



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Hugo José Campinho Fonseca

Estudo do Indicador *Overall Equipment Effectiveness* na Indústria de Semicondutores

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial orientada pelo Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

setembro de 2023



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo do Indicador *Overall Equipment Effectiveness* na Indústria de Semicondutores

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Studying the Overall Equipment Effectiveness Indicator in the Semiconductor Industry

Autor

Hugo José Campinho Fonseca

Orientador

Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz

Júri

Presidente Professor Doutor **Telmo Miguel Pires Pinto**
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor **Luís Gonçalo Rodrigues Reis Figueira**
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Orientador Professor Doutor **Samuel de Oliveira Moniz**
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



**Amkor Technology
Portugal**

Coimbra, setembro, 2023

“Science never solves a problem without creating ten more.”

George Bernard Shaw

Aos meus pais

Agradecimentos

Esta dissertação marca o final de uma etapa iniciada há cinco anos, na qual agradeço a todos os corpos docentes que ajudaram no meu desenvolvimento, em especial, ao meu orientador Professor Doutor Samuel Moniz, por todo o suporte prestado ao longo dos últimos meses, bem como a troca de ideias durante a elaboração deste documento.

O meu maior agradecimento vai para os meus pais, devido ao apoio incondicional em todas as fases do meu percurso académico, assim como por todo o sacrifício que fizeram para que nunca me faltasse nada. Obrigado por tudo que me ensinaram, nunca serão esquecidos.

À minha namorada, que me acompanhou sempre durante os cinco anos, por me ter apoiado em todos os momentos e nunca me ter deixado desistir. Obrigado por estares sempre ao meu lado, mesmo nas fases menos boas. Espero que possamos continuar a caminhar juntos!

À Amkor Technology Portugal, em particular, ao meu orientador Eng. Jorge Ferreira, por me dar a oportunidade de estagiar na empresa, de modo a poder adquirir experiência profissional e a realizar a presente dissertação. Agradecer também à Teresa Silva e ao Américo Roque, devido a toda a ajuda que me prestaram durante os últimos meses.

Por fim, agradecer aos meus amigos de Coimbra, porque sem eles não teria conseguido chegar a esta fase. Obrigado por todo o apoio ao longo dos cinco anos e por todos os momentos que passamos juntos.

Resumo

A indústria dos semicondutores possui processos de manufatura longos e complexos, na qual são utilizados equipamentos dispendiosos. Posto isto, é de extrema importância a monitorização da eficiência dos equipamentos, visto que as vantagens competitivas nesta área de negócio só são alcançadas através da redução das perdas de eficiência, da redução do tempo de ciclo dos processos e da concretização do prazo de entrega estabelecido.

A presente dissertação foi efetuada no âmbito do estágio curricular que decorreu na Amkor Technology Portugal, com o objetivo de estudar o *Overall Equipment Effectiveness* de uma série de equipamentos incorporados no processo de fabrico dos semicondutores, de apresentar e de interpretar os resultados do OEE dos equipamentos, com base no modelo elaborado, e de construir um *dashboard*, de modo a ser mais fácil a perceção dos três componentes e do OEE.

O estudo deste indicador começou pela compreensão do funcionamento dos equipamentos, visto que estes possuem determinadas características a ter em conta, tais como, a existência de subsistemas dentro dos equipamentos, a produção de diferentes receitas com tempos de ciclo e complexidades diferentes, a produção não sequencial presente nos equipamentos e a existência de vários *steps* no mesmo equipamento. Desta forma, foi realizada uma análise de dados, provenientes da base de dados da empresa, com o intuito de construir um modelo, tendo em conta as características dos equipamentos em estudo, que conseguisse calcular a Disponibilidade, o Desempenho, a Qualidade e, consequentemente, o OEE, de modo a medir e a quantificar a eficiência dos equipamentos.

Após a construção do modelo, foi possível apresentar e interpretar os resultados fornecidos pelo modelo, corrigir os valores do OEE utilizados anteriormente pela empresa e construir um *dashboard*, realizado no Microsoft Power BI, proporcionando assim o suporte visual de elementos essenciais para a tomada de decisões e a concretização de todos os objetivos definidos inicialmente.

Palavras-chave: Indústria de Semicondutores, Análise de Dados, *Overall Equipment Effectiveness*, Perdas de Eficiência

Abstract

The semiconductor industry involves lengthy and complex manufacturing processes that require expensive equipment. Therefore, it is of paramount importance to monitor equipment efficiency since competitive advantages in this business sector can only be achieved through the reduction of efficiency losses, a decrease in process cycle times, and meeting established delivery deadlines.

This dissertation was carried out as part of the curricular internship conducted at Amkor Technology Portugal, with the objective of studying the Overall Equipment Effectiveness of a series of equipment integrated into the semiconductor manufacturing process, presenting, and interpreting the results of the equipment's OEE based on the developed model, and constructing a dashboard to facilitate the perception of the three components and the OEE.

The study of this indicator began with an understanding of how the equipment operates, given that they possess certain characteristics to consider, such as the existence of subsystems within the equipment, the production of different recipes with varying cycle times and complexities, non-sequential production within the equipment, and the presence of multiple steps within the same equipment. In this way, an analysis of data from the company's database was conducted with the aim of building a model that considers the characteristics of the equipment under study, capable of calculating Availability, Performance, Quality, and consequently, OEE, to measure and quantify equipment efficiency.

After the construction of the model, it became possible to present and interpret the results provided by the model, rectify the previously used OEE values within the company, and create a dashboard, developed using Microsoft Power BI. This dashboard thereby offers visual support for essential elements in decision-making and the achievement of all initially defined objectives.

Keywords Semiconductor Industry, Data Analysis, Overall Equipment Effectiveness, Efficiency Losses

Índice

Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xv
Siglas	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação e Contextualização.....	1
1.2. Objetivos de Investigação.....	1
1.3. Estrutura da Dissertação	2
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	3
2.1. <i>Lean Manufacturing</i>	3
2.1.1. Princípios do <i>Lean</i>	4
2.1.2. Tipos de Desperdícios	4
2.2. <i>Total Productive Maintenance</i>	6
2.3. <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	7
2.3.1. As Perdas associadas aos Equipamento.....	8
2.3.2. Cálculo do OEE.....	10
2.3.3. <i>World Class OEE</i>	12
2.3.4. As Vantagens e as Limitações do OEE	13
2.4. Indicadores alternativos ao OEE.....	13
2.4.1. Alternativas no domínio do sistema de operações.....	14
2.4.2. Alternativas no domínio da classificação das perdas	15
3. ESTUDO DE CASO	19
3.1. Apresentação da Empresa	19
3.2. Descrição do Problema	20
3.3. Caraterização da Situação Atual	24
4. METODOLOGIA PROPOSTA	29
4.1. Fator Disponibilidade	30
4.2. Fator Desempenho	31
4.2.1. <i>Operational Efficiency</i>	31
4.2.2. <i>Rate Efficiency</i>	32
4.3. Fator Qualidade.....	39
4.4. Cálculo Direto do <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	40
5. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	41
5.1. Disponibilidade dos Equipamentos	41
5.2. <i>Operational Efficiency</i> dos Equipamentos	43
5.3. <i>Rate Efficiency</i> dos Equipamentos.....	43
5.3.1. <i>Rate Efficiency</i> dos Equipamentos com um <i>Step</i>	44
5.3.2. <i>Rate Efficiency</i> dos Equipamentos com dois ou mais <i>Steps</i>	47
5.4. Desempenho dos Equipamentos	48
5.5. Qualidade dos Equipamentos.....	48
5.6. <i>Overall Equipment Effectiveness</i> dos Equipamentos.....	49

5.7.	Cálculo direto do <i>Overall Equipment Effectiveness</i> dos Equipamentos.....	50
5.8.	Discussão dos Resultados	53
5.9.	<i>Dashboard</i> do <i>Overall Equipment Effectiveness</i> dos Equipamentos.....	54
6.	CONCLUSÕES E FUTURAS MELHORIAS	61
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	ANEXO A – Cadeia de Abastecimento dos Semicondutores	67
	ANEXO B – Estados dos Equipamentos na semana 20, 21 e 22	69
	ANEXO C – <i>Dashboards</i> do OEE para os Equipamentos A1, A2 e A3 na semana 20, 21 e 22	71
	APÊNDICE A – Tempos e percentagens de cada estado dos Equipamentos na semana 20, 21 e 22	73
	APÊNDICE B – Disponibilidade dos Equipamentos na semana 20, 21 e 22	75
	APÊNDICE C – <i>Operational Efficiency</i> dos Equipamentos na semana 20, 21 e 22	77
	APÊNDICE D – <i>Boxplot</i> dos Tempos de Processo das <i>wafers</i> referentes às Receitas que possuem <i>outliers</i> na semana 19	79
	APÊNDICE E – <i>Boxplot</i> dos Tempos de Processo das <i>wafers</i> referentes às Receitas que possuem <i>outliers</i> na semana 20	83
	APÊNDICE F – <i>Boxplot</i> dos Tempos de Processo das <i>wafers</i> referentes às Receitas que possuem <i>outliers</i> na semana 21	87
	APÊNDICE G – <i>Boxplot</i> dos Tempos de Processo das <i>wafers</i> referentes às Receitas que possuem <i>outliers</i> na semana 22	91
	APÊNDICE H – <i>Rate Efficiency</i> dos Equipamentos com um <i>step</i> na semana 20, 21, 22... 95	
	APÊNDICE I – <i>Rate Efficiency</i> do Equipamento com dois ou mais <i>steps</i> na semana 20, 21 e 22	99
	APÊNDICE J – Desempenho dos Equipamentos na semana 20, 21 e 22	103
	APÊNDICE K – <i>Overall Equipment Effectiveness</i> dos Equipamentos na semana 20, 21 e 22	105
	APÊNDICE L – Cálculo Direto do <i>Overall Equipment Effectiveness</i> dos Equipamentos na semana 20, 21 e 22	107
	APÊNDICE M – Evolução da Disponibilidade, do <i>Operational Efficiency</i> , do <i>Rate Efficiency</i> , do Desempenho e do OEE ao longo das semanas em estudo.....	113
	APÊNDICE N – <i>Script</i> em DAX das Medidas utilizadas no Modelo do Power BI	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Abordagem de oito pilares para implementação do TPM (Fonte: Ahuja & Khamba, 2008).	6
Figura 2 – Estratificação dos tempos utilizados para calcular o OEE (Adaptado: Nakajima, 1988).	10
Figura 3 - Quatro Tipos Básicos de Configuração (Fonte: Muthiah & Huang, 2007).	15
Figura 4 – Alternativas ao OEE no domínio do Sistema de Operações (Fonte: Busso & Miyake, 2013).	15
Figura 5 – Quadro representativo do OEE e do TEEP.	16
Figura 6 – Classificação das Perdas de Produção para calcular o desempenho da produção (Adaptado: Muchiri & Pintelon, 2008)	17
Figura 7 – OEE e os Indicadores Alternativos de acordo com os Tipos de Perdas e o Sistema Produtivo (Adaptado: Busso & Miyake, 2013)	18
Figura 8 – Linha Temporal da Empresa.	19
Figura 9 – Exemplo de uma <i>Wafer</i>	21
Figura 10 – Estrutura de um equipamento com várias câmaras (Fonte: Lee, 2008)	22
Figura 11 – Esquema do processamento das <i>wafers</i> nos equipamentos.....	23
Figura 12 – Estados definidos pela SEMI E10 (Fonte: Ma et al., 2018).	25
Figura 13 – Descrição de cada Estado do Equipamento (Fonte: Ma et al., 2018).	26
Figura 14 – Gráfico dos estados dos equipamentos relativo à semana 19 no Cerberus.	26
Figura 15 – <i>Dashboard</i> do OEE e dos seus componentes relativo ao equipamento A1 na semana 19.	27
Figura 16 – <i>Dashboard</i> do OEE e dos seus componentes relativo ao equipamento A2 na semana 19.	27
Figura 17 – <i>Dashboard</i> do OEE e dos seus componentes relativo ao equipamento A3 na semana 19.	27
Figura 18 – <i>Research Onion</i> (Adaptado: Saunders et al., 2019)	29
Figura 19 – Tempo e Percentagem que os Equipamento passaram em cada Estado na semana 19.	42
Figura 20 – <i>Boxplot</i> dos tempos de processo das <i>wafers</i> com a receita R23 no equipamento A1.	44
Figura 21 – Diagrama de modelo do modelo de dados.	56
Figura 22 – <i>Dashboard</i> do OEE do Equipamento A1 referente à semana 19.	57
Figura 23 – <i>Dashboard</i> da Disponibilidade do Equipamento A1 referente à semana 19. ..	58

Figura 24 – *Dashboard* do *Operational Efficiency* do Equipamento A1 referente à semana 19..... 58

Figura 25 – *Dashboard* do *Rate Efficiency* do Equipamento A1 referente à semana 19. ... 59

Figura 26 – *Dashboard* do Desempenho do Equipamento A1 referente à semana 19..... 59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - As Seis Grandes Perdas (Nakajima, 1988).....	9
Tabela 2 – Causas Externas à Fábrica (Fonte: Busso & Miyake, 2013)	17
Tabela 3 – Equipamentos e subsistemas exibidos nesta dissertação.	23
Tabela 4 – <i>Steps</i> que o equipamento C1 realizou e os subsistemas utilizados em cada <i>step</i>	38
Tabela 5 – Disponibilidade dos Equipamentos na semana 19.	42
Tabela 6 – <i>Operational Efficiency</i> dos Equipamentos na semana 19.....	43
Tabela 7 – <i>Rate Efficiency</i> do Equipamento A1 durante a semana 19.....	45
Tabela 8 – <i>Rate Efficiency</i> do Equipamento A2 durante a semana 19.....	46
Tabela 9 – <i>Rate Efficiency</i> do Equipamento A3 durante a semana 19.....	46
Tabela 10 – <i>Rate Efficiency</i> do Equipamento B1 durante a semana 19.	46
Tabela 11 – <i>Rate Efficiency</i> do Equipamento C1 durante a semana 19.	47
Tabela 12 – Desempenho dos Equipamentos na semana 19.	48
Tabela 13 – Qualidade dos Equipamentos na semana 19, 20, 21 e 22.....	49
Tabela 14 – <i>Overall Equipment Effectiveness</i> dos Equipamentos na semana 19.....	49
Tabela 15 – Cálculo direto do <i>Overall Equipment Effectiveness</i> do Equipamento A1, na semana 19.....	50
Tabela 16 – Cálculo direto do <i>Overall Equipment Effectiveness</i> do Equipamento A2, na semana 19.....	51
Tabela 17 – Cálculo direto do <i>Overall Equipment Effectiveness</i> do Equipamento A3, na semana 19.....	51
Tabela 18 – Cálculo direto do <i>Overall Equipment Effectiveness</i> do Equipamento B1, na semana 19.....	51
Tabela 19 – Cálculo direto do <i>Overall Equipment Effectiveness</i> do Equipamento C1, na semana 19.....	52

SIGLAS

DAX – Data Analysis Expressions

ETL – Extract, Transform and Load

JIT – Just-In-Time

KPI – Key Performance Indicator

MTBF – Mean Time Between Failures

MTTR – Mean Time to Repair

OAE – Overall Asset Effectiveness

OEE – Overall Equipment Effectiveness

OEEML – Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line

OFE – Overall Factory Effectiveness

OLE – Overall Line Effectiveness

OPE – Overall Plant Effectiveness

OSAT – Outsourced Semiconductor Assembly & Test

OTE – Overall Throughput Effectiveness

TEEP – Total Equipment Effectiveness Performance

TOEE – Total Overall Equipment Effectiveness

TPM – Total Productive Maintenance

TPS – Toyota Production System

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação e Contextualização

O processo de fabrico de semicondutores é um dos processos de manufatura mais difíceis, visto que este sistema consiste numa sequência longa e cíclica de procedimentos complexos onde são utilizados equipamentos dispendiosos. A produção de semicondutores é uma indústria de capital intensivo, onde a manutenção das vantagens competitivas só é conseguida através da redução do tempo de ciclo dos processos, da produção de produtos de alta qualidade, do cumprimento do prazo de entrega estabelecido, da redução contínua dos custos e da melhoria da eficiência (Peng & Chien, 2003).

No presente, as fábricas de semicondutores têm as suas operações de fabrico, na sua larga maioria, realizadas por equipamentos. É recorrente, nas empresas, estabelecer um *standard* para todas as máquinas, com base no equipamento que se encontra em perfeito estado de funcionamento. A máquina tem uma velocidade teórica ou ideal de funcionamento, porém ao longo do tempo, esta velocidade irá diminuir e, no ponto de vista do *Total Productive Maintenance* (TPM), estas diminuições da velocidade são perdas de eficiência do equipamento (Leachman, 1997).

O *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) é utilizado para a medição da eficiência dos equipamentos, porém existem, frequentemente, conflitos e incertezas com este indicador na indústria dos semicondutores no cálculo do Desempenho, devido aos diferentes tempos de ciclo ideais que o equipamento pode ter dependendo do produto a ser fabricado.

Deste modo, este projeto é motivado pela necessidade de estudar o indicador OEE de uma série de equipamentos utilizados no processo de fabrico da empresa, num contexto industrial onde é essencial que haja o mínimo de perdas por parte destes.

1.2. Objetivos de Investigação

O principal objetivo da dissertação passa por criar um modelo, o mais próximo da realidade possível, e aplicá-lo, em contexto industrial, com base no *Overall Equipment Effectiveness*, para que seja possível medir e quantificar a eficiência dos equipamentos, ou

seja, calcular a Disponibilidade, o Desempenho e a Qualidade dos equipamentos, de modo a conhecer qual a percentagem do OEE das máquinas.

Além do objetivo descrito anteriormente, pretende-se interpretar os resultados obtidos através do modelo apresentado, ou seja, depois do cálculo dos três componentes e do respetivo OEE de cada equipamento, pretende-se analisar qual a máquina que possui uma menor eficiência e de onde derivam as suas perdas de eficiência.

Por fim, tenciona-se ainda apresentar um *dashboard*, realizado no Microsoft Power BI, com os equipamentos identificados nesta dissertação, visto que num enquadramento empresarial torna-se mais fácil a perceção do valor dos três componentes e do *Overall Equipment Effectiveness* de cada uma das máquinas.

1.3. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos: Introdução, Enquadramento Teórico, Estudo de Caso, Metodologia Proposta, Análise de Resultados e, por fim, Conclusões e Futuras Melhorias.

No primeiro capítulo é realizada uma breve introdução deste projeto, onde é abordado, inicialmente, a motivação e a contextualização do mesmo e, por último, os objetivos e a estrutura da dissertação. No Enquadramento Teórico é elaborada uma revisão da literatura do tema em estudo, estando esta dividida em quatro grandes temas: o *Lean Manufacturing*, o *Total Productive Maintenance*, o *Overall Equipment Effectiveness* e os Indicadores Alternativos ao OEE.

O terceiro capítulo tem como propósito analisar o estudo de caso presente nesta dissertação, começando por uma apresentação da empresa onde este projeto ocorreu, de seguida uma descrição do problema que serviu de motivação para este trabalho e, por fim, a caracterização do estado atual.

No capítulo da Metodologia Proposta é feita a descrição e a explicação do modelo apresentado nesta dissertação. No quinto capítulo são exibidos os resultados do OEE de cada um dos equipamentos, juntamente com a análise e a discussão dos mesmos e, para terminar, são apresentados *dashboards* que permitem a visualização dos valores calculados através do modelo. Finalmente, no último capítulo, são divulgadas as principais conclusões deste projeto e são propostos desenvolvimentos futuros.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este segundo capítulo apresenta uma revisão de artigos científicos que referem os conceitos teóricos que suportam a resolução do problema em questão. Sendo assim, o conhecimento teórico que é necessário para compreender esta dissertação é aqui exposto, onde apresento temas que servem de base para o desenvolvimento e resolução do caso de estudo.

Esta Revisão da Literatura encontra-se dividida em quatro secções. A primeira secção apresenta o *Lean Manufacturing*, nomeadamente, os princípios do *lean* e os tipos de desperdício existentes no processo produtivo. A secção 2.2 aborda o *Total Productive Maintenance* e os seus pilares, visto que o *Overall Equipment Effectiveness* é uma métrica quantitativa do TPM. A secção 2.3 é dedicada exclusivamente ao OEE, visto que esta dissertação tem como principal foco este indicador de desempenho. Esta secção aborda, principalmente, as perdas associadas aos equipamentos, os fatores que são utilizados no cálculo do OEE, o *World Class OEE* e as vantagens e limitações deste indicador. Na última secção, apresento os indicadores alternativos ao OEE fragmentados em dois grupos, nomeadamente, o domínio do sistema de operações e o domínio da classificação das perdas.

2.1. *Lean Manufacturing*

Depois da segunda guerra mundial, a indústria automóvel japonesa passou um período complicado, devido à falta de recursos e à capacidade, por parte do Ocidente, em produzir em massa. Perante esta situação existente no Japão, a empresa japonesa Toyota criou um sistema de produção designado por *Toyota Production System* (TPS), que tem como objetivo a redução do desperdício e o aumento da satisfação do cliente (Womack & Jones, 1996). Rapidamente, este novo sistema de produção ganhou popularidade e ao ser transportado para o Ocidente recebeu uma nova designação, *Lean Manufacturing*.

O TPS assenta em dois pilares: a produção *Just-In-Time* (JIT) e a produção *Jidoka*. A produção JIT consiste em produzir a quantidade certa, no momento certo, eliminando assim qualquer possibilidade de stock ou desperdício (Liker, 2004). Ao passo que, a produção *Jidoka*, também conhecida por “automação inteligente”, passa por detetar

irregularidades nos produtos e ter a capacidade de interromper o sistema de produção para que não sejam produzidos mais produtos defeituosos (Shingō & Dillon, 1989).

2.1.1. Princípios do *Lean*

De modo a compreender a abordagem *Lean* em qualquer meio de negócio, Womack e Jones definiram os cinco princípios do TPS (Urban et al., 2018):

- Valor: este princípio defende que as empresas devem determinar o valor do produto na perspectiva do cliente, ou seja, perceber as necessidades do cliente e procurar satisfazê-las (Ribeiro et al., 2019).
- Cadeia de Valor: consiste em identificar as atividades necessárias para a produção de um produto e na eliminação das atividades que não acrescentam valor ao cliente (Rosado Pagán, 2016).
- Fluxo: consiste na eliminação dos desperdícios nos processos, por exemplo, os tempos de espera, de modo a garantir um fluxo contínuo e ininterrupto (Rosado Pagán, 2016).
- Sistema *Pull*: este sistema consiste em produzir conforme a procura do cliente, ou seja, produzir o produto nas quantidades certas, no momento certo (Urban et al., 2018).
- Melhoria Contínua: consiste na procura constante pela perfeição e na teoria de que é sempre possível melhorar o estado atual do processo produtivo (Ribeiro et al., 2019).

2.1.2. Tipos de Desperdícios

No contexto industrial, podemos ter três tipos de atividades diferentes durante o processo produtivo: as atividades que criam valor, as atividades que não criam valor, mas são inevitáveis e as atividades que não criam valor. Os Desperdícios são atividades que utilizam recursos e/ou recursos humanos e não acrescentam valor aos produtos, ou seja, são atividades desvantajosas, logo devem ser eliminadas de modo a reduzir custos (Womack & Jones, 1996).

O TPS identifica três tipos de desperdícios, os 3 M's: *muda*, *mura* e *muri*. Devemos identificar a origem do desperdício, para que a sua eliminação ou redução se torne

mais fácil. Segundo Taiichi Ohno (1988), nos sistemas de produção existem sete tipos de desperdícios, independentemente do tipo de indústria ou serviço:

1. Transporte – corresponde à movimentação de produtos, tanto intermédios como acabados. Este desperdício acontece, porque os produtos não estão a ser processados, logo não há adição de valor. O Transporte é uma atividade necessária para o processo produtivo, porém deve ser reduzida ao máximo (Hicks, 2007).
2. Inventário – corresponde ao armazenamento de matérias-primas, produtos inacabados (*work-in-process*) ou produtos acabados. Este desperdício leva a um aumento do lead time, dos estragos nos produtos e do custo de transporte e armazenamento (Hicks, 2007).
3. Movimentação – corresponde a movimentos excessivos ou desnecessários dos trabalhadores ou dos equipamentos que não acrescentam valor ao produto (Melton, 2005).
4. Espera – corresponde a intervalos de tempo inativos, tanto de pessoas, como de máquinas, que levam a um aumento do *lead time*. Este tipo de desperdício ocorre devido às avarias nas máquinas ou tempos de setup longos (Hines et al., 2008).
5. Sobreprodução – corresponde à produção excessiva de produtos superior à procura do cliente. Este desperdício provoca o aumento dos custos de armazenamento e a acumulação de stocks (Hicks, 2007).
6. Sobre Processamento – corresponde à incorporação de características no produto que não acrescentam valor na perspetiva do cliente (Melton, 2005).
7. Defeito – corresponde à ausência de qualidade nos produtos finais. Neste desperdício estão incorporados os processos adicionais que servem para corrigir o produto final que apresenta defeitos (Hicks, 2007).

Existe um oitavo desperdício que não foi considerado por Ohno, ou seja, o não aproveitamento do potencial humano (Liker, 2004). Este desperdício consiste em não usar as competências físicas, criativas e mentais dos funcionários. A falta de aproveitamento das capacidades e da experiência dos colaboradores, eliminando até os outros desperdícios, faz com que a produção seja incompleta e o processo produtivo seja imperfeito.

Posto isto, o principal objetivo do sistema *lean* passa pela eliminação de todos os desperdícios – *muda*. Porém, para ocorrer melhoria contínua no processo produtivo, é necessário contabilizar a variabilidade do processo produtivo – *mura* – e a sobrecarga do sistema produtivo – *muri* (Liker, 2004). A *mura* corresponde à falta de uniformização do trabalho, originando assim inconsistências e variabilidade no processo produtivo. A *muri* é a sobrecarga do processo produtivo, tanto das máquinas, das pessoas ou dos processos, sendo que esta sobrecarga se converte em problemas de segurança e qualidade, proporcionando defeitos e falhas no sistema produtivo (Liker, 2004).

2.2. Total Productive Maintenance

O *Total Productive Maintenance* (TPM) consiste num sistema de manutenção, desenvolvido por Siiechi Nakajima, que abrange toda a vida útil do equipamento em todos os departamentos, onde inclui o planeamento, o fabrico e a manutenção (Gupta & Garg, 2012). Esta abordagem tem como principal objetivo minimizar os tempos inativos e avarias inesperadas nas máquinas, reduzir os desperdícios e perdas que acontecem durante a produção e maximizar a eficácia do equipamento, ou seja, tem como principal propósito zero defeitos, zero acidentes e zero avarias (Jain et al., 2014).

O conceito TPM tem como base a ferramenta 5S e assenta em oito pilares, tal como é demonstrado na Figura 1.

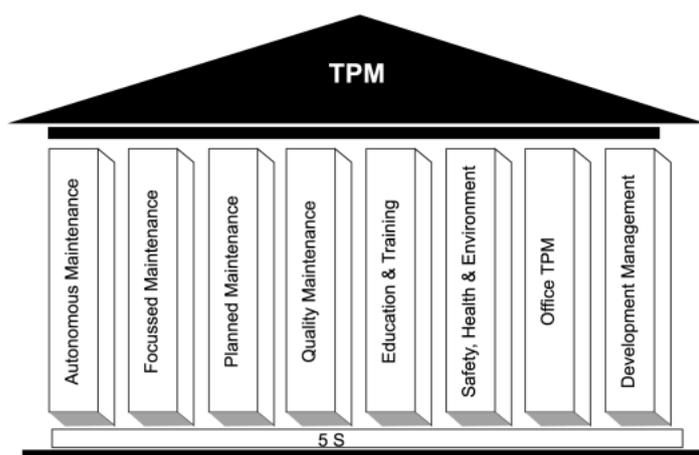


Figura 1 – Abordagem de oito pilares para implementação do TPM (Fonte: Ahuja & Khamba, 2008).

Deste modo, podemos dizer que os oito pilares consistem em (Agustiady & Cudney, 2018):

1. Manutenção autónoma: consiste na manutenção realizada pelo operador, permitindo assim ao operador um aumento nas competências e conhecimento do equipamento que está a operar.
2. Manutenção focada: consiste em pequenas melhorias, realizadas de forma contínua, sendo que deve envolver todas as pessoas da organização.
3. Manutenção planeada: consiste em planear a manutenção, com base no comportamento da máquina e nas suas taxas de avarias, para que os impactos destas interrupções sejam previstos.
4. Manutenção de qualidade: consiste na eliminação de não-conformidades, de modo a identificar qual o equipamento que está a afetar a qualidade do produto.
5. Educação e Formação: este pilar significa que devemos educar e treinar todas as pessoas envolvidas no processo produtivo.
6. Segurança, Saúde e Ambiente: consiste em assegurar que existe um ambiente de trabalho sustentável e seguro de forma a eliminar potenciais riscos de saúde.
7. TPM no escritório: este pilar significa que as técnicas TPM devem ser aplicadas nas operações administrativas, de modo que estas sejam mais eficientes.
8. Planeamento de novos equipamentos: consiste em utilizar a aprendizagem dos sistemas já existente na aquisição de novos equipamentos.

Em suma, o TPM é uma técnica altamente influente que deve ser implementada por várias organizações, visto que otimiza a eficácia dos equipamentos e dos processos reduzindo os erros e os acidentes (Ahuja & Khamba, 2008).

2.3. Overall Equipment Effectiveness

O *Overall Equipment Effectiveness* é um *Key Performance Indicator* (KPI), desenvolvido por Nakajima (1998), que serve como uma métrica quantitativa do TPM com

o objetivo de calcular a eficiência atual de um equipamento (Gibbons & Burgess, 2010). Este KPI tem como principal objetivo monitorizar e avaliar a eficiência dos recursos de produção, permitindo assim identificar e atuar em possíveis margens de melhoria (Gamberini et al., 2017).

De modo a determinar a eficiência do equipamento, este KPI utiliza três componentes, ou seja, a Disponibilidade, o Desempenho e a Qualidade. Sendo assim, o OEE serve de base para identificar qual a origem das perdas associadas aos equipamentos e permite estabelecer quais são as prioridades da organização de maneira que seja alcançada a melhoria contínua no sistema produtivo (Dunn, 2015).

2.3.1. As Perdas associadas aos Equipamento

Em primeiro lugar, é necessário identificar todas as perdas relacionadas com os equipamentos, de forma que estas possam ser minimizadas para que a eficiência global aumente. Segundo Ljungberg (1998), as perdas dos equipamentos são problemas que acontecem durante a produção e podem ser divididos em duas categorias, sistemáticos ou esporádicos. Os problemas sistemáticos são difíceis de identificar, visto que estes são vistos como o estado normal da produção e sendo assim só é possível a sua identificação através da comparação entre o desempenho do equipamento com a capacidade teórica do equipamento, ou seja, através do OEE. Por outro lado, os problemas esporádicos acontecem de forma rápida e provocam grandes diferenças no estado normal (Muchiri & Pintelon, 2008).

Nakajima (1988) indicou as seis grandes perdas que estão associadas aos equipamentos, sendo que podemos agrupar estas perdas em três categorias (Busso & Miyake, 2013):

1. Perdas por Falhas: corresponde às perdas que são causadas por paragens não planeadas, por exemplo, avarias nas máquinas.
2. Perdas por Setup: representa as perdas de tempo devido a trocas de ferramentas ou de produtos ou ajustes na máquina.
3. Pequenas Paragens: corresponde microparagens que acontece na produção quando, por exemplo, há um mau funcionamento do equipamento.

4. Redução da Velocidade: representa as perdas de tempo que são causadas pela diminuição da velocidade do equipamento, devido alguma anomalia na máquina.
5. Defeitos de Produção: corresponde às perdas por causa da existência de defeitos nos produtos.
6. Defeitos de Arranque: representa as perdas de tempo, que existem no arranque do equipamento, causadas pelo baixo rendimento do equipamento.

Na Tabela 1 temos as seis grandes perdas, as categorias correspondentes e a relação de cada uma perda com os componentes do OEE.

Tabela 1 - As Seis Grandes Perdas (Nakajima, 1988).

