos permite demonstrar a todos os colaboradores visados, quer as

consequências da situação atual, quer o resultado que se pretende alcançar com a implementação de uma nova estratégia. Seguidamente, a calendarização e criação de rotinas permite a definição e simplificação das tarefas, tornando-as independentes entre si. A importância da associação de novas interfaces às já utilizadas advém da recolha direta de dados e conhecimento em tempo real do estado das baterias operantes e associadas às operações. Por fim, a apresentação dos custos de implementação permite a tomada de decisão quanto à intenção de transportar uma qualquer proposta do cenário teórico para a realidade. Assim sendo, entende-se que todos os objetivos definidos foram cumpridos, balanceando a importância académica, com a situação empresarial, da melhor forma conseguida.

Deste modo, realce-se, novamente, os pressupostos da utilização de baterias VRLA novas¹ e do decréscimo da capacidade, considerado devido à operação a uma temperatura de -18 °C. As conclusões associadas ao desenvolvimento do presente projeto permitem a formulação e simplificação de funções associadas ao processo de descarregamento/carregamento e ao custo de implementar alterações.

Referente à proposta escolhida, "*TO-BE Rotação 18+3*", e à consideração das suas principais características, esta estratégia inclui a transição por 3 (três) situações semanais, distintas em temperatura e desgaste provocado em cada uma das baterias utilizadas. Primeiramente, considere-se a realização semanal e escrupulosa das tarefas definidas a cada interveniente, e a existência de 7 (sete) grupos - compostos, cada um, por 3 (três) baterias, num total de 21 (vinte e uma), e identificáveis pelo sistema de cores e letras apresentado na figura A.21 (presente em anexo). Seguidamente, considere-se, também, a perspetiva de movimentos apresentados na tabela 4.4² (presente no sub capítulo 4.2.3). Deste modo, a tabela A.2, apresentada em anexo, calendariza, durante 10 semanas as movimentações associadas à proposta, para cada um dos 7 grupos aqui considerados.

Apesar da deficiência do processo de carregamento, a proposta "*TO-BE repouso a frio*" é a que mais se aproxima da realidade encontrada.

A implementação da proposta "*TO-BE Rotação 18+3*" exige um investimento de 268.830,21 € para aquisição de equipamentos e a sua manutenção, num horizonte temporal de 5 (cinco) anos. Face ao custo de oportunidade de **146.421,18 €**, associado ao custo da não resolução do problema atual, a decisão final é favorável à adoção das medidas aqui propostas. Numa situação limite, tendo em conta o valor substancial suportado (devido à não ação) e as políticas de melhoria contínua integrantes da filosofia de trabalho da empresa, pelo menos rotinas de supervisão de carregamentos e medição de tensão devem ser criadas.

Por conseguinte, a aplicação da proposta "*TO-BE Rotação 18+3*" - como estratégia de melhoria da disponibilidade dos equipamentos de movimentação de carga, na secção dos congelados - acarreta ganhos e perdas, nem sempre mensuráveis. Quanto à posição oposta à ação sobre as operações pode considerar-se um risco a maior dependência do cumprimento escrupuloso das tarefas, por parte dos colaboradores. Embora aparentemente independentes entre si, todas elas contribuem

¹ Considere-se baterias novas aquelas com 0% de utilização e 0% de desgaste.

² Uma perspetiva mais pormenorizada por ser, ainda, depreendida pelas figuras A.17, A.18 e A.20, apresentadas em anexo.

para a melhoria da produtividade das operações. Ainda assim, existe, obviamente, o custo de aquisição dos equipamentos e manutenção, não apenas dos mesmos, mas também das operações. Por outro lado, quantitativamente, os fatores a favor superam os contra. A adoção da proposta permite, não apenas a regularização e balanceamento dos tempos de ciclo e de vida útil das baterias VRLA, mas também a monitorização do estado das mesmas. Para além da implementação de medidas contribuir para a manutenção preventiva e preditiva, os índices de produtividade dos *pickers* e disponibilidade dos empilhadores elétricos também são expectáveis incrementar. Realçando, novamente, o custo de oportunidade valorizado em **146.421,18 €**. Note-se ainda, que o tempo de vida útil de 459 dias não implica o descarte das baterias e/ou componentes. Este valor apenas representa o teorizado pelo fabricante para garantia de bom funcionamento, de acordo com os standards considerados. Por política da empresa e questões económicas, as baterias apenas são dispensadas quando já enfrentaram um desgaste/utilização tal que não é possível a sua utilização, em operações intermitentes e a temperatura ambiente, pelo menos durante 4 horas³.

Finalmente a existência de fragilidades pouco ou não estudadas e/ou consideradas no presente projeto. Por exemplo, a consideração, segundo uma distribuição binomial, da decisão de colocação da máquina a carregar, no fim do período de trabalho. Também não é estudado e, inclusive, é desprezado o impacto do tempo de repouso das bateria dentro e fora dos congelados, bem como possíveis falhas e/ou mau estado dos próprios carregadores. Tal justifica-se não apenas pelo curto horizonte temporal em que tal etapa ocorre, mas também pela falta de informação encontrada face ao processo de auto-descarga da bateria VRLA quando em repouso, quer a temperaturas negativas e extremas, quer a temperatura ambiente. Por outro lado, todas as implicações associadas a processos eletroquímicos e à possibilidade de atingir o ponto de congelação do eletrólito são simplificadas ao máximo. A formulação matemática destes processos trariam certamente vantagens à compreensão do comportamento das baterias de chumbo em tais temperaturas.

Tendo em conta a impossibilidade de aplicação de um projeto desta magnitude no tempo de duração do presente projeto, não são reportados outro tipo de resultados. No entanto, a longo prazo, é com grande confiança que se realça a aproximação expectável da análise de sensibilidade apresentada com a previsão aquando da implementação das medidas e planos aqui propostos.

Finalmente, a nível profissional e pessoal o presente projeto de Dissertação de Mestrado caracteriza o esforço e superação dos desafios alcançados. Considerando a diferente realidade encontrada (face ao esperado) o acompanhamento e aprendizagem das operações contribuíram para a abertura mental para uma nova realidade. As propostas aqui apresentadas refletem o resultado do maior desafio. *Considerando os recursos disponíveis, melhorar os resultados*. Por outras palavras, utilizando os mesmos recursos (colaboradores, orçamento e tempo) propor uma estratégia que permita resolver um problema que impacta o bom decorrer das operações diariamente. Honesta e humildemente, a abertura e disponibilidade demonstrados por todos os colaboradores da empresa foram determinantes para que este desafio não fosse *um degrau maior do que o comprimento da perna*.

³De realçar que, durante o seu tempo de vida útil, fabricantes garantem que as baterias conseguem perfazer ciclos superiores a 8 horas de trabalho intermitente.

Bibliografia

- ABB (2017). The Main Characteristics of UPS Battery Systems. *UPS Battery Handbook*, 1.
- Almada-Lobo, B. and Leitão, A. (2018a). Introduction. In Almada-Lobo, B. and Leitão, A., editors, *Maintenance Management*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Almada-Lobo, B. and Leitão, A. (2018b). Reliability Engineering. In Almada-Lobo, B. and Leitão, A., editors, *Maintenance Management*, pages 1–35. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Arvind, C. S. and Senthilnath, J. (2020). *Autonomous Vehicle for Obstacle Detection and Avoidance Using Reinforcement Learning - Analysis of BANs Battery Performance at Different Temperature Conditions using Neural Networks (ANN)*, volume 1048. Springer.
- Asgar, A. and Urmee, T. P. (2000). Performance Testing of Lead Acid Batteries as a Function of Depth of Discharge and Temperature in Photovoltaic Application in Rural Bangladesh. *World Renewable Energy Congress VI (WREC2000)*.
- Bindner, H., Cronin, T., Lundsager, P., Manwell, J. F., Abdulwahid, U., Baring-gould, I., Bindner, H., Cronin, T., Lundsager, P., Manwell, J. F., Abdulwaliid, U., and Baring-gould, I. (2005). Lifetime Modelling of Lead Acid Batteries. Technical Report April, Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- Bocchi, N., Ferracin, L. C., and Biaggio, S. R. (2000). Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. *Química Nova na escola*, 11(3).
- Boman, C. (2014). *Embedded impedance based state-of-charge estimation*. PhD thesis, KTH Royal Institute of Technology.
- Bosch, R. B. G. (2012).
- Buchmann, I. (2017). Charging at high and low temperatures.
- Carneiro, R. L., Molina, J. H. A., Antoniassi, B., Magdalena, A. G., and Pinto, E. M. (2017). Aspectos essenciais das baterias chumbo-Ácido e princípios físico-químicos e termodinâmicos do seu funcionamento. *Revista Virtual de Química*, 9(3).
- CEN (2001). European Standard EN 13306. Technical report, European Committee for Standardization, Brussels.
- EnerSys, E. (2019). NexSys ® Technical Manual.
- FIAMM (2014). AGM - Installation & Operating Instructions Technical Manual: Valve Regulated Lead Acid Batteries.