Perda	Categoria da Perda	Componente do OEE
Falhas	Perdas por Inatividade	Disponibilidade
Setup		
Pequenas Paragens	Perdas de Velocidade	Desempenho
Redução da Velocidade		
Defeitos de Produção	Perdas por Defeitos	Qualidade
Defeitos de Arranque		

Na Figura 2 podemos observar que o Tempo de Produção Planeada ou o Tempo de Abertura é igual ao Tempo Total menos as Paragens Planeadas. Ainda na Figura 2, verificámos que o Tempo de Operação resulta da diferença entre o Tempo de Abertura e as Perdas por Inatividade. Na Figura 2, é possível observar que o Tempo Líquido de Operação corresponde ao Tempo de Operação menos as Perdas de Velocidade. Por último, através da Figura 2 observámos que o Tempo com Valor Agregado resulta da diferença entre o Tempo Líquido de Operação e as Perdas por Defeitos.

Tempo Total (365 dias x 24 horas)		
Tempo de Produção Planeada ou Tempo de Abertura		Paragens Planeadas
Tempo de Operação		Perdas por Inatividade
Tempo Líquido de Operação	Perdas de Velocidade	
Tempo com Valor Agregado	Perdas por Defeitos	

Figura 2 – Estratificação dos tempos utilizados para calcular o OEE (Adaptado: Nakajima, 1988).

Através da Figura 2, é possível compreender de forma mais clara o cálculo do OEE e o perceber o significado e as fórmulas utilizadas para calcular cada um dos seus componentes.

2.3.2. Cálculo do OEE

Num ambiente onde há a identificação de perdas associadas aos equipamentos, Nakajima (1988) defende que o OEE pode ser calculado através da multiplicação dos três índices que o compõem, ou seja, a taxa de Disponibilidade, a taxa de Desempenho e a taxa de Qualidade, conforme mostra a equação (1).

$$OEE = Disponibilidade * Desempenho * Qualidade \quad (1)$$

Por outro lado, o OEE pode ser calculado através da razão entre o tempo produtivo e o tempo disponível para produzir, de acordo com a equação (2). Sendo que o tempo produtivo depende do número de peças conformes produzidas e do tempo de ciclo teórico. Através desta fórmula de calcular o OEE fica mais difícil fazer a análise de tempos perdidos.

$$OEE = \frac{Produção\ Conforme * Tempo\ de\ Ciclo\ Teórico}{Tempo\ de\ Produção\ Planeada} \quad (2)$$

A taxa de Disponibilidade mostra a percentagem de tempo de operação, ou seja, indica com que regularidade o equipamento está pronto para trabalhar, conforme a equação

(3). Este componente do OEE tem em consideração as perdas por falhas, por exemplo, avarias e as perdas por setup, por exemplo, mudança de ferramenta (Puvanasvaran et al., 2013).

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\ de\ Operação}{Tempo\ de\ Produção\ Planeada} \quad (3)$$

A taxa de Desempenho demonstra se a máquina tem capacidade para trabalhar à velocidade esperada, ou seja, mostra a diferença entre a velocidade ideal e a velocidade real da operação e pode ser calculado diretamente através da equação (4). Este componente do OEE tem em consideração as perdas de velocidade do equipamento, ou seja, microparagens e reduções de velocidade (Puvanasvaran et al., 2013).

$$Desempenho = \frac{Produção * Tempo\ de\ Ciclo\ Teórico}{Tempo\ de\ Operação} \quad (4)$$

Por outro lado, a taxa de Desempenho pode ser calculada a partir de dois índices, ou seja, com base no índice de velocidade e no índice de microparagens, conforme a equação (5).

$$Desempenho = Índice\ Velocidade * Índice\ Microparagens \quad (5)$$

O Índice de Velocidade está relacionado com a diferença entre a velocidade teórica e a velocidade real de produção do equipamento, de acordo com a equação (6). Uma das formas de obter o tempo de ciclo teórico é através do cálculo do *Takt Time*, ou seja, dividir o tempo disponível de produção pela procura, em unidades de produção.

$$Índice\ Velocidade = \frac{Tempo\ de\ Ciclo\ Teórico}{Tempo\ de\ Ciclo\ Real} \quad (6)$$

O Índice de Microparagens permite visualizar a percentagem de paragens momentâneas que um equipamento tem no sistema produtivo (Nakajima, 1988), conforme a equação (7).

$$\text{Índice Microparagens} = \frac{\text{Produção} * \text{Tempo de Ciclo Real}}{\text{Tempo de Operação}} \quad (7)$$

Por fim, a taxa de Qualidade é calculada através da razão entre o número de peças conformes produzidas e o número total de peças produzidas, de acordo com a equação (8). Este componente do OEE tem em consideração as perdas por defeitos, onde inclui os defeitos durante o arranque da produção e os defeitos no decorrer da produção (Puvanasvaran et al., 2013).

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Produção Conforme}}{\text{Produção Total}} \quad (8)$$

2.3.3. World Class OEE

O *World Class* OEE corresponde a um padrão usado para comparar com o OEE de uma organização. Nakajima (1988) defende que a percentagem mínima que uma fábrica deve alcançar é:

- Taxa de Disponibilidade – 90%.
- Taxa de Desempenho – 95%.
- Taxa de Qualidade – 99%.

Os valores descritos anteriormente resultam num OEE de 85%, que equivale ao *World Class* OEE. Em vários estudos mundiais, a taxa média de OEE em fábricas é cerca de 60%, porém o valor ideal do *World Class* OEE é de 85%, sendo assim, há espaço para melhorias no OEE em muitas fábricas (Nallusamy et al., 2018).

Porém, é importante ter noção do que é considerado um valor ideal de OEE varia de autor para autor e de empresa para empresa e que o valor do OEE pode ser facilmente manipulado. Sendo assim, é difícil definir quais os valores de Disponibilidade, de Desempenho e de Qualidade que compõem um nível aceitável de OEE (Dal et al., 2000).

2.3.4. As Vantagens e as Limitações do OEE

O OEE é um KPI utilizado com bastante regularidade, visto que as suas conclusões são simples e fáceis de interpretar, porém este indicador tem algumas limitações. As vantagens de utilizar o OEE provêm, do facto, de permitirem uma análise dos problemas do sistema produtivo e atuar na fonte do problema (Jeong & Phillips, 2001) e permitir identificar os equipamentos que devem ser o foco das atividades de gestão da manutenção (Bamber et al., 2003).

Porém, o OEE pode não ser suficiente para a melhoria de um sistema produtivo quando este é constituído por vários equipamentos, isto é, o OEE ignora a relação do equipamento com os restantes que se encontram a montante e a jusante numa linha de produção (Ljungberg, 1998). Outra limitação do OEE é a identificação de outras perdas associadas aos equipamentos que não estão incluídas nas seis grandes perdas (Jeong & Phillips, 2001).

2.4. Indicadores alternativos ao OEE

Segundo a definição apresentada por Nakajima (1988), o OEE foi desenvolvido apenas ao nível do equipamento, conseqüentemente surge um conjunto de limitações, ou seja, o uso deste KPI noutros contextos, onde haja a intenção de retirar outras conclusões, pode levar a erros graves. Koch (2011) afirma que o cálculo do OEE de algo que não seja um equipamento é dispensável, visto que há indicadores de desempenho de uma fábrica ou de um departamento que são melhores como um todo, apesar de ser um erro frequente o uso do OEE para comparar diferentes processos, indústrias ou equipamentos.

Com o aumentar do número de indicadores de desempenho disponíveis, os responsáveis devem ser rigorosos durante a escolha do KPI que melhor se adequa ao ramo da empresa, visto que a escolha de um indicador que seja limitado, isto é, que não seja adequado, pode pôr em risco a avaliação precisa dos processos internos (Davis et al., 2001). Cada empresa deve desenvolver o seu próprio sistema, de maneira dinâmica e interativa, visto que não há nenhum sistema nem indicador que consiga satisfazer todos os aspetos (Jonsson & Lesshammar, 1999).

De seguida, são apresentadas as alternativas ao OEE, identificadas na literatura, divididas em dois grupos. A secção 2.4.1. refere-se ao grupo de indicadores alternativos que

umentam o domínio do sistema de operações, enquanto a secção 2.4.2. aborda o grupo de indicadores alternativos que aumentam a classificação de perdas comparando com as que o OEE considera por definição.

2.4.1. Alternativas no domínio do sistema de operações

Segundo Jonsson & Lesshammar (1999), a medição do OEE de um equipamento traz inúmeras vantagens, porém é insuficiente, visto que o mau funcionamento de uma das máquinas numa linha pode comprometer o desempenho das restantes, por isso é necessário olhar para as linhas com vários equipamentos e com diferentes tipos de operações como um todo. Sendo assim, é de extrema importância ter atenção ao desempenho da fábrica ou da secção como um todo e por isso, surge, na literatura, vários indicadores que derivam do OEE e que pretendem responder a esta limitação, tais como, *Overall Line Effectiveness* (OLE), o *Overall Factory Effectiveness* (OFE), o *Overall Throughput Effectiveness* (OTE) e o *Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line* (OEEML).

De acordo com Nachiappan & Anantharaman (2006), o OLE é um indicador que tem como objetivo calcular o desempenho global da linha de produção, isto é, consegue realçar o mesmo que o OEE, porém esta métrica mede o desempenho da linha e pode ser usado para identificar o *bottleneck*. A principal limitação desta alternativa é que requer mais formação e experiência para ser implementada quando comparado com o OEE. Além deste indicador, Braglia et al. (2008) propõem uma outra métrica, o OEEML, sendo que este fornece uma abordagem integrada que avalia e reduz os defeitos que afetam o desempenho de uma linha de produção. O OEEML consegue medir a degradação do tempo de ciclo ideal, identificar e quantificar os motivos das perdas e onde estas ocorrem e pode ser aplicado em linhas de produção que possuem *buffers* entre os seus processos. Porém, Braglia et al. (2008) verificaram que o OEEML quando aplicado de forma isolada não consegue avaliar e determinar como é que o desempenho da linha é afetado pelos altos níveis de inventário.

De modo a expandir a ideia do OEE ao nível de toda a fábrica, temos o OFE. Segundo Högfeldt (2005), é uma métrica que tem uma abordagem simplificada, visto que se baseia numa média dos desempenhos individuais de cada equipamento. Existe uma variante do OFE, que é o OTE, sendo que, tal como o OLE, leva em conta a forma como equipamentos estão conectados. Como Muthiah & Huang (2007) defendem, numa fábrica

pode existir quatro tipos básicos de configuração, ou seja, equipamentos em série, em paralelo, em *assembly* e em *expansion*, tal como demonstra a Figura 3.

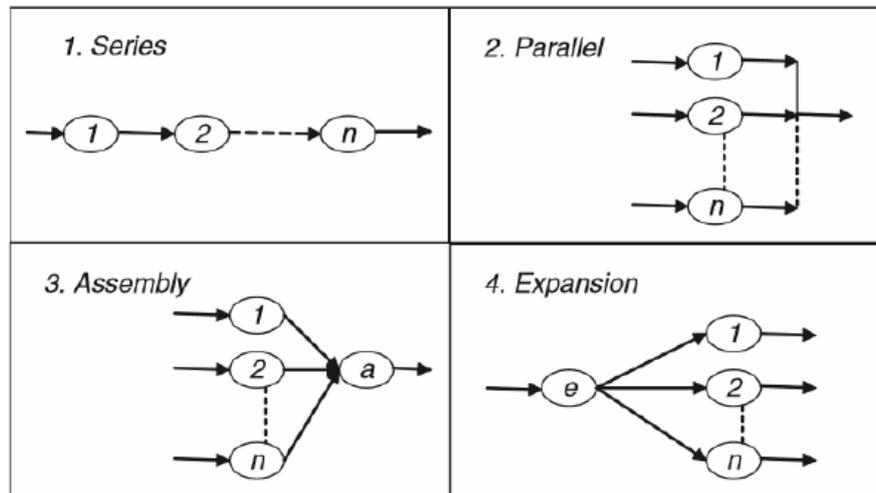


Figura 3 - Quatro Tipos Básicos de Configuração (Fonte: Muthiah & Huang, 2007).

Através da Figura 4, é possível resumir e clarificar as alternativas ao OEE apresentadas nesta secção, agrupando os indicadores em três grupos: máquina, linha e fábrica.

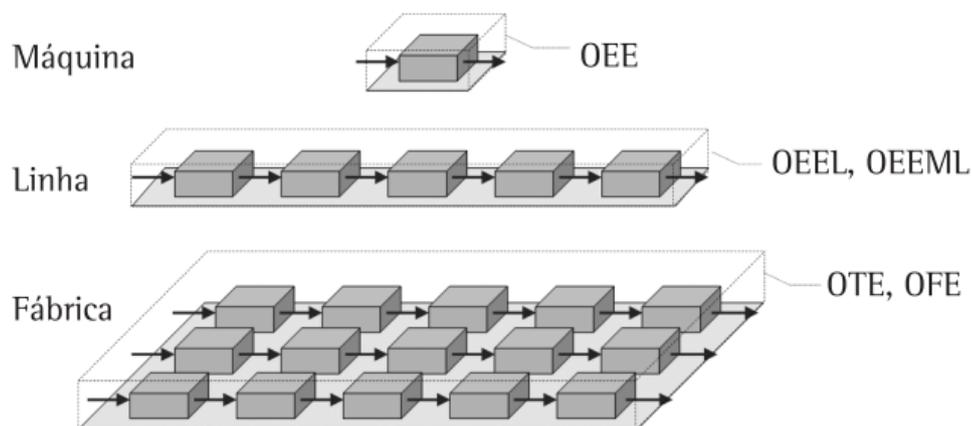


Figura 4 – Alternativas ao OEE no domínio do Sistema de Operações (Fonte: Busso & Miyake, 2013).

2.4.2. Alternativas no domínio da classificação das perdas

O OEE, proposto por Nakajima (1988), não tem em conta os fatores que reduzem a utilização da capacidade, tais como, as paragens planeadas, os testes de produto, etc (Ljungberg, 1998).

Muchiri & Pintelon (2008) apresentaram uma alternativa ao OEE, denominada por *Total Equipment Effectiveness Performance* (TEEP), que em contraste com o OEE tem em conta as paragens planeadas. Este indicador consegue demonstrar de maneira mais clara o impacto que manutenção tem no desempenho, visto que as paragens planeadas são estimadas com base no *Mean Time Between Failures* (MTBF), que significa o Tempo Médio Entre Falhas, e no *Mean Time To Repair* (MTTR), que significa o Tempo Médio De Reparação. A relação entre o Tempo de Produção Planeado, que é o tempo de referência do OEE, e o Tempo Total, que é utilizado no TEEP, identifica-se por Utilização, expressa na equação (9). Por conseguinte, o TEEP é calculado através da equação (10).

$$Utilização = \frac{Tempo\ de\ Produção\ Planeado}{Tempo\ Total} \tag{9}$$

$$TEEP = Utilização * OEE \tag{10}$$

Na Figura 5, através estratificação dos tempos conseguimos esclarecer a diferença entre o OEE e o TEEP, no que se refere ao tempo utilizado como referência em cada uma das métricas.

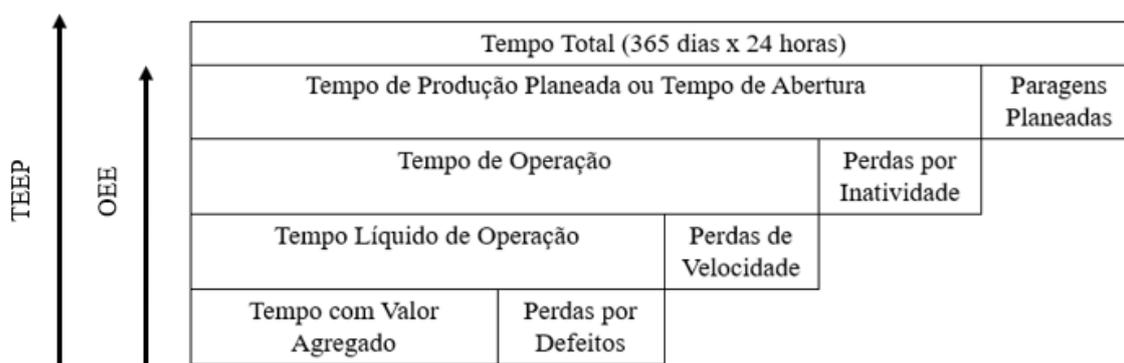


Figura 5 – Quadro representativo do OEE e do TEEP.

É importante realçar alternativas ao OEE no domínio da classificação de perdas, porém devemos ter em conta não só as causas internas, mas também as causas externas à fábrica. Busso & Miyake (2013) referem algumas perdas externas à fábrica, que são

provocadas por motivos, que vão além das capacidades dos responsáveis pelo processo produtivo, demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Causas Externas à Fábrica (Fonte: Busso & Miyake, 2013)

Perdas	Exemplos
Causas Comerciais	Falta de procura ou a baixa procura pelos produtos
Problemas Logísticos Externos	Falta de fornecimento da matéria-prima e problemas com o transporte do produto
Normas Ambientais	Quotas de produção estabelecidas em função dos limites de emissão de dióxido de carbono
Causas Naturais	Condições climáticas adversas e desastres naturais
Causas relacionadas com a Gestão	<i>Stocks</i> , logística interna, testes de pesquisa e desenvolvimento

Os indicadores alternativos ao OEE que consideram as perdas externas descritas anteriormente são: o *Total Overall Equipment Effectiveness* (TOEE), o *Overall Plant Effectiveness* (OPE) e o *Overall Asset Effectiveness* (OAE). Através da Figura 6, é possível ilustrar a ampliação das perdas consideradas pelo OEE e os indicadores alternativos.

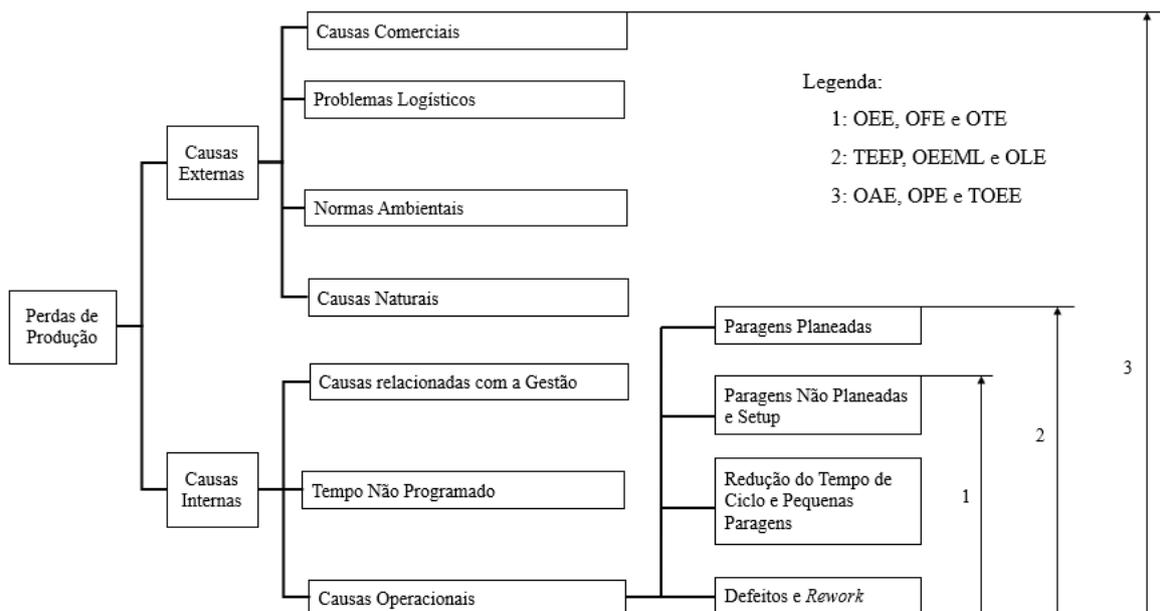


Figura 6 – Classificação das Perdas de Produção para calcular o desempenho da produção (Adaptado: Muchiri & Pintelon, 2008)

Busso & Miyake (2013), apresentam a Figura 7, com o objetivo de relacionar os dois domínios descritos anteriormente, ou seja, o domínio do sistema produtivo e o domínio da classificação de perdas e tornando assim mais claro em que circunstâncias cada um dos indicadores alternativos pode ser aplicado.

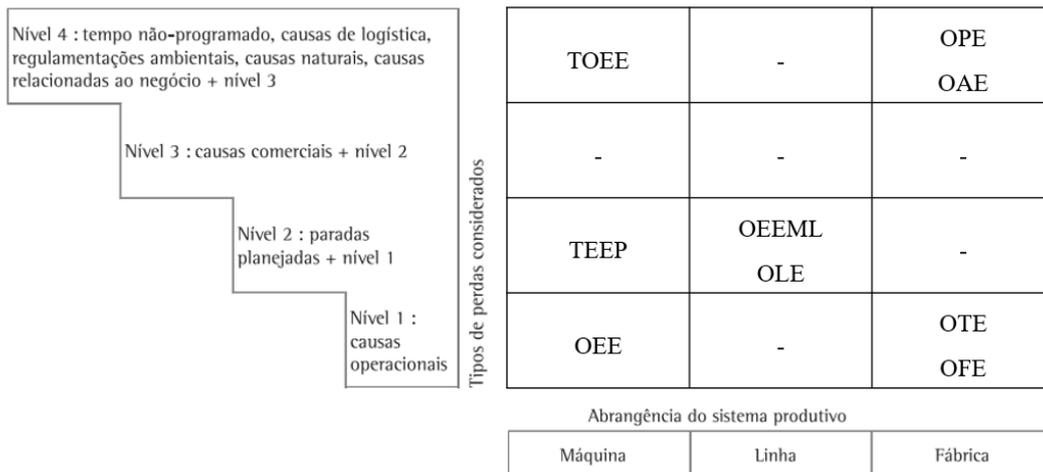


Figura 7 – OEE e os Indicadores Alternativos de acordo com os Tipos de Perdas e o Sistema Produtivo (Adaptado: Busso & Miyake, 2013)

3. ESTUDO DE CASO

O presente capítulo inclui uma breve apresentação da empresa onde se realizou o projeto desenvolvido nesta dissertação de mestrado, de modo a servir de contextualização para a descrição do problema retratado neste documento. Por fim, temos a caracterização da situação atual na empresa, em relação ao tema discutido nesta dissertação.

3.1. Apresentação da Empresa

Esta dissertação de mestrado foi realizada, num contexto empresarial, mais concretamente na ATEP – Amkor Technology Portugal, que se localiza em Vila do Conde, que é uma empresa na área dos semicondutores do tipo *Outsourced Semiconductor Assembly & Test* (OSAT).

A empresa foi criada, em 1996, com o nome de Siemens Semiconductor Portugal, porém, em 1999, devido a uma reestruturação do grupo Siemens, foi criada uma nova empresa denominada por Infineon Technologies AG. No ano de 2006, foi criada a Qimonda e, em 2010, foi decretada a insolvência desta empresa, tendo sido aprovado um plano de reestruturação, de onde resultou a Nanium. Por fim, no ano de 2018, a Nanium foi comprada por um grupo da área dos semicondutores, a Amkor Technology, passando a ser designada por ATEP – Amkor Technology Portugal. Na Figura 8 é possível observar a linha temporal descrita anteriormente.



Figura 8 – Linha Temporal da Empresa.

De seguida, são apresentadas as etapas da Cadeia de Abastecimento dos Semicondutores, sendo que, é importante de salientar, que a ATEP se encontra, predominantemente, na Fase 3, isto é, a maioria das atividades realizadas na empresa enquadram-se na *Manufacturing (Back End)*, todavia a ATEP possui atividades que pertencem a outras fases da *supply chain* dos semicondutores:

1. *Design* – são criados os designs dos chips, ou seja, o desenho para uma utilização específica ou geral em equipamentos (Wallach, 2021).
2. *Manufacturing (Front End)* – as *wafers* são processadas através de uma longa série de etapas de fabrico e, em seguida, são divididas em vários chips, também conhecidos por *dies* (Wallach, 2021).
3. *Manufacturing (Back End)* – os *dies* são colocados em camadas e organizados em embalagens e, de seguida, os *dies* são testados em diferentes condições (Wallach, 2021).
4. *End Product Integration* – os chips são integrados pelos fabricantes eletrónicos, de modo a criar produtos finais para os consumidores (Wallach, 2021).
5. *Consumption* – os produtos finais são enviados para as empresas, retalhistas e consumidores (Wallach, 2021).

No ANEXO A encontre-se, de forma mais detalhada, as etapas da cadeia de abastecimento e informações sobre a indústria dos semicondutores.

3.2. Descrição do Problema

Na indústria dos semicondutores, a maioria das empresas usam apenas a disponibilidade e a utilização dos equipamentos como indicadores para determinar a eficiência desses mesmos equipamentos, porém o uso restrito destes dois componentes não serve para medir a eficiência das máquinas. De modo, a incorporar o OEE, como indicador para a eficiência dos equipamentos, é necessário também uma medição cuidadosa do fator desempenho e da qualidade. Neste caso, a ATEP não se fica apenas pela medição da disponibilidade e da utilização das máquinas, incorpora o OEE nas suas análises aos equipamentos, como poderá ser possível observar na secção 3.3.

Porém, a empresa não consegue calcular este indicador para todos os equipamentos, visto que a obtenção do fator desempenho leva a bastantes conflitos e incertezas no seu cálculo, devido aos diferentes tempos de ciclos ideais que o equipamento pode ter dependendo do produto a ser fabricado no momento.

Posto isto, podemos definir que o principal problema passa pela pouca confiança dos valores de OEE apresentados, uma vez que não representam em concreto o dia a dia dos equipamentos. Além de que, o modelo utilizado pela empresa, atualmente, para o cálculo do OEE, não tem em conta a produção de diferentes produtos com tempos de ciclo diferentes e complexidades diferentes e por esse motivo os valores não transmitem confiança. Todavia nos equipamentos em que levam em consideração a produção de diferentes produtos na mesma máquina, o modo como, no presente, têm isso em conta está desatualizado ou é realizado de uma maneira sem fundamento.

A ATEP, sendo uma fábrica de semicondutores, produz chips (*dies*) que, de maneira sucinta, são microcircuitos que estão presentes nos mais diversos produtos eletrónicos do quotidiano, contudo estes chips são criados numa fatia fina de material semicondutor, denominado por *wafer*. À vista disso, o problema exposto nesta dissertação tem como unidade de produção a *wafer*, sendo que na Figura 9 é possível observar um exemplo de uma *wafer*.

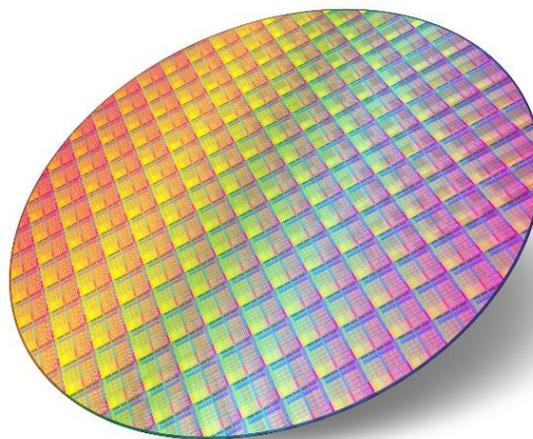


Figura 9 – Exemplo de uma *Wafer*.

É de realçar também que, para obter uma maior produtividade, os equipamentos possuem subsistemas incorporados, ou seja, as *wafers* sofrem atividades diferentes dentro do mesmo equipamento. Tal como podemos constatar na Figura 10, os equipamentos podem possuir um determinado número de atividades, que estão associadas a cada câmara (*chamber*) do equipamento, ou seja, em cada câmara é realizado um determinado processo na *wafers*. Por exemplo, nos equipamentos do Grupo A ocorrem duas atividades nas *wafers*, no interior do equipamento, sendo que é importante ter isso em conta a fim de que o valor da eficiência seja o mais real possível.

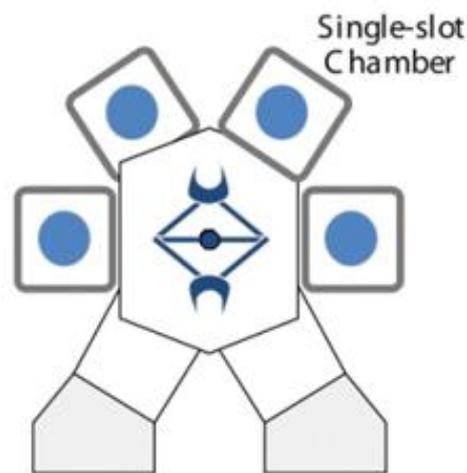


Figura 10 – Estrutura de um equipamento com várias câmaras (Fonte: Lee, 2008)

De modo a descrever melhor um dos problemas que este projeto enfrentou, no domínio da extração dos tempos de processo dos equipamentos para a análise, trago a Figura 11 onde é possível observar, de uma forma simplificada, como é que os equipamentos processam as *wafers* e assim compreender o processo não sequencial que ocorre dentro dos equipamentos. A *wafers* 2 já iniciou o processo, quando a *wafers* 1 terminou o seu processo, visto que existem subsistemas incorporados nos equipamentos, tal como foi referido anteriormente.

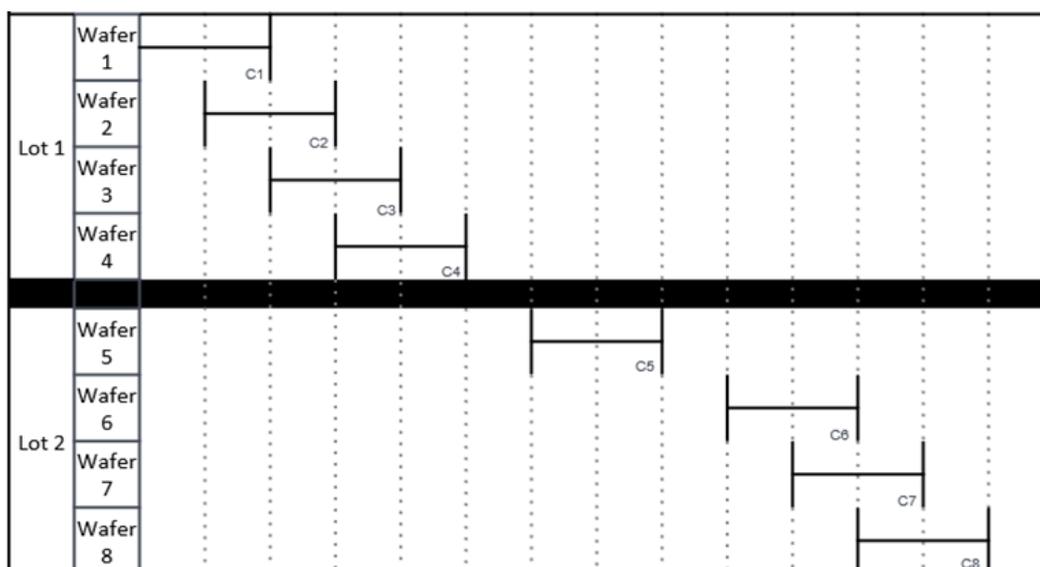


Figura 11 – Esquema do processamento das *wafers* nos equipamentos.

Na Tabela 3 estão os equipamentos que foram estudados, no âmbito desta dissertação (com um nome código a pedido da empresa) sendo que todos eles possuem subsistemas incorporados, isto é, várias atividades associadas ao mesmo equipamento o que aumenta a dificuldade no que toca à determinação da eficiência do equipamento.

Tabela 3 – Equipamentos e subsistemas exibidos nesta dissertação.

Grupo	Equipamento	Subsistema
A	A1	S1
		S2
	A2	S1
		S2
	A3	S1
		S2
B	B1	S3
		S4
		S5
C	C1	S6
		S7
		S8

Dos equipamentos apresentados anteriormente, podemos dividi-los em dois grandes grupos. O primeiro grupo inclui os equipamentos que apenas participam numa etapa (*step*) do processo da *wafer*, onde se enquadram os equipamentos do Grupo A e do Grupo B. O segundo grupo são equipamentos que, ao longo do percurso da *wafer* na linha de produção, irão participar em diferentes etapas do processo, no qual se inclui o equipamento do Grupo C.

Por outras palavras, uma *wafer* x irá ser trabalhada no equipamento C1, de modo a concluir uma determinada etapa no seu processo, de seguida passa para outros equipamentos, porém essa mesma *wafer* irá voltar ao equipamento C1 para realizar outra etapa do seu processo de manufatura. Por conseguinte, no domínio da extração dos tempos, é importante no equipamento do Grupo C ter em atenção qual o *step* que a máquina está a realizar, visto que os tempos de cada *wafer* difere de etapa para etapa. Na secção 4.2.2.2. irei abordar de forma mais detalhada esta particularidade existente no equipamento do Grupo C.