- Gandhi, K. S., Shukla, A. K., Martha, S. K., and Gaffoor, S. A. (2009). Simplified Mathematical Model for Effects of Freezing on the Low-Temperature Performance of the Lead-Acid Battery. *Journal of The Electrochemical Society*, 156(3):A238.
- Gaspar, B., Teixeira, A. P., and Guedes Soares, C. (2017). Adaptive surrogate model with active refinement combining Kriging and a trust region method. *Reliability Engineering and System Safety*, 165(March):277–291.
- Hassan, M. M., Boehl, C., and Kuruppu, M. (2019). Predictive Maintenance as an Integral Part of Asset Life Cycle Model. In Mathew, J., Lim, C. W., Sands, L. M. S., Cholette, M. E., and Borghesani, P., editors, *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pages 229–237. Springer, Cham, Switzerland.
- He, Q., Zha, Y., Sun, Q., Pan, Z., and Liu, T. (2017). Capacity Fast Prediction and Residual Useful Life Estimation of Valve Regulated Lead Acid Battery. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017.
- Hitachi Chemical Co (2018). *VRLA Battery Characteristics - Charging*. Showa Denko Materials Co., Ltd., Japan, 1 edition.
- Leuchter, J. and Bauer, P. (2015). Capacity of Power-Batteries versus Temperature Keywords Method of Investigation. *2015 17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe)*, pages 1–8.
- Moore, M. R., Vigil, J., McElroy, S., and Tsuchimoto, G. (2004). Real-time expected life and capacity on VRLA and flooded products unraveling the predicting code. *INTELEC, International Telecommunications Energy Conference (Proceedings)*, pages 661–670.
- Panasonic Corporation (2013). *VRLA HANDBOOK - Industrial Batteries*, volume 2. Panasonic Corporation, Germany.
- Parkomak, P. W. (2012). *Energy Storage for Power Grids and Electric Transportation: A Technology Assessment*, volume 75700. Congressional Research Service.
- Pascoe, P. E. and Sirisena, H. (2002). Coup de Fouet Based VRLA Battery Capacity Estimation.
- Press, N. (2020). Mastervolt: A nova geração de baterias de íões de lítio. *Nautica Press*.
- Priberam (2020). Consulte o significado / definição de confiabilidade no dicionário priberam da língua portuguesa, o dicionário online de português contemporâneo.
- Salkind, A. J., Hammel, R. O., Cannone, A. G., and Trumbore, F. A. (2001). Valve regulated lead-acid batteries. In Linden, D. and Reddy, T. B., editors, *Handbook of batteries*, chapter Chapter 24, pages 675–720. The McGraw-Hill Companies, Inc., 3rd editio edition.
- SGPS, S. (2020). O grupo e os negócios.
- Sharpe, T. F. and Conell, R. S. (1987). Low-temperature charging behaviour of lead-acid cells. *Journal of Applied Electrochemistry*, 17:789–799.
- Sonae MC, S. S. (2020).
- WEG (2019). Battery charge, discharge & service life.
- Zhu, Z., Xiang, Y., Li, M., Zhu, W., and Schneider, K. (2019). Preventive Maintenance Subject to Equipment Unavailability. *IEEE Transactions on Reliability*, PP(3):1–12.

Anexo A

Dados, gráficos e tabelas de apoio

A.1 Cronograma de tarefas

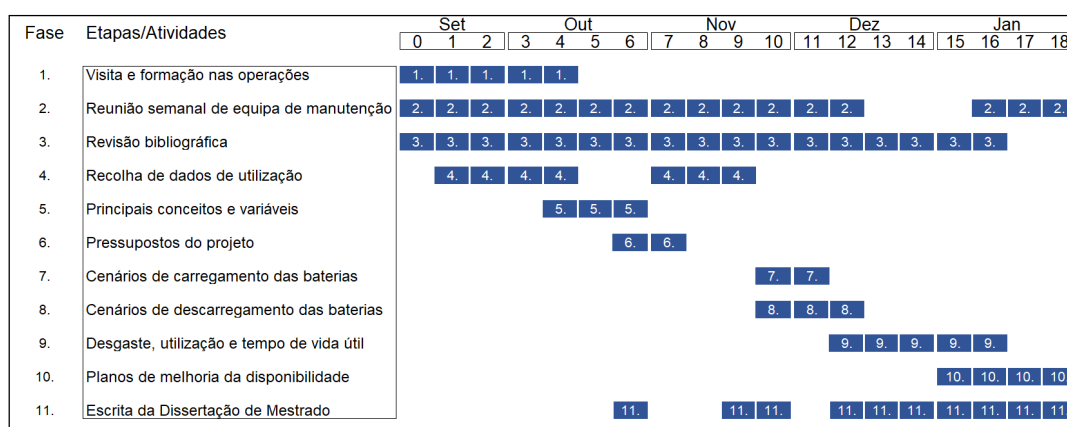


Figura A.1: Cronograma de atividades e tarefas realizadas durante as 18 semanas. Fonte própria

A.2 Incremento da tensão da bateria na região 'Coup de Fouet'

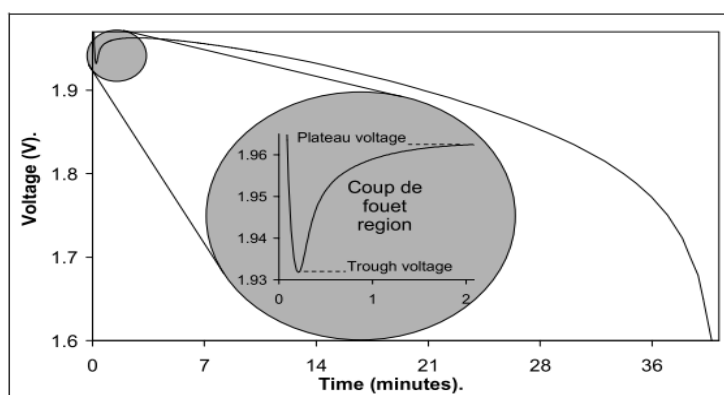
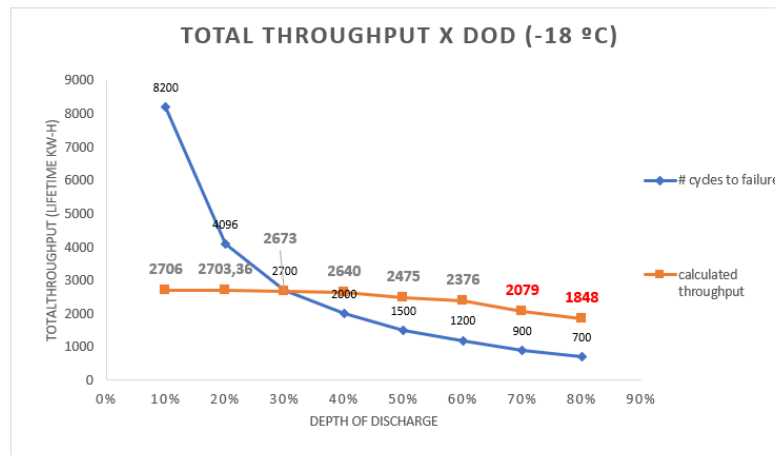


Figura A.2: Tensão da bateria ao longo do processo de descarga, com realce da região 'Coup de Fouet'. Fonte: Pascoe and Sirisena (2002)

A.3 Dados auxiliares e gráfico da variação do tempo de vida útil em função da DOD



Temperatura congelados (-18°C)	
capacity=	250 A-h
Volts =	26,4 V
V/cell =	2,2 V
# cell/battery =	12
3,3 kW-h	

Total Throughput (lifetime kWh)			Total Throughput (lifetime kWh)			Total Throughput (lifetime kWh)		
DoD	# cycles to failure	d	DoD	# cycles to failure	d	DoD	# cycles to failure	d
1%	380	13	31%	2630	2690	61%	1170	2355
2%	760	50	32%	2560	2703	62%	1140	2332
3%	1140	113	33%	2490	2712	63%	1110	2308
4%	1520	201	34%	2420	2715	64%	1080	2281
5%	1900	314	35%	2350	2714	65%	1050	2252
6%	2280	451	36%	2280	2709	66%	1020	2222
7%	2660	614	37%	2210	2698	67%	990	2189
8%	3040	803	38%	2140	2684	68%	960	2154
9%	3420	1016	39%	2070	2664	69%	930	2118
10%	8200	2706	40%	2000	2640	70%	900	2079
11%	7789,6	2828	41%	1950	2638	71%	880	2062
12%	7379,2	2922	42%	1900	2633	72%	860	2043
13%	6968,8	2990	43%	1850	2625	73%	840	2024
14%	6558,4	3030	44%	1800	2614	74%	820	2002
15%	6148	3043	45%	1750	2599	75%	800	1980
16%	5737,6	3029	46%	1700	2581	76%	780	1956
17%	5327,2	2989	47%	1650	2559	77%	760	1931
18%	4916,8	2921	48%	1600	2534	78%	740	1905
19%	4506,4	2826	49%	1550	2506	79%	720	1877
20%	4096	2703	50%	1500	2475	80%	700	1848
21%	3956,4	2742	51%	1470	2474			
22%	3816,8	2771	52%	1440	2471			
23%	3677,2	2791	53%	1410	2466			
24%	3537,6	2802	54%	1380	2459			
25%	3398	2803	55%	1350	2450			
26%	3258,4	2796	56%	1320	2439			
27%	3118,8	2779	57%	1290	2426			
28%	2979,2	2753	58%	1260	2412			
29%	2839,6	2717	59%	1230	2395			
30%	2700	2673	60%	1200	2376			

Figura A.3: Previsão adaptada ao contexto atual do tempo de vida útil de uma bateria VRLA.
Fonte: Bindner et al. (2005)

A.4 Teste à distribuição de Poisson

Admitindo que se verifica o cumprimento dos pressupostos exigidos pela distribuição de Poisson, considere-se os seguintes eventos:

1. "Número de falhas de carregamento por período de trabalho";
2. "Número de falhas de carregamento por turno".

Considerando para os eventos 1 e 2 com, respetivamente, $\lambda_1 = 3,7125$ e $\lambda_2 = 14,85$, podem ser elaborados os gráficos representados, seguidamente, em A.4 e A.5.

Como resultado, podem ser retiradas conclusões sob a realização dos eventos 1 e 2, quando associado um $Y = 0$. A probabilidade de todas as baterias serem colocadas sob o processo de carregamento é:

- 2,44%, quando é relativo ao evento 1, com um $\lambda_1 = 3,7125$;
- $3,6 * 10^{-5}\%$, quando é relativo ao evento 2, com um $\lambda_2 = 14,85$.

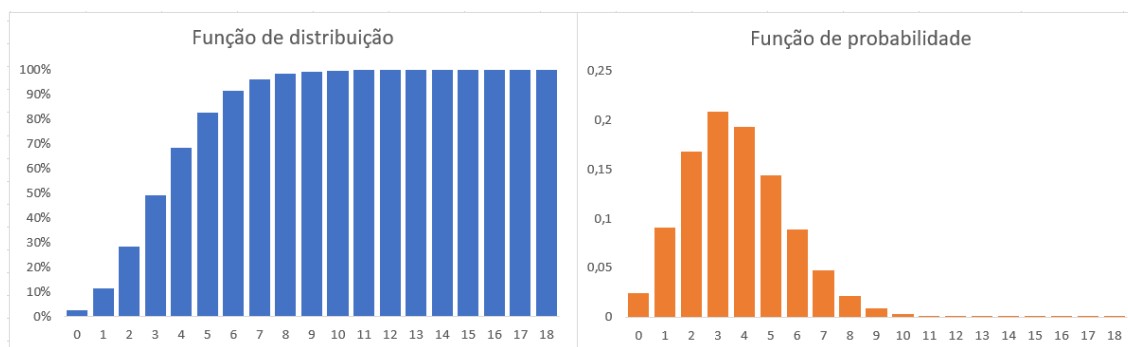


Figura A.4: Função de distribuição (à esquerda) e função de probabilidade (à direita) do evento "Número de falhas de carregamento por período de trabalho". Fonte própria

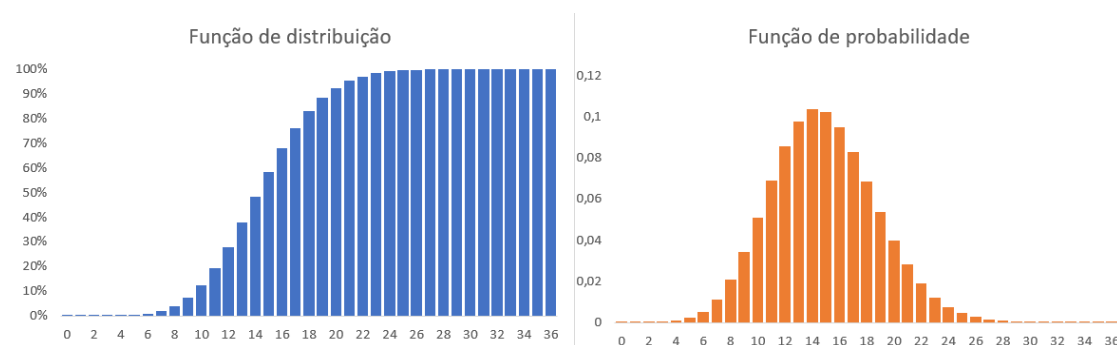


Figura A.5: Função de distribuição (à esquerda) e função de probabilidade (à direita) do evento "Número de falhas de carregamento por turno". Fonte própria

Os dados utilizados para estes cálculos são apresentados seguidamente.

A.4.1 Conjunto de observações recolhidas

Pausa Nº	Baterias por carregar		Pausa Nº	Baterias por carregar		Pausa Nº	Baterias por carregar		Pausa Nº	Baterias por carregar	
1	7	de 18	21	5	de 18	41	9	de 18	61	7	de 18
2	1	de 18	22	1	de 18	42	3	de 18	62	8	de 18
3	3	de 18	23	2	de 18	43	3	de 18	63	1	de 18
4	8	de 18	24	0	de 18	44	8	de 18	64	0	de 18
5	5	de 18	25	3	de 18	45	1	de 18	65	0	de 18
6	4	de 18	26	8	de 18	46	6	de 18	66	0	de 18
7	6	de 18	27	5	de 18	47	3	de 18	67	1	de 18
8	0	de 18	28	4	de 18	48	0	de 18	68	9	de 18
9	2	de 18	29	6	de 18	49	2	de 18	69	3	de 18
10	4	de 18	30	2	de 18	50	6	de 18	70	4	de 18
11	6	de 18	31	3	de 18	51	7	de 18	71	8	de 18
12	3	de 18	32	0	de 18	52	1	de 18	72	0	de 18
13	1	de 18	33	4	de 18	53	7	de 18	73	4	de 18
14	6	de 18	34	2	de 18	54	5	de 18	74	3	de 18
15	2	de 18	35	6	de 18	55	3	de 18	75	8	de 18
16	0	de 18	36	1	de 18	56	0	de 18	76	2	de 18
17	7	de 18	37	3	de 18	57	10	de 18	77	6	de 18
18	5	de 18	38	5	de 18	58	6	de 18	78	3	de 18
19	2	de 18	39	2	de 18	59	6	de 18	79	7	de 18
20	0	de 18	40	0	de 18	60	3	de 18	80	0	de 18

Figura A.6: Conjunto de observações, recolhidas durante 10 (dez) dias, acerca do número de baterias que não foram colocadas à carga no fim de cada período de trabalho/início de cada pausa. Fonte própria

A.5 Teste à normalidade das decisões erradas

Teste de Kolmogorov-Smirnov

População Normal

$F_0(x): N(3,5;1,764)$

μ	3,5
σ	1,328074

Resultado do teste K-S - Qualidade de Ajuste			
n	α	VC	D_n
128	5%	0,120	0,6675
Decisão		Rejeitar H0	

Figura A.7: Teste à normalidade dos dados provenientes das decisões erradas. Fonte própria

A.6 Exemplos de cenários com falhas de carregamento

	Processo	Cenário 2			Cenário 3			Cenário 4			Cenário 5		
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%
45	Charge	Não	66,15%	66,15%	Sim	66,15%	100,00%	Sim	66,15%	100,00%	Sim	66,15%	100,00%
90	Discharge	Sim	66,15%	37,31%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%
90	Charge	Sim	37,31%	100,00%	Não	66,15%	66,15%	Sim	66,15%	100,00%	Sim	66,15%	100,00%
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	66,15%	37,31%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%
30	Charge	Sim	66,15%	93,15%	Sim	37,31%	64,31%	Não	66,15%	66,15%	Sim	66,15%	93,15%
90	Discharge	Sim	93,15%	64,31%	Sim	64,31%	35,46%	Sim	66,15%	37,31%	Sim	93,15%	64,31%
30	Charge	Sim	64,31%	91,31%	Sim	35,46%	62,46%	Sim	37,31%	64,31%	Não	64,31%	64,31%
90	Discharge	Sim	91,31%	62,46%	Sim	62,46%	33,62%	Sim	64,31%	35,46%	Sim	64,31%	35,46%
45	Charge	Sim	62,46%	100,00%	Sim	33,62%	74,12%	Sim	35,46%	75,96%	Sim	35,46%	75,96%
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	74,12%	45,27%	Sim	75,96%	47,12%	Sim	75,96%	47,12%
90	Charge	Sim	66,15%	100,00%	Sim	45,27%	100,00%	Sim	47,12%	100,00%	Sim	47,12%	100,00%
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%
30	Charge	Sim	66,15%	93,15%	Sim	66,15%	93,15%	Sim	66,15%	93,15%	Sim	66,15%	93,15%
90	Discharge	Sim	93,15%	64,31%	Sim	93,15%	64,31%	Sim	93,15%	64,31%	Sim	93,15%	64,31%

Figura A.8: 4 exemplos de 7, da variação do estado de carga da bateria VRLA, em cenários com 1 falha de carregamento, durante um dia de trabalho. Fonte própria

	Processo	Cenário 9			Cenário 10			Cenário 12			Cenário 18		
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%
45	Charge	Não	66,15%	66,15%	Não	66,15%	66,15%	Não	66,15%	66,15%	Sim	66,15%	100,00%
90	Discharge	Sim	66,15%	37,31%	Sim	66,15%	37,31%	Sim	66,15%	37,31%	Sim	100,00%	66,15%
90	Charge	Não	37,31%	37,31%	Sim	37,31%	100,00%	Sim	37,31%	100,00%	Não	66,15%	66,15%
90	Discharge	Sim	37,31%	8,46%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	66,15%	37,31%
30	Charge	Sim	8,46%	35,46%	Não	66,15%	66,15%	Sim	66,15%	93,15%	Sim	37,31%	64,31%
90	Discharge	Sim	35,46%	6,62%	Sim	66,15%	37,31%	Sim	93,15%	64,31%	Sim	64,31%	35,46%
30	Charge	Sim	6,62%	33,62%	Sim	37,31%	64,31%	Sim	64,31%	91,31%	Sim	35,46%	62,46%
90	Discharge	Sim	33,62%	4,77%	Sim	64,31%	35,46%	Sim	91,31%	62,46%	Sim	62,46%	33,62%
45	Charge	Sim	4,77%	45,27%	Sim	35,46%	75,96%	Não	62,46%	62,46%	Sim	33,62%	74,12%
90	Discharge	Sim	45,27%	16,42%	Sim	75,96%	47,12%	Sim	62,46%	33,62%	Sim	74,12%	45,27%
90	Charge	Sim	16,42%	97,42%	Sim	47,12%	100,00%	Sim	33,62%	100,00%	Não	45,27%	45,27%
90	Discharge	Sim	97,42%	68,58%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	45,27%	16,42%
30	Charge	Sim	68,58%	95,58%	Sim	66,15%	93,15%	Sim	66,15%	93,15%	Sim	16,42%	43,42%
90	Discharge	Sim	95,58%	66,73%	Sim	93,15%	64,31%	Sim	93,15%	64,31%	Sim	43,42%	14,58%

Figura A.9: 4 exemplos de 21, da variação do estado de carga da bateria VRLA, em cenários com 2 falhas de carregamento, durante um dia de trabalho. Fonte própria

Processo		Cenário 30			Cenário 31			Cenário 34			Cenário 36		
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%
45	Charge	Não	66,15%	66,15%	Não	66,15%	66,15%	Não	66,15%	66,15%	Não	66,15%	66,15%
90	Discharge	Sim	66,15%	37,31%	Sim	66,15%	37,31%	Sim	66,15%	37,31%	Sim	66,15%	37,31%
90	Charge	Não	37,31%	37,31%	Não	37,31%	37,31%	Não	37,31%	37,31%	Sim	37,31%	100,00%
90	Discharge	Sim	37,31%	8,46%	Sim	37,31%	8,46%	Sim	37,31%	8,46%	Sim	100,00%	66,15%
30	Charge	Não	8,46%	8,46%	Sim	8,46%	35,46%	Sim	8,46%	35,46%	Não	66,15%	66,15%
90	Discharge	Sim	8,46%	0,00%	Sim	35,46%	6,62%	Sim	35,46%	6,62%	Sim	66,15%	37,31%
30	Charge	Sim	-	-	Não	6,62%	6,62%	Sim	6,62%	33,62%	Sim	37,31%	64,31%
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	6,62%	0,00%	Sim	33,62%	4,77%	Sim	64,31%	35,46%
45	Charge	Sim	66,15%	100,00%	Sim	-	-	Sim	4,77%	45,27%	Não	35,46%	35,46%
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	45,27%	16,42%	Sim	35,46%	6,62%
90	Charge	Sim	66,15%	100,00%	Sim	66,15%	100,00%	Sim	16,42%	97,42%	Sim	6,62%	87,62%
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	97,42%	68,58%	Sim	87,62%	58,77%
30	Charge	Sim	66,15%	93,15%	Sim	66,15%	93,15%	Não	68,58%	68,58%	Sim	58,77%	85,77%
90	Discharge	Sim	93,15%	64,31%	Sim	93,15%	64,31%	Sim	68,58%	39,73%	Sim	85,77%	56,92%

Figura A.10: 4 exemplos de 35, da variação do estado de carga da bateria VRLA, em cenários com 3 falhas de carregamento, durante um dia de trabalho. Fonte própria