De forma sucinta, o principal problema foca-se na determinação da eficiência dos equipamentos sugeridos, tendo em conta todos os aspetos referidos previamente, nomeadamente:

- a existência de subsistemas dentro dos equipamentos;
- a produção de diferentes produtos com tempos de ciclo diferentes e complexidades diferentes;
- a produção não sequencial presente nos equipamentos;
- a complexidade que alguns equipamentos apresentam com a existência de várias etapas no mesmo equipamento.

Todos estes aspetos têm uma grande influência no *Overall Equipment Effectiveness*, mais precisamente no cálculo do Fator Desempenho, e precisam de ser levados em conta para que o valor da eficiência corresponda à realidade, servindo de motivação para o estudo do indicador OEE na indústria de semicondutores.

3.3. Caraterização da Situação Atual

No presente, a ATEP apresenta um *software* apelidado por Cerberus que permite a obtenção dos estados dos equipamentos e o tempo que esse passou num determinado

estado, sendo que este *software* será útil na obtenção do Fator Disponibilidade e do Fator Desempenho. Além disso, possui também um conjunto de *dashboards* onde é possível verificar qual a Disponibilidade, o Desempenho, a Qualidade e o, respectivo, OEE de alguns equipamentos segundo os pressupostos que a empresa segue na atualidade.

No que diz respeito ao Cerberus, o *software* que permite obter o tempo que cada equipamento passou em cada estado, este segue a SEMI E10, que é uma norma criada para a indústria dos semicondutores na qual é definido os estados dos equipamentos. A SEMI E10 estabelece que os equipamentos podem ter seis estados básicos de funcionamento, especificamente:

1. *Non-Scheduled State*;
2. *Unscheduled Down State*;
3. *Scheduled Down State*;
4. *Engineering State*;
5. *Standby State*;
6. *Productive State*.

Através da Figura 12 e 13 é possível observar, respectivamente, um esquema dos estados definidos pela SEMI E10 e a descrição detalhada do que cada estado inclui.

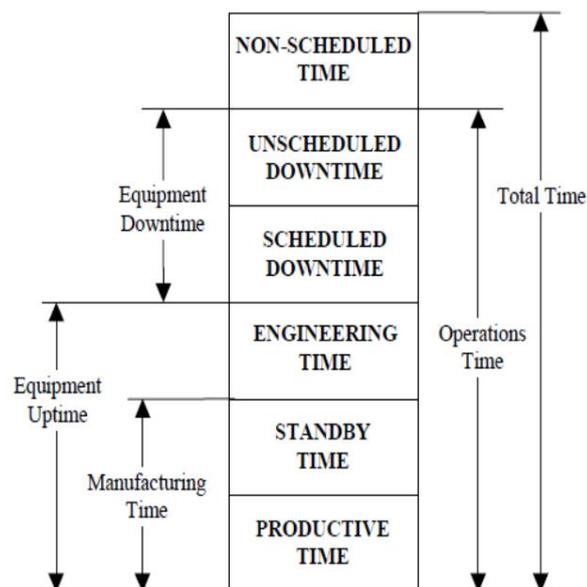


Figura 12 – Estados definidos pela SEMI E10 (Fonte: Ma et al., 2018).

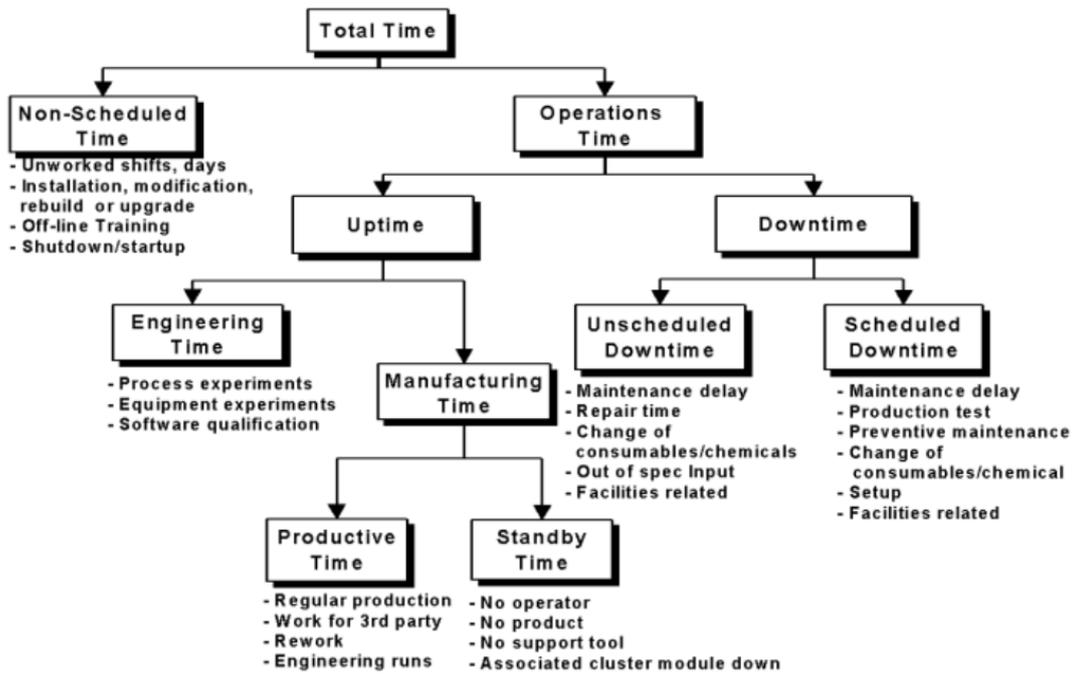


Figura 13 – Descrição de cada Estado do Equipamento (Fonte: Ma et al., 2018).

Através da Figura 14 é possível visualizar o gráfico que aparece no Cerberus para os equipamentos em estudo na semana 19, ou seja, do dia 6 de maio até ao dia 12 de maio. Este *software* além de criar estes gráficos onde é possível ver os estados dos equipamentos durante a semana, também permite extrair os tempos que cada equipamento passou em cada estado de funcionamento.

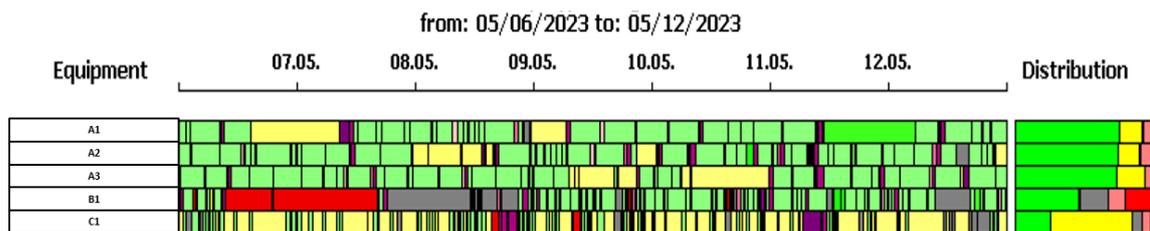


Figura 14 – Gráfico dos estados dos equipamentos relativo à semana 19 no Cerberus.

O ANEXO B dispõe dos gráficos dos estados dos equipamentos para as restantes semanas em estudo nesta dissertação, isto é, para a semana 20, 21 e 22 e a respetiva legenda dos gráficos.

Na Figura 15, 16 e 17 podemos observar os valores do OEE e dos seus componentes relativos ao equipamento A1, A2 e A3, respetivamente, para a semana 19, através dos *dashboards* que a ATEP utiliza. Porém, tal como foi dito anteriormente, os valores desses indicadores não estão corretos e não transmitem a realidade dos equipamentos, visto não ter em conta vários fatores que influenciam a eficiência das máquinas.

Dashboard



Figura 15 – Dashboard do OEE e dos seus componentes relativo ao equipamento A1 na semana 19.

Dashboard



Figura 16 – Dashboard do OEE e dos seus componentes relativo ao equipamento A2 na semana 19.

Dashboard



Figura 17 – Dashboard do OEE e dos seus componentes relativo ao equipamento A3 na semana 19.

No ANEXO C encontram-se os *dashboards* do OEE e dos seus fatores, somente, para os equipamentos A1, A2 e A3 relativos à semana 20, 21 e 22, visto que para os equipamentos B1 e C1 a empresa não possui o OEE calculado e disponibilizado nos *dashboards*.

4. METODOLOGIA PROPOSTA

O presente capítulo apresenta a metodologia aplicada para resolver o problema descrito anteriormente. Nesta dissertação foi utilizada a *framework* apresentada por Saunders et al. (2019): *Research Onion* para formular o plano de investigação, representada na Figura 18.

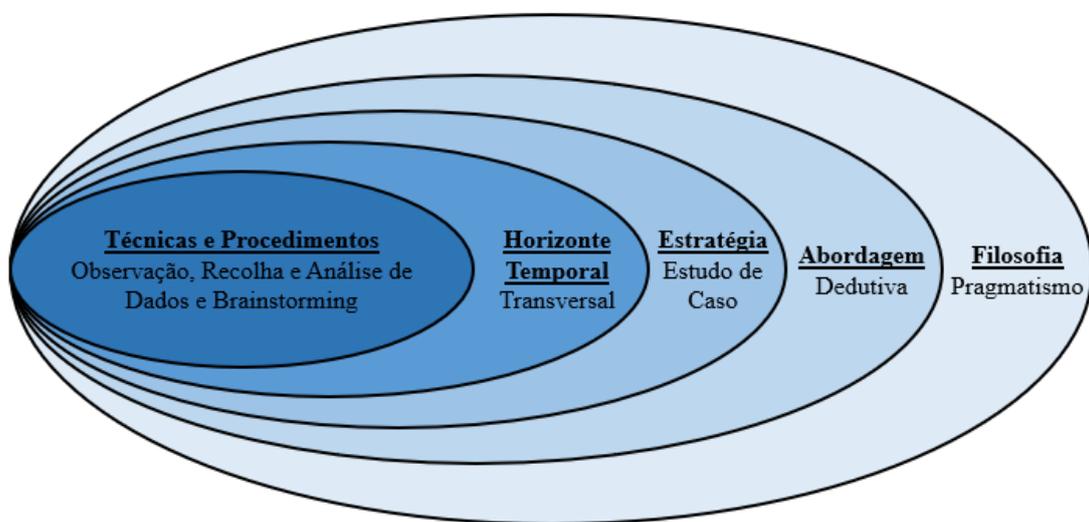


Figura 18 – *Research Onion* (Adaptado: Saunders et al., 2019)

A filosofia de investigação adotada é o pragmatismo, devido ao foco na obtenção de resultados práticos. Relativamente à abordagem de investigação escolhida trata-se de uma abordagem dedutiva, visto que foi utilizada a literatura para identificar teorias já existentes e aplicadas na área do problema em estudo, isto é, na indústria dos semicondutores. No que diz respeito à estratégia de investigação, definiu-se que esta teria como base a formulação de um estudo de caso. Quanto ao horizonte temporal de recolha de dados é transversal, uma vez que o estudo foi restrito a um período de 5 meses. Por último, as técnicas e procedimentos utilizados foram: a Observação, a Recolha e Análise de Dados e o Brainstorming com a restante equipa.

Neste capítulo, em primeiro lugar, é apresentada a fórmula utilizada, neste projeto, para calcular o Fator Disponibilidade. De seguida, é exposta a forma como determinámos o Fator Desempenho dos equipamentos e como esta se desdobra em dois

componentes, isto é, o *Operational Efficiency* e o *Rate Efficiency*. Por fim, é explicado como o Fator Qualidade foi determinado neste contexto e a fórmula usada para calcular diretamente o *Overall Equipment Effectiveness* dos equipamentos.

É de realçar que a metodologia proposta segue as fórmulas que a SEMI E79 estabelece para o cálculo do OEE, no que toca à Disponibilidade e ao *Operational Efficiency*. Porém, no que diz respeito, ao *Rate Efficiency* não foi seguido, rigorosamente, o que a SEMI E79 determina, visto que este projeto está a ter em conta a existência de subsistemas dentro dos equipamentos e a produção de diferentes produtos com tempos de ciclo diferentes e complexidades diferentes. Em suma, foi proposta esta metodologia a fim de que este estudo sobre OEE reflita a realidade do contexto vivido pela empresa.

4.1. Fator Disponibilidade

Neste projeto, o Fator Disponibilidade seguiu a fórmula que a SEMI E79 estabelece para determinar a *Availability Efficiency* do equipamento, sendo possível definir uma relação com a norma que a empresa já seguia, a SEMI E10, ou seja, com os estados do equipamento apresentados na Figura 12. Posto isto, é possível verificar que neste componente é considerado o tempo que o equipamento passou no estado *Non-Scheduled*, *Unscheduled Down* e *Scheduled Down*.

Relativamente, à fórmula utilizada para o cálculo da *Availability Efficiency*, ou seja, para o cálculo da Disponibilidade do Equipamento é exposta na equação (11).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Equipment Uptime}}{\text{Total Time}} \quad (11)$$

Tal como aparece na Figura 12, o valor do *Equipment Uptime* é igual ao somatório do tempo Produtivo, Standby e Engenharia, ou seja, é igual ao *Total Time* menos o tempo em que o equipamento esteve no estado *Non-Scheduled*, *Unscheduled Down* e *Scheduled Down*, tal como aparece demonstrado na equação (12).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Total Time} - (\text{NonScheduled} + \text{Unscheduled Down} + \text{Scheduled Down})}{\text{Total Time}} \quad (12)$$

Quanto aos valores dos estados de funcionamento que são precisos para o cálculo da Disponibilidade, estes são obtidos através do *software* Cerberus e serão apresentados na secção 5.1, tal como o valor da Disponibilidade.

4.2. Fator Desempenho

Nesta secção será apresentada a metodologia proposta para o cálculo do *Operational Efficiency* e do *Rate Efficiency*, visto que, a SEMI E79 defende que a multiplicação destes dois componentes permite determinar o Fator Desempenho do equipamento, tal como aparece na equação (13).

$$\text{Desempenho} = \text{Operational Efficiency} * \text{Rate Efficiency} \quad (13)$$

Primeiramente, será exibida a fórmula utilizada para o cálculo do *Operational Efficiency* do equipamento e, de seguida, será apresentada a metodologia usada para a determinação do *Rate Efficiency* para os casos em que o equipamento usado apenas para um *step* ou quando a máquina é utilizada em duas ou mais etapas do processamento da *wafer*.

É de salientar, ainda, que neste projeto foram seguidas as indicações da SEMI E79 para a determinação do *Operational Efficiency*, porém para o *Rate Efficiency* não foram acompanhadas, rigorosamente, as diretrizes da norma, uma vez que foi levado em consideração o facto dos equipamentos produzirem diferentes produtos com tempos de ciclo diferentes e complexidades diferentes, a existência de subsistemas dentro dos equipamentos, a produção não sequencial presente nos equipamentos e a complexidade que alguns equipamentos apresentam com a existência de várias etapas no mesmo equipamento.

4.2.1. *Operational Efficiency*

O *Operational Efficiency*, tal como já foi referido anteriormente, segue as indicações da SEMI E79, sendo que, tal como acontece na Disponibilidade, é possível relacionar com a norma que a ATEP já seguia, a SEMI E10.

Desta forma, o cálculo deste componente deriva da relação entre o tempo que o equipamento esteve no estado Produtivo com o tempo que este passou *up*, ou seja, é a relação

entre o tempo que o equipamento passou apenas no estado Produtivo com o tempo que este passou no estado Produtivo, Standby e Engenharia, tal como é demonstrado na equação (14).

$$\text{Operational Efficiency} = \frac{\text{Productive Time}}{\text{Equipment Uptime}} \quad (14)$$

O *Operational Efficiency* pode ser definido, de uma forma mais detalhada, através da equação (15).

$$\text{Operational Efficiency} = \frac{\text{Productive Time}}{\text{Productive Time} + \text{Standby Time} + \text{Engineering Time}} \quad (15)$$

Relativamente aos valores do *Operational Efficiency* dos equipamentos, para as semanas em estudo, estes serão apresentados na secção 5.2.1.

4.2.2. Rate Efficiency

O *Rate Efficiency* é o componente que tem em consideração os problemas apresentados na secção 3.2, nomeadamente, a existência de subsistemas dentro dos equipamentos, a produção de diferentes produtos com tempos de ciclo diferentes e complexidades diferentes, a produção não sequencial presente nos equipamentos e a existência de várias etapas do processo da *wafers* no mesmo equipamento.

Uma vez que, neste projeto, é levado em conta estas características, não é possível seguir, rigorosamente, as diretrizes da SEMI E79 para o cálculo do *Rate Efficiency* do equipamento.

Posto isto, nesta secção será apresentada uma metodologia para determinar o *Rate Efficiency*, nas condições presenciadas, porém, em virtude do último aspeto mencionado, ou seja, a presença de vários *steps* no mesmo equipamento, esta secção encontra-se dividida em duas subsecções, visto que a metodologia proposta para o *Rate Efficiency* irá diferir no caso do equipamento marcar presença em apenas uma etapa ou em várias etapas do processo das *wafers*.

4.2.2.1. *Rate Efficiency* com um *Step*

Os equipamentos que participam, somente, num *step* do processamento das *wafers* são os equipamentos A1, A2, A3 e B1, sendo assim, nesta subsecção será apresentada a metodologia para o cálculo do *Rate Efficiency* destes quatro equipamentos.

De modo a considerar uma das quatro características apresentadas, nomeadamente, a existência de subsistemas dentro dos equipamentos, a primeira fase do cálculo do *Rate Efficiency* de um equipamento passa pela determinação do subsistema do equipamento que marca a cadência desse mesmo, ou seja, passou pela identificação do subsistema *bottleneck* no equipamento. Os subsistemas *bottlenecks* foram identificados através de uma análise de dados, onde foi possível concluir que o subsistema *bottleneck*, e que serviu para a extração dos tempos de ciclo, dos equipamentos do Grupo A é o subsistema S1, ao passo que do equipamento do Grupo B é o subsistema S4.

No que diz respeito à produção não sequencial presente nos equipamentos, dado que dentro da câmara o processo é sequencial, isto é, a *wafer* y só inicia o processo quando a *wafer* x saiu da câmara, ao considerar o subsistema *bottleneck* e os tempos de processamento dentro desse mesmo subsistema foi então possível, ultrapassar essa característica que os equipamentos possuem e que dificultava a determinação dos tempos de processo de cada *wafer* e a relação entre “o que poderia ter sido produzido” com “o que foi realmente produzido”.

Em virtude da existência de centenas de produtos diferentes produzidos pelos equipamentos, houve a necessidade de agrupar os produtos produzidos em receitas (*recipes*). As receitas correspondem a parâmetros que são introduzidos no equipamento para o processamento das *wafers*, são criadas pelos engenheiros de processo e, posteriormente, quando aplicadas atividades de melhoria nos equipamentos, estas são aplicadas em função das receitas inseridas neles, deste modo, e daqui para a frente neste projeto, é levado em consideração as receitas configuradas nos equipamentos e os tempos de processo associado a cada uma delas.

Por causa, ainda, da produção de diferentes produtos com complexidades várias e/ou da grande quantidade de receitas inseridas nos equipamentos, um dos principais desafios passou pela extração dos tempos de ciclo ideais. De modo geral, a determinação destes tempos é feita através da informação que provém do fornecedor, contudo como esses dados remetem para um produto padrão, deste modo o tempo de ciclo ou a velocidade do

equipamento que o fornecedor dispõe não pode ser utilizado como *ideal cycle time* dos produtos, visto que o produto padrão utilizado pouco ou nada reflete com os produtos produzidos ou com as receitas inseridas. Com o intuito de superar este desafio, foram utilizados os dados históricos de cada receita, sendo que foi estabelecido como *ideal cycle time* o menor dos tempos de processamento da *wafer* dentro do subsistema *bottleneck*.

Todavia este método para obtenção dos tempos de ciclo ideais de cada receita pode ser facilmente refutado, visto que há a possibilidade do *ideal cycle time* considerado ser um *outlier* dos tempos de processo das *wafers*, isto é, como o procedimento resume-se a levar em consideração o mínimo dos tempos de ciclo das *wafers* registados em função da receita e do equipamento, por diversas razões, tais como, erro nos dados fornecidos pela ATEP ou algum problema no equipamento, esse tempo pode não corresponder à realidade.

Posto isto, e de modo a não cometer este erro, apliquei o Método da Diferença Interquartil (*Interquartile Range Method*) para identificar os *outliers* nos tempos de processo das *wafers* de cada receita nos equipamentos. Este método utiliza a diferença interquartil (IQR), o primeiro quartil (Q1) e o terceiro quartil (Q3) dos dados para determinar o limite superior (LS) e o limite inferior (LI), que servirão para identificar os *outliers*. Numa primeira fase, determina-se o Q1 e o Q3 do conjunto de dados existente, sendo que esse conjunto remete para os tempos de processamento das *wafers* em função da receita e do equipamento em estudo. De seguida, é calculado o IQR, através da equação (16), que corresponde à subtração do valor do Q3 com o valor do Q1, ou seja, equivale à região entre o percentil 75 e 25, que representa 50% dos dados.

$$IQR = Q3 - Q1 \quad (16)$$

Em seguida, são aplicadas as equações (17) e (18), para determinar o limite superior e o limite inferior, respetivamente.

$$LS = Q3 + (1.5 * IQR) \quad (17)$$

$$LI = Q1 - (1.5 * IQR) \quad (18)$$

Relativamente ao limite superior, é adicionado ao valor de Q3 a multiplicação do IQR por uma constante de valor 1,5. Em relação ao limite inferior, é subtraído ao valor de Q1 a multiplicação do IQR pela mesma constante. O valor utilizado como constante neste projeto é o 1,5, visto que é o recomendado para o Método da Diferença Interquartil, de modo a identificar os *outliers* no conjunto de dados.

Após a determinação do subsistema *bottleneck* e, tendo em mente o que foi mencionado anteriormente, foi possível avançar para o cálculo do *Rate Efficiency* do equipamento. O primeiro passo da metodologia proposta para a determinação deste componente passa por identificar as receitas usadas no equipamento na semana em estudo e extrair, da base de dados da ATEP, qual o menor *cycle time* de cada receita associada ao subsistema *bottleneck* do equipamento, no último mês, visto que o menor tempo de processamento será considerado o *ideal cycle time* do *recipe* no equipamento em foco, depois de removidos os tempos de ciclo que são considerados *outliers*, pelo método descrito anteriormente.

O segundo passo da metodologia consiste em definir qual o máximo de *output* do equipamento, ou seja, qual o número máximo de *wafers* que o equipamento consegue processar, caso este produzisse apenas uma determinada receita, durante o período em que o equipamento esteve no estado produtivo, no decorrer da semana em estudo. Para tal, foi aplicada a equação (19), em que i é a receita e n é o equipamento, na qual realiza-se a relação entre o tempo produtivo do equipamento, em segundos, e o *ideal cycle time* de cada receita, em segundo por *wafer*, que foi obtido na etapa anterior.

$$Max_Output_i = \frac{Productive\ Time_n}{Ideal\ Cycle\ Time_i} \quad (19)$$

O terceiro passo deste processo baseia-se em determinar um fator de conversão entre as receitas, visto que nos equipamentos são inseridas várias receitas com diferentes complexidades e através deste fator de conversão será possível converter os diferentes *recipes* em apenas um só, possibilitando assim uma comparação mais clara entre “o que poderia ter sido produzido” e “o que foi realmente produzido”. Deste modo, o fator de conversão de cada receita é dado através da equação (20), em que i é a receita.

$$Convers\tilde{a}o_i = \frac{Ideal\ Cycle\ Time_i}{\min(Ideal\ Cycle\ Time_i)} \quad (20)$$

Na equação anterior é possível observar a relação entre o *ideal cycle time* de uma determinada receita com o *ideal cycle time* da receita mais rápida, ou seja, com o tempo de ciclo da receita, na qual o equipamento trabalha com uma velocidade mais elevada.

De seguida, através da base de dados da ATEP, foi extraído o *output* efetivo do equipamento, isto é, o número de *wafers* processadas no equipamento, mediante a receita inserida na máquina em questão. Porém, apenas foram contabilizadas as *wafers* que passaram em todos os subsistemas do equipamento, ou seja, que fizeram o processo completo dentro do equipamento.

Posteriormente, foi calculado o *output* equivalente, de cada receita, no equipamento em questão, através da equação (21), em que i é a receita, na qual ocorre a multiplicação entre o *output* efetivo, que foi obtido na etapa anterior, e o fator de conversão determinado na equação (20).

$$Output\ Equivalente_i = Output\ Efetivo_i * Convers\tilde{a}o_i \quad (21)$$

Em termos práticos, o *output* equivalente de cada receita, calculado através da equação anterior, corresponde ao número de *wafers* que o equipamento iria realizar, porventura este processasse cada receita introduzida com a velocidade da receita mais rápida.

Em seguida, foi determinado o total equivalente do equipamento, através da equação (22), na qual ocorre o somatório dos *outputs* equivalente, calculados anteriormente, em que i é a receita, n é o equipamento em estudo e m é o número de receitas que foram introduzidas no equipamento durante a semana em estudo.

$$Total\ Equivalente_n = \sum_i^m Output\ Equivalente_i \quad (22)$$

A partir deste momento, já é possível determinar o *Rate Efficiency* do equipamento, através da equação (23), na qual realiza-se a relação entre o total equivalente e o número máximo de *wafers* que o equipamento consegue processar quando inserida a

receita que permite o equipamento trabalhar à velocidade mais rápida, ou seja, corresponde ao valor mais elevado obtido através da equação (19).

$$Rate\ Efficiency_n = \frac{Total\ Equivalente_n}{\max(Max_Output_i)} \quad (23)$$

Porém, é exequível decompor a equação (23) de modo a ficar em função do *output* efetivo do equipamento, do tempo produtivo do equipamento e do *ideal cycle time* de cada receita, que representam os *inputs* necessários ao cálculo do *Rate Efficiency*. Para tal, é suficiente retroceder nas etapas descritas anteriormente e vai ser obtida a equação (24), em que *i* é a receita, *n* é o equipamento em estudo e *m* é o número de receitas que foram introduzidas no equipamento durante a semana em estudo.

$$Rate\ Efficiency_n = \frac{\sum_i^m \left[\left(\frac{Ideal\ Cycle\ Time_i}{\min(Ideal\ Cycle\ Time_i)} \right) * Output\ Efetivo_i \right]}{\left(\frac{Productive\ Time_n}{\min(Ideal\ Cycle\ Time_i)} \right)} \quad (24)$$

Em suma, a equação (24) expõe a fórmula para calcular o *Rate Efficiency* de um equipamento que participa, somente, num *step* do processamento das *wafers*, tendo em consideração a existência de subsistemas dentro dos equipamentos, a produção de diferentes receitas com tempos de ciclo diferentes e complexidades diferentes e a produção não sequencial presente nos equipamentos. No que diz respeito aos valores do *Rate Efficiency* dos equipamentos que participam em apenas num *step*, para as semanas em estudo, estes são apresentados na secção 5.3.1.

4.2.2.2. *Rate Efficiency* com dois ou mais *Steps*

O equipamento, inserido neste projeto, que participa em dois ou mais *steps* do processo das *wafers* é o equipamento C1, sendo assim, nesta subsecção será apresentada a metodologia para o cálculo do *Rate Efficiency* deste equipamento.

Como já foi mencionado previamente, este equipamento possui uma característica que os equipamentos mencionados na subsecção anterior não possuem, ou seja, o facto de decorrerem várias etapas de processo da *wafer* na mesma máquina. Posto isto, no domínio da extração dos tempos. é importante no equipamento do Grupo C ter em atenção qual o *step*

que a máquina está a realizar, visto que os tempos de cada *wafer* é diferente de etapa para etapa.

Na Tabela 4, é possível observar os diferentes *steps* que o equipamento C1 realizou durante as semanas em estudo nesta dissertação, em conjunto com as câmaras utilizadas em cada etapa.

Tabela 4 – *Steps* que o equipamento C1 realizou e os subsistemas utilizados em cada *step*.

Grupo	Equipamento	Step	Subsistema
C	C1	E1	S6
			S7
		E2	S6
			S7
		E3	S6
			S7
		E4	S6
			S7
			S8
		E5	S6
			S7
		E6	S6
			S7
			S8
		E7	S6
			S7
		E8	S6
			S7
		E9	S6
			S7
		E10	S6
			S7
			S8
		E11	S6
S7			
E12	S6		
	S7		
	S8		

Através da Tabela 4, é possível constatar a presença do subsistema S7 em todas as etapas do processo das *wafers* que decorreram no equipamento C1. Além disto, é nesta câmara que ocorre atividade de fabrico que acrescenta valor ao produto e, consequentemente, é o subsistema *bottleneck*, posto isto este subsistema será levado em consideração para a obtenção dos tempos de processamento das *wafers* em cada *step*, visto que irá marcar a cadência do equipamento.

No que diz respeito à metodologia proposta para este tipo de equipamentos, quando comparada com a metodologia descrita na subsecção anterior, a principal diferença verifica-se no modo como foram extraídos os *cycle times* e os *outputs* efetivos do equipamento através da base de dados da empresa. Para o equipamento do Grupo C, houve uma filtragem adicional, por causa da existência dos vários *steps*, visto que o tempo de processamento de uma *wafers*, com a mesma receita inserida no equipamento, diferencia-se e não é comparável, quando se trata de etapas diferentes no processo de fabrico da *wafers*. O mesmo acontece, relativamente aos *outputs* efetivos, ou seja, é de igual importância também distinguir o número de *wafers* processadas, por receita, em cada *step* do processo. Na prática, uma receita x tem um determinado *ideal cycle time* e um *output* efetivo associado ao *step* y, porém quando a *wafers*, com a mesma receita, encontra-se no *step* z irá ter um *ideal cycle time* e um *output* efetivo diferente, visto que o equipamento realiza outra etapa do processo das *wafers* e os tempos de ciclo ideais e o número de *wafers* processadas diferem de *step* para *step*.

Posto isto, para calcular o *Rate Efficiency* dos equipamentos, que participam em dois ou mais *steps* do processo das *wafers*, é possível utilizar a equação (24) ou as equações (19), (20), (21), (22) e (23), quando, previamente, aplicado o tratamento de dados descrito anteriormente, a fim de que seja considerado a existência de vários *steps* neste tipo de equipamentos e a remoção de *outliers* dos tempos de processamento das *wafers*, segundo o Método da Diferença Interquartil. Relativamente aos valores do *Rate Efficiency* para os equipamentos que participam em dois ou mais *steps*, serão apresentados na secção 5.3.2.

4.3. Fator Qualidade

Segundo a SEMI E79, o Fator Qualidade tem em consideração os defeitos e os desperdícios produzidos pelo equipamento, podendo ser calculado através da equação (25).

$$Qualidade = \frac{\textit{Theoretical Production Time for Effective Units}}{\textit{Theoretical Prouction Time for Actual Units}} \quad (25)$$

Porém, a ATEP apenas realiza uma verificação dos defeitos e dos desperdícios no final das linhas de produção e não há saída dos equipamentos. Consequentemente, no

decorrer do projeto, houve obrigação de assumir que o Fator Qualidade seria igual a 100%, isto é, que os equipamentos não produziram defeitos nem desperdícios.

Por outras palavras, o número de *wafers* que entram no equipamento é igual ao número de *wafers* que saem do mesmo, ou seja, na tentativa de relacionar com o que é apresentado na equação (25), o tempo de produção do equipamento para o número de *wafers* à entrada é igual ao tempo de produção para o número de *wafers* à saída.

4.4. Cálculo Direto do *Overall Equipment Effectiveness*

Segundo a SEMI E79, o *Overall Equipment Effectiveness* é definido através da relação entre o tempo de produção teórico para unidades conformes e o tempo total, tal como aparece expresso na equação (26).

$$OEE = \frac{\textit{Theoretical Production Time for Effective Units}}{\textit{Total Time}} \quad (26)$$

A equação (26) emerge quando se procede à eliminação de elementos repetidos nas fórmulas dos quatro componentes, indicados pela SEMI E79.

Porém, como nesta dissertação o cálculo do *Rate Efficiency* não segue, rigorosamente, as diretrizes da SEMI E79, pelas razões já apresentadas, a metodologia proposta para calcular diretamente o OEE de um equipamento, no contexto em que este projeto está inserido, é através da equação (27).

$$OEE_n = \frac{\sum_i^m (\textit{Ideal Cycle Time}_i * \textit{Output Efetivo}_i)}{\textit{Total Time}_n} \quad (27)$$

Com base na equação (27), é possível calcular o OEE de uma forma direta com os tempos de ciclo ideais de cada receita, o *output* efetivo de cada receita e o tempo total do equipamento, em que *i* é a receita, *n* é o equipamento em estudo e *m* é o número de receitas que foram introduzidas no equipamento durante a semana em estudo. No que diz respeito aos valores do OEE dos equipamentos calculados de forma direta, para as semanas em estudo, estes são apresentados na secção 5.8.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste quinto capítulo, desta dissertação, são apresentados e discutidos os resultados obtidos da implementação da metodologia exposta.

Num primeiro momento, são apresentados os resultados da Disponibilidade dos equipamentos nas semanas 19, 20, 21 e 22 e de seguida, são expostos os valores do *Operational Efficiency* de cada máquina para as mesmas semanas. Posteriormente, são exibidos os resultados do *Rate Efficiency*, porém este subcapítulo encontra-se dividido em duas secções, uma delas referente aos resultados deste componente para os equipamentos que colaboram em apenas um *step* e a outra secção é relativa aos equipamentos que participam em dois ou vários *steps* do processo da *wafer*. Em seguida, são apresentados os valores assumidos para o Fator da Qualidade neste projeto e, por fim, são expostos os resultados do *Overall Equipment Effectiveness* de cada equipamento para as semanas em estudo.

Além disto, é apresentado um subcapítulo onde são exibidos os valores do OEE dos equipamentos calculados de forma direta, em seguida é realizada a interpretação dos resultados dos componentes e do OEE obtidos anteriormente e, no final, são exibidos *dashboards* de cada máquina relativos ao OEE e aos seus componentes, realizados através do Microsoft Power BI, de modo a tornar a visualização dos dados mais acessível.

5.1. Disponibilidade dos Equipamentos

Através do *software* Cerberus, disponibilizado pela ATEP, foi possível a extração dos tempos que cada equipamento passou em cada estado. Na Figura 19 são apresentados os tempos e a percentagem que cada máquina passou nos estados definidos pela SEMI E10 na semana 19, ou seja, de 6 de maio a 12 de maio.

No APÊNDICE A encontram-se as tabelas com os tempos e as percentagens que cada equipamento passou em cada estado relativas às restantes semanas em estudo, ou seja, para a semana 20, 21 e 22.

Equipamento	Semana 19					
	Productive State [s] (%)	Standby State [s] (%)	Engineering State [s] (%)	Scheduled Down State [s] (%)	Unscheduled Down State [s] (%)	Non-Scheduled State [s] (%)
A1	459 692 (76,01%)	98 661 (16,31%)	4 732 (0,78%)	41 715 (6,90%)	0 (0%)	0 (0%)
A2	451 607 (74,67%)	89 963 (14,87%)	9 216 (1,52%)	54 014 (8,93%)	0 (0%)	0 (0%)
A3	441 425 (72,99%)	120 958 (20,00%)	0 (0%)	42 417 (7,01%)	0 (0%)	0 (0%)
B1	278 527 (46,05%)	9 133 (1,51%)	125 027 (20,67%)	76 110 (12,58%)	116 003 (19,18%)	0 (0%)
C1	155 307 (25,68%)	360 632 (59,63%)	42 810 (7,08%)	34 822 (5,76%)	11 229 (1,86%)	0 (0%)

Figura 19 – Tempo e Percentagem que os Equipamento passaram em cada Estado na semana 19.

Após a extração dos segundos que os equipamentos passaram em cada estado de funcionamento, durante as semanas em estudo, foi então possível determinar a Disponibilidade das máquinas em cada semana, através da equação (11). Na Tabela 5 é fornecido o *Total Time*, o *Equipment Uptime* e, conseqüentemente, o Fator Disponibilidade de cada equipamento referente à semana 19.

Tabela 5 – Disponibilidade dos Equipamentos na semana 19.

Equipamento	Semana 19		
	<i>Total Time</i> [s]	<i>Equipment Uptime</i> [s]	Disponibilidade [%]
A1	604 800	563 085	93,103
A2	604 800	550 786	91,069
A3	604 800	562 383	92,987
B1	604 800	412 687	68,235
C1	604 800	558 749	92,386

No APÊNDICE B é possível encontrar a Disponibilidade dos Equipamentos para as restantes semanas em estudo, isto é, para a semana 20, 21 e 22.

5.2. *Operational Efficiency* dos Equipamentos

O *Operational Efficiency* foi determinado através da equação (14), com base nos valores extraídos do *software* Cerberus que podem ser consultados na Figura 16 e no APÊNDICE A. Este componente serve para calcular o Fator Desempenho e consiste na relação do tempo produtivo do equipamento com o tempo que este passou *up*, ou seja, o somatório do tempo produtivo, do standby e de engenharia.

Na Tabela 6 pode ser observado o *Uptime*, o *Productive Time* e o *Operational Efficiency* dos equipamentos na semana 19.

Tabela 6 – *Operational Efficiency* dos Equipamentos na semana 19.

Equipamento	Semana 19		
	<i>Equipment Uptime</i> [s]	<i>Productive Time</i> [s]	<i>Operational Efficiency</i> [%]
A1	563 085	459 692	81,638
A2	550 786	451 607	81,993
A3	562 383	441 425	78,492
B1	412 687	278 527	67,491
C1	558 749	155 307	27,795

No APÊNDICE C é possível observar o *Operational Efficiency* dos equipamentos para as restantes semanas aplicadas neste projeto, ou seja, as semanas 20, 21 e 22.

5.3. *Rate Efficiency* dos Equipamentos

Neste subcapítulo são apresentados os resultados do componente *Rate Efficiency* dos equipamentos deste projeto, porém, tal como exibido no capítulo anterior, o tratamento dos dados é diferente consoante o número de *steps* que um equipamento realiza.

Posto isto, este subcapítulo surge dividido em duas secções, uma delas referente aos resultados deste componente para os equipamentos que colaboram em apenas num *step*, isto é, os equipamentos do Grupo A e o do Grupo B e a outra secção é relativa aos

equipamentos que participam em dois ou vários *steps* do processo da *wafers*, ou seja, o equipamento do Grupo C.

5.3.1. Rate Efficiency dos Equipamentos com um Step

O *Rate Efficiency* para os equipamentos que colaboram em apenas um *step* foi calculado através da metodologia proposta na subsecção 4.2.2.1. Com o intuito de tornar mais acessível a visualização do Método da Diferença Interquartil para identificar os *outliers* nos tempos de processo das *wafers* de cada receita nos equipamentos, foram construídos *boxplots*, através do Microsoft Excel, permitindo assim verificar a existência ou não de *outliers* nos dados, assim como, o IQR, o Q1, a mediana, o Q3 e o valor mínimo admissível do conjunto de dados.

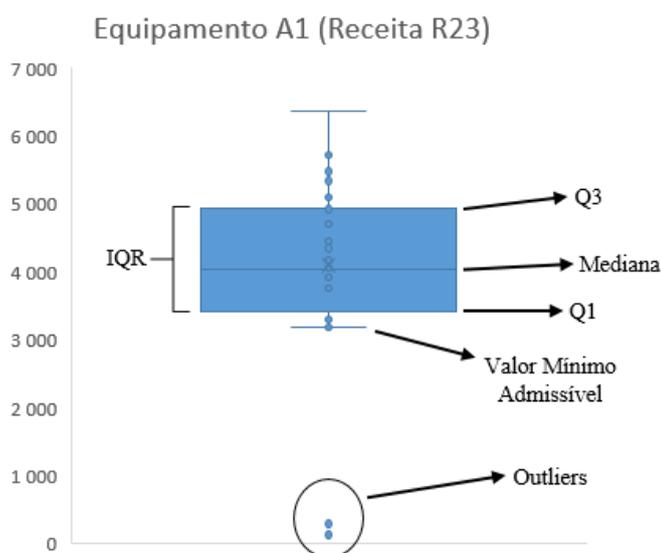


Figura 20 – *Boxplot* dos tempos de processo das *wafers* com a receita R23 no equipamento A1.

Através da Figura 20, verifica-se a existência de dois tempos de ciclo que são considerados *outliers*, segundo o Método da Diferença Interquartil, posto isto o *ideal cycle time* da receita R23 no equipamento A1, será o valor mínimo admissível.

No APÊNDICE D, E, F e G é possível observar os *boxplots* dos tempos de processo das *wafers*, para as semanas 19, 20, 21 e 22, respetivamente, referentes às receitas que possuem *outliers* no seu conjunto de dados para os equipamentos presentes nesta dissertação.

Por fim, é importante realçar que, neste projeto, no que diz respeito à remoção de *outliers*, foi realizada uma análise meramente estatística, que segue o Método da Diferença Interquartil, sendo assim pode ter acontecido a eliminação de tempos de ciclo que, segundo o método anterior, são *outliers*, mas que são tempos exequíveis, ou considerar um *cycle time* associado a uma receita que, segundo o método utilizado, não é um *outlier*, mas não é um tempo exequível. A solução para este problema passa por um trabalho conjunto com os engenheiros de processo e o departamento de planeamento e verificar se o *ideal cycle time* atribuído a cada receita se adequa ou não.

Após aplicar o Método da Diferença Interquartil nos tempos de processo das *wafers* é, finalmente, possível calcular o *Rate Efficiency* para o equipamento A1, A2, A3 e B1, tal como é apresentado nas Tabelas 7, 8, 9 e 10, respetivamente, através da utilização das equações (19), (20), (21), (22) e (23), tendo em consideração o subsistema *bottleneck* das máquinas, durante a semana 19.

Tabela 7 – Rate Efficiency do Equipamento A1 durante a semana 19.

Equipamento A1 (Subsistema S1)								
Recepe	Último Mês			Semana 19				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	<i>Rate Efficiency</i> [%]
R13	22,200	1 332	1,571	346	13	20	329	60,589
R16	18,033	1 082	1,276	425	43	55		
R17	20,167	1 210	1,427	380	3	4		
R18	14,133	848	1,000	543	13	13		
R23	53,117	3 187	3,758	145	10	38		
R26	24,400	1 464	1,726	314	115	199		

Tabela 8 – Rate Efficiency do Equipamento A2 durante a semana 19.

Equipamento A2 (Subsistema S1)								
Recipe	Último Mês			Semana 19				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R7	14,683	881	1,000	513	34	34	354	69.006
R11	21,167	1 270	1,442	356	38	55		
R12	18,417	1 105	1,254	409	34	43		
R16	23,217	1 393	1,581	325	19	30		
R17	26,900	1 614	1,832	280	77	141		
R18	18,533	1 112	1,262	407	40	50		

Tabela 9 – Rate Efficiency do Equipamento A3 durante a semana 19.

Equipamento A3 (Subsistema S1)								
Recipe	Último Mês			Semana 19				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R12	16,083	965	1,043	458	13	14	359	75,105
R16	18,750	1 125	1,216	393	72	88		
R17	19,283	1 157	1,251	382	13	16		
R18	15,417	925	1,000	478	149	149		
R19	25,000	1 500	1,622	295	8	13		
R26	21,717	1 303	1,409	339	56	79		

Tabela 10 – Rate Efficiency do Equipamento B1 durante a semana 19.

Equipamento B1 (Subsistema S4)								
Recipe	Último Mês			Semana 19				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R29	15,917	955	1,000	292	156	156	156	53,425

No APÊNDICE H surge o *Rate Efficiency* dos equipamentos do Grupo A e do Grupo B, para as restantes semanas em estudo, ou seja, para as semanas 20, 21 e 22.

5.3.2. Rate Efficiency dos Equipamentos com dois ou mais Steps

No que diz respeito aos equipamentos que participam em dois ou mais *steps* do processo das *wafers*, especificamente, o equipamento do Grupo C, o *Rate Efficiency* foi determinado com base na metodologia proposta na subsecção 4.2.2.2.

Após aplicar o Método da Diferença Interquartil nos tempos de processo das *wafers* para o equipamento que colabora em dois ou mais *steps* e a criação dos *boxplots* presentes no APÊNDICE D, E, F e G para a semana 19, 20, 21 e 22, respetivamente, é possível calcular o *Rate Efficiency* a partir do *ideal cycle time* de cada receita associado a cada *step*, do número de *wafers* produzidas por cada receita em cada *step* e o tempo que o equipamento passou em produtivo.

Na Tabela 11 são apresentados os valores dos *inputs* referidos anteriormente e o valor do *Rate Efficiency*, através da equação (24), para o equipamento C1, na semana 19.

Tabela 11 – *Rate Efficiency* do Equipamento C1 durante a semana 19.

Equipamento C1 (Subsistema S7)					
Step	Recipe	Último Mês	Semana 19		
		<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Productive Time</i> [s]	<i>Rate Efficiency</i> [%]
E1	R4	103	214	155 307	48,134
	R36	87	60		
	R39	88	56		
	R42	86	120		
E2	R31	94	25		
E3	R32	101	1		
E4	R37	116	48		
	R43	118	120		
E5	R2	84	12		
	R3	104	1		
	R44	89	12		
E7	R4	107	21		
E9	R32	95	24		
E10	R43	129	1		
E12	R35	126	25		

No APÊNDICE I encontra-se o *Rate Efficiency* do equipamento C1 para as restantes semanas em estudo, ou seja, para a semana 20, 21 e 22.

5.4. Desempenho dos Equipamentos

Após a determinação do *Operational Efficiency* e do *Rate Efficiency*, exibidos nos subcapítulos 5.2 e 5.3, respetivamente, é possível calcular o Fator Desempenho dos equipamentos, através da equação (13).

Na Tabela 12 são apresentados os valores dos dois componentes e o respetivo Desempenho dos equipamentos em estudo, para a semana 19.

Tabela 12 – Desempenho dos Equipamentos na semana 19.

Equipamento	Semana 19		
	<i>Operational Efficiency</i> [%]	<i>Rate Efficiency</i> [%]	Desempenho [%]
A1	81,638	60,589	49,464
A2	81,993	69,006	56,580
A3	78,492	75,105	58,951
B1	67,491	53,425	36,057
C1	27,795	48,134	13,379

No APÊNDICE J surge o Fator Desempenho para os cinco equipamentos presentes neste projeto, durante as restantes semanas em estudo, ou seja, para a semana 20, 21 e 22.

5.5. Qualidade dos Equipamentos

Como foi referido na secção 4.3, devido à falta de dados e de informação sobre o número de *wafers* que entram e que saem dos equipamentos, houve a obrigação de assumir que todos os equipamentos teriam um Fator Qualidade igual a 100%, tal como é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Qualidade dos Equipamentos na semana 19, 20, 21 e 22.

Equipamentos	Qualidade [%]			
	Semana 19	Semana 20	Semana 21	Semana 22
A1	100	100	100	100
A2	100	100	100	100
A3	100	100	100	100
B1	100	100	100	100
C1	100	100	100	100

5.6. Overall Equipment Effectiveness dos Equipamentos

Com base nos valores da Disponibilidade, do Desempenho e da Qualidade, determinados nos subcapítulos 5.1. 5.4 e 5.5, respetivamente, foi possível avançar para o cálculo do *Overall Equipment Effectiveness* dos equipamentos em foco, por intermédio da equação (1).

Na Tabela 14 são apresentados os valores dos três componentes e o, respetivo, valor do OEE para os equipamentos, durante a semana 19.

Tabela 14 – Overall Equipment Effectiveness dos Equipamentos na semana 19.

Equipamento	Semana 19			
	Disponibilidade [%]	Desempenho [%]	Qualidade [%]	OEE [%]
A1	93,103	49,464	100	46,052
A2	91,069	56,580	100	51,527
A3	92,987	58,951	100	54,817
B1	68,235	36,057	100	24,604
C1	92,386	13,379	100	12,360

No APÊNDICE K é possível observar o valor do *Overall Equipment Effectiveness* dos equipamentos, para as restantes semanas em estudo, ou seja, para a semana 20, 21 e 22.

5.7. Cálculo direto do *Overall Equipment Effectiveness* dos Equipamentos

De acordo com o que foi exibido no subcapítulo 4.4, é possível calcular o valor do *Overall Equipment Effectiveness* de uma forma direta, através da equação (27). Para tal, os *inputs* são os tempos de ciclo ideais de cada receita, o *output* efetivo de cada receita e o tempo total do equipamento.

Na Tabela 15, 16, 17, 18 e 19 são apresentados os valores dos *inputs* para o cálculo direto do OEE e o, respetivo, valor deste indicador, durante a semana 19, para os equipamentos A1, A2, A3, B1 e C1, respetivamente.

Tabela 15 – Cálculo direto do *Overall Equipment Effectiveness* do Equipamento A1, na semana 19.

A1					
Recipe	Último Mês		Semana 19		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output</i> Efetivo [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R13	22,200	1 332	13	604 800	46,086
R16	18,033	1 082	43		
R17	20,167	1 210	3		
R18	14,133	848	13		
R23	53,117	3 187	10		
R26	24,400	1 464	115		

Tabela 16 – Cálculo direto do *Overall Equipment Effectiveness* do Equipamento A2, na semana 19.

A2					
<i>Recipe</i>	Último Mês		Semana 19		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R7	14,683	881	34	604 800	51,424
R11	21,167	1 270	38		
R12	18,417	1 105	34		
R16	23,217	1 393	19		
R17	26,900	1 614	77		
R18	18,533	1 112	40		

Tabela 17 – Cálculo direto do *Overall Equipment Effectiveness* do Equipamento A3, na semana 19.

A3					
<i>Recipe</i>	Último Mês		Semana 19		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R12	16,083	965	13	604 800	54,792
R16	18,750	1 125	72		
R17	19,283	1 157	13		
R18	15,417	925	149		
R19	25,000	1 500	8		
R26	21,717	1 303	56		

Tabela 18 – Cálculo direto do *Overall Equipment Effectiveness* do Equipamento B1, na semana 19.

B1					
<i>Recipe</i>	Último Mês		Semana 19		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R29	15,917	955	156	604 800	24,633

Tabela 19 – Cálculo direto do *Overall Equipment Effectiveness* do Equipamento C1, na semana 19.

C1						
Step	Recipe	Último Mês		Semana 19		Equipamento
		Ideal Cycle Time [min/wafer]	Ideal Cycle Time [seg/wafer]	Output Efetivo [wafer]	Total Time [s]	OEE [%]
E1	R4	1,717	103	214	604 800	12,348
	R36	1,450	87	60		
	R39	1,467	88	56		
	R42	1,433	86	120		
E2	R31	1,567	94	25		
E3	R32	1,683	101	1		
E4	R37	1,933	116	48		
	R43	1,967	118	120		
E5	R2	1,400	84	12		
	R3	1,733	104	1		
	R44	1,483	89	12		
E7	R4	1,783	107	21		
E9	R32	1,583	95	24		
E10	R43	2,150	129	1		
E12	R35	2,100	126	25		

No APÊNDICE L surgem os valores dos *inputs* para o cálculo direto do OEE e o, respectivo, valor deste indicador dos equipamentos, para as restantes semanas em estudo, ou seja, para a semana 20, 21 e 22.

É realçar, ainda, que os valores do OEE calculados através da multiplicação dos três componentes, isto é, da Disponibilidade, do Desempenho e da Qualidade, apresentados na subcapítulo 5.7, e os valores do OEE através do cálculo direto, exibidos neste subcapítulo, são idênticos, sendo que as pequenas diferenças existentes decorrem dos arredondamentos que aconteceram quando o indicador é calculado através da multiplicação dos três componentes. Posto isto, a metodologia proposta nesta dissertação é corroborada, visto que os valores do OEE com base nos três fatores, na qual há a relação entre “o que poderia ter sido produzido” com “o que realmente foi produzido”, bem como, os valores do OEE com base no cálculo direto, onde há a relação entre “o tempo que poderia ter passado a produzir” com “o tempo que realmente passou a produzir” apresentam valores semelhantes.

5.8. Discussão dos Resultados

Neste subcapítulo serão interpretados e discutidos os resultados apresentados nos subcapítulos anteriores, que foram obtidos através do modelo apresentado nesta dissertação.

Relativamente à Disponibilidade dos equipamentos em estudo, de um modo geral, estes possuem uma percentagem acima dos 90%, exceto o equipamento B1 que, na semana 19, possui uma Disponibilidade de 68%, por causa do elevado tempo que o equipamento passou inoperacional com as paragens planeadas e não planeadas.

Em relação ao *Operational Efficiency*, o equipamento que possui a pior percentagem é o C1, que irá afetar negativamente o OEE desta máquina, porém é de realçar a melhoria do valor deste componente ao longo das duas semanas a seguir. Quanto aos equipamentos do Grupo A, estes possuem valores, na generalidade, acima dos 75%, exceto o equipamento A2 que possui, na semana 20 e 21, um *Operational Efficiency* de 68% e 43%, respetivamente. Por fim, o equipamento B1, na semana 19, possui o segundo pior valor de *Operational Efficiency*, todavia é visível a grande evolução que houve nesta máquina nas restantes semanas, onde atinge valores acima de 90%.

No que diz respeito ao *Rate Efficiency* dos equipamentos, de um modo geral, os valores deste componente estão acima dos 60%, exceto o equipamento C1 que possui percentagens entre 48% e 57%, sendo de destacar o aumento deste componente ao longo das restantes semanas.

Quanto ao Desempenho, que é influenciado pelos dois componentes descritos anteriormente, dos equipamentos que participam apenas um *step* do processo da *wafer*, os valores, na generalidade, estão acima dos 50%, exceto o equipamento B1, na semana 19, devido ao baixo *Rate Efficiency* e *Operational Efficiency* da máquina, quando comparado com as restantes, assim como, o equipamento A2, na semana 22, por causa do baixo *Operational Efficiency*. Relativamente ao equipamento C1, que colabora em dois ou mais *steps*, possui valores de Desempenho muito baixos, sempre inferior a 30%, em virtude do baixo *Operational Efficiency* do equipamento, que, por sua vez, acontece devido ao elevado tempo que este equipamento passa em *Standby*.

Em relação à evolução do *Overall Equipment Effectiveness* ao longo das semanas presentes nesta dissertação, o equipamento C1 é o que obtêm um valor de OEE

mais baixo não apenas na semana 19, mas também nas restantes semanas em estudo neste projeto, atingindo o seu valor máximo de eficiência na semana 21, onde obteve um valor de 23%. Este OEE baixo em todas as semanas é consequência do baixo Desempenho que este equipamento possui, tal como foi referido anteriormente. Contudo, se análise for feita apenas para os equipamentos que colaboram em apenas um *step* do processo da *wafers*, isto é, se a análise for feita para os equipamentos do Grupo A e do Grupo B é possível verificar que a máquina com OEE mais baixo é o equipamento B1 nas suas primeiras semanas, porém nas duas últimas semanas o equipamento com o pior valor de eficiência passou a ser o equipamento A2, por causa do baixo valor no *Operational Efficiency*. Relativamente ao equipamento que possui um maior valor de OEE, na semana 19, é a máquina A3, no entanto nas restantes semanas em foco, nesta dissertação, passa a ser o equipamento A1, atingindo, na semana 21, os 63%.

No APÊNDICE M surge representado a evolução da Disponibilidade, do *Operational Efficiency*, do *Rate Efficiency*, do Desempenho e do *Overall Equipment Effectiveness* ao longo das semanas em foco neste projeto, para todos os equipamentos presentes nesta dissertação.

Em suma, todos os equipamentos presentes nesta dissertação, nas quatro semanas em estudo, possuem valores do OEE bastante aquém do *World Class OEE*, sendo assim, e tendo em consideração o elevado custo de cada máquina, é de extrema importância continuar a monitorizar este indicador, para que seja possível reduzir as perdas de eficiência dos equipamentos, de modo que no futuro, estes valores de OEE sejam superiores aos presentes.

5.9. Dashboard do Overall Equipment Effectiveness dos Equipamentos

O presente subcapítulo apresenta o modo como foram construídos os *dashboards*, através do Microsoft Power BI, dos equipamentos presentes nesta dissertação, com o intuito de tornar mais fácil a perceção e a consulta dos valores dos três componentes e do OEE de cada uma das máquinas ao longo das semanas em estudo neste projeto.

No que diz respeito à extração dos dados, ao tratamento dos dados e o seu carregamento, ou seja, no que se refere ao ETL (*Extract, Transform and Load*), foi utilizado

o Microsoft Excel, de modo a conseguir retirar os *inputs* necessários para o cálculo do *Overall Equipment Effectiveness* e dos seus componentes. Posto isto, foi criado um ficheiro Excel no qual encontravam-se inseridos os tais *inputs* que estão divididos em duas tabelas, sendo que numa das tabelas está o tempo que cada equipamento passou em cada estado durante as semanas em estudo, isto é, os segundos que o equipamento passou em *Non-Scheduled*, em *Unscheduled Down*, em *Scheduled Down*, em *Engineering*, em *Standby* e em *Productive*. Na segunda tabela do ficheiro de Excel, que serviu de base de dados para os *dashboards*, estão presentes as receitas que foram inseridas nos equipamentos durante as semanas em estudo, com os tempos de ciclo ideais, os *outputs* efetivos e os *steps* associados.

Após a realização do ETL seguiu-se a Modelação, na qual foi utilizada uma abordagem denominada por Esquema de Estrela que, segundo esta, as tabelas devem ser classificadas como dimensão ou facto. Sendo assim, as duas tabelas presentes na base de dados, isto é, aquelas que possuíam os inputs para o modelo, foram definidas como tabelas de facto. Relativamente às tabelas de dimensão foram criadas duas, sendo uma constituída com o nome dos equipamentos em estudo neste projeto e a outra tabela com as semanas presentes nesta dissertação. De modo a tornar mais fácil a distinção entre as tabelas de facto e as de dimensão foi acrescentado um f e um d, caso a tabela em questão fosse de facto ou de dimensão, respetivamente. Por fim, na etapa da Modelação foram criados os relacionamentos entre as tabelas de dimensão e as tabelas de facto, isto é, foi definida a cardinalidade entre as tabelas.

Através da Figura 21, é possível verificar que a cardinalidade de relação entre as tabelas é de muitos para um (*;1), sendo que o lado "um" é sempre uma tabela de dimensão, enquanto o lado "muitos" é sempre uma tabela de factos.

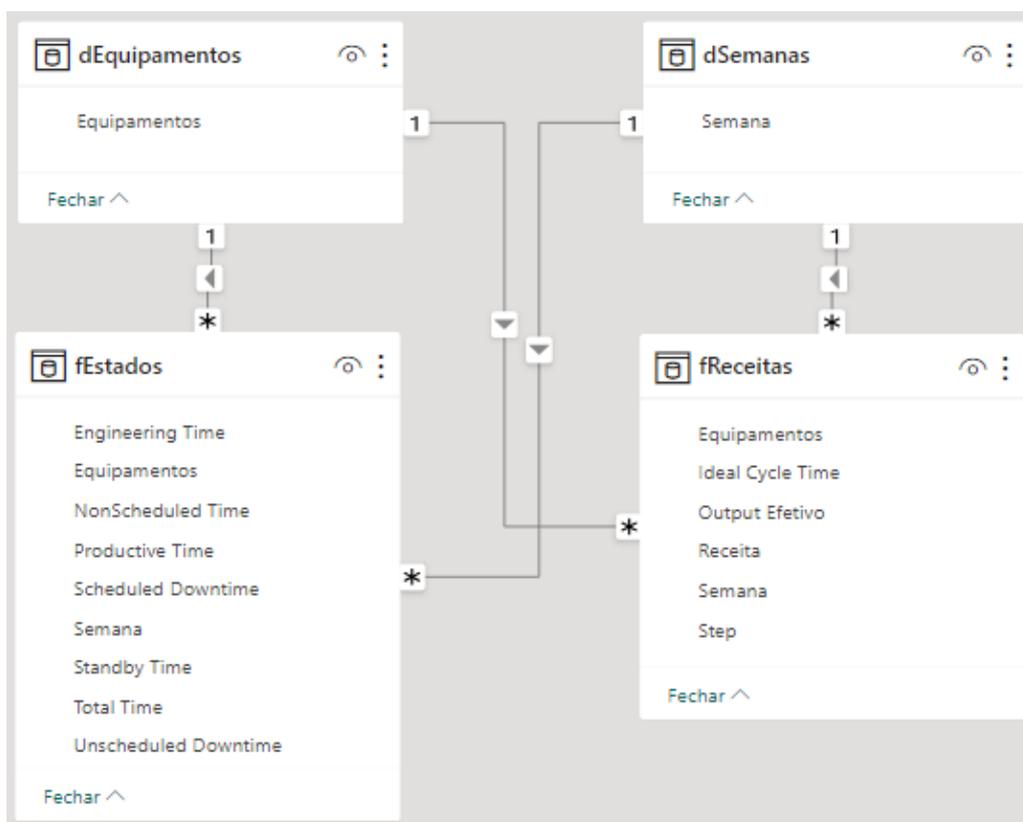


Figura 21 – Diagrama de modelo do modelo de dados.

Após finalizar a Modelação, foi possível passar para a próxima etapa que são os Cálculos/Análise. Esta etapa consiste em criar indicadores, ou seja, através dos *inputs* que a base de dados forneceu foi preciso tirar algo em concreto, isto é, extrair inteligência dos dados. Para tal, foram criadas Medidas, que correspondem a fórmulas escritas em DAX (*Data Analysis Expressions*), com o intuito de calcular a percentagem que cada equipamento passou em cada estado e de determinar o OEE e os seus, respetivos, componentes dos equipamentos em estudo.

No APÊNDICE N encontra-se o *script* em DAX das Medidas utilizadas no modelo do Power BI apresentado nesta dissertação.

Por último e após criar todos os indicadores necessários, é possível criar os *dashboards*/relatórios, através do Power BI, que tem como principal objetivo tornar mais fácil a perceção e a consulta dos valores dos três componentes e do OEE de cada um dos equipamentos ao longo das semanas em estudo neste projeto.

A partir dos *dashboards* criados, em que se seleciona o equipamento e a semana pretendidos, é possível analisar o tempo e a percentagem que o equipamento passou em cada estado de funcionamento, a Disponibilidade, o *Operational Efficiency*, o *Rate Efficiency*, o Desempenho, a Qualidade e o OEE dos equipamentos, assim como, as receitas que foram inseridas no equipamento, com o tempo de ciclo ideal, o número de *wafers* produzidas e o *step* associado. Além disto, é apresentado em cada *dashboard* a evolução do OEE e dos seus componentes ao longo das semanas em estudo nesta dissertação.

Na Figura 22, 23, 24, 25 e 26 são apresentados os *dashboards* do OEE, da Disponibilidade, do *Operational Efficiency*, do *Rate Efficiency* e do Desempenho do equipamento A1 referente à semana 19, respetivamente.

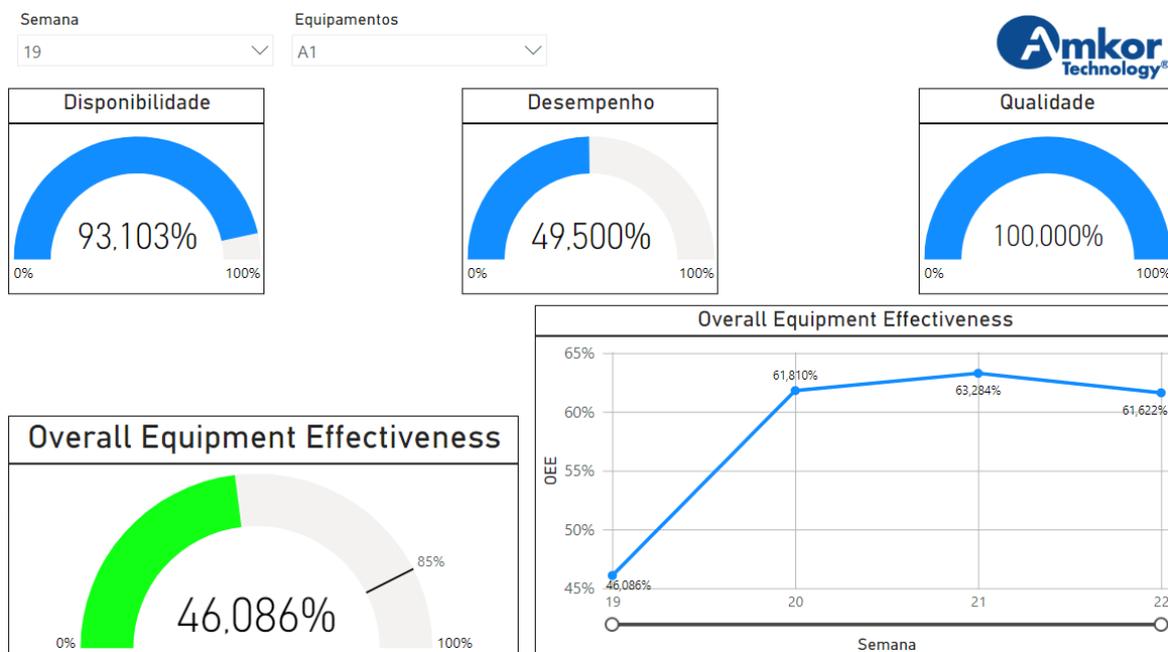


Figura 22 – Dashboard do OEE do Equipamento A1 referente à semana 19.