Processo		Cenário 66			Cenário 67			Cenário 72			Cenário 74		
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%
45	Charge	Não	66,15%	66,15%	Não	66,15%	66,15%	Não	66,15%	66,15%	Não	66,15%	66,15%
90	Discharge	Sim	66,15%	37,31%	Sim	66,15%	37,31%	Sim	66,15%	37,31%	Sim	66,15%	37,31%
90	Charge	Não	37,31%	37,31%	Não	37,31%	37,31%	Não	37,31%	37,31%	Não	37,31%	37,31%
90	Discharge	Sim	37,31%	8,46%	Sim	37,31%	8,46%	Sim	37,31%	8,46%	Sim	37,31%	8,46%
30	Charge	Não	8,46%	8,46%	Não	8,46%	8,46%	Sim	8,46%	35,46%	Sim	8,46%	35,46%
90	Discharge	Sim	8,46%	0,00%	Sim	8,46%	0,00%	Sim	35,46%	6,62%	Sim	35,46%	6,62%
30	Charge	Sim	-	-	Sim	-	-	Sim	6,62%	33,62%	Sim	6,62%	33,62%
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	33,62%	4,77%	Sim	33,62%	4,77%
45	Charge	Não	66,15%	66,15%	Sim	66,15%	100,00%	Não	4,77%	4,77%	Sim	4,77%	45,27%
90	Discharge	Sim	66,15%	37,31%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	4,77%	0,00%	Sim	45,27%	16,42%
90	Charge	Sim	37,31%	100,00%	Não	66,15%	66,15%	Não	-	-	Não	16,42%	16,42%
90	Discharge	Sim	100,00%	66,15%	Sim	66,15%	37,31%	Sim	100,00%	66,15%	Sim	16,42%	0,00%
30	Charge	Sim	66,15%	93,15%	Sim	37,31%	64,31%	Sim	66,15%	93,15%	Não	-	-
90	Discharge	Sim	93,15%	64,31%	Sim	64,31%	35,46%	Sim	93,15%	64,31%	Sim	100,00%	66,15%

Figura A.11: 4 exemplos de 35, da variação do estado de carga da bateria VRLA, em cenários com 4 falhas de carregamento, durante um dia de trabalho. Fonte própria

A.7 Variação de SOC e da previsão do tempo de vida útil ao longo do dia

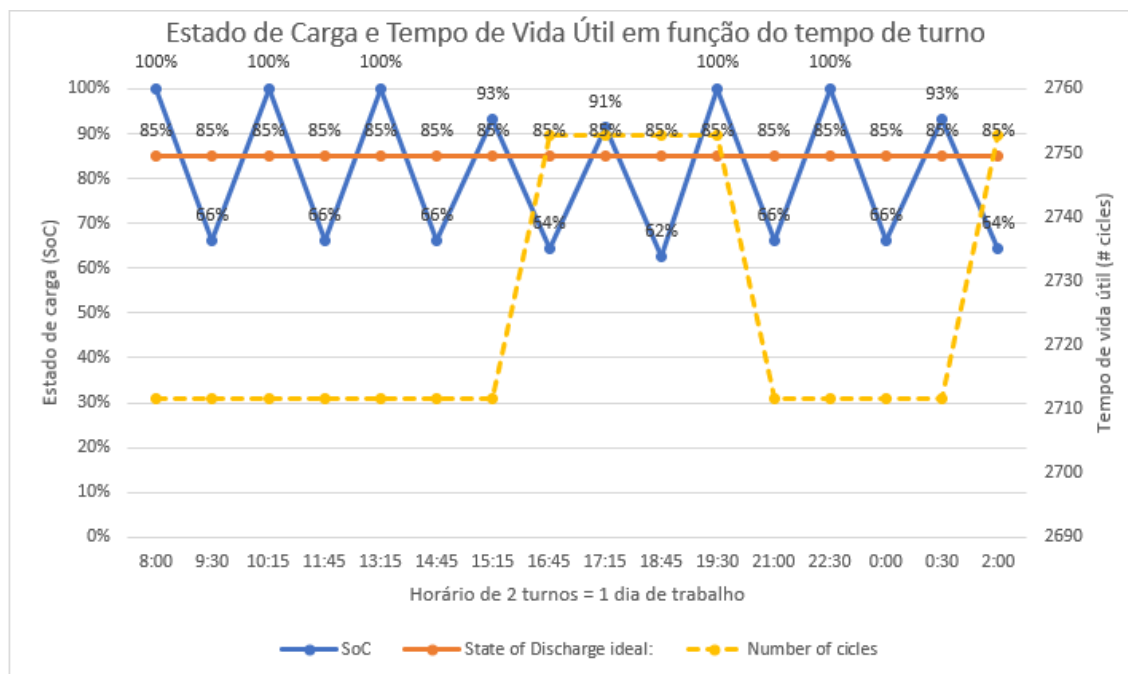


Figura A.12: Variação do estado de carga de uma bateria VRLA e da sua previsão do tempo de vida útil, ao longo de um dia, num cenário sem falhas de carregamento. Fonte própria

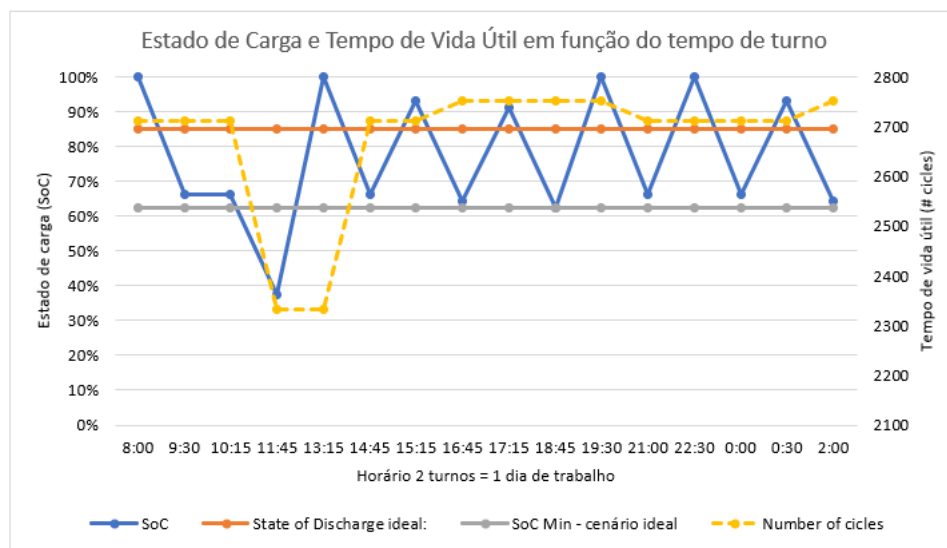


Figura A.13: Variação do estado de carga de uma bateria VRLA e da sua previsão do tempo de vida útil, ao longo de um dia, num cenário com 1 falha de carregamento. Fonte própria

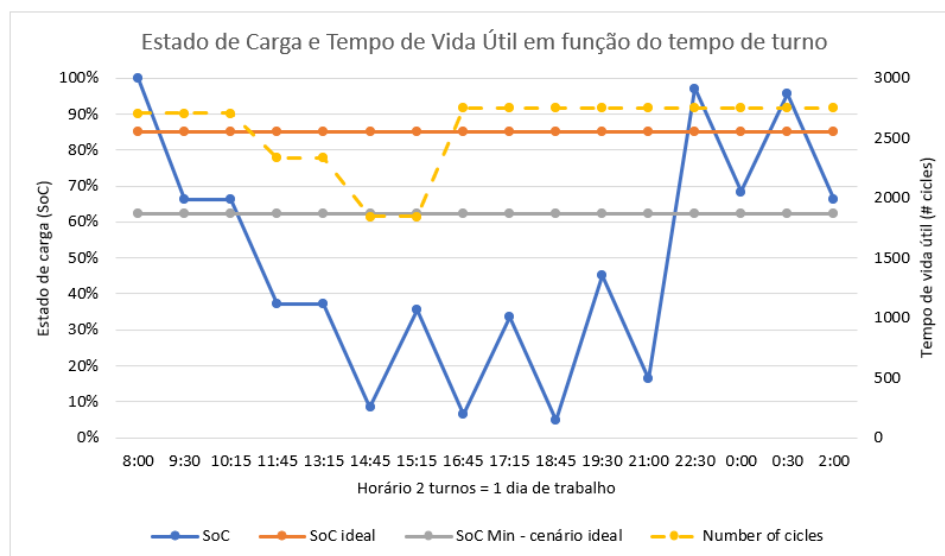


Figura A.14: Variação do estado de carga de uma bateria VRLA e da sua previsão do tempo de vida útil, ao longo de um dia, num cenário com 2 falhas de carregamento. Fonte própria

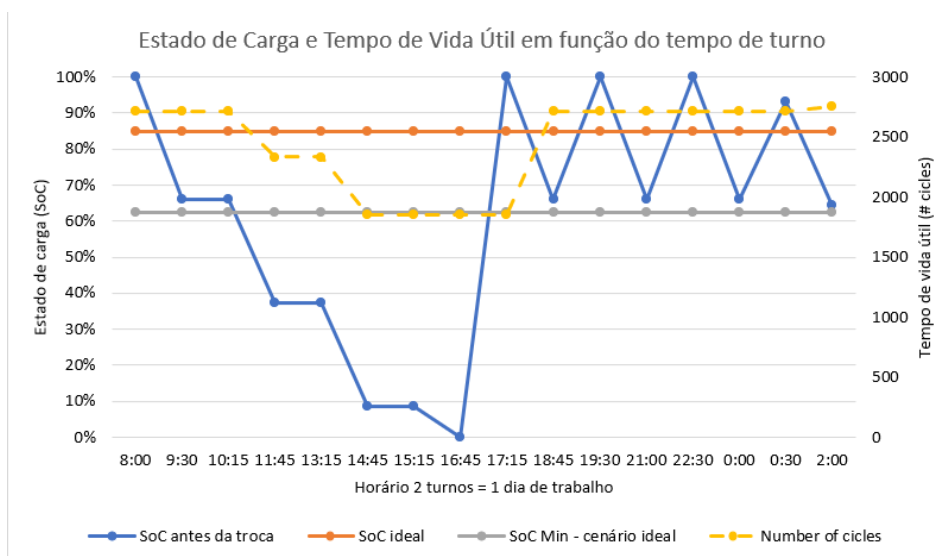


Figura A.15: Variação do estado de carga de uma bateria VRLA e da sua previsão do tempo de vida útil, ao longo de um dia, num cenário com 3 falhas de carregamento. Fonte própria