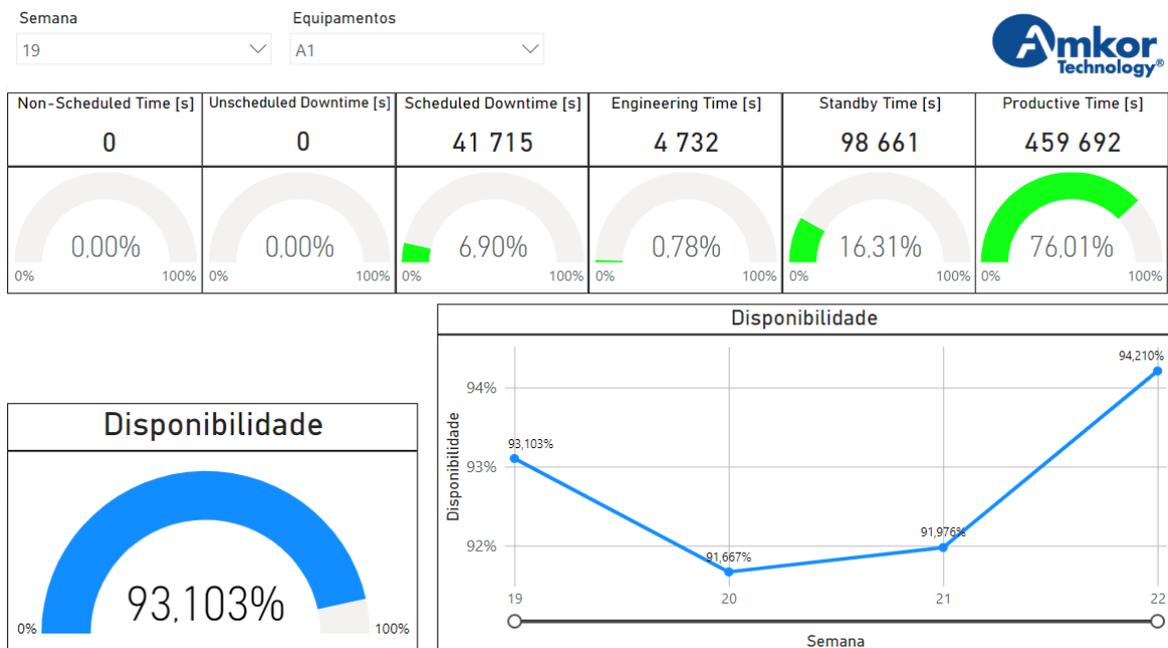


Figura 23 – Dashboard da Disponibilidade do Equipamento A1 referente à semana 19.

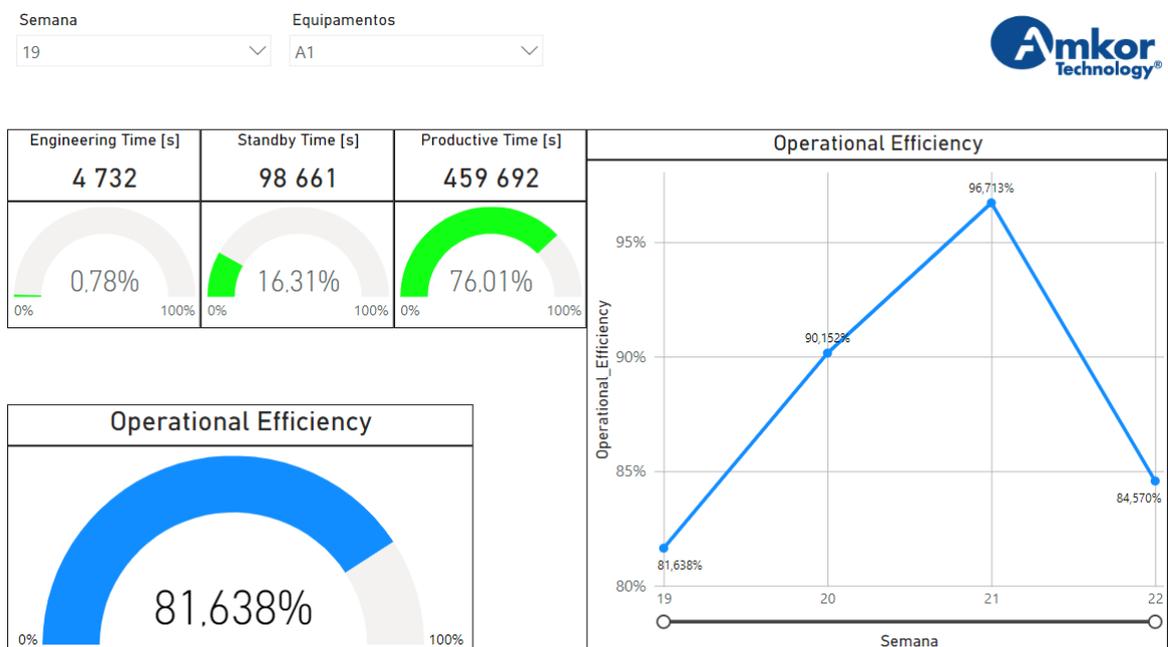


Figura 24 – Dashboard do Operational Efficiency do Equipamento A1 referente à semana 19.

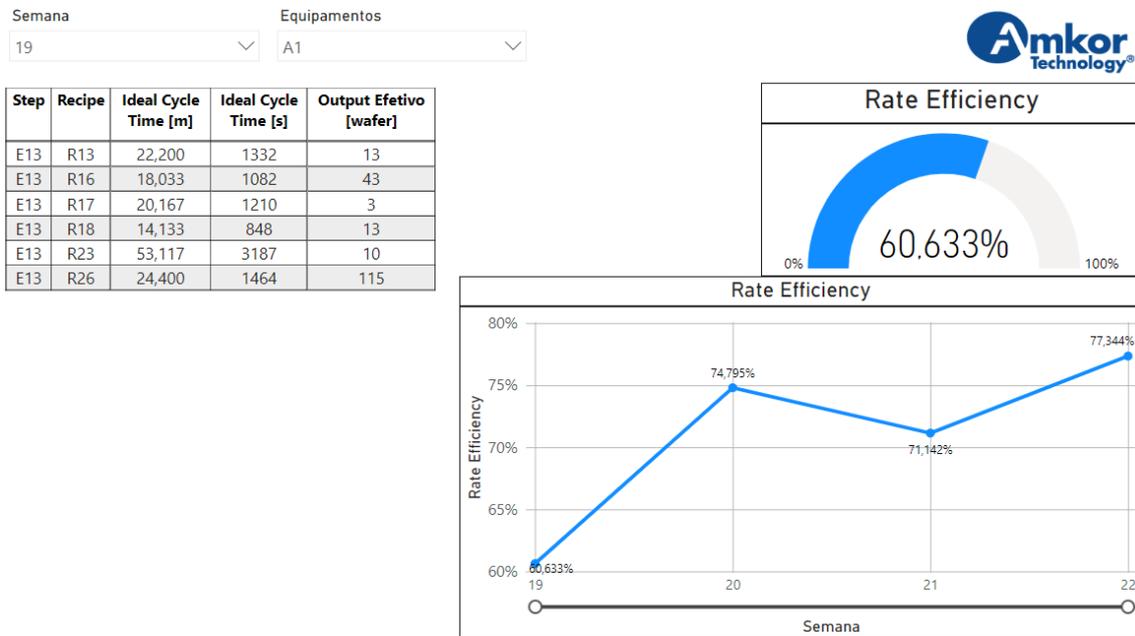


Figura 25 – Dashboard do Rate Efficiency do Equipamento A1 referente à semana 19.

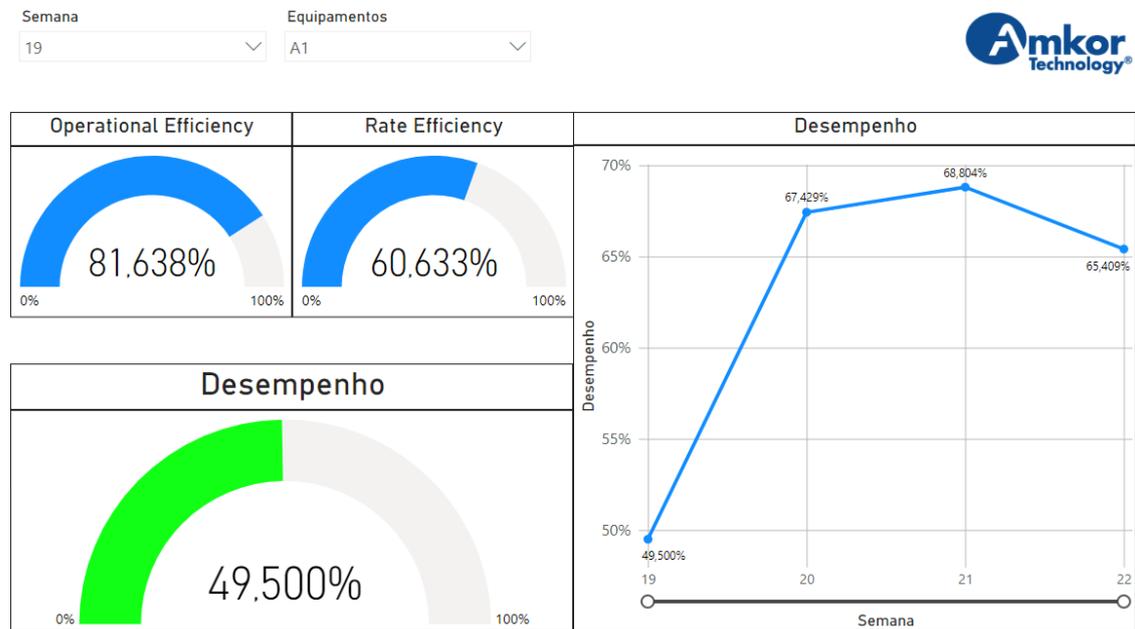


Figura 26 – Dashboard do Desempenho do Equipamento A1 referente à semana 19.

6. CONCLUSÕES E FUTURAS MELHORIAS

Esta dissertação apresentou como principal objetivo o estudo do *Overall Equipment Effectiveness* numa indústria de semicondutores, no qual foi criado um modelo com o intuito de medir e quantificar a eficiência dos equipamentos presentes neste estudo, assim como interpretar os resultados obtidos através desse modelo e apresentar um *dashboard*, de acordo com a metodologia apresentada, realizado no Microsoft Power BI.

Os objetivos delineados neste projeto foram todos alcançados, uma vez que foi criada uma metodologia que tem como resultado final o valor do OEE, da Disponibilidade, do Desempenho e da Qualidade dos equipamentos, permitindo assim, a identificação das perdas de eficiência dos equipamentos presentes neste estudo, tendo sempre em consideração as características que as máquinas possuem, nomeadamente, a existência de subsistemas dentro dos equipamentos, a produção de diferentes receitas com tempos de ciclo diferentes e complexidades diferentes, a produção não sequencial presente nos equipamentos e a existência de vários *steps* no mesmo equipamento.

Este projeto contribui de forma valiosa para a indústria, na qual este foi realizado, visto que a análise e o tratamento de dados efetuado, em conjunto com a modelação e o *script* utilizado, permitiu a correção dos valores do OEE praticados, anteriormente, pela Amkor Technology Portugal. Além de que o *dashboard* proposto possibilita a empresa ter uma perceção e uma consulta mais fácil e rápida dos valores dos três componentes e do OEE de cada um dos equipamentos ao longo das semanas em estudo neste projeto, proporcionando assim a exibição de elementos essenciais para a tomada de decisões.

Contudo é importante salientar que este estudo apresenta algumas limitações, visto que foi aplicada a metodologia apenas a cinco equipamentos, que se encontram divididos em três grupos distintos, onde cada grupo possui determinadas características a ter em consideração. Outra limitação presente neste trabalho foi os tempos de ciclo ideais considerados terem sido extraídos através de dados históricos relativos ao mês anterior, visto que a base de dados fornecida pela empresa não permitia ter acesso ao tempo de ciclo de uma determinada receita num período de tempo superior. Uma outra limitação presente neste estudo está relacionada com a situação da empresa quando foi realizado este trabalho, ou seja, nas semanas em evidência nesta dissertação e, também, ao longo deste último ano, o nível de produção esteve bastante

abaixo da capacidade estabelecida da fábrica, provocando assim valores de *Overall Equipment Effectiveness* baixos, tal como foi demonstrado nesta dissertação.

Este estudo foi inteiramente direcionado para os equipamentos aqui apresentados, porém a empresa possui centenas de equipamentos diferentes, posto isto uma futura melhoria passa por aplicar a metodologia aqui proposta aos restantes equipamentos presentes na linha de produção, tendo sempre em consideração as características que máquina possui. Outro trabalho futuro passa por verificar se o número de *wafers* à entrada do equipamento é igual ao número de *wafers* à saída, de forma a conseguir calcular a Fator Qualidade dos equipamentos. Um outro trabalho futuro passa por analisar o contexto de cada equipamento e, posto isto aplicar as medidas mais apropriadas, de modo melhorar a eficiência destes, visto que não se deve ficar apenas pelo cálculo do *Overall Equipment Effectiveness*, mas, tal como a filosofia *Lean* defende, deve-se procurar sempre os aspetos a melhorar nos equipamentos e no processo de produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agustiady, T. K., & Cudney, E. A. (2018). Total productive maintenance. 1–8. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1438843>
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: Literature review and directions. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 25(7), 709–756. <https://doi.org/10.1108/02656710810890890>
- Bamber, C. J., Castka, P., Sharp, J. M., & Motara, Y. (2003). Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE). *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 9(3), 223–238. <https://doi.org/10.1108/13552510310493684>
- Braglia, M., Frosolini, M., & Zammori, F. (2008). Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML): An integrated approach to assess systems performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), 8–29. <https://doi.org/10.1108/17410380910925389>
- Busso, C. M., & Miyake, D. I. (2013). An analysis of the application of indicators alternative to overall equipment effectiveness (OEE) in the management of a plant's overall performance. *Producao*, 23(2), 205–225. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000068>
- Dal, B., Tugwell, P., & Greatbanks, R. (2000). Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement - A practical analysis. *International Journal of Operations and Production Management*, 20(12), 1488–1502. <https://doi.org/10.1108/01443570010355750>
- Davis, Mark M., Aquilano, Nicholas J., & Chase, Richard B. (2001). *Fundamentos da Administração da Produção*. Bookman
- Dunn, T. (2015). OEE Effectiveness. *Flexible Packaging*, 77–85. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-26436-5.00008-4>
- Ferreira, C., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Lopes, M. P., Pereira, T., & Silva, F. J. G. (2019). ILeanDMAIC - A methodology for implementing the lean tools. *Procedia Manufacturing*, 41, 1095–1102. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2019.10.038>
- Gamberini, R., Galloni, L., Lolli, F., & Rimini, B. (2017). On the Analysis of Effectiveness in a Manufacturing Cell: A Critical Implementation of Existing Approaches. *Procedia Manufacturing*, 11, 1882–1891. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2017.07.328>
- Gibbons, P. M., & Burgess, S. C. (2010). Introducing OEE as a measure of lean Six Sigma capability. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(2), 134–156. <https://doi.org/10.1108/20401461011049511>
- Gupta, A., & Garg, R. (2012). OEE Improvement by TPM Implementation: A Case Study.
- Hicks, B. J. (2007). Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*, 27(4), 233–249. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2006.12.001>

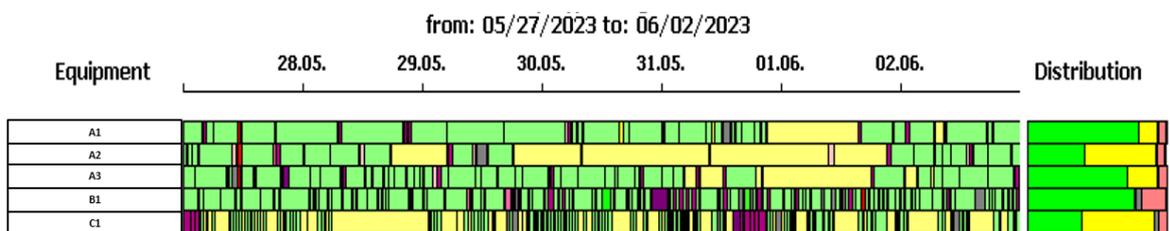
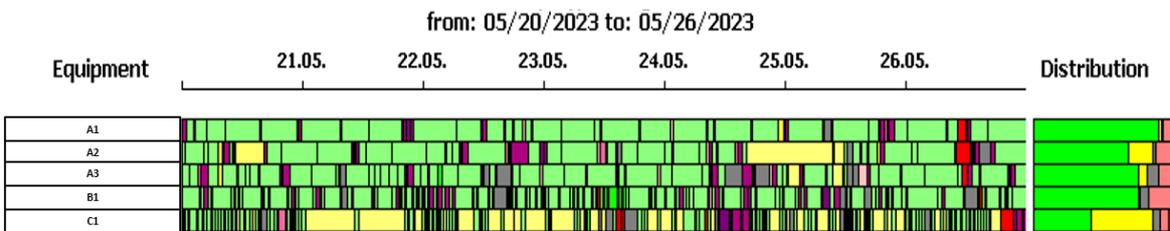
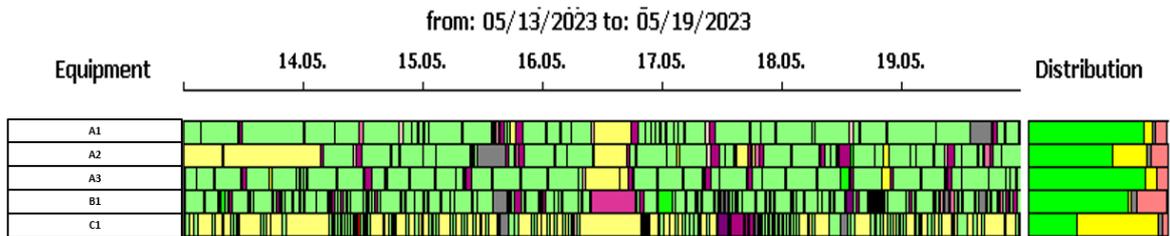
- Hines, P., Found, P., Griffiths, G., & Harrison, R. (2008). *Staying Lean. Staying Lean: Thriving, Not Just Surviving*
- Högfeldt, D. (2005). Plant efficiency: a value stream mapping and overall equipment effectiveness study.
- Jain, A., Bhatti, R., & Singh, H. (2014). Total productive maintenance (TPM) implementation practice: a literature review and directions. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(3), 293–323. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2013-0032>
- Jeong, K. Y., & Phillips, D. T. (2001). Operational efficiency and effectiveness measurement. *International Journal of Operations and Production Management*, 21(11), 1404–1416. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000006223>
- Jonsson, P., & Lesshammar, M. (1999). Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - The role of OEE. *International Journal of Operations and Production Management*, 19(1), 55–78. <https://doi.org/10.1108/01443579910244223>
- Koch, A. (2011). *OEE for the Production Team - The complete OEE user guide*.
- Leachman, R. C. (1997). Closed-loop measurement of equipment efficiency and equipment capacity. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 10(1), 84–97. <https://doi.org/10.1109/66.554490>
- Lee, T. E. (2008). A review of scheduling theory and methods for semiconductor manufacturing cluster tools. In *Proceedings - Winter Simulation Conference* (pp. 2127–2135). <https://doi.org/10.1109/WSC.2008.4736310>
- Liker, Dr. J. K. (2004). *Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. In McGraw-Hill. McGraw-Hill Education.
- Ljungberg, Ö. (1998). Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. *International Journal of Operations & Production Management*, 18(5), 495–507. <https://doi.org/10.1108/01443579810206334>
- Ma, L., Zhang, N., & Zhang, Z. (2018). Tool Efficiency Analysis model research in SEMI industry. *E3S Web of Conferences*, 38. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/20183802027>
- Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), 662–673. <https://doi.org/10.1205/CHERD.04351>
- Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46(13), 3517–3535. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>
- Nachiappan, R. M., & Anantharaman, N. (2006). Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(7), 987–1008. <https://doi.org/10.1108/17410380610688278>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: total productive maintenance*.

-
- Nallusamy, S., Kumar, V., Yadav, V., Prasad, U. K., & Suman, S. K. (2018), “Implementation of Total Productive Maintenance to enhance the Overall Equipment Effectiveness in medium scale industries”, *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, Vol. 8, No. 1, pp. 1027-1038
- Peng, C. Y., & Chien, C. F. (2003). Data value development to enhance competitive advantage: A retrospective study of EDA systems for semiconductor fabrication. *International Journal of Services, Technology and Management*, 4(4–6), 365–383. <https://doi.org/10.1504/IJSTM.2003.003621>
- Puvasasvaran, A. P., Mei, C. Z., & Alagendran, V. A. (2013). Overall Equipment Efficiency Improvement Using Time Study in an Aerospace Industry. *Procedia Engineering*, 68, 271–277. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2013.12.179>
- Ribeiro, P., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Silva, F. J. G., Pereira, M. T., & Santos, G. (2019). The impact of the application of lean tools for improvement of process in a plastic company: A case study. *Procedia Manufacturing*, 38, 765–775. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2020.01.104>
- Rosado Pagán, P. (2016). Increase of Packaging Line Capacity using Lean Manufacturing. <https://prepository.org:443/xmlui/handle/20.500.12475/604>
- Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research Methods for Business Students* (8th ed.). Pearson.
- SEMI E10. (2001). Specification for definition and measurement of equipment Reliability, Availability, and Maintainability (RAM). Semiconductor Equipment and Material International, Mountain View, CA.
- SEMI E79. (2000). Specification for definition and measurement of equipment productivity. Semiconductor Equipment and Material International, Mountain View, CA.
- Shingō, S., & Dillon, A. P. (1989). A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint. Productivity Press. <https://www.routledge.com/A-Study-of-the-Toyota-Production-System-From-an-Industrial-Engineering/Shingo-Dillon/p/book/9780915299171>
- Urban, W., Ratter, E., Wangwacharakul, P., & Poksinska, B. (2018). Coexistence of the BRC Standard for Packaging and the Lean Manufacturing methodology. *Engineering Management in Production and Services*, 10(3), 51–61. <https://doi.org/10.2478/EMJ-2018-0016>
- Wallach, O. (2021). Visualizing The Global Semiconductor Supply Chain. Visual Capitalist. <https://www.visualcapitalist.com/sp/visualizing-the-global-semiconductor-supply-chain/>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148. <https://doi.org/10.1057/PALGRAVE.JORS.2600967>

ANEXO A – CADEIA DE ABASTECIMENTO DOS SEMICONDUTORES



ANEXO B – ESTADOS DOS EQUIPAMENTOS NA SEMANA 20, 21 E 22



- PRProduct
- PREngineer
- PRRework
- SBNoOperator
- SBNoTool
- SBNoLot
- SDMaint
- SDTest
- SDMaintTec
- SDSetup
- SDWait
- SDSupplier
- ENQual
- ENTech
- ENEvaluation
- ENProd
- UDFacility
- UDWait
- UDRRepair

ANEXO C – DASHBOARDS DO OEE PARA OS EQUIPAMENTOS A1, A2 E A3 NA SEMANA 20, 21 E 22

Dashboard



Dashboard



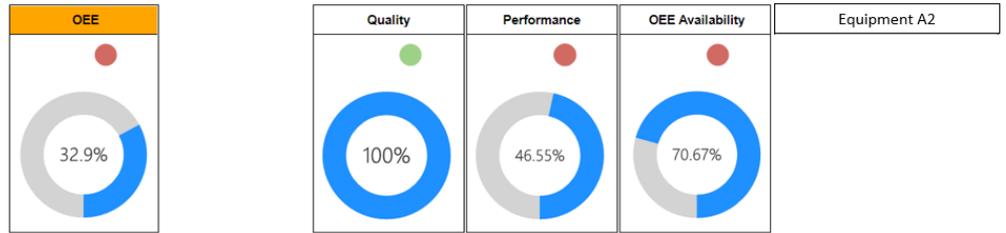
Dashboard



Dashboard



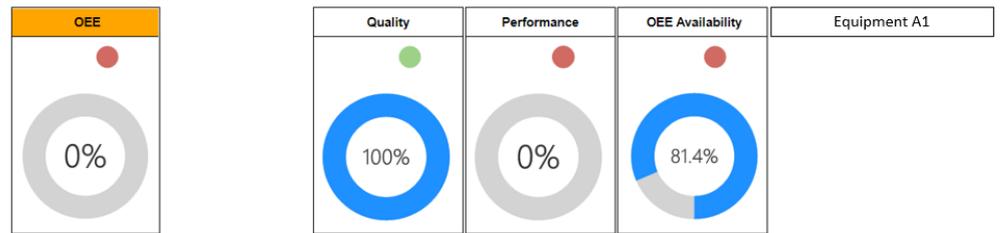
Dashboard



Dashboard



Dashboard



Dashboard



Dashboard



APÊNDICE A – TEMPOS E PERCENTAGENS DE CADA ESTADO DOS EQUIPAMENTOS NA SEMANA 20, 21 E 22

		Semana 20				
Equipamento	Productive State [s] (%)	Standby State [s] (%)	Engineering State [s] (%)	Scheduled Down State [s] (%)	Unscheduled Down State [s] (%)	Non-Scheduled State [s] (%)
A1	499 804 (82,64%)	39 286 (6,50%)	15 314 (2,53%)	50 396 (8,33%)	0 (0%)	0 (0%)
A2	366 614 (60,62%)	145 442 (24,05%)	20 321 (3,36%)	72 423 (11,97%)	0 (0%)	0 (0%)
A3	506 252 (83,71%)	50 951 (8,42%)	0 (0%)	47 597 (7,87%)	0 (0%)	0 (0%)
B1	433 079 (71,61%)	10 215 (1,69%)	27 365 (4,52%)	126 581 (20,93%)	7 560 (1,25%)	0 (0%)
C1	208 390 (34,46%)	349 382 (57,77%)	18 601 (3,08%)	26 641 (4,40%)	1 786 (0,30%)	0 (0%)

		Semana 21				
Equipamento	Productive State [s] (%)	Standby State [s] (%)	Engineering State [s] (%)	Scheduled Down State [s] (%)	Unscheduled Down State [s] (%)	Non-Scheduled State [s] (%)
A1	537 990 (88,95%)	12 450 (2,06%)	5 833 (0,96%)	41 384 (6,84%)	7 143 (1,18%)	0 (0%)
A2	407 965 (67,45%)	105 516 (17,45%)	14 872 (2,46%)	66 366 (10,97%)	10 081 (1,67%)	0 (0%)
A3	451 530 (74,66%)	36 692 (6,07%)	50 709 (8,38%)	61 151 (10,11%)	4 718 (0,78%)	0 (0%)
B1	453 161 (74,93%)	7 366 (1,22%)	35 993 (5,95%)	102 955 (17,02%)	5 325 (0,88%)	0 (0%)
C1	247 486 (40,92%)	266 811 (44,12%)	33 306 (5,51%)	36 012 (5,95%)	21 185 (3,50%)	0 (0%)

		Semana 22				
Equipamento	Productive State [s] (%)	Standby State [s] (%)	Engineering State [s] (%)	Scheduled Down State [s] (%)	Unscheduled Down State [s] (%)	Non-Scheduled State [s] (%)
A1	481 865 (79,67%)	83 059 (13,73%)	4 858 (0,80%)	31 230 (5,16%)	3 788 (0,63%)	0 (0%)
A2	249 175 (41,20%)	309 636 (51,20%)	8 029 (1,33%)	33 897 (5,60%)	4 063 (0,67%)	0 (0%)
A3	430 682 (71,21%)	126 594 (20,93%)	3 555 (0,59%)	39 939 (6,60%)	4 030 (0,67%)	0 (0%)
B1	463 359 (76,61%)	6 845 (1,13%)	24 220 (4,00%)	106 655 (17,63%)	3 721 (0,62%)	0 (0%)
C1	234 359 (38,75%)	313 287 (51,80%)	16 328 (2,70%)	36 694 (6,07%)	4 132 (0,68%)	0 (0%)

APÊNDICE B – DISPONIBILIDADE DOS EQUIPAMENTOS NA SEMANA 20, 21 E 22

	Semana 20		
Equipamento	<i>Total Time</i> [s]	<i>Equipment Uptime</i> [s]	Disponibilidade [%]
A1	604 800	554 404	91,667
A2	604 800	532 377	88,025
A3	604 800	557 203	92,130
B1	604 800	470 659	77,820
C1	604 800	576 373	95,300

	Semana 21		
Equipamento	<i>Total Time</i> [s]	<i>Equipment Uptime</i> [s]	Disponibilidade [%]
A1	604 800	556 273	91,976
A2	604 800	528 353	87,360
A3	604 800	538 931	89,109
B1	604 800	496 520	82,097
C1	604 800	547 603	90,543

	Semana 22		
Equipamento	<i>Total Time</i> [s]	<i>Equipment Uptime</i> [s]	Disponibilidade [%]
A1	604 800	569 782	94,210
A2	604 800	566 840	93,724
A3	604 800	560 831	92,730
B1	604 800	494 424	81,750
C1	604 800	563 974	93.250

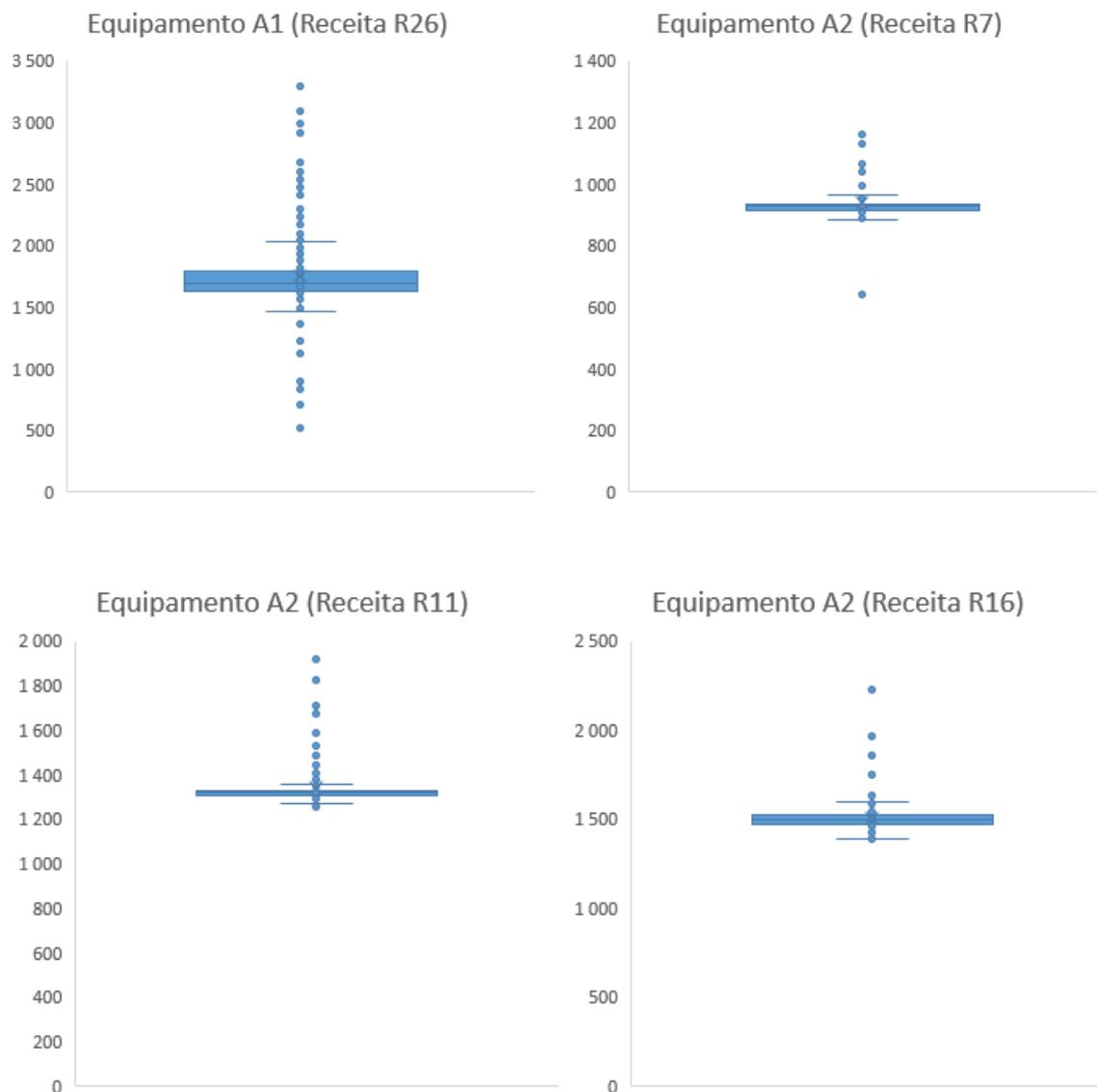
APÊNDICE C – *OPERATIONAL EFFICIENCY* DOS EQUIPAMENTOS NA SEMANA 20, 21 E 22

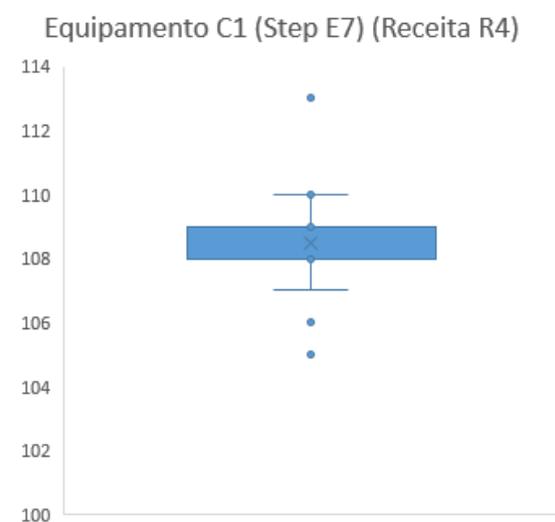
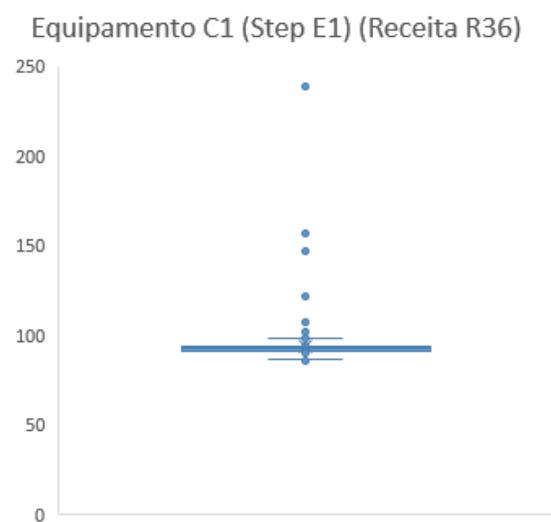
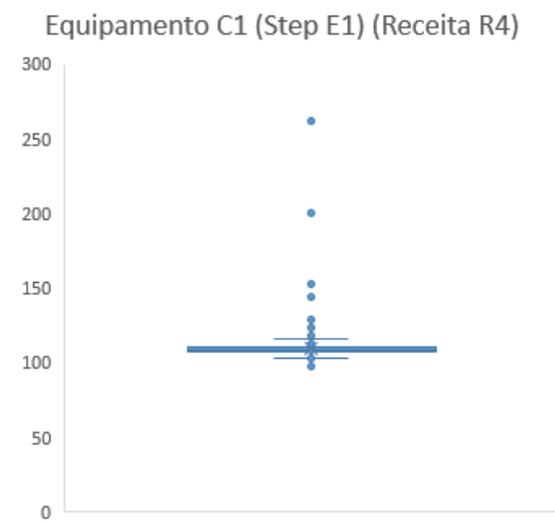
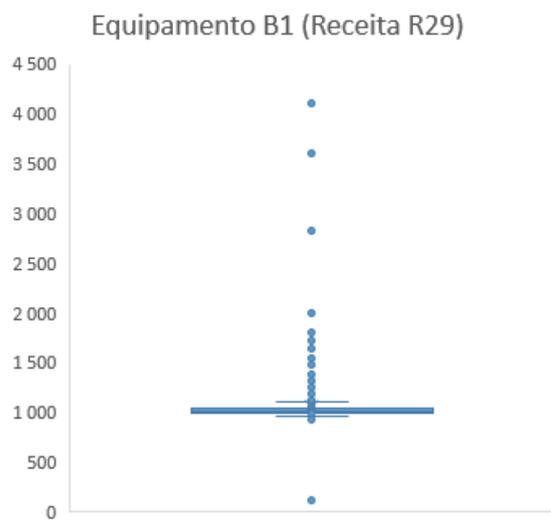
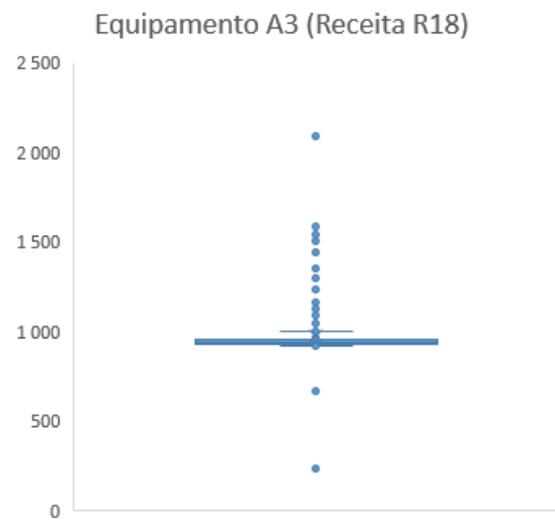
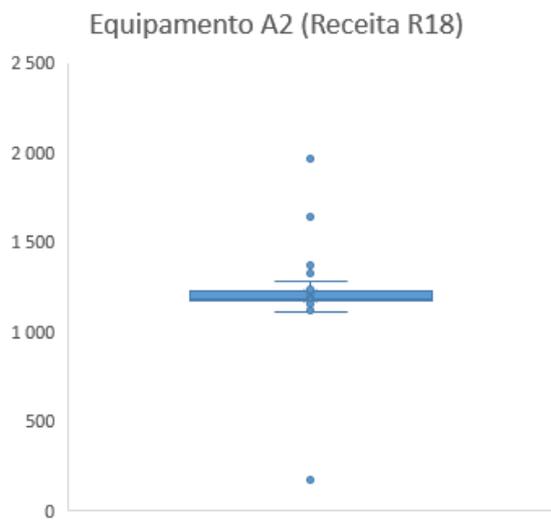
Equipamento	Semana 20		
	<i>Equipment Uptime</i> [s]	<i>Productive Time</i> [s]	<i>Operational Efficiency</i> [%]
A1	554 404	499 804	90,152
A2	532 377	366 614	68,864
A3	557 203	506 252	90,856
B1	470 659	433 079	92,015
C1	576 373	208 390	36,155

Equipamento	Semana 21		
	<i>Equipment Uptime</i> [s]	<i>Productive Time</i> [s]	<i>Operational Efficiency</i> [%]
A1	556 273	537 990	96,713
A2	528 353	407 965	77,214
A3	538 931	451 530	83,783
B1	496 520	453 161	91,267
C1	547 603	247 486	45,194

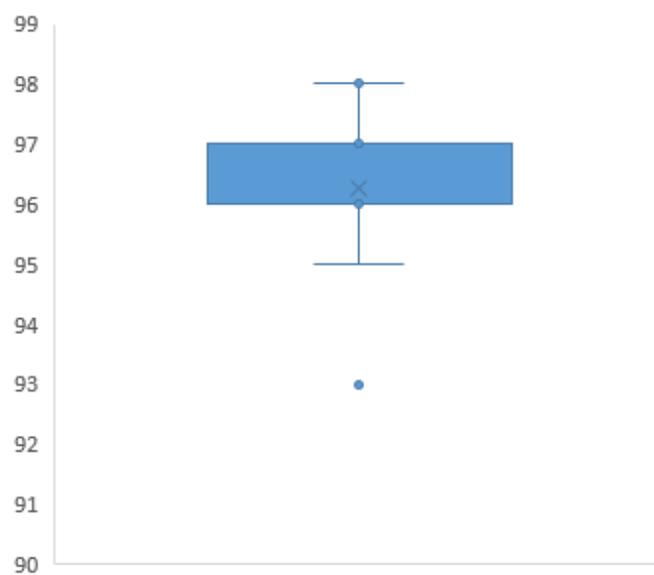
Equipamento	Semana 22		
	<i>Equipment Uptime</i> [s]	<i>Productive Time</i> [s]	<i>Operational Efficiency</i> [%]
A1	569 782	481 865	84,570
A2	566 840	249 175	43,959
A3	560 831	430 682	76,794
B1	494 424	463 359	93,717
C1	563 974	234 359	41,555

APÊNDICE D – *BOXPLOT* DOS TEMPOS DE PROCESSO DAS *WAFERS* REFERENTES ÀS RECEITAS QUE POSSUEM *OUTLIERS* NA SEMANA 19

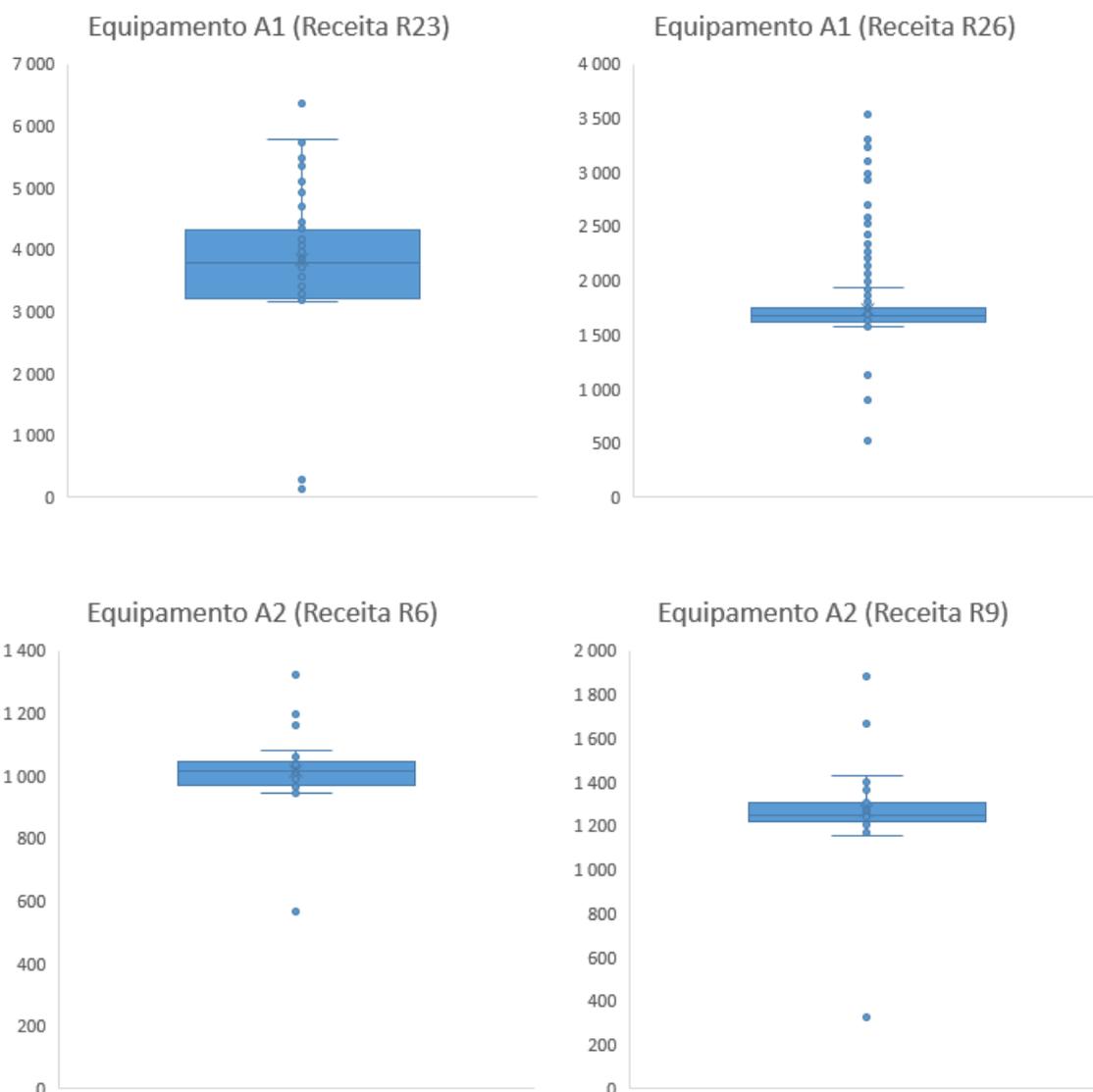


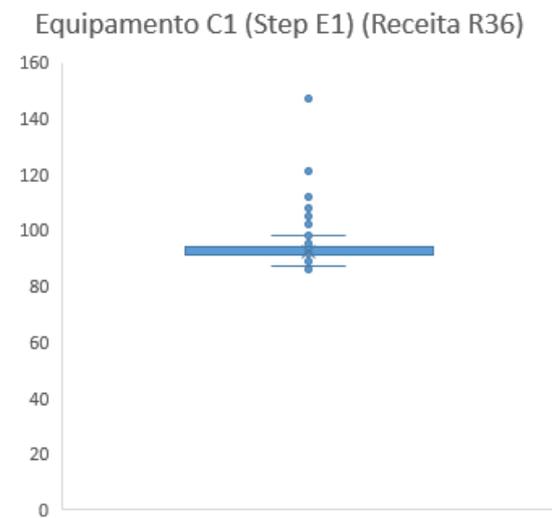
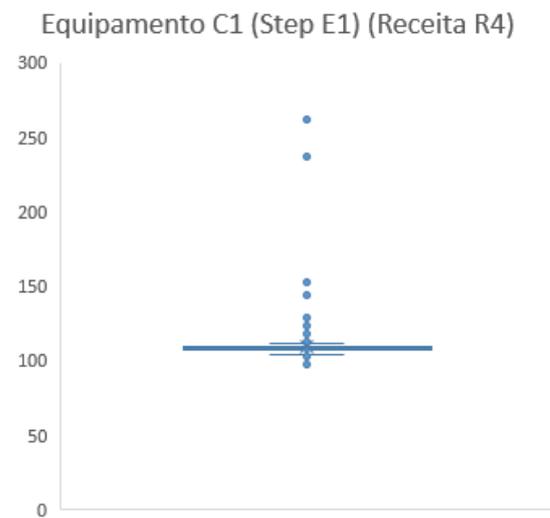
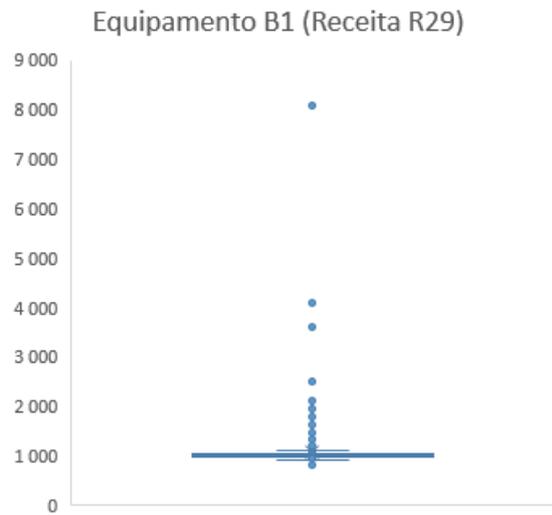
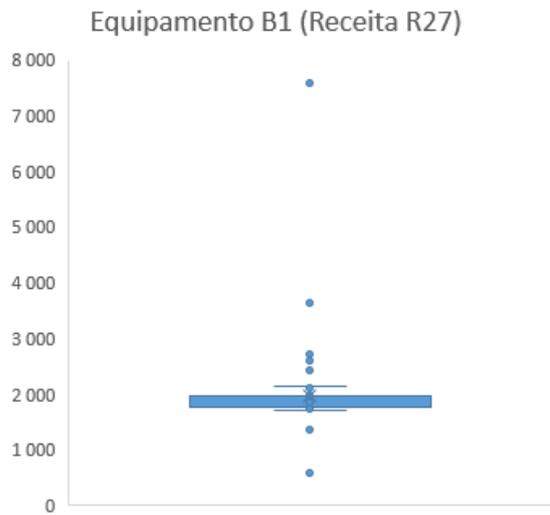
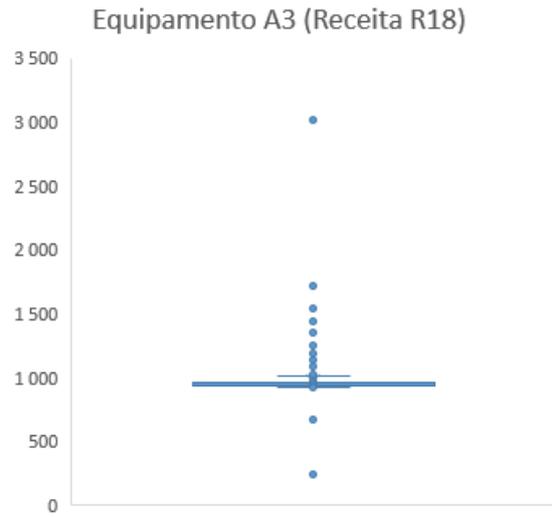
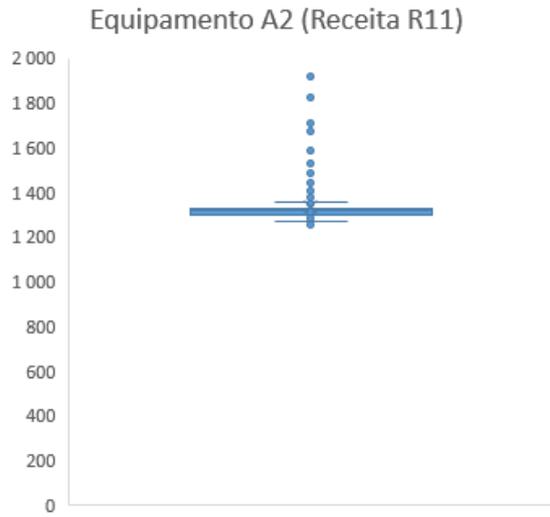


Equipamento C1 (Step E9) (Receita R32)



APÊNDICE E – *BOXPLOT* DOS TEMPOS DE PROCESSO DAS *WAFERS* REFERENTES ÀS RECEITAS QUE POSSUEM *OUTLIERS* NA SEMANA 20

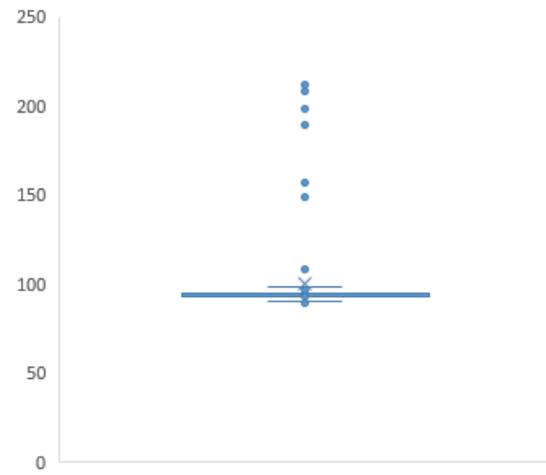




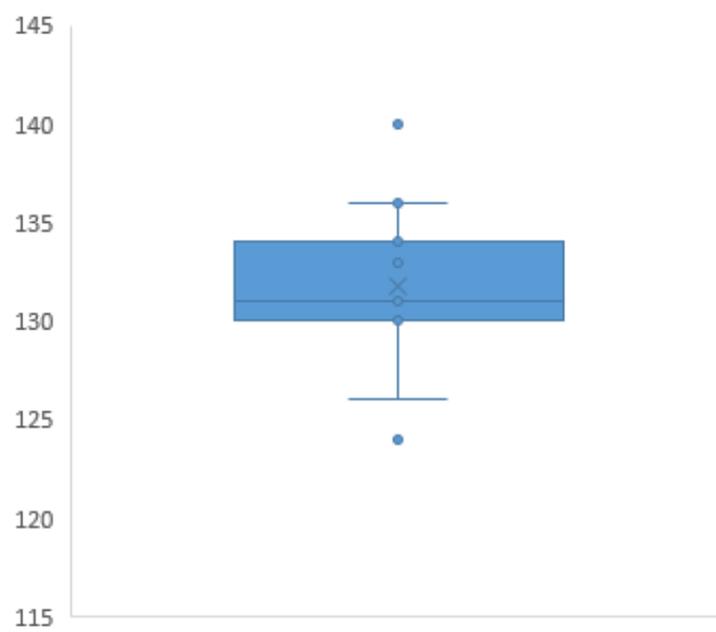
Equipamento C1 (Step E1) (Receita R42)



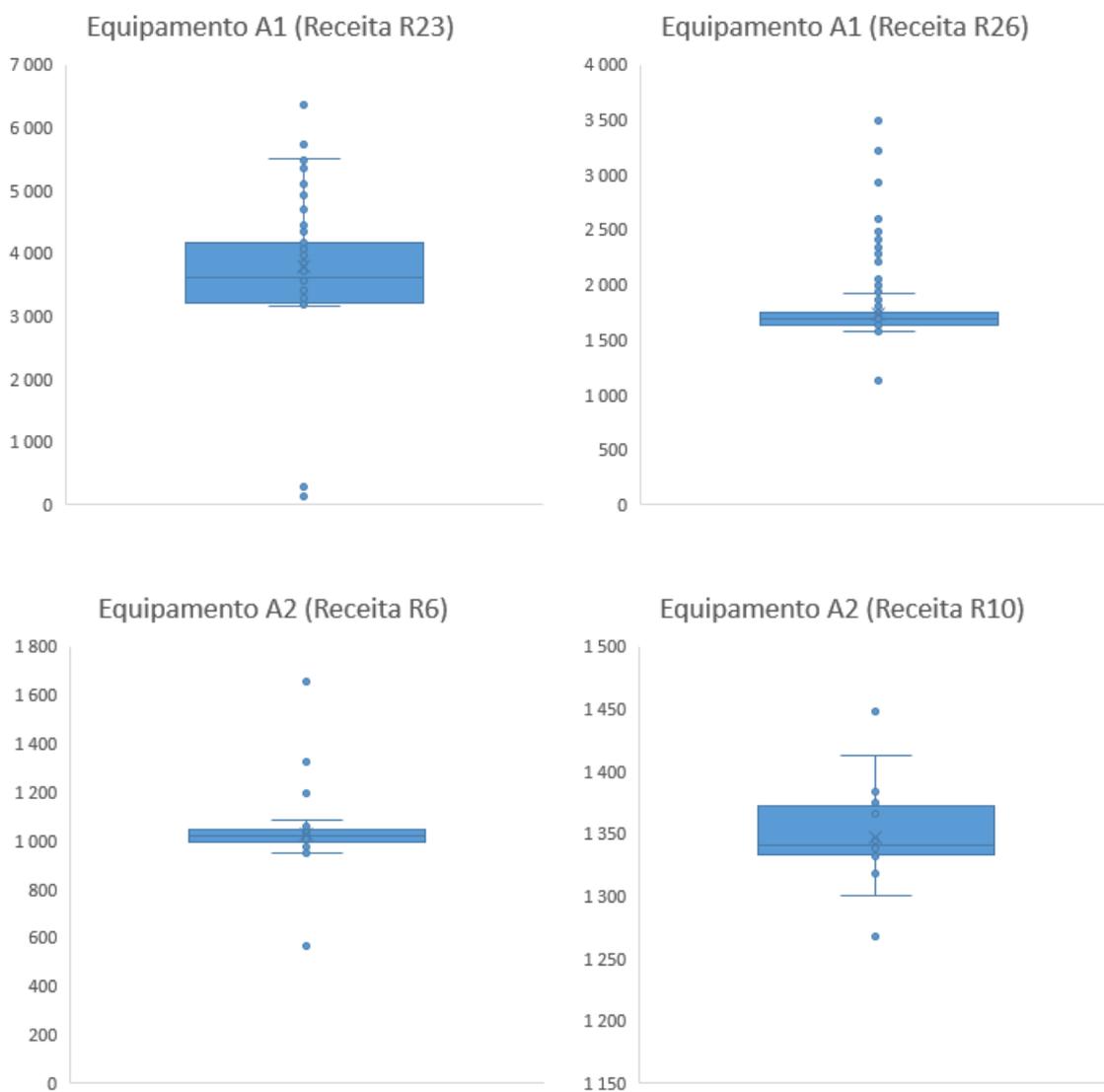
Equipamento C1 (Step E5) (Receita R41)

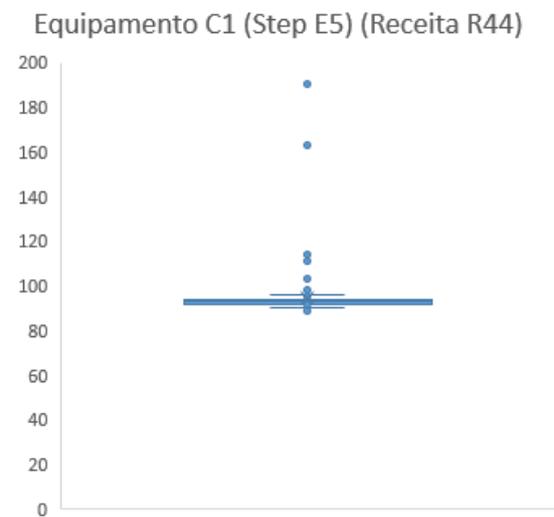
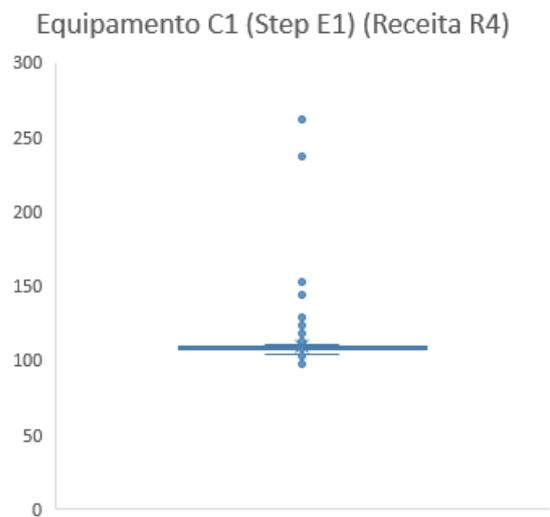
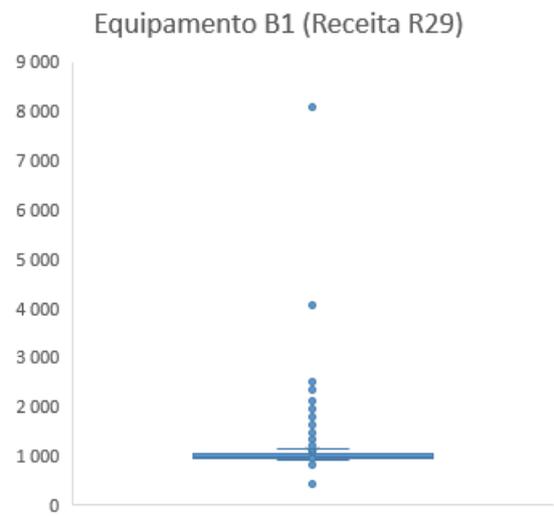
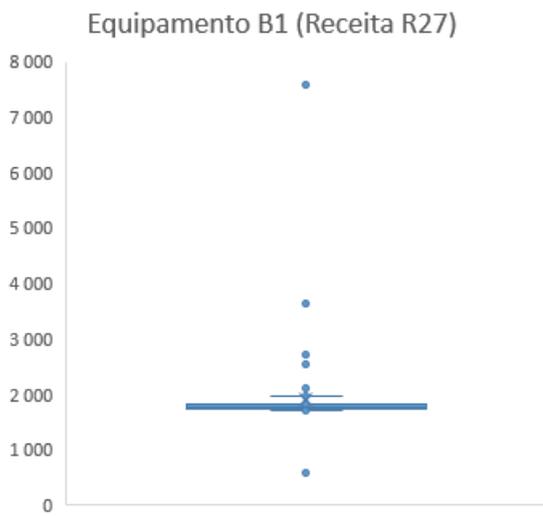
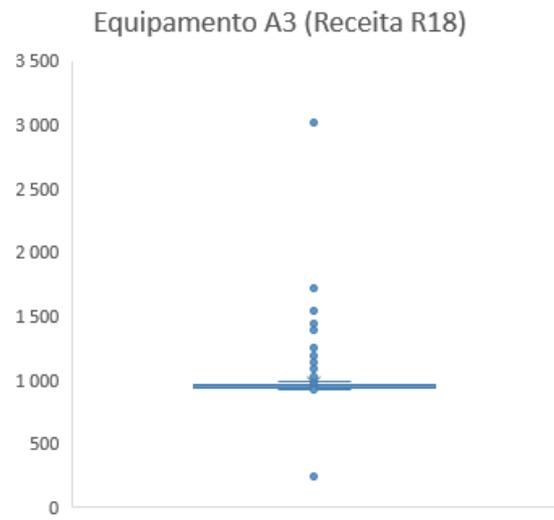
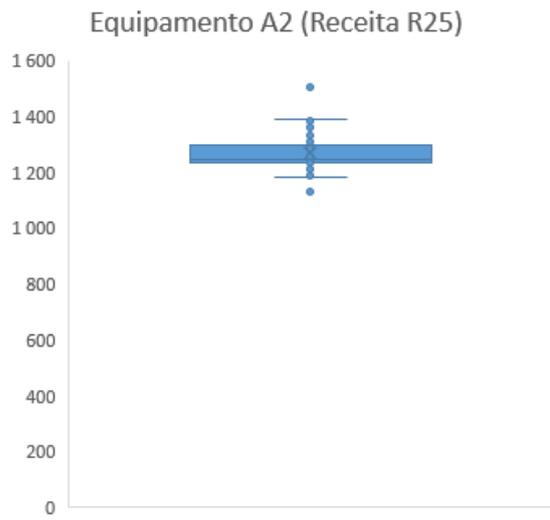


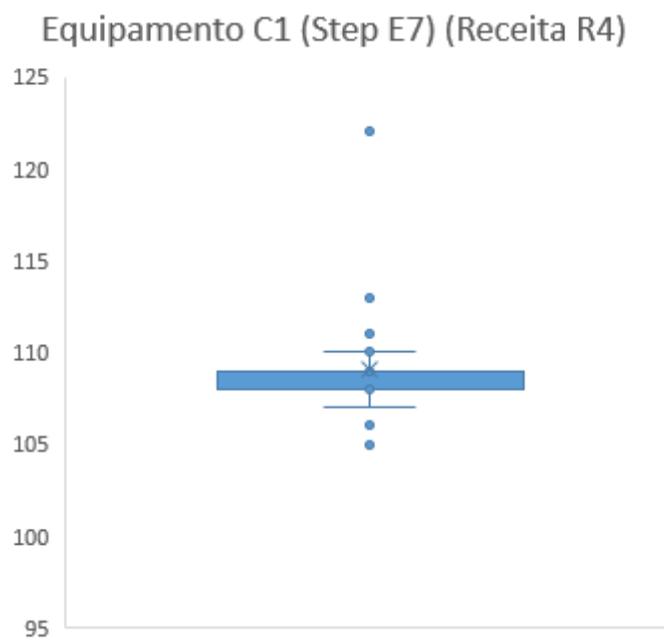
Equipamento C1 (Step E6) (Receita R35)