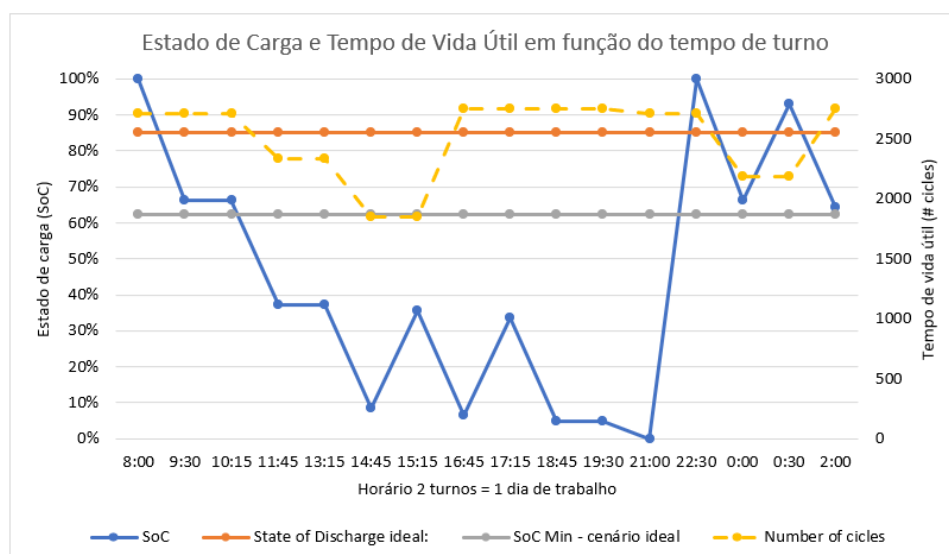


Figura A.16: Variação do estado de carga de uma bateria VRLA e da sua previsão do tempo de vida útil, ao longo de um dia, num cenário com 4 falhas de carregamento. Fonte própria

A.8 Simulação das diversas sequências de descarga, consoante a etapa da proposta de resolução e das condições do local de descarga

Dias da semana:		2ª feira	3ª feira	4ª feira	5ª feira	6ª feira	Sábado	Domingo
Contagem de dias:		1	2	3	4	5	6	7
Congelados								
Local								Repouso
Descarga	Início	Fim	Soc (%)	DoD (%)	Soc (%)	DoD (%)	Soc (%)	DoD (%)
1	8:00 AM	9:30 AM	66%	34,00%	66%	34%	66%	34%
2	10:15 AM	11:45 AM	66%	34,00%	66%	34%	66%	34%
3	1:15 PM	2:45 PM	66%	34,00%	66%	34%	66%	34%
4	3:15 PM	4:45 PM	71%	29,00%	71%	29%	71%	29%
5	5:15 PM	6:45 PM	71%	29,00%	71%	29%	71%	29%
6	7:30 PM	9:00 PM	66%	34,00%	66%	34%	66%	34%
7	10:30 PM	12:00 AM	66%	34,00%	66%	34%	66%	34%
8	12:30 AM	2:00 AM	71%	29,00%	71%	29%	71%	29%
Local								Repouso
Descarga	Início	Fim	Soc (%)	DoD (%)	Soc (%)	DoD (%)	Soc (%)	DoD (%)
1	8:00 AM	9:30 AM	2715	0,00368324	2715	0,00368324	2715	0,00368324
2	10:15 AM	11:45 AM	2715	0,00368324	2715	0,00368324	2715	0,00368324
3	1:15 PM	2:45 PM	2715	0,00368324	2715	0,00368324	2715	0,00368324
4	3:15 PM	4:45 PM	2717	0,00368053	2717	0,00368053	2717	0,00368053
5	5:15 PM	6:45 PM	2717	0,00368053	2717	0,00368053	2717	0,00368053
6	7:30 PM	9:00 PM	2715	0,00368324	2715	0,00368324	2715	0,00368324
7	10:30 PM	12:00 AM	2715	0,00368324	2715	0,00368324	2715	0,00368324
8	12:30 AM	2:00 AM	2717	0,00368053	2717	0,00368053	2717	0,00368053
Desgaste acumulado diário			0,2946%	0,2946%	0,2946%	0,2946%	0,2946%	0,1473%
Desgaste acumulado total			0,2946%	0,8837%	1,1783%	1,4729%	1,6202%	1,6202%

Figura A.17: Simulação de sequências de descarregamento quando uma bateria VRLA permanece 7 dias dentro dos congelados (5,5 dias em operação e 1,5 dias em repouso. Fonte própria

Dias da semana:		2ª feira	3ª feira	4ª feira	5ª feira	6ª feira	Sábado	Domingo
Contagem de dias:		1	2	3	4	5	6	7
Congelados								
Repouso								
Descarga	Início	Fim	SoC (%)	DoD (%)	SoC (%)	DoD (%)	SoC (%)	DoD (%)
1	8:00 AM	9:30 AM	66%	34,00%	66%	34%	66%	34%
2	10:15 AM	11:45 AM	66%	34,00%	66%	34%	66%	34%
3	1:15 PM	2:45 PM	66%	34,00%	66%	34%	66%	34%
4	3:15 PM	4:45 PM	71%	29,00%	71%	29%	71%	29%
5	5:15 PM	6:45 PM	71%	29,00%	71%	29%	100%	0%
6	7:30 PM	9:00 PM	66%	34,00%	66%	34%	100%	0%
7	10:30 PM	12:00 AM	66%	34,00%	66%	34%	100%	0%
8	12:30 AM	2:00 AM	71%	29,00%	71%	29%	100%	0%
Repouso								
1	2	3	4	5	6	1	2	
Descarga	Início	Fim	Life cycle	Desgaste	Life cycle	Desgaste	Life cycle	Desgaste
1	8:00 AM	9:30 AM	2715	0,000368324	2715	0,000368324	2715	0,000368324
2	10:15 AM	11:45 AM	2715	0,000368324	2715	0,000368324	2715	0,000368324
3	1:15 PM	2:45 PM	2715	0,000368324	2715	0,000368324	2715	0,000368324
4	3:15 PM	4:45 PM	2717	0,000368053	2717	0,000368053	2717	0,000368053
5	5:15 PM	6:45 PM	2717	0,000368053	2717	0,000368053	2717	0,000368053
6	7:30 PM	9:00 PM	2715	0,000368324	2715	0,000368324	2715	0,000368324
7	10:30 PM	12:00 AM	2715	0,000368324	2715	0,000368324	2715	0,000368324
8	12:30 AM	2:00 AM	2717	0,000368053	2717	0,000368053	2717	0,000368053
Desgaste acumulado diário			0,2946%	0,2946%	0,2946%	0,2946%	0,1473%	0,0000%
Desgaste acumulado total			0,2946%	0,5892%	0,8837%	1,1783%	1,4729%	1,6202%

Figura A.18: Simulação de sequências de descarregamento quando uma bateria VRLA permanece 5,5 dias em operação nos congelados e 1,5 dias em repouso fora dos congelados. Fonte própria

Dias da semana:		2ª feira	3ª feira	4ª feira	5ª feira	6ª feira	Sábado	Domingo
Contagem de dias:		1	2	3	4	5	6	7
Descarga	Local	Congelados						Ambiente*
		SoC [%]	DoD [%]	SoC [%]	DoD [%]	SoC [%]	DoD [%]	
1	Fim	66%	34%	66%	34%	66%	34%	24%
2	8:00 AM	66%	34%	66%	34%	66%	34%	24%
3	10:15 AM	66%	34%	66%	34%	66%	34%	24%
4	1:15 PM	66%	34%	66%	34%	66%	34%	24%
5	3:15 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
6	4:45 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
7	5:15 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
8	6:45 PM	66%	34%	66%	34%	66%	34%	24%
9	7:30 PM	66%	34%	66%	34%	66%	34%	24%
10	10:30 PM	66%	34%	66%	34%	66%	34%	24%
11	12:00 AM	66%	34%	66%	34%	66%	34%	24%
12	2:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
13	2:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
14	3:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
15	3:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
16	4:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
17	4:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
18	5:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
19	5:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
20	6:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
21	6:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
22	7:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
23	7:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
24	8:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
25	8:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
26	9:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
27	9:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
28	10:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
29	10:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
30	11:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
31	11:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
32	12:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
33	12:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
34	1:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
35	1:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
36	2:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
37	2:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
38	3:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
39	3:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
40	4:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
41	4:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
42	5:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
43	5:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
44	6:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
45	6:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
46	7:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
47	7:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
48	8:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
49	8:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
50	9:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
51	9:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
52	10:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
53	10:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
54	11:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
55	11:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
56	12:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
57	12:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
58	1:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
59	1:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
60	2:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
61	2:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
62	3:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
63	3:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
64	4:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
65	4:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
66	5:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
67	5:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
68	6:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
69	6:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
70	7:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
71	7:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
72	8:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
73	8:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
74	9:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
75	9:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
76	10:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
77	10:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
78	11:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
79	11:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
80	12:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
81	12:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
82	1:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
83	1:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
84	2:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
85	2:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
86	3:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
87	3:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
88	4:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
89	4:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
90	5:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
91	5:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
92	6:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
93	6:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
94	7:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
95	7:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
96	8:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
97	8:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
98	9:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
99	9:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
100	10:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
101	10:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
102	11:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
103	11:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
104	12:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
105	12:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
106	1:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
107	1:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
108	2:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
109	2:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
110	3:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
111	3:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
112	4:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
113	4:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
114	5:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
115	5:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
116	6:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
117	6:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
118	7:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
119	7:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
120	8:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
121	8:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
122	9:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
123	9:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
124	10:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
125	10:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
126	11:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
127	11:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
128	12:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
129	12:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
130	1:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
131	1:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
132	2:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
133	2:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
134	3:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
135	3:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
136	4:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
137	4:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
138	5:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
139	5:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
140	6:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
141	6:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
142	7:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
143	7:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
144	8:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
145	8:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
146	9:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
147	9:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
148	10:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
149	10:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
150	11:00 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
151	11:30 PM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
152	12:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
153	12:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
154	1:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
155	1:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
156	2:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
157	2:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
158	3:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
159	3:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
160	4:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
161	4:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
162	5:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
163	5:30 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%
164	6:00 AM	71%	29%	71%	29%	71%	29%	24%