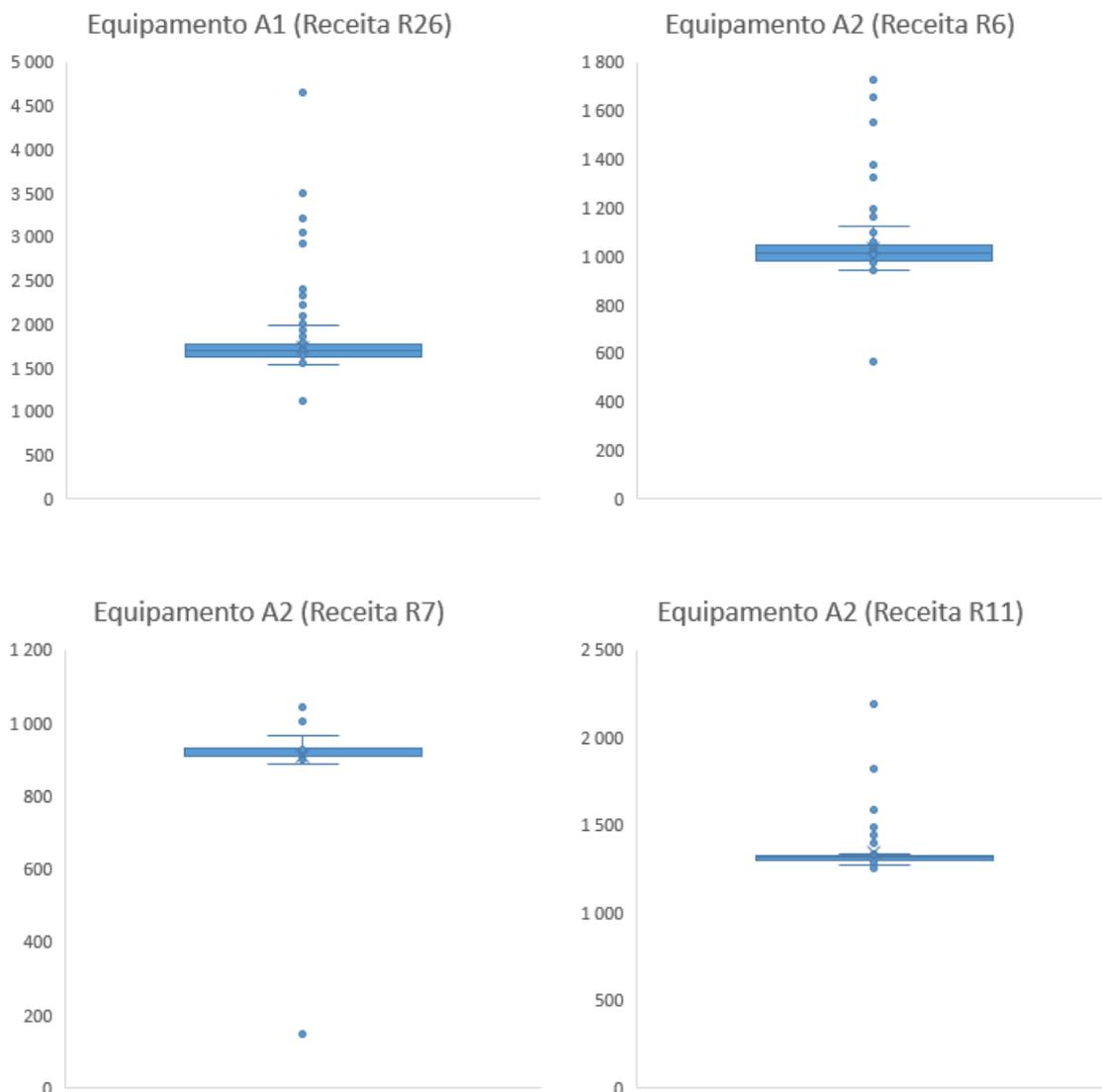
APÊNDICE F – *BOXPLOT* DOS TEMPOS DE PROCESSO DAS *WAFERS* REFERENTES ÀS RECEITAS QUE POSSUEM *OUTLIERS* NA SEMANA 21

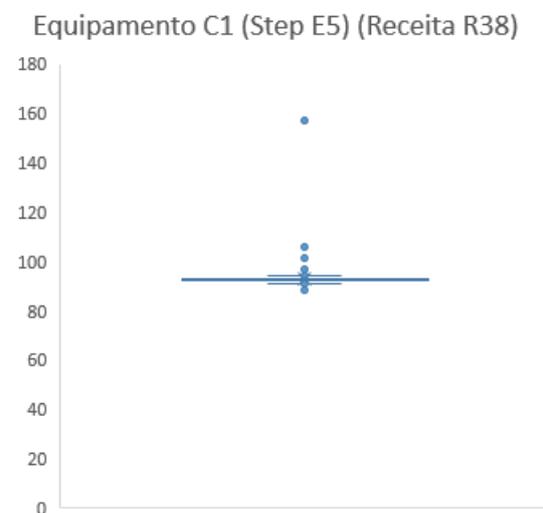
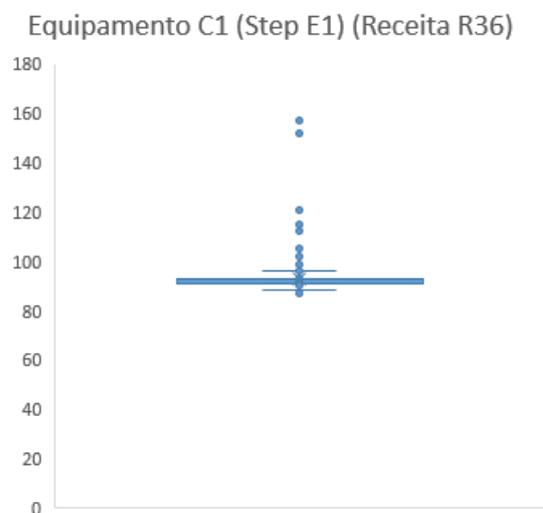
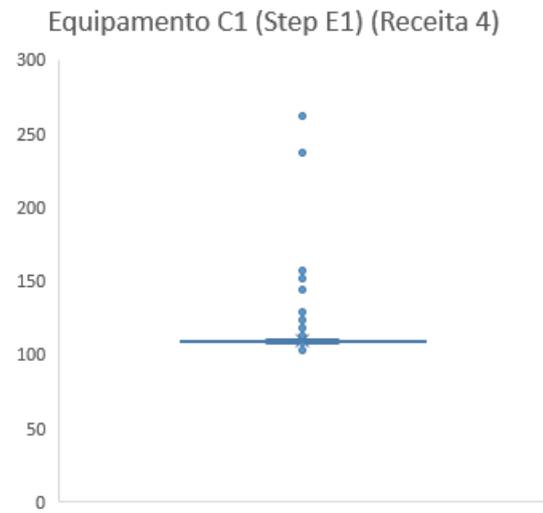
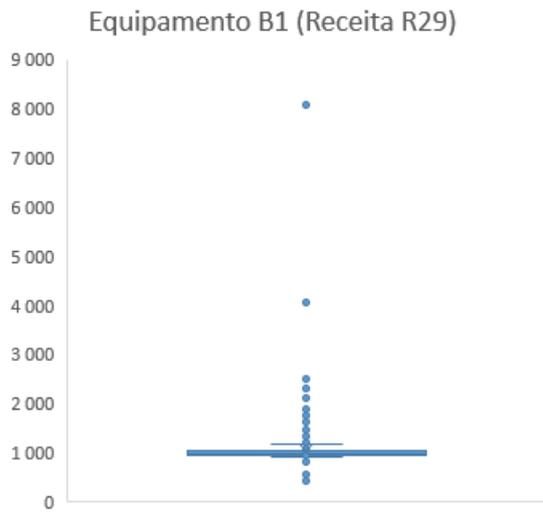
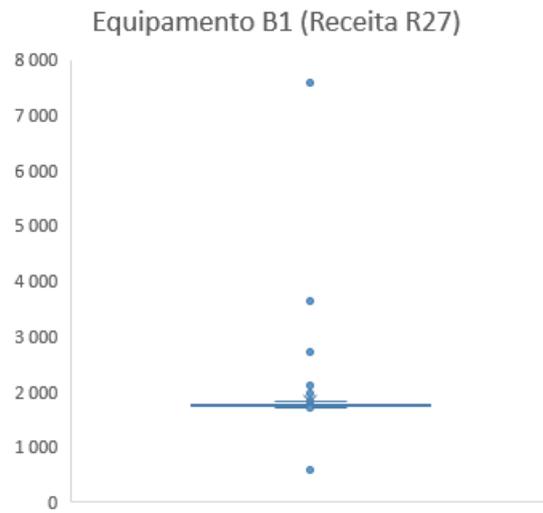
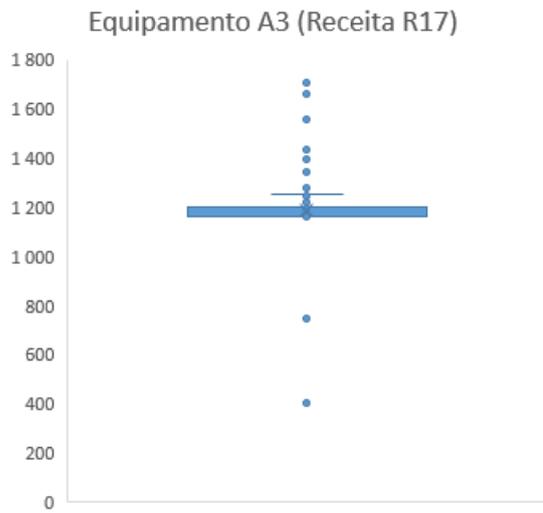


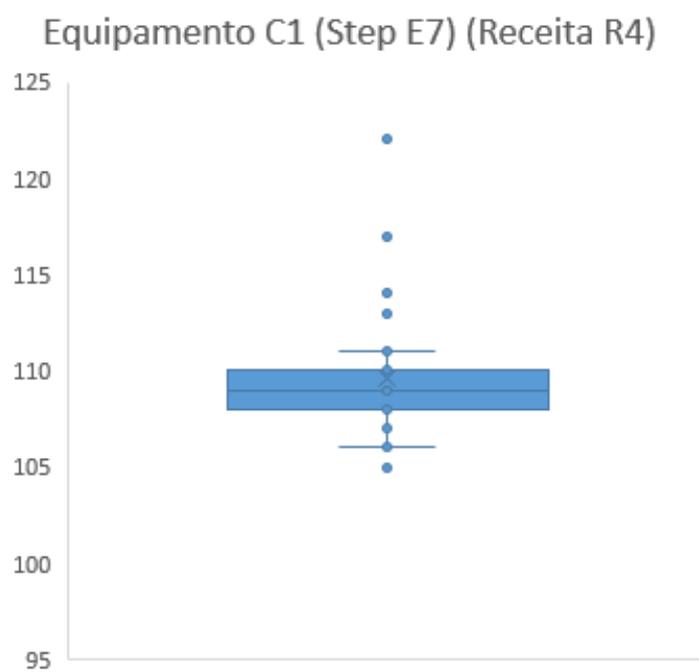




APÊNDICE G – *BOXPLOT* DOS TEMPOS DE PROCESSO DAS *WAFERS* REFERENTES ÀS RECEITAS QUE POSSUEM *OUTLIERS* NA SEMANA 22







APÊNDICE H – *RATE EFFICIENCY* DOS EQUIPAMENTOS COM UM *STEP* NA SEMANA 20, 21, 22

Equipamento A1 (Subsistema S1)								
Recipe	Último Mês			Semana 20				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	<i>Rate Efficiency</i> [%]
R23	52,717	3 163	2,017	159	24	48	239	74,922
R26	26,133	1 568	1,000	319	190	190		

Equipamento A2 (Subsistema S1)								
Recipe	Último Mês			Semana 20				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	<i>Rate Efficiency</i> [%]
R6	15,700	942	1,000	390	53	53	270	69,231
R9	19,283	1 157	1,228	317	17	21		
R11	21,100	1 266	1,344	290	13	17		
R12	18,917	1 135	1,205	324	5	6		
R16	23,150	1 389	1,475	264	55	81		
R17	26,867	1 612	1,711	228	37	63		
R24	21,717	1 303	1,383	282	5	7		
R25	18,883	1 133	1,203	324	17	20		

Equipamento A3 (Subsistema S1)								
Recipe	Último Mês			Semana 20				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	<i>Rate Efficiency</i> [%]
R12	16,000	960	1,038	528	13	13	402	73,358%
R16	18,750	1 125	1,216	451	72	88		
R17	19,283	1 157	1,251	438	27	34		
R18	15,417	925	1,000	548	86	86		
R21	23,950	1 437	1,553	353	15	23		
R24	19,733	1 184	1,280	428	13	17		
R26	23,133	1 388	1,500	365	94	141		

Equipamento B1 (Subsistema S4)								
Recipe	Último Mês			Semana 20				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R27	28,500	1 710	1,839	254	15	28	278	59,657
R29	15,500	930	1,000	466	250	250		

Equipamento A1 (Subsistema S1)								
Recipe	Último Mês			Semana 21				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R18	14,133	848	1,000	635	8	8	452	71,181
R23	52,717	3 163	3,730	171	8	30		
R25	16,533	992	1,170	543	1	1		
R26	26,133	1 568	1,849	344	223	412		

Equipamento A2 (Subsistema S1)								
Recipe	Último Mês			Semana 21				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R6	15,783	947	1,000	431	13	13	285	66,125
R10	21,667	1 300	1,373	314	13	18		
R12	19,000	1 140	1,204	358	28	34		
R17	26,867	1 612	1,702	254	111	189		
R25	19,750	1 185	1,251	345	25	31		

Equipamento A3 (Subsistema S1)								
Recipe	Último Mês			Semana 21				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R8	11,717	703	1,000	643	1	1	411	63,919
R12	16,000	960	1,366	471	38	52		
R13	21,717	1 303	1,853	347	1	2		
R15	25,017	1 501	2,135	301	15	32		
R16	18,750	1 125	1,600	402	34	54		
R17	19,283	1 157	1,646	391	24	39		
R18	15,417	925	1,316	489	45	59		
R20	28,200	1 692	2,407	267	1	2		
R26	23,133	1 388	1,974	326	85	168		

Equipamento B1 (Subsistema S4)								
Recipe	Último Mês			Semana 21				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R27	28,483	1 709	1,838	266	24	44	324	66,393
R28	18,417	1 105	1,188	411	3	4		
R29	15,500	930	1,000	488	276	276		

Equipamento A1 (Subsistema S1)								
Recipe	Último Mês			Semana 22				
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	Conversão	<i>Max_Output</i> [wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Output Equivalente</i> [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R12	17,317	1 039	1,000	464	4	4	359	77,371
R23	52,667	3 160	3,041	153	65	198		
R26	25,650	1 539	1,481	314	106	157		

Equipamento A2 (Subsistema S1)								
Recipe	Último Mês			Semana 22				
	Ideal Cycle Time [min/wafer]	Ideal Cycle Time [seg/wafer]	Conversão	Max_Output [wafer]	Output Efetivo [wafer]	Output Equivalente [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R6	15,683	941	1,061	265	57	60	209	74,377
R7	14,783	887	1,000	281	9	9		
R9	19,233	1 154	1,301	216	25	33		
R11	21,200	1 272	1,434	196	25	36		
R16	23,117	1 387	1,564	180	14	22		
R17	26,800	1 608	1,813	155	26	47		
R18	19,600	1 176	1,326	212	1	1		

Equipamento A3 (Subsistema S1)								
Recipe	Último Mês			Semana 22				
	Ideal Cycle Time [min/wafer]	Ideal Cycle Time [seg/wafer]	Conversão	Max_Output [wafer]	Output Efetivo [wafer]	Output Equivalente [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R14	25,350	1 521	1,644	284	1	2	333	71,459
R16	18,750	1 125	1,216	383	54	66		
R17	19,333	1 160	1,254	372	26	33		
R18	15,417	925	1,000	466	1	1		
R21	23,967	1 438	1,555	300	22	34		
R22	25,183	1 511	1,633	286	1	2		
R24	19,733	1 184	1,280	364	4	5		
R26	23,133	1 388	1,500	311	127	191		

Equipamento B1 (Subsistema S4)								
Recipe	Último Mês			Semana 22				
	Ideal Cycle Time [min/wafer]	Ideal Cycle Time [seg/wafer]	Conversão	Max_Output [wafer]	Output Efetivo [wafer]	Output Equivalente [wafer]	Total Equivalente [wafer]	Rate Efficiency [%]
R27	28,483	1 709	1,838	272	41	75	309	61,924
R29	15,500	930	1,000	499	233	233		

APÊNDICE I – *RATE EFFICIENCY* DO EQUIPAMENTO COM DOIS OU MAIS *STEPS* NA SEMANA 20, 21 E 22

Equipamento C1 (Subsistema S7)					
<i>Step</i>	<i>Recipe</i>	Último Mês	Semana 20		
		<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Productive Time</i> [s]	<i>Rate Efficiency</i> [%]
E1	R1	82	12	208 390	56,828
	R4	104	232		
	R36	87	221		
	R39	88	84		
	R42	86	72		
E4	R37	116	156	208 390	56,828
	R40	124	24		
	R43	118	175		
E5	R38	87	24	208 390	56,828
	R41	90	105		
	R44	89	24		
E6	R35	126	25	208 390	56,828
E7	R36	91	5	208 390	56,828
E8	R43	123	12	208 390	56,828

Equipamento C1 (Subsistema S7)					
<i>Step</i>	<i>Recipe</i>	Último Mês	Semana 21		
		<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Productive Time</i> [s]	<i>Rate Efficiency</i> [%]
E1	R1	82	72	247 486	57,091
	R4	104	220		
	R30	130	11		
	R36	86	212		
	R39	88	211		
E2	R33	91	49		
E4	R37	119	188		
	R40	124	114		
	R43	120	94		
E5	R38	87	96		
	R41	89	78		
	R44	90	12		
E7	R4	107	15		
	R39	91	9		
E10	R37	124	12		
	R43	123	14		

Equipamento C1 (Subsistema S7)					
<i>Step</i>	<i>Recipe</i>	Último Mês	Semana 22		
		<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Productive Time</i> [s]	<i>Rate Efficiency</i> [%]
E1	R1	82	12	234 359	57,383
	R4	107	192		
	R36	88	212		
	R39	88	104		
E2	R33	91	25		
E3	R34	89	49		
E4	R37	119	283		
	R40	124	158		
E5	R5	129	1		
	R38	91	132		
	R41	89	58		
E7	R4	106	23		
	R39	91	14		
E8	R33	92	25		
E10	R37	124	1		
	R40	126	12		
E11	R41	91	3		

APÊNDICE J – DESEMPENHO DOS EQUIPAMENTOS NA SEMANA 20, 21 E 22

	Semana 20		
Equipamento	<i>Operational Efficiency</i> [%]	<i>Rate Efficiency</i> [%]	Desempenho [%]
A1	90,152	74,922	67,543
A2	68,864	69,231	47,675
A3	90,856	73,358	66,650
B1	92,015	59,657	54,893
C1	36,155	56,828	20,546

	Semana 21		
Equipamento	<i>Operational Efficiency</i> [%]	<i>Rate Efficiency</i> [%]	Desempenho [%]
A1	96,713	71,181	68,842
A2	77,214	66,125	51,058
A3	83,783	63,919	53,553
B1	91,267	66,393	60,596
C1	45,194	57,091	25,802

	Semana 22		
Equipamento	<i>Operational Efficiency</i> [%]	<i>Rate Efficiency</i> [%]	Desempenho [%]
A1	84,570	77,371	65,432
A2	43,959	74,377	32,695
A3	76,794	71,459	54,876
B1	93,717	61,924	58,033
C1	41,555	57,383	23,845

APÊNDICE K – *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* DOS EQUIPAMENTOS NA SEMANA 20, 21 E 22

	Semana 20			
Equipamento	Disponibilidade [%]	Desempenho [%]	Qualidade [%]	OEE [%]
A1	91,667	67,543	100	61,915
A2	88,025	47,675	100	41,966
A3	92,130	66,650	100	61,405
B1	77,820	54,893	100	42,718
C1	95,300	20,546	100	19,581

	Semana 21			
Equipamento	Disponibilidade [%]	Desempenho [%]	Qualidade [%]	OEE [%]
A1	91,976	68,842	100	63,318
A2	87,360	51,058	100	44,605
A3	89,109	53,553	100	47,721
B1	82,097	60,596	100	49,747
C1	90,543	25,802	100	23,362

	Semana 22			
Equipamento	Disponibilidade [%]	Desempenho [%]	Qualidade [%]	OEE [%]
A1	94,210	65,432	100	61,644
A2	93,724	32,695	100	30,643
A3	92,730	54,876	100	50,887
B1	81,750	58,033	100	47,442
C1	93.250	23,845	100	22,236

APÊNDICE L – CÁLCULO DIRETO DO *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* DOS EQUIPAMENTOS NA SEMANA 20, 21 E 22

A1					
Recipe	Último Mês		Semana 20		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R23	52,717	3 163	24	604 800	61,810
R26	26,133	1 568	190		

A2					
Recipe	Último Mês		Semana 20		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R6	15,700	942	53	604 800	41,922
R9	19,283	1 157	17		
R11	21,100	1 266	13		
R12	18,917	1 135	5		
R16	23,150	1 389	55		
R17	26,867	1 612	37		
R24	21,717	1 303	5		
R25	18,883	1 133	17		

A3					
Recipe	Último Mês		Semana 20		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R12	16,000	960	13	604 800	61,456
R16	18,750	1 125	72		
R17	19,283	1 157	27		
R18	15,417	925	86		
R21	23,950	1 437	15		
R24	19,733	1 184	13		
R26	23,133	1 388	94		

B1					
Recipe	Último Mês		Semana 20		Equipamento
	Ideal Cycle Time [min/wafer]	Ideal Cycle Time [seg/wafer]	Output Efetivo [wafer]	Total Time [seg]	OEE [%]
R27	28,500	1 710	15	604 800	42,684
R29	15,500	930	250		

C1						
Step	Recipe	Último Mês		Semana 20		Equipamento
		Ideal Cycle Time [min/wafer]	Ideal Cycle Time [seg/wafer]	Output Efetivo [wafer]	Total Time [s]	OEE [%]
E1	R1	1,367	82	12	604 800	19,576
	R4	1,733	104	232		
	R36	1,450	87	221		
	R39	1,467	88	84		
	R42	1,433	86	72		
E4	R37	1,933	116	156		
	R40	2,067	124	24		
	R43	1,967	118	175		
E5	R38	1,450	87	24		
	R41	1,500	90	105		
	R44	1,483	89	24		
E6	R35	2,100	126	25		
E7	R36	1,517	91	5		
E8	R43	2,050	123	12		

A1					
Recipe	Último Mês		Semana 21		Equipamento
	Ideal Cycle Time [min/wafer]	Ideal Cycle Time [seg/wafer]	Output Efetivo [wafer]	Total Time [seg]	OEE [%]
R18	14,133	848	8	604 800	63,284
R23	52,717	3 163	8		
R25	16,533	992	1		
R26	26,133	1 568	223		

A2					
<i>Recipe</i>	Último Mês		Semana 21		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R6	15,783	947	13	604 800	44,592
R10	21,667	1 300	13		
R12	19,000	1 140	28		
R17	26,867	1 612	111		
R25	19,750	1 185	25		

A3					
<i>Recipe</i>	Último Mês		Semana 21		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R8	11,717	703	1	604 800	47,671
R12	16,000	960	38		
R13	21,717	1 303	1		
R15	25,017	1 501	15		
R16	18,750	1 125	34		
R17	19,283	1 157	24		
R18	15,417	925	45		
R20	28,200	1 692	1		
R26	23,133	1 388	85		

B1					
<i>Recipe</i>	Último Mês		Semana 21		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R27	28,483	1 709	24	604 800	49,770
R28	18,417	1 105	3		
R29	15,500	930	276		

C1						
Step	Recipe	Último Mês		Semana 21		Equipamento
		Ideal Cycle Time [min/wafer]	Ideal Cycle Time [seg/wafer]	Output Efetivo [wafer]	Total Time [s]	OEE [%]
E1	R1	1,367	82	72	604 800	23,357
	R4	1,733	104	220		
	R30	2,167	130	11		
	R36	1,433	86	212		
	R39	1,467	88	211		
E2	R33	1,517	91	49		
E4	R37	1,983	119	188		
	R40	2,067	124	114		
E5	R43	2,000	120	94		
E5	R38	1,450	87	96		
E5	R41	1,483	89	78		
E7	R44	1,500	90	12		
E7	R4	1,783	107	15		
E10	R39	1,517	91	9		
E10	R37	2,067	124	12		
	R43	2,050	123	14		

A1					
Recipe	Último Mês		Semana 22		Equipamento
	Ideal Cycle Time [min/wafer]	Ideal Cycle Time [seg/wafer]	Output Efetivo [wafer]	Total Time [seg]	OEE [%]
R12	17,317	1 039	4	604 800	61,622
R23	52,667	3 160	65		
R26	25,650	1 539	106		

A2					
Recipe	Último Mês		Semana 22		Equipamento
	Ideal Cycle Time [min/wafer]	Ideal Cycle Time [seg/wafer]	Output Efetivo [wafer]	Total Time [seg]	OEE [%]
R6	15,683	941	57	604 800	30,534
R7	14,783	887	9		
R9	19,233	1 154	25		
R11	21,200	1 272	25		
R16	23,117	1 387	14		
R17	26,800	1 608	26		
R18	19,600	1 176	1		

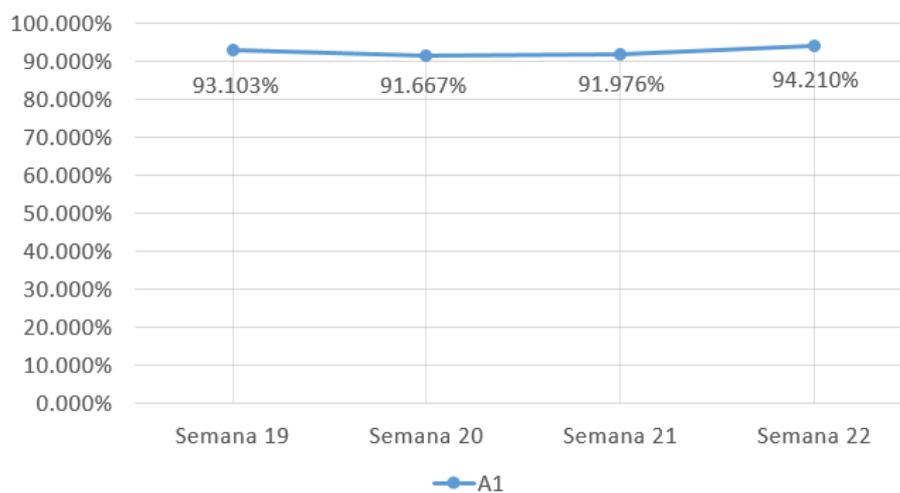
A3					
Recipe	Último Mês		Semana 22		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R14	25,350	1 521	1	604 800	50,845
R16	18,750	1 125	54		
R17	19,333	1 160	26		
R18	15,417	925	1		
R21	23,967	1 438	22		
R22	25,183	1 511	1		
R24	19,733	1 184	4		
R26	23,133	1 388	127		

B1					
Recipe	Último Mês		Semana 22		Equipamento
	<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [seg]	OEE [%]
R27	28,483	1 709	41	604 800	47,414
R29	15,500	930	233		

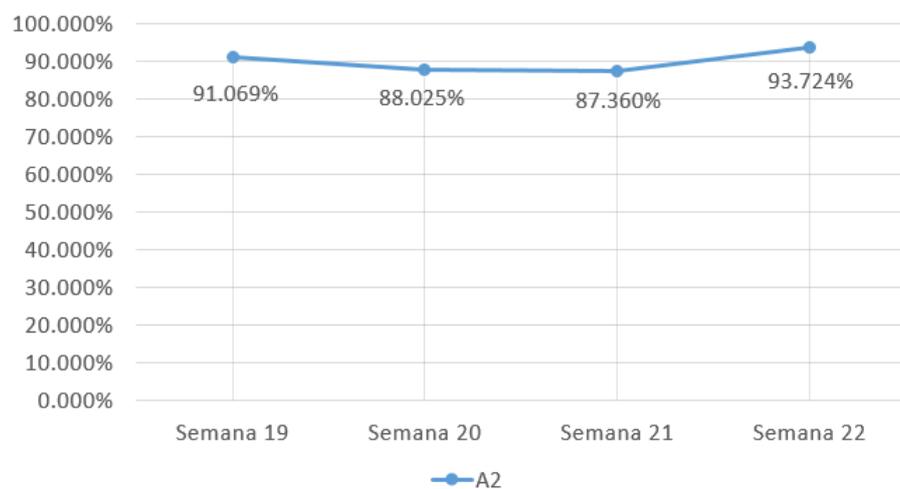
C1						
Step	Recipe	Último Mês		Semana 22		Equipamento
		<i>Ideal Cycle Time</i> [min/wafer]	<i>Ideal Cycle Time</i> [seg/wafer]	<i>Output Efetivo</i> [wafer]	<i>Total Time</i> [s]	OEE [%]
E1	R1	1,367	82	12	604 800	22,233
	R4	1,783	107	192		
	R36	1,467	88	212		
	R39	1,467	88	104		
E2	R33	1,517	91	25		
E3	R34	1,483	89	49		
E4	R37	1,983	119	283		
	R40	2,067	124	158		
E5	R5	2,150	129	1		
	R38	1,517	91	132		
	R41	1,483	89	58		
E7	R4	1,767	106	23		
	R39	1,517	91	14		
E8	R33	1,533	92	25		
E10	R37	2,067	124	1		
	R40	2,100	126	12		
E11	R41	1,517	91	3		

APÊNDICE M – EVOLUÇÃO DA DISPONIBILIDADE, DO *OPERATIONAL EFFICIENCY*, DO *RATE EFFICIENCY*, DO DESEMPENHO E DO OEE AO LONGO DAS SEMANAS EM ESTUDO

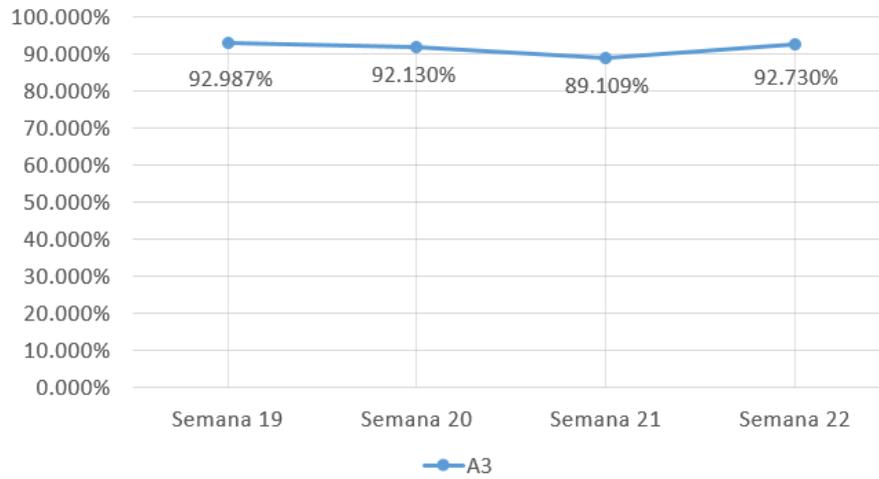
Disponibilidade do Equipamento A1



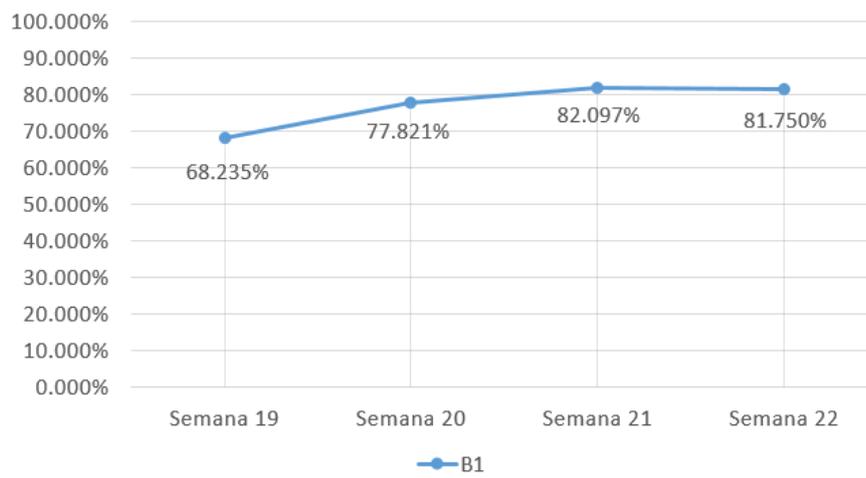
Disponibilidade do Equipamento A2



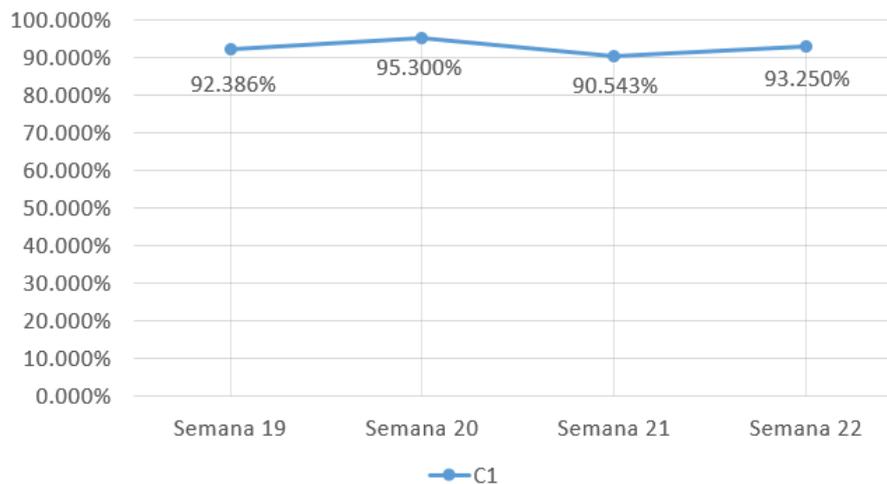
Disponibilidade do Equipamento A3



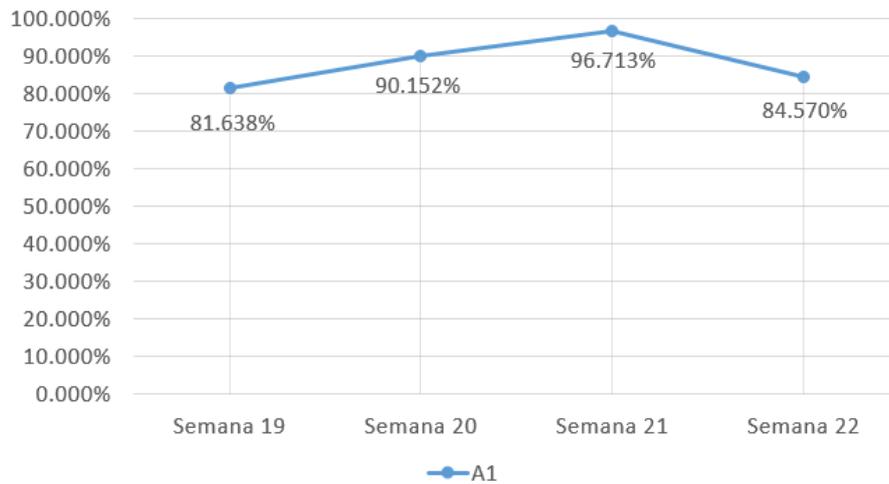
Disponibilidade do Equipamento B1



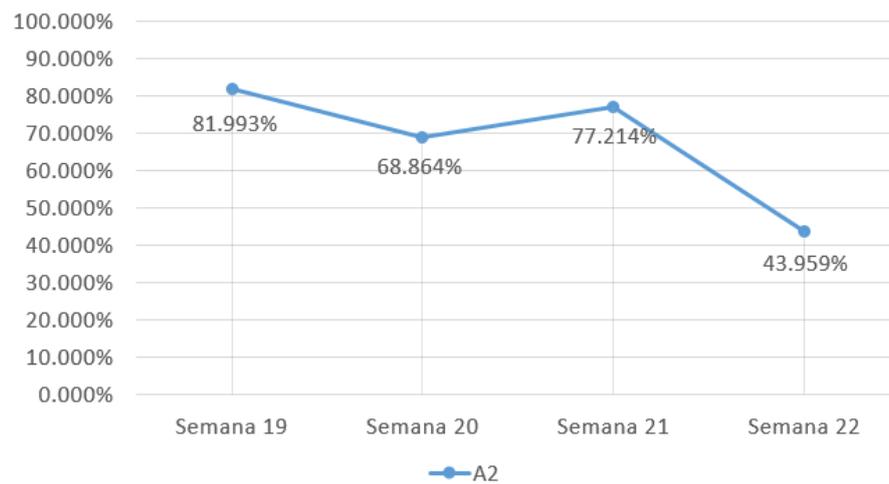
Disponibilidade do Equipamento C1



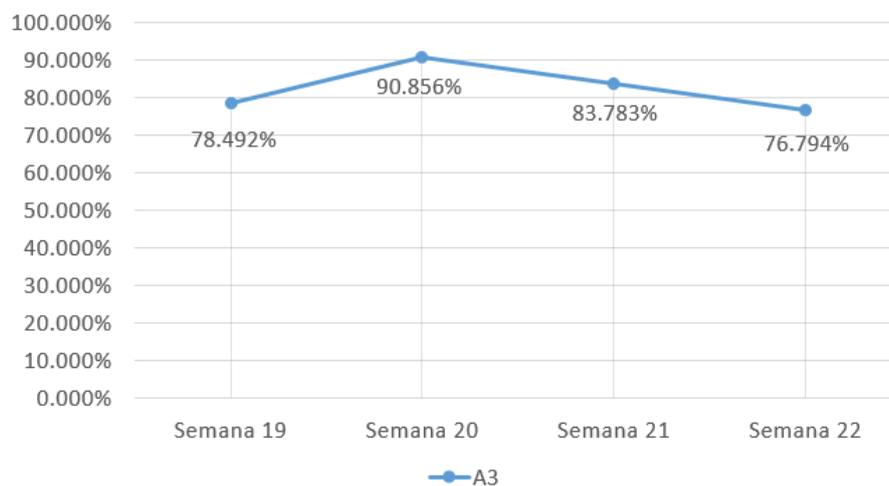
Operational Efficiency do Equipamento A1



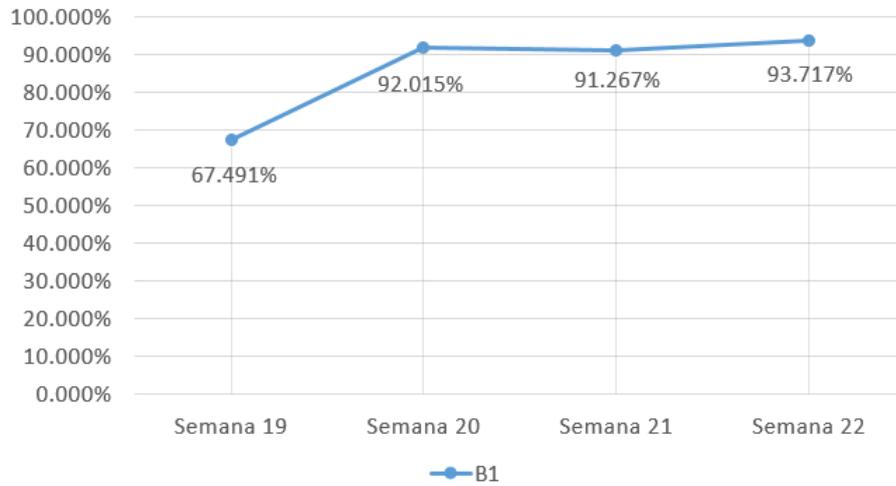
Operational Efficiency do Equipamento A2



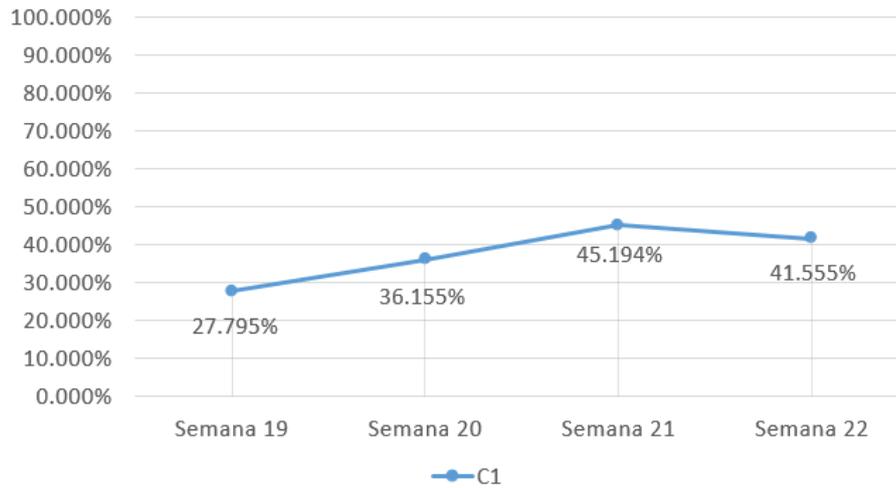
Operational Efficiency do Equipamento A3



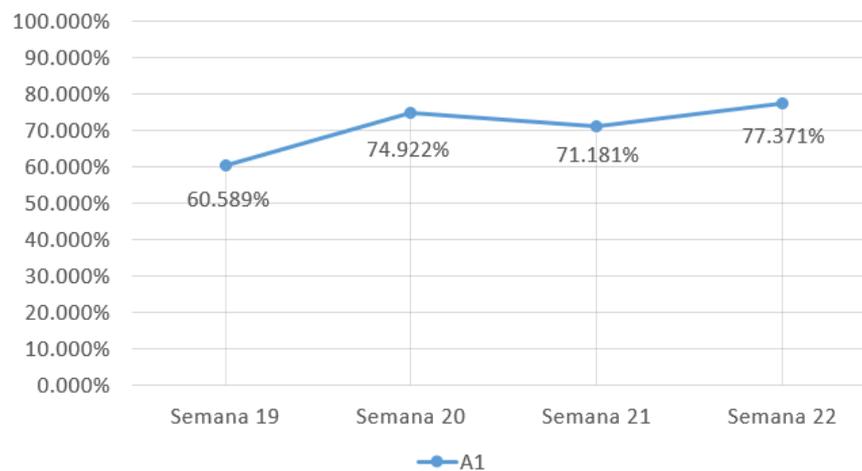
Operational Efficiency do Equipamento B1



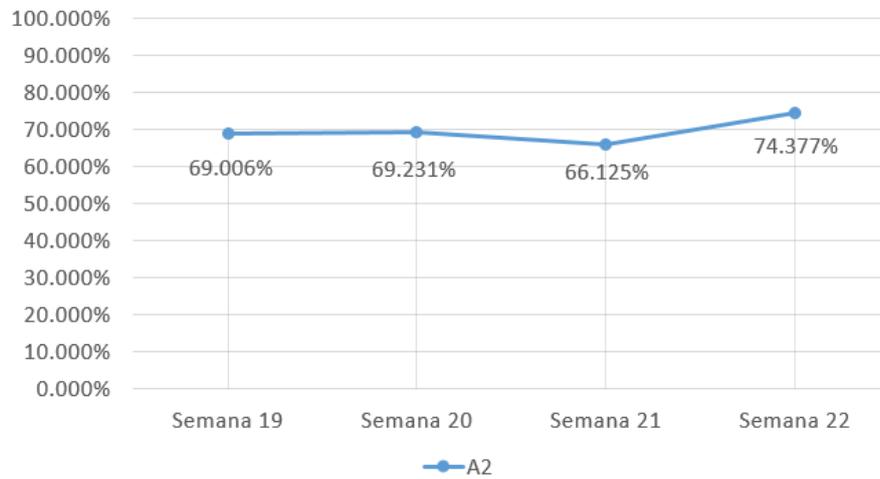
Operational Efficiency do Equipamento C1



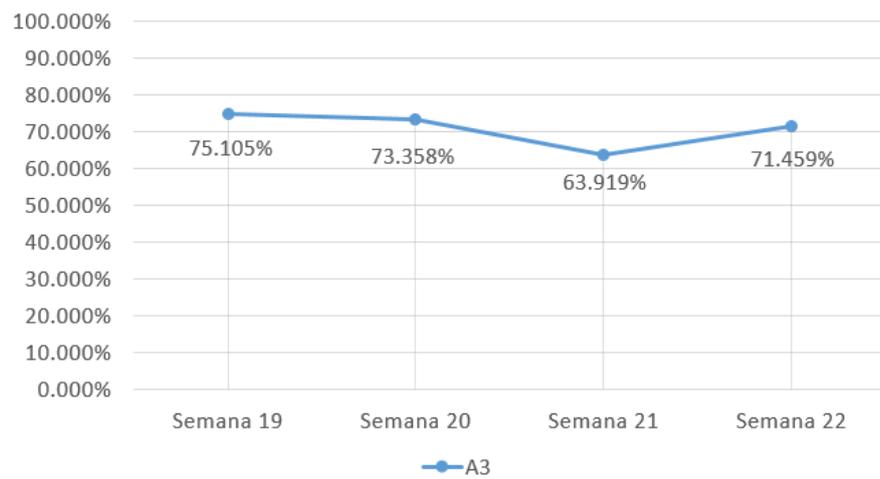
Rate Efficiency do Equipamento A1



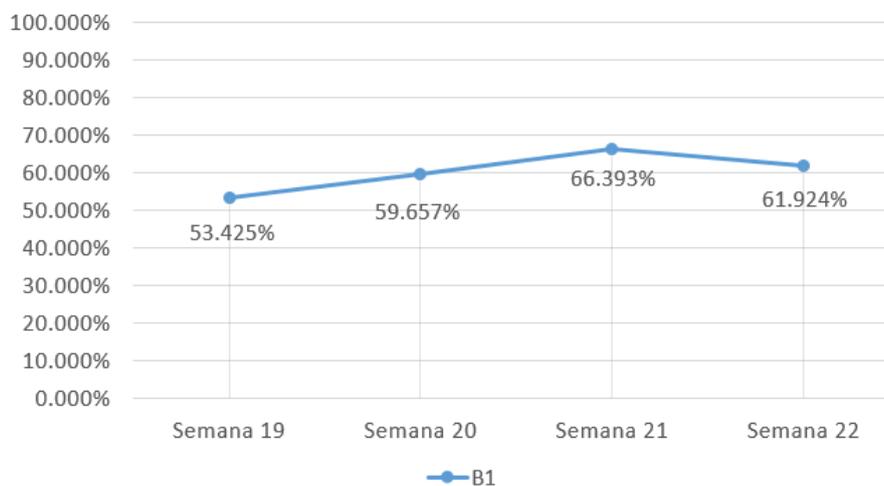
Rate Efficiency do Equipamento A2



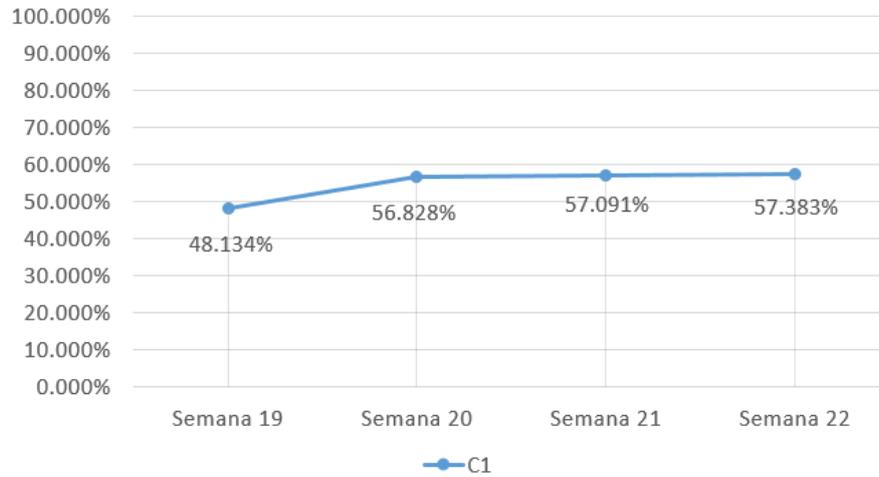
Rate Efficiency do Equipamento A3



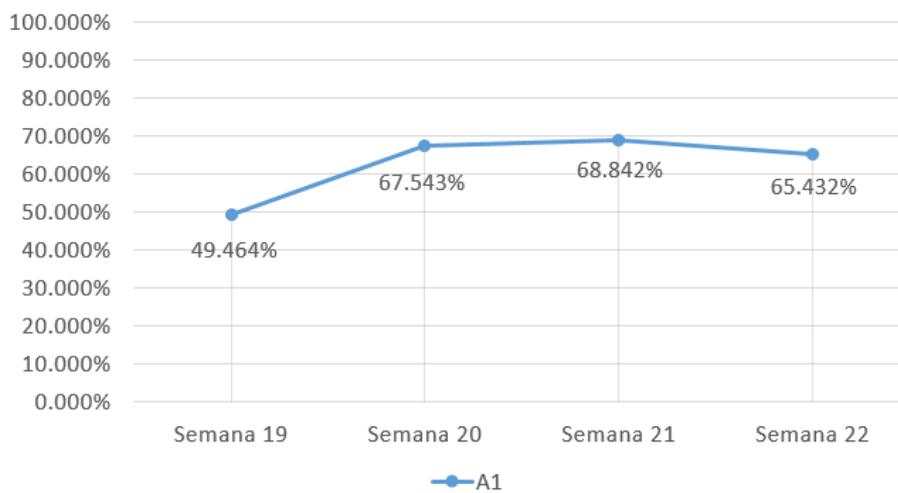
Rate Efficiency do Equipamento B1



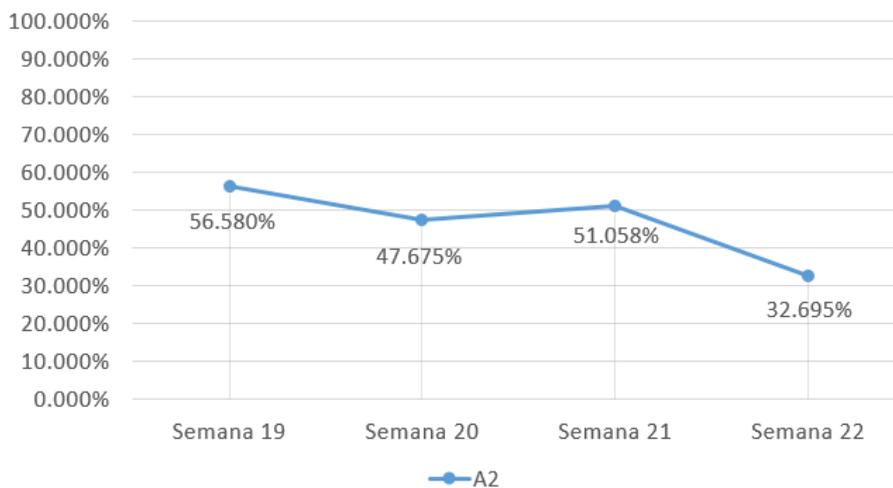
Rate Efficiency do Equipamento C1



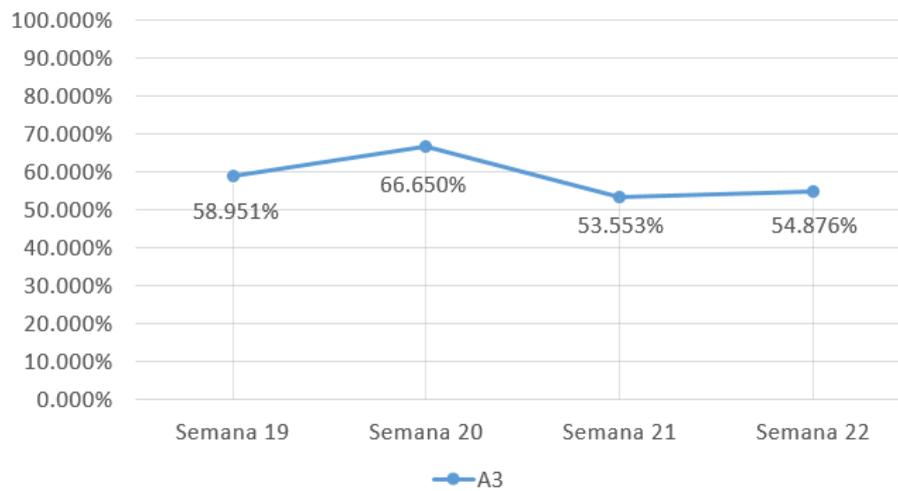
Desempenho do Equipamento A1



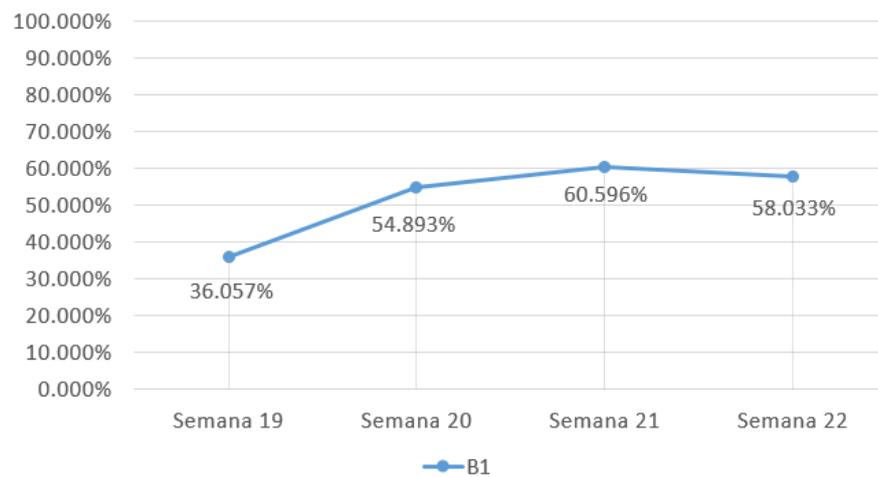
Desempenho do Equipamento A2



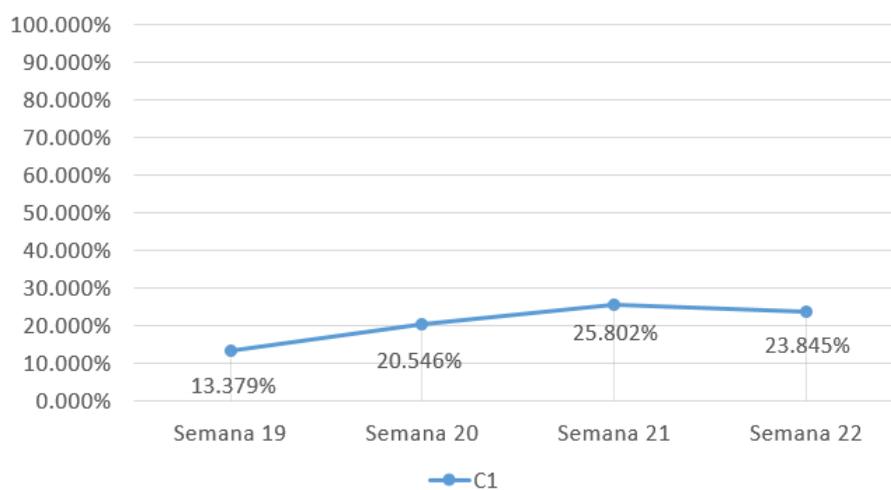
Desempenho do Equipamento A3



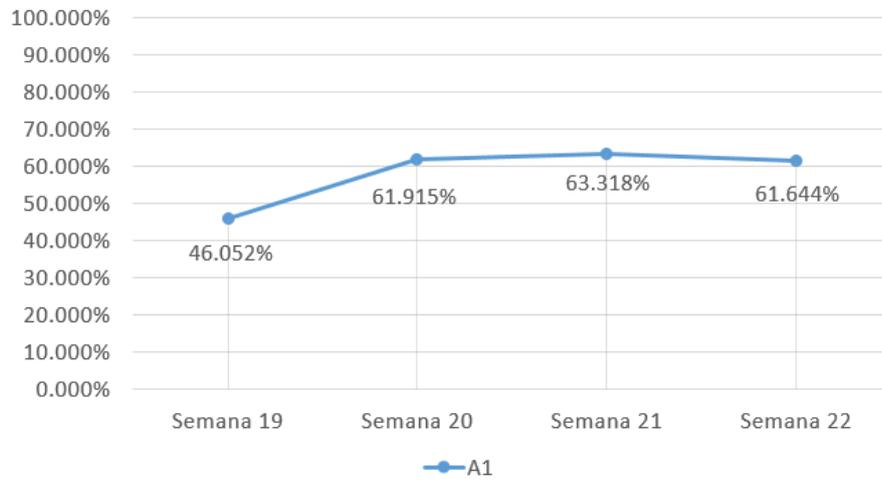
Desempenho do Equipamento B1



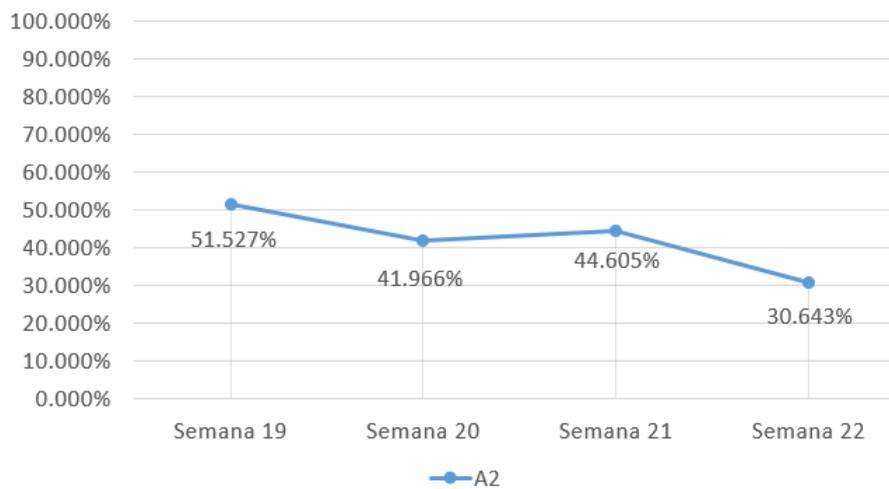
Desempenho do Equipamento C1



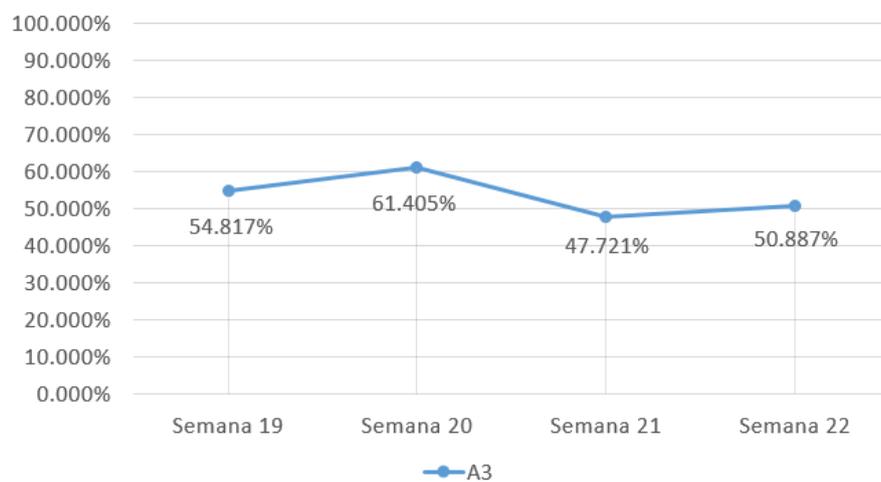
OEE do Equipamento A1



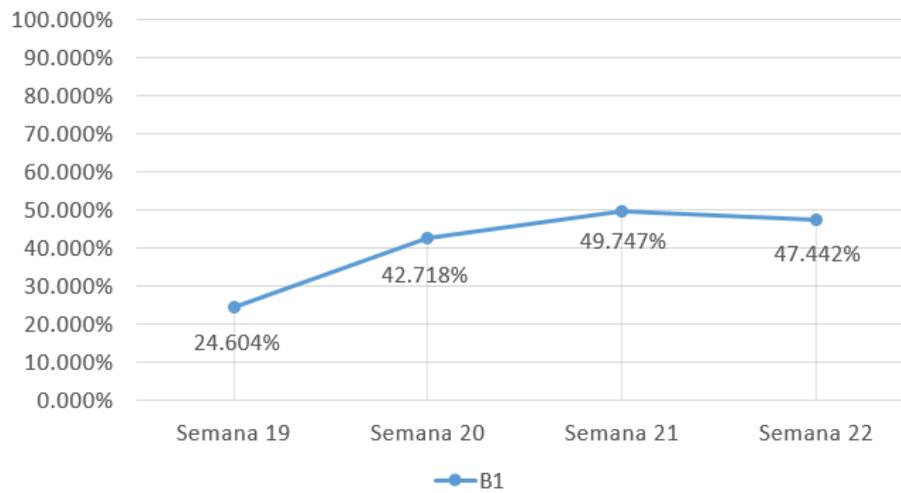
OEE do Equipamento A2



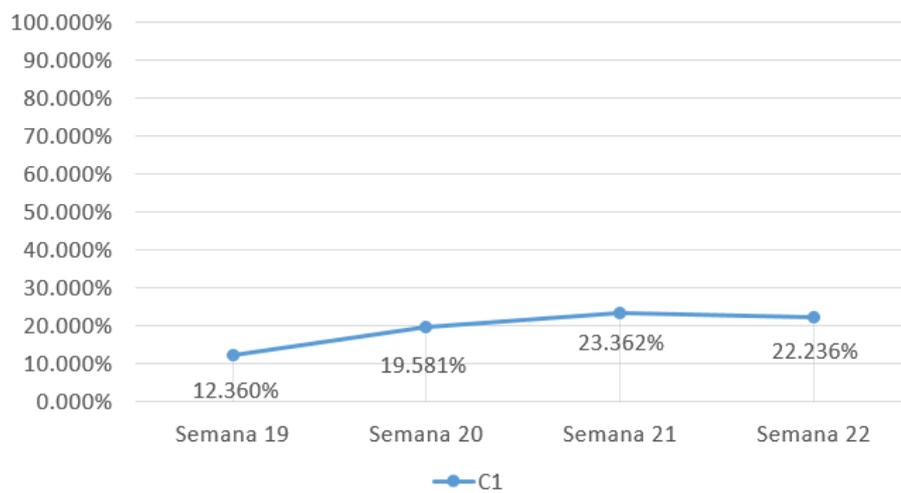
OEE do Equipamento A3



OEE do Equipamento B1



OEE do Equipamento C1



APÊNDICE N – *SCRIPT* EM DAX DAS MEDIDAS UTILIZADAS NO MODELO DO POWER BI

Percen_NS = `SUM(fEstados[NonScheduled Time])/SUM(fEstados[Total Time])`

Percen_UD = `SUM(fEstados[Unscheduled Downtime])/SUM(fEstados[Total Time])`

Percen_SD = `SUM(fEstados[Scheduled Downtime])/SUM(fEstados[Total Time])`

Percen_EN = `SUM(fEstados[Engineering Time])/SUM(fEstados[Total Time])`

Percen_SB = `SUM(fEstados[Standby Time])/SUM(fEstados[Total Time])`

Percen_PR = `SUM(fEstados[Productive Time])/SUM(fEstados[Total Time])`

Disponibilidade = `(SUM(fEstados[Productive Time])+SUM(fEstados[Engineering Time])+SUM(fEstados[Standby Time]))/(SUM(fEstados[Total Time]))`

Operational_Efficiency = `SUM(fEstados[Productive Time])/(SUM(fEstados[Productive Time])+SUM(fEstados[Engineering Time])+SUM(fEstados[Standby Time]))`

Rate_Efficiency = `SUMX(fReceitas, fReceitas[Ideal Cycle Time]*fReceitas[Output Efetivo])/(SUM(fEstados[Productive Time])/60)`

Desempenho = `[Operational_Efficiency]*[Rate_Efficiency]`

Qualidade = `1`

Ideal_Cycle_Time_Seg = `(SELECTEDVALUE(fReceitas[Ideal Cycle Time]))*60`

OEE = `[Disponibilidade]*[Desempenho]*[Qualidade]`