Dias da semana:		2ª feira		3ª feira		4ª feira		5ª feira		6ª feira		Sábado		Domingo	
Contagem de dias:		1		2		3		4		5		6		7	
Ambiente*															
Local															
Descarga	Início	Fim	SoC (%)	DoD (%)	SoC (%)	DoD (%)	SoC (%)	DoD (%)	SoC (%)	DoD (%)	SoC (%)	DoD (%)	SoC (%)	DoD (%)	
1	8:00 AM	9:30 AM	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	24%
2	10:15 AM	11:45 AM	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	24%
3	1:15 PM	2:45 PM	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	24%
4	3:15 PM	4:45 PM	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	24%
5	5:15 PM	6:45 PM	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	24%
6	7:30 PM	9:00 PM	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	24%
7	10:30 PM	12:00 AM	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	24%
8	12:30 AM	2:00 AM	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	76%	24%	24%
12															
1															
Descarga	Início	Fim	Life cycle	Desgaste	Life cycle	Desgaste	Life cycle	Desgaste	Life cycle	Desgaste	Life cycle	Desgaste	Life cycle	Desgaste	
1	8:00 AM	9:30 AM	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	0,000179179
2	10:15 AM	11:45 AM	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	0,000179179
3	1:15 PM	2:45 PM	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	0,000179179
4	3:15 PM	4:45 PM	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	0,000179179
5	5:15 PM	6:45 PM	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	0,000179179
6	7:30 PM	9:00 PM	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	0,000179179
7	10:30 PM	12:00 AM	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	0,000179179
8	12:30 AM	2:00 AM	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	5581	0,000179179	0,000179179
Desgaste acumulado diário			0,1433%		0,1433%		0,1433%		0,1433%		0,1433%		0,1433%		0,1433%
Desgaste acumulado total			0,1433%		0,2867%		0,4300%		0,5734%		0,7167%		0,8601%		1,0034%

Figura A.20: Simulação de sequências de descarregamento quando uma bateria VRLA permanece 7 dias em operação em ambiente. Fonte própria

A.9 Exemplificação, para 10 semanas, da rotação dos grupos de baterias, segundo as propostas de resolução

Tabela A.1: Planeamento para 10 semanas para a proposta "TO-BE Rotação 18+2". Fonte própria

Propostas: "TO-BE Rotação 18+2"										
Semanas:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grupo 1 (2 baterias)	F	F	F	F	F	F	F	F	F-R	Q
Grupo 2 (2 baterias)	F	F	F	F	F	F	F	F-R	Q	F
Grupo 3 (2 baterias)	F	F	F	F	F	F	F-R	Q	F	F
Grupo 4 (2 baterias)	F	F	F	F	F	F-R	Q	F	F	F
Grupo 5 (2 baterias)	F	F	F	F	F-R	Q	F	F	F	F
Grupo 6 (2 baterias)	F	F	F	F-R	Q	F	F	F	F	F
Grupo 7 (2 baterias)	F	F	F-R	Q	F	F	F	F	F	F
Grupo 8 (2 baterias)	F	F-R	Q	F	F	F	F	F	F	F
Grupo 9 (2 baterias)	F-R	Q	F	F	F	F	F	F	F	F
Grupo 10 (2 baterias)	Q	F	F	F	F	F	F	F	F	F-R

F: Planeamento para operações em congelados, representado na figura A.17

F-R: Planeamento para operações em congelados, com repouso fora, representado na figura A.18

Q: Planeamento para operações em ambiente, representado na figura A.20

Tabela A.2: Planeamento para 10 semanas para a proposta "TO-BE Rotação 18+3". Fonte própria

Propostas: "TO-BE Rotação 18+3"										
Semanas:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grupo 1 (3 baterias)	F	F	F	F	F	F-R	Q	F	F	F
Grupo 2 (3 baterias)	F	F	F	F	F-R	Q	F	F	F	F
Grupo 3 (3 baterias)	F	F	F	F-R	Q	F	F	F	F	F
Grupo 4 (3 baterias)	F	F	F-R	Q	F	F	F	F	F	F-R
Grupo 5 (3 baterias)	F	F-R	Q	F	F	F	F	F	F-R	Q
Grupo 6 (3 baterias)	F-R	Q	F	F	F	F	F	F-R	Q	F
Grupo 7 (3 baterias)	Q	F	F	F	F	F	F-R	Q	F	F

F: Planeamento para operações em congelados, representado na figura A.17

F-R: Planeamento para operações em congelados, com repouso fora, representado na figura A.18

Q: Planeamento para operações em ambiente, representado na figura A.20

Tabela A.3: Planeamento para 10 semanas para a proposta "*TO-BE Rotação 18+6*". Fonte própria

Propostas: " <i>TO-BE Rotação 18+6</i> "										
Semanas:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grupo 1 (6 baterias)	F	F	F-R	Q	F	F	F-R	Q	F	F
Grupo 2 (6 baterias)	F	F-R	Q	F	F	F-R	Q	F	F	F-R
Grupo 3 (6 baterias)	F-R	Q	F	F	F-R	Q	F	F	F-R	Q
Grupo 4 (6 baterias)	Q	F	F	F-R	Q	F	F	F-R	Q	F

F: Planeamento para operações em congelados, representado na figura A.17

F-R: Planeamento para operações em congelados, com repouso fora, representado na figura A.18

Q: Planeamento para operações em ambiente, representado na figura A.20

Tabela A.4: Planeamento para 10 semanas para a proposta "*TO-BE Rotação 18+9*". Fonte própria

Propostas: " <i>TO-BE Rotação 18+9</i> "										
Semanas:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grupo 1 (9 baterias)	F	F-R	Q	F	F-R	Q	F	F-R	Q	F
Grupo 2 (9 baterias)	F-R	Q	F	F-R	Q	F	F-R	Q	F	F-R
Grupo 3 (9 baterias)	Q	F	F-R	Q	F	F-R	Q	F	F-R	Q

F: Planeamento para operações em congelados, representado na figura A.17

F-R: Planeamento para operações em congelados, com repouso fora, representado na figura A.18

Q: Planeamento para operações em ambiente, representado na figura A.20

Tabela A.5: Planeamento para 10 semanas para a proposta "*TO-BE Rotação 18+18*". Fonte própria

Propostas: " <i>TO-BE Rotação 18+18</i> "										
Semanas:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grupo 1 (18 baterias)	F-R	Q	F-R	Q	F-R	Q	F-R	Q	F-R	Q
Grupo 2 (18 baterias)	Q	F-R	Q	F-R	Q	F-R	Q	F-R	Q	F-R

F: Planeamento para operações em congelados, representado na figura A.17

F-R: Planeamento para operações em congelados, com repouso fora, representado na figura A.18

Q: Planeamento para operações em ambiente, representado na figura A.20

A.10 Interfaces de apoio

A.10.1 Interface de apoio ao eletricitista

A interface de apoio ao eletricitista possui 2 secções distintas: registo e histórico. O registo permite a adição de uma nova inspeção à base de dados existente. Por sua vez, o histórico permite a visualização de inspeções feitas, anteriormente à data apresentada, na bateria sob análise.

Assim, aquando da inspeção de uma determinada bateria, é feito o registo das diversas tensões medidas em cada um dos 12 (doze) componentes da bateria. Seguidamente, existe a opção de submeter os dados na base de dados ou apagar o presente registo.

Finalmente, o histórico possui, ainda, 2 (dois) botões distintos. Estes permitem a edição de um determinado registo ou a eliminação do mesmo da base de dados. De destacar que aquando da seleção do botão "editar", os valores são apresentados na secção superior, prontos para a necessária alteração.

A.10.2 Interface de apoio ao operador da oficina

A interface de apoio ao operador da oficina possui 2 secções distintas: registo e histórico. O registo permite a adição de uma nova troca de componentes à base de dados existente. Por sua vez, o histórico permite a visualização de intervenções previamente feitas, na bateria sob análise.

Assim, aquando da intervenção sobre uma determinada bateria, é feito o registo do componente que sofreu a troca, através da seleção do componente em questão. Seguidamente, existe a opção de submeter a alteração na base de dados ou apagar o presente registo.

Finalmente, o histórico possui, ainda, 2 (dois) botões distintos. Estes permitem a edição de um determinado registo ou a eliminação do mesmo da base de dados. De destacar que aquando da seleção do botão "editar", tanto o componente em questão, bem com a respetiva bateria são apresentados na secção superior, prontos para a necessária alteração.

Seguidamente é apresentada parte do código utilizado para a programação da interface de apoio ao eletricitista. Por similaridade entre partes do código, o mesmo não é apresentado na íntegra. Por outro lado, devido à semelhança entre o código associado às interfaces de apoio ao eletricitista e ao operador de oficina, apenas a será apresentado relativo à primeira.

Sub ResetForm ()

Dim iRow As Long

With formDataEntry

.txtBateria.Text = " "

.txtBateria.BackColor = vbWhite

.txtC1.Text = " "

.txtC1.BackColor = vbWhite

txtC2.Text = " "

.txtC2.BackColor = vbWhite

txtC3.Text = " "

.txtC3.BackColor = vbWhite

txtC4.Text = " "

.txtC4.BackColor = vbWhite

txtC5.Text = " "

.txtC5.BackColor = vbWhite

txtC6.Text = " "

.txtC6.BackColor = vbWhite

txtC7.Text = " "

.txtC7.BackColor = vbWhite

txtC8.Text = " "

.txtC8.BackColor = vbWhite

txtC9.Text = " "

.txtC9.BackColor = vbWhite

txtC10.Text = " "

.txtC10.BackColor = vbWhite

txtC11.Text = " "

.txtC11.BackColor = vbWhite

txtC12.Text = " "

.txtC12.BackColor = vbWhite

.txtDate.Text = " "

.txtData.BackColor = vbWhite

.txtRowNumber.Value = " "

.cmdSubmit.Caption = "Submit"

.listDatabase.ColumnCount = 14

.listDatabase.ColumnHeads = True

.listDatabase.ColumnWidths = "50,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,30"

iRow = shDatabase.Range("A"& Rows.Count).End(xlUp).row + 1

If iRow > 1 Then

.listDatabase.RowSource = "Database!A2:L"& iRow

Else

.listDatabase.RowSource = "Database!A2:L2"

End If

End With

End Sub

Function ValidEntry() As Booleana

ValidEntry=True

With formDataEntry

.txtBateria.BackColor = vbWhite

.txtC1.BackColor = vbWhite

.txtC2.BackColor = vbWhite

.txtC3.BackColor = vbWhite

.txtC4.BackColor = vbWhite

.txtC5.BackColor = vbWhite

.txtC6.BackColor = vbWhite

.txtC7.BackColor = vbWhite

.txtC8.BackColor = vbWhite

.txtC9.BackColor = vbWhite

.txtC10.BackColor = vbWhite

.txtC11.BackColor = vbWhite

.txtC12.BackColor = vbWhite

.txtData.BackColor = vbWhite

If Trim(.txtBateria.Value) = "" Then

MsgBox "Por favor insira a identificação da bateria.", vbOKOnly+vbInformation, "Bateria"

.txtBateria.BackColor = vbRed

.txtBateria.SetFocus

ValidEntry=False

Exit Function

End if

If Trim(.txtC1.Value) = "" Then

MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 1"

.txtC1.BackColor = vbRed

.txtC1.SetFocus

ValidEntry=False

Exit Function

End if

If Trim(.txtC2.Value) = "" Then

MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 2"

.txtC2.BackColor = vbRed

.txtC2.SetFocus

ValidEntry=False

Exit Function

End if

If Trim(.txtC3.Value) = "" Then

MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 3"

.txtC3.BackColor = vbRed

.txtC3.SetFocus

ValidEntry=False

Exit Function

End if

If Trim(.txtC4.Value) = "" Then

MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 4"

.txtC4.BackColor = vbRed

.txtC4.SetFocus

ValidEntry=False

Exit Function

End if

```
If Trim(.txtC5.Value) = "" Then
    MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 5"
    .txtC5.BackColor = vbRed
    .txtC5.SetFocus
    ValidEntry=False
    Exit Function
End if
If Trim(.txtC6.Value) = "" Then
    MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 6"
    .txtC6.BackColor = vbRed
    .txtC6.SetFocus
    ValidEntry=False
    Exit Function
End if
If Trim(.txtC7.Value) = "" Then
    MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 7"
    .txtC7.BackColor = vbRed
    .txtC7.SetFocus
    ValidEntry=False
    Exit Function
End if
If Trim(.txtC8.Value) = "" Then
    MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 8"
    .txtC8.BackColor = vbRed
    .txtC8.SetFocus
    ValidEntry=False
    Exit Function
End if
If Trim(.txtC9.Value) = "" Then
    MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 9"
    .txtC9.BackColor = vbRed
    .txtC9.SetFocus
    ValidEntry=False
    Exit Function
End if
If Trim(.txtC10.Value) = "" Then
    MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 10"
    .txtC10.BackColor = vbRed
    .txtC10.SetFocus
    ValidEntry=False
    Exit Function
End if
If Trim(.txtC11.Value) = "" Then
    MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 11"
    .txtC11.BackColor = vbRed
    .txtC11.SetFocus
    ValidEntry=False
    Exit Function
End if
```

```

        If Trim(.txtC12.Value) = "" Then
            MsgBox "Por favor insira um valor válido.", vbOKOnly+vbInformation, "Componente 12"
            .txtC12.BackColor = vbRed
            .txtC12.SetFocus
            ValidEntry=False
            Exit Function
        End if
        If Trim(.txtDate.Value) = "" Then
            MsgBox "Por favor insira uma data válida.", vbOKOnly + vbInformation, "Data inválida"
            .txtDate.BackColor = vbRed
            .txtDate.SetFocus
            ValidEntry=False
            Exit Function
        End if
    End With
End Function

Sub SubmitData()
    Dim iRow As Long
    If formDataEntry.txtRowNumber.Value = "" Then
        iRow = shDatabase.Range("A"& Rows.Count).End(xlUp).row + 1
    Else
        iRow = formDataEntry.txtRowNumber.Value
    End If
    With shDatabase.Range("A"& iRow)
        .Offset(0, 0).Value = "=Row()-1"
        .Offset(0, 1).Value = frmDataEntry.txtBateria.Value
        .Offset(0, 2).Value = frmDataEntry.txtC1.Value
        .Offset(0, 3).Value = frmDataEntry.txtC2.Value
        .Offset(0, 4).Value = frmDataEntry.txtC3.Value
        .Offset(0, 5).Value = frmDataEntry.txtC4.Value
        .Offset(0, 6).Value = frmDataEntry.txtC5.Value
        .Offset(0, 7).Value = frmDataEntry.txtC6.Value
        .Offset(0, 8).Value = frmDataEntry.txtC7.Value
        .Offset(0, 9).Value = frmDataEntry.txtC8.Value
        .Offset(0, 10).Value = frmDataEntry.txtC9.Value
        .Offset(0, 11).Value = frmDataEntry.txtC10.Value
        .Offset(0, 12).Value = frmDataEntry.txtC11.Value
        .Offset(0, 13).Value = frmDataEntry.txtC12.Value
        .Offset(0, 14).Value = frmDataEntry.txtDate.Value
    End With
    Call ResetForm
    Application.ScreenUpdating = True
    MsgBox "Registo submetido com sucesso!"
End Sub

```

Function SelectedList() As Long

```

Dim i As Long
SelectedList = 0
If formDataEntry.listDatabase.ListCount = 1 Then Exit Function
    For i = 0 To formDataEntry.listDatabase.ListCount - 1
        If formDataEntry.listDatabase.Selected(i) = True Then
            SelectedList = i + 1
        End If
    Next i
End Function

```

Sub ShowForm()

```

    formDataEntry.Show
End Sub

```

Private Sub UserFormInitialize()

```

    Call ResetForm
End Sub

```

Private Sub cmdSubmit-Click()

```

Dim i As VbMsgBoxResult
    i = MsgBox("Pretende submeter o registo?", vbYesNo + vbQuestion, "Submeter registo")
    If i = vbNo Then Exit Sub
    If ValidEntry Then
        Call SubmitData
    End If
End Sub

```

Private Sub cmdReset-Click()

```

Dim i As VbMsgBoxResult
    i = MsgBox("Pretende reiniciar a interface?", vbYesNo + vbQuestion, "Reset")
    If i = vbNo Then Exit Sub
    Call ResetForm
End Sub

```

Private Sub cmdDelete-Click()

```

If SelectedList = 0 Then
    MsgBox "Nenhuma linha foi seleccionada.", vbOKOnly + vbInformation, "Apagar"
    Exit Sub
End If
Dim i As VbMsgBoxResult
Dim row As Long
    row = Me.listDatabase.List(Me.listDatabase.ListIndex, 0) + 1
    i = MsgBox("Pretende apagar o registo seleccionado?", vbYesNo + vbQuestion, "Apagar")
    If i = vbNo Then Exit Sub
    ThisWorkbook.Sheets("Database").Rows(row).Delete
    Call Reset
    MsgBox "O registo seleccionado foi apagado.", vbOKOnly + vbInformation, "Apagar"
End Sub

```

A.11 Planos de custos anual

Tabela A.6: Plano de custos para a proposta "TO-BE repouso a frio". Fonte própria

1.	Custo de aquisição	64.800,00 €
1.1.	Nº baterias VRLA	18
1.2.	C. bateria VRLA	3.600,00 €
2.	Custo de manutenção	7.679,41 €
2.1.	C. componentes de reserva	4.050,00 €
a)	Nº componentes	9
b)	C. componente	450,00 €
2.2.	C. do picker	0,00€
2.3.	C. do C.E.C. ^a	605,41 €
a)	C. supervisão	605,51 €
I)	Nº supervisões anuais	2112
i)	Supervisões semanais	44
ii)	Semanas anuais	48
II)	Tempo supervisão (min)	5
III)	Custo do tempo (€/min)	0.05733 €
i)	C. remuneração mensal	1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)	24.420
-	Turnos por semana	11
-	Trabalho (min/turno)	360
-	Pausa (min/turno)	195
2.4.	C. do eletricista	3.024,00 €
a)	C. medições de tensão	3.024,00 €
I)	Medições semanais	432
i)	Baterias congelados	432
ii)	Baterias ambiente	0
I)	Tempo por medição (min)	1
II)	Medições anuais	20.736
III)	Custo do tempo (€/min)	0,14583 €
i)	C. remuneração mensal	1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)	9.600
2.5.	C. do O.O. ^b	0,00 €
a)	C. movimentação de baterias	0,00 €
CUSTO TOTAL ANUAL		72.479,41 €

^aSigla para Chefe de Equipa dos Congelados.

^bSigla para Operador da Oficina.

Tabela A.7: Plano de custos para a proposta "TO-BE repouso a quente". Fonte própria

1.	Custo de aquisição	-----	64.800,00 €
1.1.	Nº baterias VRLA		18
1.2.	C. bateria VRLA		3.600,00 €
2.	Custo de manutenção	-----	11.459,41 €
2.1.	C. componentes de reserva		4.050,00 €
a)	Nº componentes		9
b)	C. componente		450,00 €
2.2.	C. do picker		0,00€
2.3.	C. do C.E.C. ^a		605,41 €
a)	C. supervisão		605,51 €
I)	Nº supervisões anuais		2112
i)	Supervisões semanais		44
ii)	Semanas anuais		48
II)	Tempo supervisão (min)		5
III)	Custo do tempo (€/min)		0.05733 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		24.420
-	Turnos por semana		11
-	Trabalho (min/turno)		360
-	Pausa (min/turno)		195
2.4.	C. do eletricista		3.024,00 €
a)	C. medições de tensão		3.024,00 €
I)	Medições semanais		432
i)	Baterias congelados		216
ii)	Baterias ambiente		216
I)	Tempo por medição (min)		1
II)	Medições anuais		20.736
III)	Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		9.600
2.5.	C. do O.O. ^b		3.780,00 €
a)	C. movimentação de baterias		3.780,00 €
I)	Tempo anual (min)		25.920
i)	Tempo semanal (min)		540
-	Movimentos frio-repouso (min)		270
-	Movimentos repouso-frio (min)		270
III)	Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		9.600
CUSTO TOTAL ANUAL			----- 76.259,41 €

^aSigla para Chefe de Equipa dos Congelados.^bSigla para Operador da Oficina.

Tabela A.8: Plano de custos para a proposta "TO-BE Rotação 18 sem repouso". Fonte própria

1.	Custo de aquisição	64.800,00 €
1.1.	Nº baterias VRLA	18
1.2.	C. bateria VRLA	3.600,00 €
2.	Custo de manutenção	12.971,41 €
2.1.	C. componentes de reserva	4.050,00 €
a)	Nº componentes	9
b)	C. componente	450,00 €
2.2.	C. do picker	0,00€
2.3.	C. do C.E.C. ^a	605,41 €
a)	C. supervisão	605,51 €
I)	Nº supervisões anuais	2112
i)	Supervisões semanais	44
ii)	Semanas anuais	48
II)	Tempo supervisão (min)	5
III)	Custo do tempo (€/min)	0.05733 €
i)	C. remuneração mensal	1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)	24.420
-	Turnos por semana	11
-	Trabalho (min/turno)	360
-	Pausa (min/turno)	195
2.4.	C. do eletricista	4.536,00 €
a)	C. medições de tensão	4.536,00 €
I)	Medições semanais	648
i)	Baterias congelados	432
ii)	Baterias ambiente	216
I)	Tempo por medição (min)	1
II)	Medições anuais	31.104
III)	Custo do tempo (€/min)	0,14583 €
i)	C. remuneração mensal	1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)	9.600
2.5.	C. do O.O. ^b	3.780,00 €
a)	C. movimentação de baterias	3.780,00 €
I)	Tempo anual (min)	25.920
i)	Tempo semanal (min)	540
-	Movimentos frio-quente (min)	270
-	Movimentos quente-frio (min)	270
III)	Custo do tempo (€/min)	0,14583 €
i)	C. remuneração mensal	1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)	9.600
CUSTO TOTAL ANUAL		77.771,41 €

^aSigla para Chefe de Equipa dos Congelados.^bSigla para Operador da Oficina.

Tabela A.9: Plano de custos para a proposta "TO-BE Rotação 18+2". Fonte própria

1.	Custo de aquisição	-----	72.000,00 €
1.1.	Nº baterias VRLA		20
1.2.	C. bateria VRLA		3.600,00 €
2.	Custo de manutenção	-----	5.649,41 €
2.1.	C. componentes de reserva		4.050,00 €
a)	Nº componentes		9
b)	C. componente		450,00 €
2.2.	C. do picker		0,00€
2.3.	C. do C.E.C. ^a		605,41 €
a)	C. supervisão		605,51 €
I)	Nº supervisões anuais		2112
i)	Supervisões semanais		44
ii)	Semanas anuais		48
II)	Tempo supervisão (min)		5
III)	Custo do tempo (€/min)		0.05733 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		24.420
-	Turnos por semana		11
-	Trabalho (min/turno)		360
-	Pausa (min/turno)		195
2.4.	C. do eletricitista		1.512,00 €
a)	C. medições de tensão		504,00 €
I)	Medições semanais		72
i)	Baterias congelados		48
ii)	Baterias ambiente		24
I)	Tempo por medição (min)		1
II)	Medições anuais		3.456
III)	Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		9.600
2.5.	C. do O.O. ^b		490,00 €
a)	C. movimentação de baterias		490,00 €
I)	Tempo anual (min)		3.360
i)	Tempo semanal (min)		70
-	Movimentos frio-reposou (min)		30
-	Movimentos reposou-quente (min)		10
-	Movimentos quente-frio (min)		30
III)	Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		9.600
CUSTO TOTAL ANUAL			----- 77.649,41 €

^aSigla para Chefe de Equipa dos Congelados.^bSigla para Operador da Oficina.

Tabela A.10: Plano de custos para a proposta "TO-BE Rotação 18+3". Fonte própria

1.	Custo de aquisição	-----	75.600,00 €
1.1.	Nº baterias VRLA		21
1.2.	C. bateria VRLA		3.600,00 €
2.	Custo de manutenção	-----	6.146,41 €
2.1.	C. componentes de reserva		4.050,00 €
a)	Nº componentes		9
b)	C. componente		450,00 €
2.2.	C. do picker		0,00€
2.3.	C. do C.E.C. ^a		605,41 €
a)	C. supervisão		605,51 €
I)	Nº supervisões anuais		2112
i)	Supervisões semanais		44
ii)	Semanas anuais		48
II)	Tempo supervisão (min)		5
III)	Custo do tempo (€/min)		0.05733 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		24.420
-	Turnos por semana		11
-	Trabalho (min/turno)		360
-	Pausa (min/turno)		195
2.4.	C. do eletricista		756,00 €
a)	C. medições de tensão		756,00 €
I)	Medições semanais		108
i)	Baterias congelados		72
ii)	Baterias ambiente		36
I)	Tempo por medição (min)		1
II)	Medições anuais		5.184
III)	Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		9.600
2.5.	C. do O.O. ^b		735,00 €
a)	C. movimentação de baterias		735,00 €
I)	Tempo anual (min)		5.040
i)	Tempo semanal (min)		105
-	Movimentos frio-reposouso (min)		45
-	Movimentos reposouso-quente (min)		15
-	Movimentos quente-frio (min)		45
III)	Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		9.600
CUSTO TOTAL ANUAL			----- 81.746,41 €

^aSigla para Chefe de Equipa dos Congelados.^bSigla para Operador da Oficina.

Tabela A.11: Plano de custos para a proposta "TO-BE Rotação 18+6". Fonte própria

1.	Custo de aquisição	-----	86.400,00 €
1.1.	Nº baterias VRLA		24
1.2.	C. bateria VRLA		3.600,00 €
2.	Custo de manutenção	-----	7.637,41 €
2.1.	C. componentes de reserva		4.050,00 €
	a) Nº componentes		9
	b) C. componente		450,00 €
2.2.	C. do picker		0,00€
2.3.	C. do C.E.C. ^a		605,41 €
	a) C. supervisão		605,51 €
	I) Nº supervisões anuais		2112
	i) Supervisões semanais		44
	ii) Semanas anuais		48
	II) Tempo supervisão (min)		5
	III) Custo do tempo (€/min)		0.05733 €
	i) C. remuneração mensal		1.400,00 €
	ii) Tempo mensal (min)		24.420
	- Turnos por semana		11
	- Trabalho (min/turno)		360
	- Pausa (min/turno)		195
2.4.	C. do eletricitista		1.512,00 €
	a) C. medições de tensão		1.512,00 €
	I) Medições semanais		216
	i) Baterias congelados		144
	ii) Baterias ambiente		72
	I) Tempo por medição (min)		1
	II) Medições anuais		10.368
	III) Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
	i) C. remuneração mensal		1.400,00 €
	ii) Tempo mensal (min)		9.600
2.5.	C. do O.O. ^b		1.470,00 €
	a) C. movimentação de baterias		1.470,00 €
	I) Tempo anual (min)		10.080
	i) Tempo semanal (min)		210
	- Movimentos frio-reposo (min)		90
	- Movimentos reposo-quente (min)		30
	- Movimentos quente-frio (min)		90
	III) Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
	i) C. remuneração mensal		1.400,00 €
	ii) Tempo mensal (min)		9.600
CUSTO TOTAL ANUAL			----- 94.037,41 €

^aSigla para Chefe de Equipa dos Congelados.^bSigla para Operador da Oficina.

Tabela A.12: Plano de custos para a proposta "TO-BE Rotação 18+9". Fonte própria

1.	Custo de aquisição	-----	97.200,00 €
1.1.	Nº baterias VRLA		27
1.2.	C. bateria VRLA		3.600,00 €
2.	Custo de manutenção	-----	9.128,41 €
2.1.	C. componentes de reserva		4.050,00 €
a)	Nº componentes		9
b)	C. componente		450,00 €
2.2.	C. do picker		0,00€
2.3.	C. do C.E.C. ^a		605,41 €
a)	C. supervisão		605,51 €
I)	Nº supervisões anuais		2112
i)	Supervisões semanais		44
ii)	Semanas anuais		48
II)	Tempo supervisão (min)		5
III)	Custo do tempo (€/min)		0.05733 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		24.420
-	Turnos por semana		11
-	Trabalho (min/turno)		360
-	Pausa (min/turno)		195
2.4.	C. do eletricista		2.268,00 €
a)	C. medições de tensão		2.268,00 €
I)	Medições semanais		324
i)	Baterias congelados		216
ii)	Baterias ambiente		108
I)	Tempo por medição (min)		1
II)	Medições anuais		15.552
III)	Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		9.600
2.5.	C. do O.O. ^b		2.205,00 €
a)	C. movimentação de baterias		2.205,00 €
I)	Tempo anual (min)		15.120
i)	Tempo semanal (min)		315
-	Movimentos frio-reposouso (min)		135
-	Movimentos reposouso-quente (min)		45
-	Movimentos quente-frio (min)		135
III)	Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		9.600
CUSTO TOTAL ANUAL			----- 106.328,41 €

^aSigla para Chefe de Equipa dos Congelados.^bSigla para Operador da Oficina.

Tabela A.13: Plano de custos para a proposta "TO-BE Rotação 18+18". Fonte própria

1.	Custo de aquisição	-----	129.600,00 €
1.1.	Nº baterias VRLA		36
1.2.	C. bateria VRLA		3.600,00 €
2.	Custo de manutenção	---	13.601,41 €
2.1.	C. componentes de reserva		4.050,00 €
a)	Nº componentes		9
b)	C. componente		450,00 €
2.2.	C. do picker		0,00€
2.3.	C. do C.E.C. ^a		605,41 €
a)	C. supervisão		605,51 €
I)	Nº supervisões anuais		2112
i)	Supervisões semanais		44
ii)	Semanas anuais		48
II)	Tempo supervisão (min)		5
III)	Custo do tempo (€/min)		0.05733 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		24.420
-	Turnos por semana		11
-	Trabalho (min/turno)		360
-	Pausa (min/turno)		195
2.4.	C. do eletricitista		4.536,00 €
a)	C. medições de tensão		4.536,00 €
I)	Medições semanais		648
i)	Baterias congelados		432
ii)	Baterias ambiente		216
I)	Tempo por medição (min)		1
II)	Medições anuais		31.104
III)	Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		9.600
2.5.	C. do O.O. ^b		4.410,00 €
a)	C. movimentação de baterias		4.410,00 €
I)	Tempo anual (min)		30.240
i)	Tempo semanalmente (min)		630
-	Movimentos frio-reposo (min)		270
-	Movimentos repouso-quente (min)		90
-	Movimentos quente-frio (min)		270
III)	Custo do tempo (€/min)		0,14583 €
i)	C. remuneração mensal		1.400,00 €
ii)	Tempo mensal (min)		9.600
CUSTO TOTAL ANUAL			----- 143.201,41 €

^aSigla para Chefe de Equipa dos Congelados.^bSigla para Operador da Oficina.

A.12 Sistema de identificação de grupos de baterias exigido pela proposta 'TO-BE Rotação 18+3'



Figura A.21: Sistema de identificação de grupos de baterias constituído por 7 cores e 7 letras diferenciadoras dos 7 grupos de 3 baterias VRLA que compõe o total das 21 baterias exigidas para implementação da proposta "TO-BE Rotação 18+3". Fonte própria